



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais



Diversidade e distribuição de Ephemeroptera em riachos de altitude no Rio Grande do Sul, Brasil

Alien Mavi Fontoura Frantz

Orientador: Luiz Ubiratan Hepp
Coorientadora: Edélti Faria Albertoni

Rio Grande
2020



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais



Diversidade e distribuição de Ephemeroptera em riachos de altitude no Rio Grande do Sul, Brasil

Aluno: Alien Mavi Fontoura Frantz

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ubiratan Hepp

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Edélti Faria Albertoni

Dissertação/Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande
2020

Dedico esta dissertação a
Dinorah Ferreira da Fontoura (*in memorian*) por me fazer acreditar no poder da educação
e a Tânia Evonir Frantz (*in memorian*) pelos verões em Porto Ferreira que permitiram que eu
conhecesse “os cupins com asas” (Ephemeropteras).

AGRADECIMENTOS

Ao Luiz U. Hepp, meu orientador, que mesmo distante, sempre se fez presente. Muito obrigada por todos os ensinamentos, dedicação, compreensão e paciência, muita paciência;

A Edélti Faria Albertoni, minha coorientadora por todos os ensinamentos compartilhados, pelo convívio, pelo zelo e pelos momentos de entusiasmo, com ou sem Ephemeroptera;

Aos meus pais, Neila e Roberto, por realmente sentirem comigo todas as felicidades e angústias, e sempre apoiarem minhas escolhas;

As minhas irmãs Kiane e Milia, obrigada pela preocupação e pelo apoio;

A minha sobrinha Maitê, por ser minha parceira de experimentos, expedições, muitas risadas, e por fazer as perguntas mais difíceis, do que qualquer banca;

Ao meu companheiro Luan, pela compreensão, por suportar a distância e por todo apoio durante estes dois anos;

A Vânia Frantz, Leandro Kroth, Mari Paese, Dona Bia e Seu Eduíno, pelas palavras de incentivo;

A todos os integrantes da Gambi House. Obrigada por tornar a minha vida, um grande Big Brother Brasil;

As pessoas que eu conheci e as amigas que eu construí nestes dois anos em Rio Grande. Pamela Gayer, Maiby G. Bandeira, Liane Naetzold, Manuela Tourinho, Gabriela Junqueira, Ana Paula T. Costa, Karoline Martins, Bruna Aires, Rafael Loureiro, Larissa Penha, Bruna A. Packowski, Tauana Mores, Muryllo Castro, Cassia M. Da Silva, Andréa Moraes, Luiz Lopes e Patrícia Buratto. Vocês tornaram tudo mais fácil, obrigada por fazerem parte desta caminhada!

Aos pesquisadores, Fabiana G. Barbosa, pelas caronas, conversas e risadas. Silvia V. Milesi, pelo material cedido. Rozane M. Restello pelo conhecimento e auxílio no estágio de docência. Erikcsen Raimundi, Fabiana Massariol e Frederico Salles, pelos esclarecimentos taxonômicos;

Aos técnicos do Laboratório de Limnologia, Clara Silva, Claudio Trindade e Leonardo Furlanetto pelo auxílio e pelas conversas;

A equipe do Laboratório de Biomonitoramento da Universidade Integrada do Alto Uruguai - Erechim pelo acolhimento;

A Universidade Federal do Rio Grande - FURG por todo apoio logístico e pela formação;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela concessão da bolsa de estudos, código 001;

E a todos aqueles que eu não citei, mas que torceram por mim e contribuíram com a minha formação, formal ou informalmente, o meu muito obrigada!

RESUMO

Os riachos de cabeceira abrigam uma grande biodiversidade de organismos aquáticos. As assembleias aquáticas são estruturadas por fatores espaciais e ambientais. Através do entendimento das relações entre, estes fatores e a biodiversidade, é possível prever a distribuição de organismos e apontar áreas de alta diversidade e endemismo, permitindo a descoberta de novas áreas de preservação. Nesse contexto, o objetivo geral desta dissertação foi avaliar a diversidade e distribuição de Ephemeroptera, verificando os fatores estruturadores das assembleias destes insetos em riachos de pequena ordem. Para isso, coletamos ninfas de Ephemeroptera e variáveis ambientais em 31 riachos pertencentes a nove microbacias na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul. Quantificamos a diversidade de gêneros e realizamos uma análise de partição da variância para avaliarmos a importância de fatores ambientais e espaciais na estruturação das assembleias de ninfas de Ephemeroptera. Coletamos um total de 8.632 larvas, distribuídos entre 5 famílias e 22 gêneros. Os gêneros *Americabaetis*, *Cloeodes* e *Tricorythopsis* foram abundantes e estavam presentes em todas as microbacias. Por outro lado, os gêneros *Campylocia*, *Cryptonympha*, *Ulmeritoides*, *Lepthohyphes* e *Tupiara* foram raros e estiveram presentes apenas em uma ou duas microbacias. Verificamos que 11% das assembleias de Ephemeroptera são estruturadas por fatores puramente ambientais, preferencialmente pela influência da vegetação ripária e pelas variáveis físicas e químicas da água. Nossos resultados contribuem para compreensão dos padrões estruturais das comunidades em riachos de cabeceira e revelam a importância dos diferentes tipos de vegetação ripária.

Palavras-chave: vegetação ripária, ambiente lótico, diversidade beta, dissimilaridade, dispersão.

ABSTRACT

The headwater streams are home to a great biodiversity of aquatic organisms. Aquatic assemblages are structured by spatial and environmental factors. By understanding the relationships between these factors and biodiversity, it is possible to predict the distribution of organisms and to point out areas of high diversity and endemism, allowing the discovery of new preservation areas. In this context, the general objective of this dissertation was to evaluate the diversity and distribution of Ephemeroptera, verifying the structuring factors of the assemblages of these insects in small streams. For this, we collected Ephemeroptera nymphs and environmental variables in 31 streams belonging to nine micro-basins in the Campos de Cima da Serra region, in the northeast of Rio Grande do Sul. We quantified the diversity of genera and performed a partition analysis of variance to evaluate the importance of environmental and spatial factors in the structuring of assemblages of Ephemeroptera nymphs. We collected a total of 8,632 larvae, distributed among 5 families and 22 genera. The genera *Americabaetis*, *Cloeodes* and *Tricorythopsis* were abundant and were present in all microbasins. On the other hand, the genera *Campylocia*, *Cryptonympha*, *Ulmeritoides*, *Lepthohyphes* and *Tupiara* were rare and were present only in one or two microbasins. We found that 11% of the Ephemeroptera assemblages are structured by purely environmental factors, preferably due to the influence of riparian vegetation and the physical and chemical variables of the water. Our results contribute to an understanding of the structural patterns of communities in headwater streams and reveal the importance of different types of riparian vegetation.

Keywords: riparian vegetation, lotic environment, beta diversity, dissimilarity, dispersal

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação segue o modelo proposto pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais e está dividida em três partes. A primeira seção contém a Introdução Geral, a qual abordará os aspectos conceituais sobre ecologia de riachos, fatores que estruturam as comunidades em ecossistemas aquáticos lóticos e as características biológicas e taxonômicas dos insetos da ordem Ephemeroptera, seguido pelos objetivos gerais deste estudo. Esta seção está formatada de acordo com as normas da ABNT (NBR 6023/2018, NBR 10520/2002). A segunda seção consiste em um manuscrito científico, contemplando a influência de fatores ambientais e espaciais sobre a estrutura de assembleias de Ephemeroptera. As principais conclusões foram que as assembleias de Ephemeroptera são estruturadas predominantemente por fatores ambientais (11%) relacionadas a vegetação ripária e as variáveis físicas e químicas da água. O manuscrito segue as normas de formatação da revista *Freshwater Biology* (Fator de impacto: 3.404). Por fim, a terceira seção do trabalho consiste em uma Conclusão Geral do estudo, apresentando considerações finais e perspectivas futuras.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1 ASPECTOS ECOLÓGICOS DE RIACHOS.....	12
1.2 FATORES QUE ESTRUTURAM AS COMUNIDADES EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS LÓTICOS.....	14
1.3 EPHEMEROPTERA: CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS, TAXONÔMICAS E FUNCIONAIS.....	17
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO 1 - Fatores estruturadores de comunidade, qual é o papel da vegetação ripária sobre as assembleias de Ephemeroptera?.....	27
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	31
2.2 VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	32
2.3 COLETA E IDENTIFICAÇÃO DOS ORGANISMOS.....	32
2.4 ANÁLISE DE DADOS.....	33
3 RESULTADOS.....	33
3.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	33
3.2 ASSEMBLEIA DE EPHEMEROPTERA.....	36
3.3 DISTRIBUIÇÃO DAS ASSEMBLEIAS E PARTIÇÃO DA VARIÂNCIA.....	38
4 DISCUSSÃO.....	41
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	45
CONCLUSÃO GERAL.....	50
ANEXO.....	52

LISTA DE FIGURAS

Introdução geral

Figura 1. Organização hierárquica dos sistemas fluviais, adaptado e extraído de Frissell et al. (1986).

Capítulo 1

Figura 1. Localização da área de estudo na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil.

Figura 2. Vegetação ripária da área de estudo na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. A – Riacho com vegetação campestre nas margens. B – Riacho com vegetação arbórea nas margens.

Figura 3. Boxplot com base na mediana da (A) abundância, (B) riqueza rarefeita dos gêneros Ephemeroptera nas nove bacias hidrográficas dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. As letras no eixo X representam as iniciais de cada uma das bacias hidrográficas. C = Cerquinha; D = Divisa; L= Lajeadozinho; M = Marcos; ML= Manuel Leão; P= Patos; SE= Sepultura; SR= Santa Rosa e T = Touros.

Figura 4. Diagrama de Venn representando a partição de variação na composição de gêneros de Ephemeroptera nos riachos explicada pelas variáveis ambientais, espaciais e efeitos compartilhados.

Figura 5. Análise de redundância (RDA) entre as variáveis ambientais os gêneros da ordem Ephemeroptera nos riachos na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Alt = altitude; Veg = vegetação; DO = oxigênio dissolvido; Cond = Condutividade elétrica; Tem = Temperatura da água; pH = potencial de Hidrogênio; Wid = largura do riacho; Vel = Velocidade de corrente; ame = *Americabaetis*; ask= *Askola*; bae = *Baetodes*; cam= *Camelobaetidius*; cloe = *Cloeodes*; far = *Farrodes*; par = *Paracloeodes*; thr = *Thraulodes*; trav = *Traverhyphes*; thr.1 = *Tricorythopsis*..

Figura 6. Relação entre dissimilaridade biológica com a dissimilaridade ambiental e dissimilaridade espacial. A e B - riachos com vegetação arbórea; C e D – riachos com vegetação campestre. Faixa cinza: IC 95%.

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Variáveis ambientais (média \pm erro padrão) das microbacias estudadas na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil.

Tabela 2. Resultados da *two-way* ANOVA das variáveis limnológicas com o tipo de vegetação ripária nas nove microbacias hidrográficas na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Valores em negrito indicam significância estatística ($p < 0,05$).

Tabela 3. Resultados da *two-way* ANOVA da abundância, riqueza rarefeita e riqueza com o tipo de vegetação ripária nas nove microbacias na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Valores em negrito indicam significância estatística ($p < 0,05$).

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Aspectos ecológicos de riachos

As bacias hidrográficas (BH), ou bacias de drenagem, são delimitadas através dos locais de maior elevação do relevo, onde as chuvas são direcionadas para um rio principal e seus afluentes (ALLAN; CASTILLO, 2007). A estrutura do relevo faz com que a água percorra a BH e tenha um fluxo unidirecional (VANNOTE et al., 1980). As bacias são constituídas por nascentes onde o curso d'água surge, por afluentes, onde os cursos se unem ao rio principal e são drenados, por confluências que conectam os canais, e pela foz, onde deságua no oceano ou em outro ecossistema aquático (CHRISTOFOLETTI, 1981). Cada bacia de drenagem possui características distintas dependentes dos locais onde estão inseridas, influenciadas pela geomorfologia, clima, solo e pelo fluxo d'água (CHRISTOFOLETTI, 1981; ALLAN; CASTILLO, 2007; THORP; THOMS; DELONG, 2006). As BH são sistemas abertos com várias conexões (WARD, 1989), possuem um perfil longitudinal que está relacionado à diferença de altitude entre nascente e foz, classificando seus trechos em alto curso ou montante, médio curso e baixo curso ou jusante (CHRISTOFOLETTI, 1981). Este perfil longitudinal apresenta um gradiente, que faz com que ao longo do curso d'água ocorram alterações na estrutura física (VANNOTE et al., 1980; THORP; THOMS; DELONG, 2006). Os corpos hídricos das BH também possuem conexões laterais (i.e. rio e vegetação ripária, planície de inundação) e verticais (i.e. rio e águas subterrâneas) (WARD, 1989). Todas estas características tornam os ambientes lóticos sistemas complexos com grande variabilidade abiótica e biótica.

As BH estão organizadas de forma hierárquica (FRISSELL et al., 1986; THORP, THOMS; DELONG, 2006). A dinâmica dessa hierarquia pode ser definida através das variações das diferentes escalas espaciais, temporais e processos históricos (DOLLAR et al., 2007; GURNELL et al., 2016). Os sistemas fluviais podem ser classificados hierarquicamente de diferentes maneiras (FRISSELL et al., 1986; DOLLAR et al., 2007; GURNELL et al., 2016). Com base em Frissel et al. (1986) (Figura 1), as BH são constituídas de cinco sistemas hierárquicos, sendo eles: (i) o sistema curso d'água, abrange o processo de captação de água em uma bacia de drenagem; (ii) o sistema de segmento, composto por rios e confluência que estão sobre o mesmo tipo de rocha; (iii) o sistema de trecho (alcance), definido por uma seção do comprimento do rio que varia de um metro ou dezenas de metros para rios de baixa ordem, até centenas de metros para rios de médio ou grande ordem; (iv) sistema poças/corredeiras, formado através das características como profundidade, padrões de velocidade d'água e

inclinação; e, (v) sistema de micro micro-habitats, ambientes homogêneos de menor escala espacial, possuindo unidades como aglomerado de folhas, rochas cobertas com perifíton ou outros substratos (FRISSELL et al., 1986).

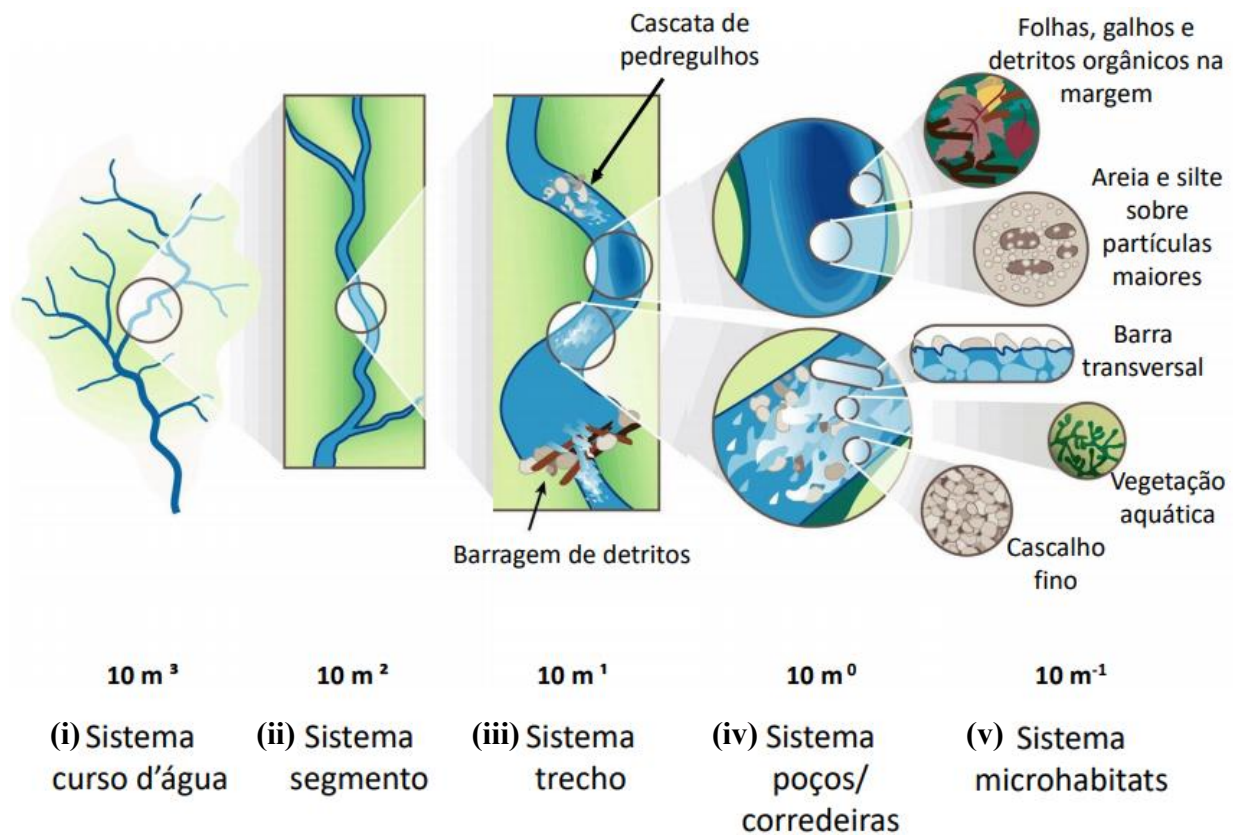


Figura 1. Organização hierárquica dos sistemas fluviais (adaptado de Frissell et al., 1986).

A maior porção de uma BH é composta por riachos de cabeceira (ALLAN; CASTILLO, 2007). Os riachos de cabeceira são aqueles onde originam-se as bacias hidrográficas, são compostos de nascentes e riachos de pequenas ordens. Os riachos de cabeceira operam no processamento da matéria orgânica (LOWE; LIKENS, 2005; GOMI; SIDLE; RICHARDSON, 2002) e atuam na quantidade e qualidade da água (ALEXANDER et al., 2007). São áreas de troca com o ambiente terrestre (LOWE; LIKENS, 2005), pois fornecem insumos energéticos que são captados nos fluxos a montante são disponibilizados para toda a rede de drenagem a jusante (O'HOP; WALLACE, 1983; ALEXANDER et al., 2007; LOWE; LIKENS, 2005; GOMI; SIDLE; RICHARDSON, 2002).

Assim, em função desta complexidade, os riachos de cabeceira comportam uma gama de funções ecológicas (CLARKE et al., 2008). Para os organismos, estes ambientes possuem características físicas e químicas únicas, áreas ricas em alimento, isolamento térmico, e são locais de baixa predação e competição interespecífica (MEYER et al., 2007; RICHARDSON,

2019). Estes atributos, fazem com que os riachos de cabeceira se tornem áreas de refúgio, desova e reprodução (MEYER et al., 2007; RICHARDSON, 2019).

1.2 Fatores que estruturam as comunidades em ecossistemas aquáticos lóticos

A estruturação das assembleias aquáticas ocorre através de características ambientais e espaciais existentes nos sistemas fluviais (LAMPERT; SOMMER, 2007) que variam de acordo com o nível de escala observado (SIEGLOCH et al., 2018). Os preditores ambientais são caracterizados por fatores biológicos e físicos que afetam a persistência do indivíduo no local, como: interações bióticas, variáveis físicas e químicas da água, substrato, quantidade e qualidade da matéria orgânica (LESZCZYŃSKA; GŁOWACKI; GRZYBKOWSKA, 2017). Em escala regional, a capacidade de dispersão das espécies é a principal característica com relação aos fatores espaciais como a distância entre ecossistemas, as barreiras geográficas e o sistema de drenagem dendrítico que estruturam as comunidades (GRANT, 2011; LESZCZYŃSKA; GŁOWACKI; GRZYBKOWSKA, 2017).

Dentre os fatores ambientais que atuam como estruturadores das comunidades biológicas, destacam-se as variáveis físicas e químicas da água (KŁONOWSKA-OLEJNIK; SKALSKI, 2014; LESZCZYŃSKA; GŁOWACKI; GRZYBKOWSKA, 2017). As variáveis físicas e químicas da água, atuam como preditoras definindo a presença ou ausência dos organismos (GREEN et al., 2019). Além disso, podem alterar características fisiológicas dos organismos, como o aumento da taxa metabólica e por consequência, a alteração de todo o ciclo de vida do indivíduo (SWEENEY; VANNOTE, 1978). Por exemplo, a alta temperatura da água e a variação do pH explicaram a emergência de insetos aquáticos em períodos diferentes, fora dos padrões normais da sazonalidade (VILENICA et al., 2017).

Os substratos dos sistemas lóticos também são considerados preditores ambientais. O substrato pode ser constituído por diferentes características granulométricas, detritos foliares ou sistemas rochosos e pedregosos (e.g. seixos ou matacões) (ALLAN; CASTILLO, 2007; LAMPERT; SOMMER, 2007). Essas características promovem maior ou menor estabilidade, dependendo do tamanho de partículas constituintes (KIKUCHI; UIEDA, 2005). Devido aos diferentes tipos de substratos, ocorre maior heterogeneidade e complexidade de habitats (KIKUCHI; UIEDA, 2005), e por consequência, isso influencia a composição dos organismos nos ambientes aquáticos (MILESI; DOLÉDEC; MELO, 2016; DOMÍNGUEZ et al., 2006).

Outro preditor ambiental para as comunidades aquáticas é a disponibilidade alimentar. A disponibilidade alimentar é derivada de várias fontes: detritos foliares oriundos da vegetação ripária, organismos presentes na coluna da água e aderidos à superfície dos

substratos rochosos (CUMMINS; KLUG, 1979; CUMMINS; MERRITT; ANDRADE, 2005). Desse modo, disponibilidade de alimento para os organismos aquáticos é influenciada, tanto pelo substrato (KIKUCHI; UIEDA, 2005), como pela vegetação ripária (GREGORY et al., 1991).

A vegetação ripária é um sistema responsável pela entrada de material orgânico nos riachos e também atua na proteção do ambiente, através da retenção do excesso de sedimento, evitando deslizamento de terra e o assoreamento dos rios (GREGORY et al., 1991; KUNTSCHIK; EDUARTE; UEHARA, 2011). Também auxilia a minimizar impactos da matriz circundante nas redes fluviais, agindo como uma zona tampão (REZENDE et al., 2014; WAHL; NEILS; HOOPER, 2013) influencia as características dos rios e conseqüentemente, o arranjo dos organismos (VANNOTE et al., 1980; REZENDE et al., 2014). Além disso, a vegetação ripária proporciona maior heterogeneidade de habitats no leito do riacho, gerando suprimento de alimento e abrigo aos organismos aquáticos (ONGARATTO et al., 2018). O estado de preservação da vegetação ripária, influencia as características do habitat, como largura do riacho, tipo de substrato e abrigo para os organismos, o que exerce influência sobre a estrutura da fauna (MELO; ONO; UIEDA, 2020). Variações na estrutura das diferentes subordens de Odonata (Anisoptera e Zygoptera), estavam relacionadas a integridade do habitat, que por sua vez eram fortemente influenciadas pela estrutura física da vegetação ripária existente nas margens dos riachos (OLIVEIRA-JUNIOR; JUEN, 2019).

O espaço como fator estruturador na organização das assembleias aquáticas é vinculado à organização populacional, ao espaçamento e a densidade dos indivíduos (ODUM; GARY, 2007). A estruturação dos organismos atribuída ao espaço, segue o preceito da teoria neutra de Stephen P. Hubbell de 2001, baseada no processo de limitação da dispersão dos organismos no espaço geográfico. Portanto, consideramos a distância geográfica como um fator estruturante espacial e o principal motivo no decaimento da similaridade com a distância (NEKOLA; WHITE, 1999). Conforme a distância geográfica entre áreas é gradualmente aumentada, a similaridade da composição das comunidades decai (NEKOLA; WHITE, 1999; MYKRÄ; HEINO; MUOTKA, 2007; MALONEY; MUNGUIA, 2011; ASTORGA et al., 2012; HEPP; MELO, 2013). Esta relação de decaimento está atribuída a limitação da dispersão, o aumento das diferenças ambientais e a largura de nicho (NEKOLA; WHITE, 1999). Deste modo, a autocorrelação espacial em áreas próximas está associada as semelhanças ambientais (MYKRÄ; HEINO; MUOTKA, 2007; MALONEY; MUNGUIA, 2011). O decaimento da similaridade com a distância pode ser avaliado em diferentes escalas, utilizando a distância geográfica ou gradientes ambientais (MALONEY; MUNGUIA, 2011).

As barreiras geográficas e os sistemas fluviais dendríticos, também são considerados estruturantes das comunidades. As barreiras geográficas podem ser de origem natural ou antrópica, elas reduzem os corredores de migração afetando a capacidade de dispersão, além de limitar o fluxo gênico, reduzindo a troca de alelos e a capacidade de persistência de uma população em determinado local (BILTON; FREELAND; OKAMURA, 2001; BOHONAK; JENKINS, 2003). Distâncias e barreiras geográficas podem ser superadas pela fase de voo de alguns insetos aquáticos (KOVATS; CIBOROWSKI; CORKUM, 1996). Os sistemas fluviais dendríticos estruturam as comunidades através da conectividade entre os riachos, o que possibilita a presença de dispersores ativos com baixa capacidade de dispersão (CLARKE et al., 2010). Em vista disso, a dispersão tem o papel de regular a intensidade de como os fatores espaciais e ambientais operam nas comunidades (HEINO, 2013).

A capacidade de dispersão das espécies possibilita a fuga de ambientes inapropriados e a busca de novos habitats para o seu desenvolvimento (LESZCZYŃSKA; GŁOWACKI; GRZYBKOWSKA, 2017). Invertebrados aquáticos possuem diferentes capacidades de mobilidade dependentes ou não do seu estágio de desenvolvimento (e.g. ovos, larvas ou adultos) (HEINO, 2013), podendo-se dispersar de forma ativa ou passiva (BILTON; FREELAND; OKAMURA, 2001). A dispersão ativa, é aquela gerada pelo indivíduo, e a passiva que é gerada por um agente externo (BILTON; FREELAND; OKAMURA, 2001). A dispersão ativa de táxons com alta capacidade de mobilidade é controlada por fatores ambientais, enquanto que dispersores ativos com baixa capacidade de mobilidade são controlados por fatores espaciais (HEINO, 2013). Desse modo, os processos de dispersão auxiliam a manutenção da biodiversidade, através da colonização, recolonização, do fluxo gênico e divergência evolutiva (BILTON; FREELAND; OKAMURA, 2001; ELLIOTT, 2003).

Perante ao exposto, diversos estudos buscam explicar de qual maneira e intensidade os fatores estruturadores operam sobre as diferentes assembleias aquáticas (MYKRÄ; HEINO; MUOTKA, 2007; COSTA; BRANCO; BISPO, 2014). Mykrä, Heino e Muotka (2007), concluíram que a estruturação de invertebrados aquáticos foi atribuída à influência da estrutura espacial e a importância dos gradientes ambientais locais, que aumentaram com a diminuição da extensão espacial. Ao estudar o efeito da configuração espacial e os fatores ambientais sobre diferentes assembleias de insetos aquáticos, Heino e Mykrä (2008) observaram que apenas os fatores ambientais explicaram a estrutura das assembleias.

Para as assembleias de Odonatas, Oliveira-Junior et al. (2019) observaram que a estrutura da comunidade estava correlacionada aos fatores ambientais, locais e regionais.

Landeiro et al., (2012) ao estudar a Ordem Trichoptera em três regiões distintas, observaram que a estrutura das assembleias foi melhor explicada por descritores ambientais, embora que quando presente, a fração espacial era muito baixa. Costa; Branco e Bispo, (2014) avaliaram a influência dos fatores ambientais e espaciais em assembleias de Ephemeroptera e observaram, que grande parte da abundância foi explicada pelos processos espaciais. Ao contrário do observado por Shimano et al., (2013) onde, a estruturação das assembleias de Ephemeroptera foi atribuída aos fatores ambientais. Outro estudo com Ephemeroptera, demonstrou que o fluxo da correnteza, tipo de substrato, vegetação, temperatura, pH e a concentração de fosfato foram os preditores ambientais que influenciaram na estrutura das assembleias de Ephemeroptera, alterando a composição das assembleias no decorrer das estações do ano (KŁONOWSKA-OLEJNIK; SKALSKI, 2014).

1.3 Ephemeroptera: características biológicas, taxonômicas e funcionais

A ordem Ephemeroptera Hyatt & Arms, 1891 é considerada o grupo de organismos de linhagem basal dos insetos, filogeneticamente grupo irmão de Odonata, ambos unidos no grupo Paleoptera (MISOF et al., 2014). Os registros fósseis de Ephemeroptera datam entre o período do Carbonífero e Permiano (SARTORI; BRITAIN, 2015; WANG et al., 2019). Ephemeroptera são encontrados em regiões de todo mundo com exceção na Antártida e em algumas ilhas oceânicas (JACOBUS; MACADAM; SARTORI, 2019) e existem aproximadamente 350 gêneros e 3500 espécies descritas (SARTORI; BRITAIN, 2015). O Brasil abriga 10 famílias de Ephemeroptera, com endemismo da família Melanemerellidae (SALLES et al., 2004), 82 gêneros e 410 espécies descritas (SALLES; BOLDRINI, 2020). Para o Rio Grande do Sul são registradas sete famílias, sendo elas Baetidae, Caenidae, Euthyplociidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Polymitarcyidae (FIORENTIN et al., 2005,) e Ephemeridae (RAIMUNDI & FREITAS, 2019).

Os Ephemeroptera possuem ampla distribuição nos ecossistemas aquáticos (DOMÍNGUEZ et al., 2009). Essa ordem é sensível aos impactos ambientais, e por isso é reconhecida com um bioindicador da qualidade da água (CALLISTO et al., 2001; GOULART e CALLISTO, 2003). Além disso, possuem elevada importância ecológica nesses ecossistemas, através da participação na cadeia trófica, ciclagem de nutrientes e bioturbação (JACOBUS, MACADAM; SARTORI, 2019; DOMÍNGUEZ et al., 2009). Para os humanos as Efêmeras são utilizadas como alimento (MACADAM; STOCKAN, 2017), organismo modelo para laboratórios (STRUEWING et al., 2015), e organismos de onde se extraem quitosana, composto antitumoral (TAN et al., 2018).

A identificação taxonômica para as ninfas de Ephemeroptera á nível de gênero, ocorre através de diferentes características morfológicas. As principais são as estruturas do aparelho bucal, o formato das brânquias, a presença ou ausência das brânquias operculares e as variações estruturais encontradas nos cinco segmentos das pernas (coxa, trocânter, fêmur, tíbia e tarso) (DOMÍNGUEZ et al., 2006).

O ciclo de vida de Ephemeroptera apresenta três estágios: ninfa, adulto (subimago e imago) (SARTORI; BRITAIN, 2015). A forma imatura vive em ambientes aquáticos dulcícolas e a duração dos estádios ninfais é relativa em cada grupo, varia de 3 semanas a 2 anos e meio (BRITAIN, 1982). Quando ocorre a ultima muda na ninfa, a ninfa sai da água e torna-se subimago, nesse estágio, os contornos das asas e cercos possuem microcerdas, as efêmeras possuem asas funcionais e a genitália não está desenvolvida (BISPO; CRICI-BISPO, 2006). A fase adulta dos Ephemeroptera restringe-se a à dispersão e reprodução, devido ao breve tempo de vida, que varia entre horas ou dias (SARTORI; BRITAIN, 2015). As peças bucais são vestigiais e por isso não se alimentam (MUGNAI et al., 2010). Com a genitália desenvolvida, ocorre o voo nupcial que se dá acima do leito do rio e nas margens, seguida da rápida cópula (DOMÍNGUEZ et al., 2009).

A maioria dos Ephemeroptera se reproduzem de forma sexuada, mas algumas espécies podem se reproduzir através de partenogênese espontânea, partenogênese facultativa (anfítoca) ou obrigatória (telítoca) (FUNK; SWEENEY; JACKSON, 2010; LIEGEOIS; SARTORI; SCHWANDER, 2019). A deposição dos ovos ocorre de diversas maneiras, através das ovas depositadas em água, uma a uma (Famílias Ephemeridae, Heptageniidae e Leptophlebiidae), ou em um aglomerado (gêneros *Ephemerella*, *Siphonurus* e *Centroptilum*), ou aderidas em algum substrato dentro da água (gênero *Baetis*) (BRITAIN, 1982; DOMÍNGUEZ et al., 2009).

A dispersão das náíades de Ephemeroptera ocorre através da deriva, e da forma ativa a montante, sua movimentação ocorre principalmente no período da noite (ELLIOTT, 2002; ELLIOTT, 2003). Ao estudar a capacidade de dispersão de espécies aquáticas, Elliott (2003) registrou para espécimes de *Baetis rhodani* a distância máxima percorrida de 6 m; para *Ecdyonurus venosus* a distância de 7 m, e *Rhithrogena semicolorata*, a distância máxima diária de 8 m, todas as espécies se movimentaram a montante. A dispersão dos adultos de Ephemeroptera, da forma ativa, ocorre através do voo (LAVANDIER, 1982; KOVATS; CIBOROWSKI; CORKUM, 1996), geralmente para a deposição das ovas e para o processo de acasalamento (BRITAIN, 1982). A dispersão a montante sugere uma relação de compensação da deriva a jusante (MÜLLER, 1954). Um estudo com o gênero *Baetis* e a

utilização de isótopos estáveis, Hershey et al., (1993) registraram a dispersão através do voo, de 1,6 a 1,9 km a montante do local de emergência (HERSHEY et al., 1993). Para Ephemeroptera adultos, a dispersão de forma passiva pode ocorrer através do vento (KOVATS; CIBOROWSKI; CORKUM, 1996) ou através da influência humana (SALLES et al. 2014). Kovats, Ciborowski e Corkum (1996) sugerem que o vento está associado a distância percorrida, superior a 5 km para o gênero *Hexagenia*. Salles et al. (2014) registraram a presença de *Cloeon smaeleni* no Brasil, espécie oriunda da África do Sul que possivelmente se dispersou através dos navios. Outros estudos também relatam alta capacidade de dispersão para os adultos de Ephemeroptera (SCHMIDT; HUGHES; BUNN, 1995; MONAGHAN, 2002).

Insetos aquáticos, são amplamente utilizados em estudos sobre a influência de fatores ambientais e espaciais (HEINO; MYKRÄ, 2008; HEPP; MELO, 2013; GALBRAITH; VAUGHN; MEIER, 2008; LANDEIRO; BINI; MELO; PES; MAGNUSSON, 2012). Investigar quais fatores, e como os fatores, podem afetar ou beneficiar os Ephemeroptera é necessário, uma vez que diferentes gêneros respondem de maneiras diferentes, as condições do ambiente (DOMÍNGUEZ et al., 2006). Através do entendimento das relações entre, as variáveis ambientais e a biodiversidade, é possível prever a distribuição de organismos e apontar áreas de alta diversidade e endemismo, permitindo a descoberta de novas áreas de preservação. Além do mais, no estado do Rio Grande do Sul, estudos com a ordem Ephemeroptera ainda são escassos (SHIMANO; SALLES; JUEN, 2013). Deste modo, compreender as diferentes influências sobre assembleias de Ephemeroptera, pode auxiliar e diminuir a perda da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos realizados pelo grupo (JACOBUS; MACADAM; SARTORI, 2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação foi avaliar a diversidade e distribuição de Ephemeroptera, verificando os fatores estruturadores das assembleias de larvas em riachos de altitude na região dos Campos de Cima da Serra, no noroeste do Rio Grande do Sul.

2.2 Objetivos específicos

- (i) Quantificar os gêneros de Ephemeroptera ocorrentes nos riachos da região em estudo;
- (ii) Avaliar a influência de fatores ambientais e espaciais na estruturação das assembleias de larvas de Ephemeroptera;
- (iii) Identificar quais variáveis ambientais são mais importantes na determinação da estrutura das assembleias de Ephemeroptera.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, R. B. *et al.* The role of headwater streams in downstream water quality. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 1, p. 41-59, 2007.
- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. **Stream ecology: structure and function of running waters**. Springer Science & Business Media, 2007.
- ASTORGA, A. *et al.* Distance decay of similarity in freshwater communities: do macro-and microorganisms follow the same rules?. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 3, p. 365-375, 2012.
- BILTON, D. T.; FREELAND, J. R.; OKAMURA, B. Dispersal in freshwater invertebrates. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 32, n. 1, p. 159-181, 2001.
- BISPO, P. C. & CRICI-BISPO, V. L. Ephemeroptera. In: COSTA C., IDE S., & SIMONKA, E. E. (Eds.) **Insetos Imaturos. Metamorfose e Identificação**. São Paulo. Holos Editora. p. 55-56, 2006.
- BOHONAK, A. J.; JENKINS, D. G. Ecological and evolutionary significance of dispersal by freshwater invertebrates. **Ecology Letters**, v. 6, n. 8, p. 783-796, 2003.
- BRITTAIN, J. E. Biology of mayflies. **Annual Review of Entomology**, v. 27, n. 1, p. 119-147, 1982.
- CALLISTO, M. *et al.* Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1981) **Geomorfologia Fluvial**. Vol. 1, São Paulo. Editora: Edgard Blücher, p. 314.
- CLARKE, A. *et al.* Conserving macroinvertebrate diversity in headwater streams: the importance of knowing the relative contributions of α and β diversity. **Diversity and Distributions**, v. 16, n. 5, p. 725-736, 2010.
- CLARKE, A. *et al.* Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. **Freshwater Biology**, v. 53, n. 9, p. 1707-1721, 2008.
- COSTA, L. S. M.; BRANCO, C. C. Z.; BISPO, P. C. O papel dos fatores ambientais e espaciais sobre a fauna de Ephemeroptera (Insecta) em riachos de mata atlântica. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 2, p. 86-92, 2014.
- CUMMINS, K. W.; KLUG, M. J. Feeding ecology of stream invertebrates. **Annual Review of Ecology And Systematics**, v. 10, n. 1, p. 147-172, 1979.
- CUMMINS, K. W.; MERRITT, R.W.; ANDRADE, P. C. N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, n. 1, p. 69-89, 2005.

- DOLLAR, E. S. J. *et al.* A framework for interdisciplinary understanding of rivers as ecosystems. **Geomorphology**, v. 89, n. 1-2, p. 147-162, 2007.
- DOMÍNGUEZ, E. (2006) **Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America (ABLA)**. Vol. 2, Pensoft, Sofia-Moscow, p. 646.
- DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; NIETO, C. Ephemeroptera *In*: DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H. R. **Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología**. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, p.55-94, 2009.
- DUDGEON, D. The influence of riparian vegetation on the functional organization of four Hong Kong stream communities. **Hydrobiologia**, v. 179, n. 3, p. 183-194, 1989.
- ELLIOTT, J. M. A comparative study of the dispersal of 10 species of stream invertebrates. **Freshwater Biology**, v. 48, n. 9, p. 1652-1668, 2003.
- ELLIOTT, J. M. A quantitative study of day–night changes in the spatial distribution of insects in a stony stream. **Journal of Animal Ecology**, v. 71, n. 1, p. 112-122, 2002.
- FIorentin, G. L. *et al.* Caracterização morfológica de náíades de Ephemeroptera, com chave para famílias ocorrentes no Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Biologica**, 2005.
- FRISSELL, C. A. *et al.* A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. **Environmental Management**, v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.
- FUNK, D. H.; SWEENEY, B.W.; JACKSON, J. K. Why stream mayflies can reproduce without males but remain bisexual: a case of lost genetic variation. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 4, p. 1258-1266, 2010.
- GOMI, T.; SIDLE, R. C.; RICHARDSON, J. S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems: headwaters differ from downstream reaches by their close coupling to hillslope processes, more temporal and spatial variation, and their need for different means of protection from land use. **BioScience**, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002.
- GOULART, M. D.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.
- GRANT, E. H. C. Structural complexity, movement bias, and metapopulation extinction risk in dendritic ecological networks. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 30, n. 1, p. 252-258, 2011.
- GREEN, M. W. *et al.* Mesohabitat current velocity effects on *Didymosphenia geminata* and macroinvertebrates in a SE USA hypolimnetic tailwater. **Aquatic Ecology**, v. 53, n. 4, p. 607-628, 2019.
- GREGORY, S. V. *et al.* An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, v. 41, n. 8, p. 540-551, 1991.
- GURNELL, A. M. *et al.* A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. **Aquatic Sciences**, v. 78, n. 1, p. 1-16, 2016.

- HEINO, J. Does dispersal ability affect the relative importance of environmental control and spatial structuring of littoral macroinvertebrate communities?. **Oecologia**, v. 171, n. 4, p. 971-980, 2013.
- HEINO, J.; MYKRÄ, H. Control of stream insect assemblages: roles of spatial configuration and local environmental factors. **Ecological Entomology**, v. 33, n. 5, p. 614-622, 2008.
- HEPP, L. U.; MELO, A. S. Dissimilarity of stream insect assemblages: effects of multiple scales and spatial distances. **Hydrobiologia**, v. 703, n. 1, p. 239-246, 2013.
- HERSHEY, A. E. *et al.* Stable isotopes resolve the drift paradox for Baetis mayflies in an arctic river. **Ecology**, v. 74, n. 8, p. 2315-2325, 1993.
- HUBBELL, S. P. **The unified neutral theory of biodiversity and biogeography**. Princeton University Press, 2001.
- JACOBUS, L. M.; MACADAM, C. R.; SARTORI, M. Mayflies (Ephemeroptera) and their contributions to ecosystem services. **Insects**, v. 10, n. 6, p. 170, 2019.
- KIKUCHI, R. M.; UIEDA, V. S. Composição e distribuição dos macroinvertebrados em diferentes substratos de fundo de um riacho no município de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Entomologia y Vectores**, v. 12, n. 2, p. 193-231, 2005.
- KŁONOWSKA-OLEJNIK, M.; SKALSKI, T. The effect of environmental factors on the mayfly communities of headwater streams in the Pieniny Mountains (West Carpathians). **Biologia**, v. 69, n. 4, p. 498-507, 2014.
- KOVATS, Z.; CIBOROWSKI, J.; CORKUM, L. Inland dispersal of adult aquatic insects. **Freshwater Biology**, v. 36, n. 2, p. 265-276, 1996.
- KUNTSCHIK, D. P.; EDUARTE, M.; UEHARA, T. H. K. **Matas ciliares**. SMA, 2011.
- LAMPERT, W.; SOMMER, U. **Limnoecology: The ecology of lakes and streams**. Oxford university press, 2007.
- LANDEIRO, V. L. *et al.* The roles of dispersal limitation and environmental conditions in controlling caddisfly (Trichoptera) assemblages. **Freshwater Biology**, v. 57, n.8, p. 1554-1564, 2012.
- LAVANDIER, P. Evidence of upstream migration by female adults of Baetis alpinus Pict. (Ephemeroptera) at high altitude in the Pyrenees. *In: Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. EDP Sciences, 1982. p. 55-59.
- LESZCZYŃSKA, J.; GŁOWACKI, Ł.; GRZYBKOWSKA, M. Factors shaping species richness and biodiversity of riverine macroinvertebrate assemblages at the local and regional scale. **Community Ecology**, v. 18, n. 3, p. 227-236, 2017.
- LIEGEOIS, M.; SARTORI, M.; SCHWANDER, T. Extremely widespread parthenogenesis and a trade-off between alternative forms of reproduction in mayflies (Ephemeroptera). **BioRxiv**, p. 841122, 2019.
- LOWE, W. H.; LIKENS, G. E. Moving headwater streams to the head of the

- class. **BioScience**, v. 55, n. 3, p. 196-197, 2005.
- MACADAM, C. R.; STOCKAN, J. A. The diversity of aquatic insects used as human food. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n. 3, p. 203-209, 2017.
- MALONEY, K. O.; MUNGUIA, P. Distance decay of similarity in temperate aquatic communities: effects of environmental transition zones, distance measure, and life histories. **Ecography**, v. 34, n. 2, p. 287-295, 2011.
- MELO, A. L. U.; ONO, E. R.; UIEDA, V. S. Benthic invertebrate communities structure in headwater streams with different states of the riparian vegetation conservation. **Community Ecology**, p. 1-11, 2020.
- MEYER, J. L. *et al.* The Contribution of headwater streams to biodiversity in river networks 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 1, p. 86-103, 2007.
- MILESI, S. V.; DOLÉDEC, S.; MELO, A. S. Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. **Freshwater Science**, v. 35, n. 4, p. 1321-1329, 2016.
- MISOF, B. *et al.* Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. **Science**, v. 346, n. 6210, p. 763-767, 2014.
- MONAGHAN, M. T. *et al.* Population genetic structure of 3 alpine stream insects: influences of gene flow, demographics, and habitat fragmentation. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 21, n. 1, p. 114-131, 2002.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro: para atividades técnicas, de ensino e treinamento em programas de avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas lóticos**. Technical Books Editora, 2010.
- MÜLLER, K. Investigations on the organic drift in North Swedish streams. **Report of the Institute of Freshwater Research, Drottningholm**, v. 35, p. 133-148, 1954.
- MYKRÄ, H.; HEINO, J.; MUOTKA, T. Scale-related patterns in the spatial and environmental components of stream macroinvertebrate assemblage variation. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 2, p. 149-159, 2007.
- NEKOLA, J. C.; WHITE, P. S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. **Journal of Biogeography**, v. 26, n. 4, p. 867-878, 1999.
- ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **O ecossistema. Fundamentos de ecologia**. Thomson Learning, São Paulo, p 177-280. 2007.
- O'HOP, J.; WALLACE, J. B. Invertebrate drift, discharge, and sediment relations in a southern Appalachian headwater stream. **Hydrobiologia**, v. 98, n. 1, p. 71-84, 1983.
- OLIVEIRA-JUNIOR, J. J. M. B. *et al.* The Response of Neotropical Dragonflies (Insecta: Odonata) to Local and Regional Abiotic Factors in Small Streams of the Amazon. **Insects**, v. 10, n. 12, p. 446, 2019.

- OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; JUEN, L. The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): A new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. **Neotropical Entomology**, v.48, n.4, p. 552-560, 2019.
- RAIMUNDI, E. A.; FREITAS, T. R. O. First record of Ephemeridae (Insecta, Ephemeroptera) from Rio Grande do Sul and its rediscover from South of Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences** (2019), v.14, n.2, p. 151-155, 2019.
- REZENDE, R. S. *et al.* Effects of spatial and environmental factors on benthic a macroinvertebrate community. **Zoologia (Curitiba)**, v. 31, n. 5, p. 426-434, 2014.
- RICHARDSON, J. S. Biological diversity in headwater streams. **Water**, v. 11, n. 2, p. 366, 2019.
- SALLES F. F.; BOLDRINI R. Ephemeroptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/122>>. Acesso em: 13 Abr. 2020.
- SALLES, F. F. *et al.* As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil. **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. 1-34, 2004.
- SALLES, F. F. *et al.* Discovery of an alien species of mayfly in South America (Ephemeroptera). **ZooKeys**, n. 399, p. 1, 2014.
- SARTORI, M.; BRITAIN, J.E. Order Ephemeroptera. *In: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*. Academic Press, 2015. p. 873-891.
- SCHMIDT, S. K.; HUGHES, J. M.; BUNN, S. E. Gene flow among conspecific populations of Baetis sp. (Ephemeroptera): adult flight and larval drift. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 14, n. 1, p. 147-157, 1995.
- SHIMANO, Y. *et al.* Environmental and spatial processes determining Ephemeroptera (Insecta) structures in tropical streams. *In: Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. EDP Sciences, p. 31-41, 2013.
- SHIMANO, Y.; SALLES, F. F.; JUEN, L. Study of the mayfly order Ephemeroptera (Insecta) in Brazil: a scienciometric review. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 4, p. 359-364, 2013.
- SIEGLOCH, A. E. *et al.* Local and regional effects structuring aquatic insect assemblages at multiple spatial scales in a Mainland-Island region of the Atlantic Forest. **Hydrobiologia**, v. 805, n. 1, p. 61-73, 2018.
- STRUEWING, K. A. *et al.* Part 2: Sensitivity comparisons of the mayfly *Centroptilum triangulifer* to *Ceriodaphnia dubia* and *Daphnia magna* using standard reference toxicants; NaCl, KCl and CuSO₄. **Chemosphere**, v. 139, p. 597-603, 2015.
- SWEENEY, B. W.; VANNOTE, R. L. Size variation and the distribution of hemimetabolous aquatic insects: two thermal equilibrium hypotheses. **Science**, v. 200, n. 4340, p. 444-446, 1978.
- TAN, G. *et al.* Antitumor activity of chitosan from mayfly with comparison to commercially

- available low, medium and high molecular weight chitosans. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal**, v. 54, n. 5, p. 366-374, 2018.
- THORP, J. H.; THOMS, M. C.; DELONG, M. D. The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time. **River Research and Applications**, v. 22, n. 2, p. 123-147, 2006.
- VANNOTE, R. L. *et al.* The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.
- VILENICA, M. *et al.* Mayfly emergence along an oligotrophic Dinaric karst hydrosystem: spatial and temporal patterns, and species–environment relationship. **Aquatic Ecology**, v. 51, n. 3, p. 417-433, 2017.
- WAHL, C. M.; NEILS, A.; HOOPER, D. Impacts of land use at the catchment scale constrain the habitat benefits of stream riparian buffers. **Freshwater Biology**, v. 58, n. 11, p. 2310-2324, 2013.
- WANG, M. *et al.* Ephemeroptera–Mayflies. **Rhythms of Insect Evolution: Evidence from the Jurassic and Cretaceous in Northern China**, p. 51-61, 2019.
- WARD, J. V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, n. 1, p. 2-8, 1989.

CAPÍTULO 1

Fatores estruturadores de comunidade: qual é o papel da vegetação ripária sobre as assembleias de Ephemeroptera?

Alien Mavi Fontoura Frantz¹, Edélti Faria Albertoni¹ & Luiz Ubiratan Hepp^{1,2}

¹Instituto de Ciências Biológicas – ICB, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Avenida Itália, Km 8, Rio Grande, 96203-900, RS, Brasil

²Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI, Erechim, 99709-910, RS, Brasil

E-mail para correspondência: mavifrantz@hotmail.com

Resumo

1. Os ambientes lóticos abrigam uma grande biodiversidade de Ephemeroptera, os quais são amplamente distribuídos no mundo e possuem grande importância ecológica. A diversidade e distribuição desses organismos é influenciada por fatores ambientais e espaciais. Porém, a contribuição desses fatores pode diferir dependendo dos diferentes preditores que mediam a estruturação das assembleias.
2. Deste modo, examinamos a contribuição dos fatores ambientais e espaciais na estruturação das assembleias de Ephemeroptera em riachos. Buscamos compreender os efeitos das características limnológicas dos riachos, a estrutura da vegetação ripária a distância geográfica sobre a distribuição das assembleias de Ephemeroptera.
3. Selecionamos 31 riachos pertencentes a 9 microbacias no sul do Brasil. Coletamos as larvas de Ephemeroptera e mensuramos variáveis ambientais em riachos com estruturas de vegetação ripária distintas (i.e. arbórea ou campestre). Realizamos uma partição da variância para avaliar a contribuição de fatores ambientais e espaciais na estruturação das assembleias. Avaliamos a variação das variáveis ambientais e dos atributos da comunidade entre as microbacias e tipos de vegetação ripária. Por fim, testamos a dissimilaridade ambiental e espacial sobre a dissimilaridade biológica.
4. Nossos resultados revelaram que a maior contribuição para estruturação das assembleias de Ephemeroptera foi atribuída aos fatores ambientais, especialmente o tipo de estrutura da vegetação ripária. A abundância de organismos Ephemeroptera variaram em função do tipo de vegetação. Em adição, estrutura da vegetação ripária dos riachos influenciou a dissimilaridade biológica das assembleias.
5. Diante disso, concluímos a importância dos fatores ambientais para a estruturação das assembleias de Ephemeroptera, reiterando a relevância da estrutura da vegetação ripária (arbórea e campestre) na variabilidade da composição biológica entre riachos e microbacias.

Palavras-chave: Dissimilaridade biológica, ambiente lótico, diversidade beta, dispersão.

1 INTRODUÇÃO

Os riachos de cabeceira abrigam grande biodiversidade e uma gama de funções ecológicas (Clarke, Mac Nally, Bond & Lake, 2008; Meyer, Strayer, Wallace, Eggert, Helfman & Leonard, 2007; Richardson, 2019). Nestes ambientes, as comunidades aquáticas são estruturadas por fatores ambientais e espaciais (Heino, Louhi & Muotka, 2004; Mykrä, Heino & Muotka, 2007). Os fatores ambientais são aqueles que afetam a permanência o indivíduo, como as variáveis físicas e químicas da água, substrato, matéria orgânica, recurso alimentar (Leszczyńska, Głowacki & Grzybkowska, 2017), interações bióticas (Hellmann, Winkelmann, Worischka & Benndorf, 2011; Mcintosh, Peckarsky, & Taylor, 2002) e a vegetação ripária (Rios & Bailey, 2006).

A vegetação ripária pode influenciar outros preditores ambientais e conseqüentemente, o arranjo dos organismos (Vannote, Minshall, Cummins, Sedell & Cushing, 1980; Rezende, Santos, Henke-Oliveira & Gonçalves, 2014). A vegetação arbórea nas margens dos riachos proporciona maior sombreamento no leito do riacho o que reduz a produção autotrófica (Vannote, Minshall, Cummins, Sedell & Cushing, 1980). Quando a vegetação ripária não gera sombreamento no leito do riacho, possibilita maior entrada da radiação solar que conseqüentemente favorece a produção primária e o equilíbrio térmico (Gregory, Swanson & Cummins, 1991). Neste contexto, temperatura d'água e disponibilidade alimentar são influenciadas pela vegetação ripária. Além do mais, vegetação ripária proporciona abrigo, suprimento alimentar aos organismos, heterogeneidade de habitats (Ongaratto, Loureiro, Restello & Hepp, 2018) e também atua na proteção dos riachos (Gregory, Swanson & Cummins, 1991).

Os fatores espaciais, como a distância entre ecossistemas e barreiras geográficas estruturam as comunidades e estão ligados a capacidade de dispersão dos indivíduos (Leszczyńska, Głowacki & Grzybkowska, 2017). Assim, a dissimilaridade de uma comunidade pode estar relacionada ao aumento da distância geográfica entre áreas (Astorga, Oksanen, Luoto, Soininen, Virtanen & Muotka, 2012; Hepp & Melo, 2013; Maloney & Munguia, 2011; Nekola & White, 1999) e as limitações impostas pelas barreiras geográficas (Bilton, Freeland & Okamura, 2001). Portanto, quando a distância geográfica entre áreas é gradualmente aumentada, a similaridade da composição das comunidades decai (Maloney & Munguia, 2011; Nekola & White, 1999).

Estudos anteriores buscaram compreender de que maneira e intensidade os fatores ambientais e espaciais operam sobre as assembleias aquáticas (Astorga, Oksanen, Luoto, Soininen, Virtanen & Muotka, 2012; Maloney & Munguia, 2011; Heino & Mykrä, 2008;

Oliveira-Junior & Juen, 2019; Ongaratto, Loureiro, Restello & Hepp, 2018). Enquanto, alguns estudos defendem a predominância de fatores ambientais na estruturação das comunidades aquáticas (Heino & Mykrä, 2008; Shimano, Juen, Salles, Nogueira e Cabette, 2013; Oliveira-Junior & Juen, 2019) outros estudos, observaram que fatores espaciais também determinam a variação nas comunidades (Costa; Branco & Bispo, 2014; Astorga, Oksanen, Luoto, Soininen, Virtanen & Muotka, 2012; Hepp & Melo, 2013; Maloney & Munguia, 2011). Desse modo, a contribuição de preditores ambientais e espaciais, variam para cada assembléia estudada (Costa; Branco & Bispo, 2014; Shimano, Juen, Salles, Nogueira e Cabette, 2013). Ao estudar o efeito da configuração espacial e os fatores ambientais sobre diferentes assembleias de insetos aquáticos, Heino e Mykrä (2008) observaram que apenas os fatores ambientais explicaram a estrutura das assembleias. Para Ephemeroptera, Costa; Branco e Bispo (2014) observaram, que grande parte da abundância das assembleias foi explicada por processos espaciais. Ao contrário do observado por Shimano, Juen, Salles, Nogueira e Cabette (2013) onde, a estruturação das assembleias de Ephemeroptera foi atribuída aos fatores ambientais.

Insetos aquáticos são amplamente utilizados em estudos sobre a influência de fatores ambientais e espaciais (Heino & Mykrä, 2008; Rios & Bailey, 2006; Oliveira-Junior & Juen, 2019; Galbraith, Vaughn & Meier, 2008; Landeiro, Bini, Melo, Pes & Magnusson, 2012). Ephemeroptera é uma pequena ordem de insetos, cujo estágio larval é restrito em ambientes de água doce e possuem ampla distribuição nos ecossistemas aquáticos (Domínguez, Molineri, Pescador, Hubbard & Nieto, 2006).

Em ambientes lóticos, as revoadas de Ephemeroptera adultas percorrem a lâmina d'água em direção a montante nos riachos de cabeceira (Kovats, Ciborowski & Corkum, 1996; Lavandier, 1982), para a deposição das ovas (Brittain, 1982). Segundo Müller (1954), a dispersão a montante seria uma possível relação de compensação da deriva a jusante. Os Ephemeroptera são sensíveis aos impactos ambientais e possuem elevada importância ecológica, através da participação na cadeia trófica, bioturbação e na ciclagem de nutrientes (Domínguez, Molineri & Nieto, 2009; Jacobus, Macadam & Sartori, 2019).

Neste estudo, examinamos a importância dos fatores ambientais e espaciais na estruturação das assembleias de Ephemeroptera em riachos de cabeceira localizados no sul do Brasil. Buscamos compreender as relações das características limnológicas dos riachos, estrutura da vegetação ripária e distância geográfica com a distribuição das assembleias de Ephemeroptera. Deste modo, testamos as hipóteses de que (i) fatores ambientais serão majoritariamente mais importantes na estruturação das assembleias de Ephemeroptera e (ii)

que a estrutura da vegetação ripária é um fator ambiental modulador da dissimilaridade das assembleias de Ephemeroptera.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada ao nordeste do estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil (28°36' e 40'S; 50°25' e 49°56'W). A geomorfologia da região reflete características do Planalto Meridional com área de planície e solo com predominância de rochas basálticas da Formação da Serra Geral. Conforme a classificação de Köppen o clima da região classificado como temperado úmido (Cfb), com verão ameno e temperatura não superior a 22°C (Kuinchtner & Buriol, 2016). A média anual de precipitação pluviométrica varia entre 1500 a 1700 mm. A cobertura vegetal predominante é marcada pela presença de campos com algumas áreas de capões e florestas-de-galeria (Leite & Klein, 1990). Em áreas de florestas encontramos as espécies *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Mimosa scabrella* e nas áreas de campo, a espécie *Andropogon lateralis* é predominante (Boldrini, 2009). Nesta região, selecionamos 31 riachos (< 2ª ordem) distribuídos em nove microbacias hidrográficas inseridas na bacia hidrográfica do Rio Pelotas (Figura 1). 2019). A área de amostragem é predominantemente bem conservada, apresentando baixa ou nenhuma influencia humana e também não possui unidades de conservação.

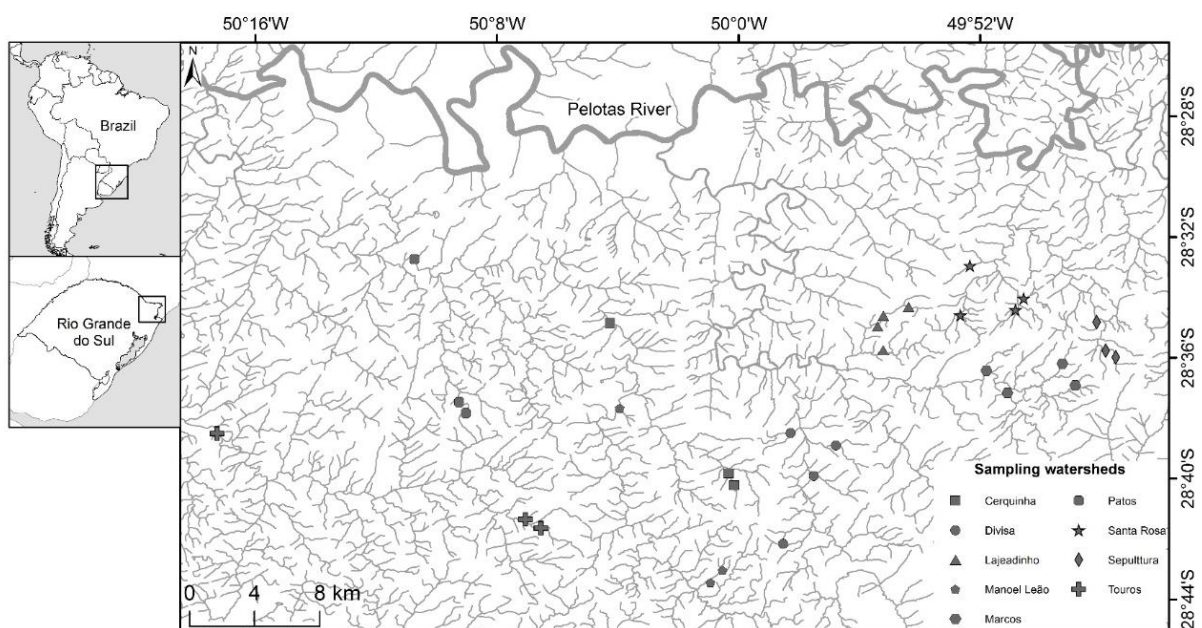


Figura 1. Localização da área de estudo na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil.

2.2 Variáveis ambientais

Em cada riacho, mensuramos as variáveis de temperatura da água, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido utilizando um analisador multiparâmetro HORIBA U51®. Além destas informações, mensuramos a largura do trecho do riacho onde foram realizadas as coletas, velocidade da corrente (fluxômetro) e a altitude. Classificamos as microbacias quanto as diferentes estruturas de vegetação ripária (i.e. campestre e arbórea) (Figura 2). Como critério para a classificação, verificamos o predomínio de vegetação arbórea e o predomínio de gramíneas nas margens do riacho em um raio de cerca de 500 m.



Figura 2. Vegetação ripária da área de estudo na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. A – Riacho com vegetação campestre nas margens. B – Riacho com vegetação arbórea nas margens.

2.3 Coleta e identificação dos organismos

Coletamos os organismos no período de verão austral dos anos de 2008 e 2011. Em cada riacho, obtivemos três amostras definidas pela área de um amostrador do tipo Surber (0,09 m² de malha 250 µm) em substrato predominantemente pedregoso e em zonas de corredeiras. Em laboratório, as amostras foram lavadas em água corrente sob peneiras de 250 µm e armazenadas em etanol 80%. A identificação taxonômica ocorreu em nível de gênero utilizando as chaves taxonômicas de Domínguez, Molineri, Pescador, Hubbard e Nieto (2006), Domínguez, Molineri e Nieto (2009), Salles, Da-Silva, Serrão e Francischetti (2004), Dias, Salles, Francischetti e Ferreira (2006), e Salles e Lima (2014). Quando havia dificuldades na determinação dos gêneros, consultamos especialistas.

2.4 Análise de dados

Inicialmente, testamos a normalidade de todas as variáveis ambientais e biológicas estudadas com o uso do teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade com o Teste de Levene. Para atender o pressuposto de normalidade, os dados originais de condutividade elétrica foram log-transformados (base 10) e os dados biológicos foram transformados em $\log(x+1)$. Avaliamos a variação de cada uma das variáveis limnológicas entre as microbacias (categórico; 9 níveis) e tipos de vegetação (categórico; 2 níveis) utilizando uma *two way* ANOVA com teste Tukey *a posteriori*. A mesma análise foi utilizada para avaliar as diferenças da abundância, riqueza observada e riqueza rarefeita entre as microbacias e tipos de vegetação ripária.

Realizamos uma análise da partição de variância para discriminar a explicação atribuída aos conjuntos de preditores puramente ambientais, puramente espaciais e compartilhados, relacionados a comunidade biológica utilizando a função ‘varpart’ do pacote *vegan* (Oksanen et al., 2014). Esta função divide a variância de uma matriz resposta em relação a duas ou mais matrizes explicativas e avalia as contribuições individuais e suas interações (Borcard, Legendre & Drapeau, 1992). Construímos a matriz de dados biológicos com os gêneros e suas respectivas abundâncias. A matriz de dados ambientais foi constituída pelas variáveis limnológicas e os dados morfológicos dos riachos e a matriz espacial com os dados de latitude e longitude de cada ponto de amostragem. Com a finalidade de diminuir a variabilidade dos dados, padronizamos a matriz biológica, utilizando a transformação de Hellinger e para os dados ambientais a transformação *range* (função ‘decostand’, pacote *vegan*). Como teste de significância, utilizamos uma análise de redundância para cada uma das matrizes predictoras (ambiental e espacial), seguidas de uma análise de variância (ANOVA) com 999 permutações.

Testamos os efeitos da dissimilaridade ambiental e espacial sobre a dissimilaridade biológica a partir de matrizes de distância Euclidiana a partir de regressões lineares. Montamos estas matrizes separadamente para riachos com vegetação arbórea e campestre para avaliar os efeitos diretos da estrutura da vegetação ripária. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2019) usando as funções dos pacotes *vegan* (Oksanen et al., 2014) e *ade4* (Chessel & Thioulouse, 2004).

3 RESULTADOS

3.1 Variáveis ambientais

Os riachos estudados apresentaram largura média $1,4 \pm 0,7$ m, profundidade inferior a

0,3 m e altitude superior a 1000 m.a.n.m. Dentre as variáveis limnológicas mensuradas, a temperatura da água, pH, velocidade da corrente e oxigênio dissolvido variaram entre as microbacias (Tabelas 1 e 2). As concentrações de oxigênio dissolvido foram superiores a 7,4 mg L⁻¹, enquanto que a temperatura da água variou de 13,9 a 22,3°C. O pH das águas dos riachos variou de praticamente neutro a alcalino (6,7 a 9,2). A condutividade elétrica nos riachos foi menor que 33 μS cm⁻¹. Não observamos variações entre as variáveis limnológicas mensuradas em função do tipo de vegetação (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Variáveis ambientais (média ± erro padrão) das microbacias estudadas na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil.

Variáveis	Microbacias hidrográficas								
	Cerquinha (n = 3)	Divisa (n = 4)	Lajeadozinho (n = 4)	Manuel Leão (n = 3)	Marcos (n = 4)	Patos (n = 3)	Santa Rosa (n = 4)	Sepultura (n = 3)	Touros (n = 3)
Altitude (m)	1162	1187	1235	1180	1218	1081	1165	1266	1109
Largura do riacho (m)	2,63 ± 0,55	1,02 ± 0,03	1,12 ± 0,05	1,47 ± 0,42	1,04 ± 0,05	1,38 ± 0,12	1,10 ± 0,06	0,70 ± 0,06	2,46 ± 0,60
Velocidade da corrente (m·s ⁻¹)	0,38 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,30 ± 0,03	0,44 ± 0,07	0,28 ± 0,01	0,36 ± 0,05	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,04	0,68 ± 0,16
Temperatura da água (°C)	22,30 ± 0,52	19,39 ± 0,83	18,35 ± 1,43	16,07 ± 0,62	18,80 ± 0,54	21,03 ± 0,64	18,25 ± 0,76	13,90 ± 0,53	20,20 ± 0,46
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	30,53 ± 1,48	25,60 ± 2,70	24,60 ± 2,86	22,44 ± 1,33	23,69 ± 3,17	32,28 ± 2,45	25,54 ± 2,25	24,98 ± 6,59	21,84 ± 6,50
pH	9,26 ± 0,17	7,32 ± 0,20	7,00 ± 0,17	8,50 ± 0,25	7,34 ± 0,12	8,79 ± 0,01	7,37 ± 0,12	6,77 ± 0,03	8,44 ± 0,11
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	7,41 ± 0,62	7,96 ± 0,37	9,45 ± 0,34	9,03 ± 0,28	7,95 ± 0,41	8,28 ± 0,10	9,41 ± 0,41	9,05 ± 0,59	8,36 ± 0,04
Tipo de Vegetação circundante	Campestre	Campestre	Arbórea	Arbórea	Campestre	Arbórea	Arbórea	Campestre	Arbórea

Tabela 2. Resultados da *two-way* ANOVA das variáveis limnológicas com o tipo de vegetação ripária nas nove microbacias hidrográficas na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Valores em negrito indicam significância estatística ($p < 0,05$).

Variáveis	gl	SQ	F	P
<i>Velocidade da corrente</i>				
Microbacias	8	0,4622	6,848	< 0,001
Vegetação	1	0,0244	2,894	0,105
Microbacia:vegetação	2	0,0088	0,521	0,602
Resíduos	19	0,1603		
<i>Temperatura da água</i>				
Microbacias	8	155,16	7,772	< 0,001
Vegetação	1	5,12	2,052	0,168
Microbacia:vegetação	2	0,08	0,017	0,983
Resíduos	19	47,41		
<i>Condutividade elétrica</i>				
Microbacias	8	298,7	0,789	0,618
Vegetação	1	40,4	0,854	0,367
Microbacia:vegetação	2	1,1	0,012	0,988
Resíduos	19	898,9		
<i>pH</i>				
Microbacias	8	20,234	29,597	< 0,001
Vegetação	1	0,001	0,015	0,905
Microbacia:vegetação	2	0,172	1,009	0,383
Resíduos	19	1,624		
<i>Oxigênio dissolvido</i>				
Microbacias	8	14,637	3,706	< 0,001
Vegetação	1	1,850	3,747	0,067
Microbacia:vegetação	2	0,805	0,815	0,457
Resíduos	19	9,380		

3.2 Assembleia de Ephemeroptera

Coletamos 8.632 larvas da ordem Ephemeroptera, distribuídas entre cinco famílias e 22 gêneros (Material Suplementar). Os gêneros mais abundantes e presentes em todas as microbacias foram *Americabaetis* 24% (n= 2.072), seguido por *Cloeodes* 21,6% (n= 1.864) e

Tricorythopsis 16,9% (n= 1.456). Estes três gêneros representaram 62,5% do total de organismos coletados. Os gêneros *Campylocia*, *Cryptonympha*, *Ulmeritoides* e *Tupiara* foram encontrados apenas em uma microbacia hidrográfica e o gênero *Leptohyphes* em duas microbacias.

Dentre as microbacias estudadas, observamos maior abundância de Ephemeroptera na microbacia do rio Lajeadinho (32,7% da abundância total), seguida pela microbacia do rio Marcos (21,6%) e pela microbacia do rio Divisa (16,7%). Observamos a maior riqueza para a microbacia do rio Santa Rosa (19 gêneros), seguido pelas microbacias Divisa e Marcos (18 gêneros) (Figura 3), enquanto que a menor riqueza observada foi na microbacia do rio dos Touros (7 gêneros). Por outro lado, a riqueza rarefeita foi maior nas microbacias dos rios Cerquinhas (11,4) e Divisa (11,2), enquanto que microbacia do rio Touros apresentou o menor valor (7).

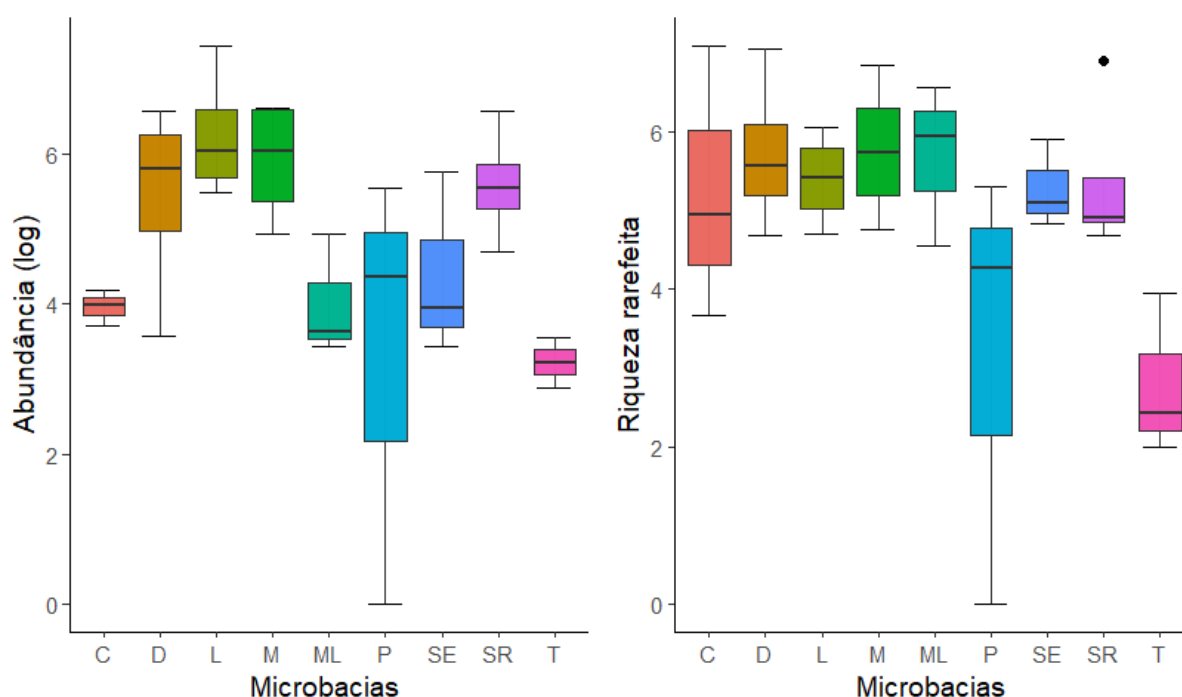


Figura 3. Boxplot com base na mediana da (A) abundância, (B) riqueza rarefeita dos gêneros Ephemeroptera nas nove bacias hidrográficas dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. As letras no eixo X representam as iniciais de cada uma das bacias hidrográficas. C = Cerquinha; D = Divisa; L = Lajeadinho; M = Marcos; ML = Manuel Leão; P = Patos; SE = Sepultura; SR = Santa Rosa e T = Touros.

Observamos variações na abundância, riqueza observada e riqueza rarefeita entre as microbacias (Tabela 3). Porém, apenas a abundância variou em função do tipo de vegetação circundante aos riachos (Tabela 3). Observamos que os riachos com vegetação arbórea apresentaram 54,4% da abundância total amostrada. Por outro lado, a riqueza nos riachos com vegetação campestre foi de 20 gêneros e nos riachos com vegetação arbórea foi de 19 gêneros. Os gêneros *Tupiara* e *Leptohyphes* foram encontrados apenas nos riachos com vegetação

arbórea, enquanto que os gêneros *Campylocia*, *Cryptonympha* e *Ulmeritoides* foram encontrados apenas em riachos com vegetação campestre.

Tabela 3. Resultados da *two-way* ANOVA da abundância, riqueza rarefeita e riqueza com o tipo de vegetação ripária nas nove microbacias na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Valores em negrito indicam significância estatística ($p < 0,05$).

Variáveis	Gl	SQ	F	P
<i>Abundância</i>				
Microbacia	8	36,23	5,607	< 0,001
Vegetação	1	3,38	4,184	0,054
Microbacia:vegetação	2	14,34	8,878	0,001
Resíduos	19	15,35		
<i>Riqueza observada</i>				
Microbacia	8	307,60	5,678	< 0,001
Vegetação	1	24,50	6,618	0,072
Microbacia:vegetação	2	30,33	2,240	0,133
Resíduos	19	128,67		
<i>Riqueza rarefeita</i>				
Microbacia	8	31,86	5,345	0,001
Vegetação	1	19,11	25,64	< 0,001
Microbacia:vegetação	2	3,26	2,186	0,139
Resíduos	19	14,16		

3.3 Distribuição das assembleias e partição da variância

O componente ambiental explicou 11% ($p=0,003$) da variabilidade na composição das assembleias de Ephemeroptera, enquanto que o componente espacial explicou apenas 2% ($p=0,02$) da variação (Figura 4). A explicação compartilhada entre os componentes ambiental e espacial foi de 4%. Os dois primeiros eixos da análise de redundância explicaram cerca de 60% da variação dos dados (Figura 5). As microbacias dos rios Touros, Sepultura e Cerquinha foram correlacionadas positivamente à condutividade elétrica, temperatura da água, largura do riacho e velocidade de correnteza. Da mesma maneira, a microbacia Santa Rosa esteve relacionada positivamente com oxigênio dissolvido e com a presença de vegetação arbórea. *Americabaetis* foi correlacionado positivamente com a velocidade da corrente. Do mesmo modo que, *Traverhyphes* e *Baetodes* foram correlacionados com oxigênio dissolvido e a vegetação e *Cloeodes* foi correlacionado negativamente com a altitude.

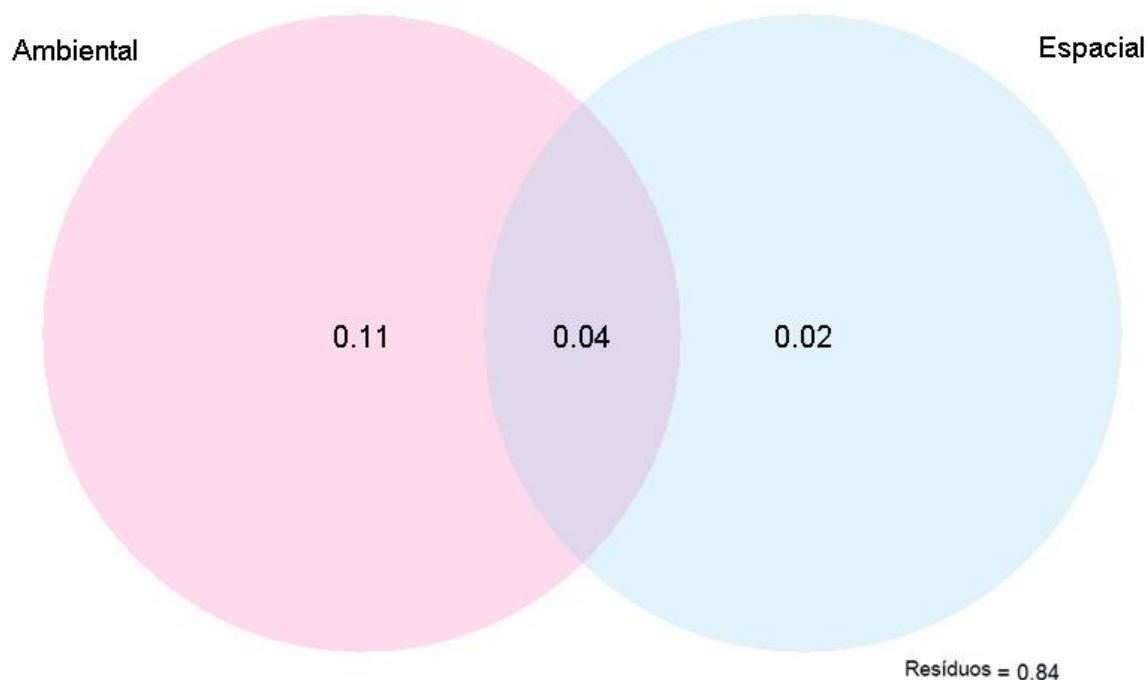


Figura 4. Diagrama de Venn representando a partição de variação na composição de gêneros de Ephemeroptera nos riachos explicada pelas variáveis ambientais, espaciais e efeitos compartilhados.

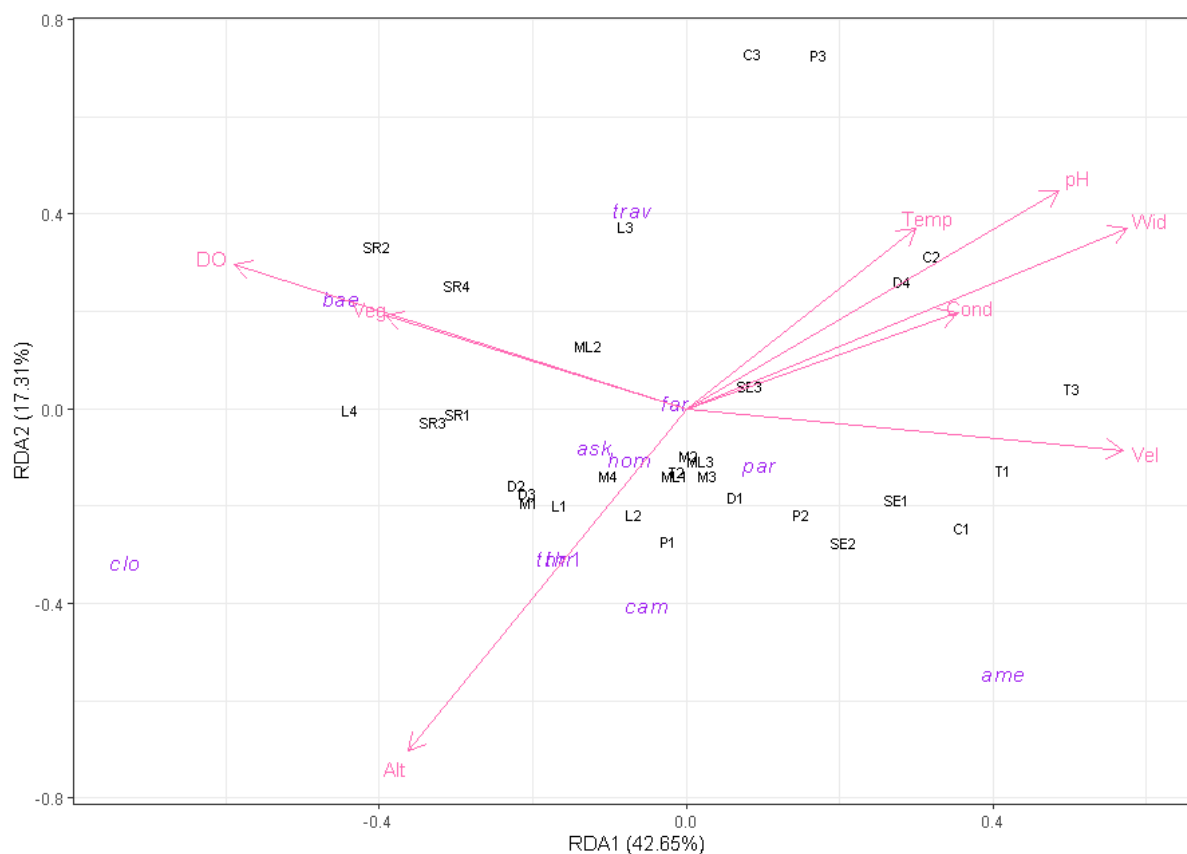


Figura 5. Análise de redundância (RDA) entre as variáveis ambientais os gêneros da ordem Ephemeroptera nos riachos na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Alt = altitude; Veg = vegetação; DO = oxigênio dissolvido; Cond = Condutividade elétrica; Tem = Temperatura da água; pH = potencial de Hidrogênio; Wid = largura do riacho; Vel = Velocidade de corrente; ame = *Americabaetis*; ask= *Askola*; bae = *Baetodes*; cam= *Camelobaetidius*; cloe = *Cloeodes*; far = *Farrodes*; par = *Paracloeodes*; thr = *Thraulodes*; trav = *Traverhyphes*; thr.1 = *Tricorythopsis*.

Para os riachos com vegetação ripária arbórea, a dissimilaridade ambiental e espacial, influenciaram positivamente a dissimilaridade biológica (Figura 6). Porém, o efeito da dissimilaridade ambiental sobre a dissimilaridade biológica foi maior que a dissimilaridade espacial em áreas com vegetação do tipo arbórea. Em áreas com vegetação campestre a dissimilaridade espacial foi levemente maior do que a dissimilaridade ambiental para a explicação da dissimilaridade biológica. Em áreas coma vegetação ripária do tipo arbóreo a dissimilaridade ambiental explicou 25% e a espacial 17% da dissimilaridade biológica. Para os riachos com vegetação ripária do tipo campestre, a dissimilaridade ambiental explicou 5% e a espacial 6% da dissimilaridade biológica.

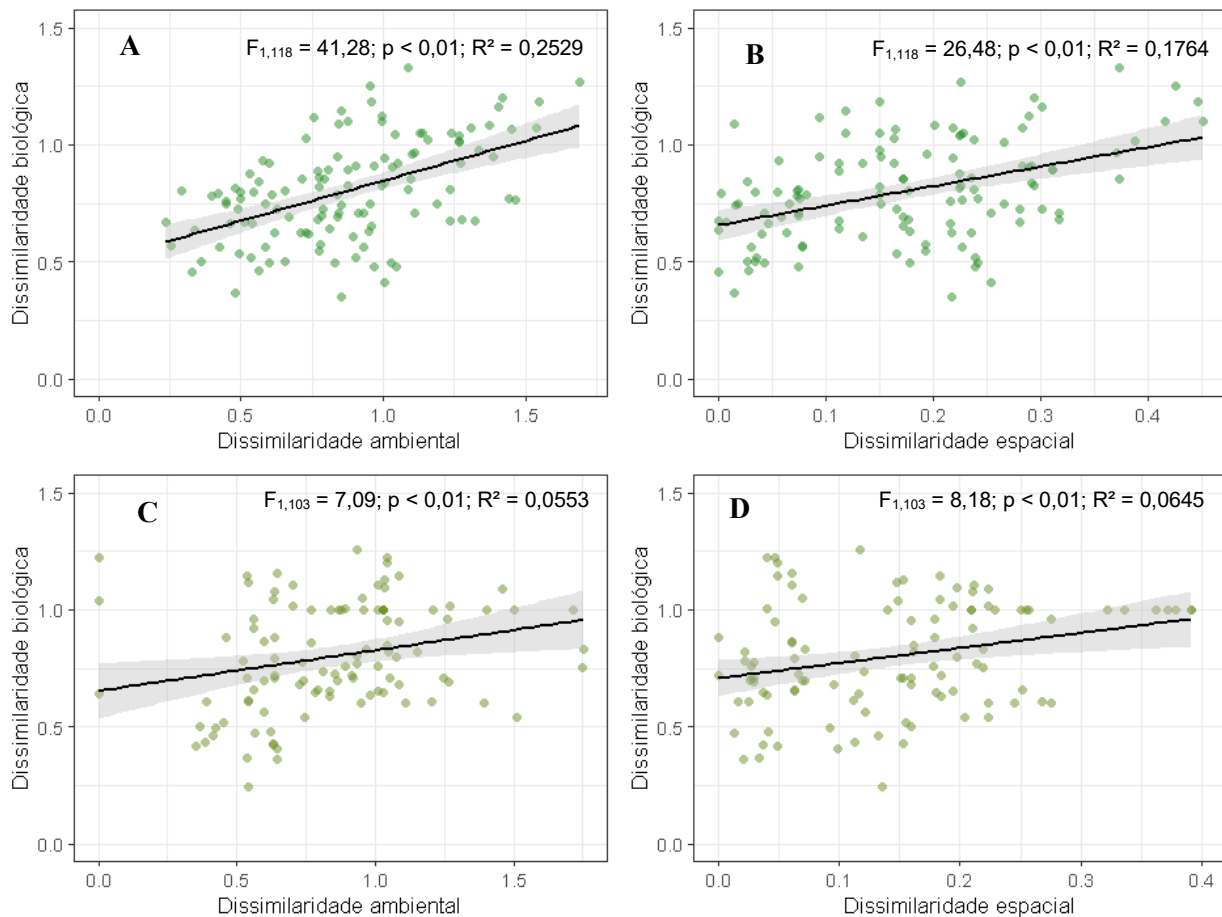


Figura 6. Relação entre dissimilaridade biológica com a dissimilaridade ambiental e dissimilaridade espacial. A e B - riachos com vegetação arbórea; C e D – riachos com vegetação campestre. Faixa cinza: IC 95%.

4 DISCUSSÃO

Quanto aos gêneros encontrados, *Americabaetis* e *Cloedoes* foram dois dos gêneros mais abundantes. Observamos evidências de preferência de habitats, a associação entre o gênero *Americabaetis* com a velocidade da corrente, sugere a característica de adaptação do gênero a a correnteza. A família Baetidae possui grande capacidade de natação (Mackay, 1992) e estudos relatam a preferência do gênero em áreas de correnteza (Francischetti, Da-Silva, Salles & Nessimian, 2004; Melo, Ragonha, Pinha & Takeda, 2018). Além disso, a correlação negativa entre o gênero *Cloeodes* com a altitude pode ser atribuída a exigências no nível de espécie pois, diferentes espécies de *Cloeodes*, preferencialmente estão localizadas em diferentes faixas de altitude (Salles, Massariol, Angeli, Lima, Gattolliat & Sartori, 2015).

Os gêneros *Campylocia*, *Cryptonympha*, *Ulmeritoides* e *Tupiara* foram encontrados apenas para os riachos de uma microbacia hidrográfica e o gênero *Leptohyphes* em duas microbacias. Os gêneros *Tupiara* e *Leptohyphes* foram coletados, em riachos com vegetação

arbórea. Ninfas de *Leptohyphes* são encontradas principalmente em áreas de águas rápidas e podem estar associados a diferentes tipos de substratos (Domínguez, Molineri, Pescador, Hubbard & Nieto, 2006), Ninfas do gênero *Tupiara* são preferencialmente coletadas em substrato do tipo rochoso e do tipo folhoso, em áreas consideradas preservadas Salles, Lugo-Ortiz, Da-Silva & Francischetti, 2003). Ao contrário, os gêneros *Campylocia*, *Cryptonympha* e *Ulmeritoides* foram encontrados apenas em riachos com vegetação campestre. Estes gêneros são comuns em substrato rochoso (Domínguez, Molineri, Pescador, Hubbard & Nieto, 2006) possivelmente relacionado ao hábito alimentar. Desse modo, podemos sugerir que além das exigências no nível de espécie, a vegetação ripária do tipo arbóreo esteja atuando sobre a configuração do substrato, enquanto que, a falta de sombreamento da vegetação do tipo campestre possa estar atuando sobre a disponibilidade alimentar. Assim, os diferentes tipos de vegetação estão influenciando a distribuição dos gêneros de Ephemeroptera.

A forma adulta de Ephemeroptera é a responsável pelo processo de dispersão entre bacias, através do voo. De forma indireta, nossos resultados sugerem que a vegetação arbórea é um dos principais fatores para a dissimilaridade da composição biológica. A vegetação arbórea estaria atuando como uma possível “barreira” para o processo de dispersão, não permitindo que os Ephemeroptera voem para riachos adjacentes. Assim, verificamos um aumento da similaridade da comunidade dentro do riacho ou da bacia hidrográfica. Além do mais, a vegetação ripária do tipo arbórea não permitiria homogeneização da comunidade aumentando a diversidade beta. Para os riachos com a presença de vegetação ripária do tipo campestre, não ocorre restrições para a dispersão, assim, os Ephemeroptera podem voar para os riachos vizinhos aumentando a dissimilaridade biológica entre riachos ou microbacias. Em riachos com a vegetação ripária campestre, as áreas ripárias não seriam limitadoras do processo de dispersão, permitindo que a revoada se disperse para riachos adjacentes. Neste caso, a distância espacial seria o principal motivo para a dissimilaridade biológica. Conforme a distância geográfica entre áreas é gradualmente aumentada a similaridade da composição das comunidades decai (Astorga, Oksanen, Luoto, Soininen, Virtanen & Muotka, 2012; Maloney & Munguia, 2011). Esta relação é atribuída à limitação da dispersão, aumento da dissimilaridade ambiental e largura de nicho (Nekola & White, 1999). Desse modo, tanto a capacidade de dispersão dos gêneros de Ephemeroptera, como as características do modo de vida (e.g. modo de reprodução, ciclo de vida) são afetadas pela distância.

A variabilidade da composição biológica foi melhor explicada pelo componente puramente ambiental. As variáveis ambientais estruturadas espacialmente são aquelas, relacionadas aos gradientes latitudinais, aspectos geográficos, e do clima, que influenciam as

variáveis ambientais (Grönroos, Heino, Siqueira, Landeiro, Kotanen & Bini, 2013). Quanto aos aspectos espaciais, estes, estão associados à conectividade e às vias de dispersão (Galbraith, Vaughn & Meier, 2008). Deste modo, as diferenças na distribuição dos gêneros de Ephemeroptera estão relacionados não somente com as características da vegetação ripária, mas também, pelas distâncias entre as microbacias, que podem significar limitação da dispersão para os organismos entre algumas das microbacias. Entretanto, a boa capacidade de dispersão dos adultos de Ephemeroptera (Alp, Keller, Westram & Robinson, 2012; Hershey, Pastor, Peterson & Kling, 1993; Kovats, Ciborowski & Corkum, 1996), possibilitaria a superação de distâncias e barreiras geográficas e permitiria o rastreamento de gradientes ambientais, indicado pela influência dos fatores ambientais e da baixa contribuição de fatores espaciais (Heino, 2013). A porcentagem não explicada da variabilidade da composição das assembleias de Ephemeroptera, pode ser atribuída a falta de quantificação de variáveis de interesse para a estrutura da comunidade, como as interações bióticas e a inclusão de variáveis ambientais (Schulz, Siqueira, Stefan & Roque, 2012; Shimano, Juen, Salles, Nogueira & Cabette, 2013).

Corroborando nossos resultados, estudos observaram maior influência do componente ambiental em relação ao componente espacial na estruturação das assembleias de insetos aquáticos (Heino & Mykrä, 2008; Landeiro, Bini, Melo, Pes & Magnusson, 2012). Os Ephemeroptera são considerados como bons indicadores de qualidade ambiental, isso ocorre devido a relação intrínseca dos organismos com as características ambientais (Domínguez, Molineri & Nieto, 2009; Jacobus, Macadam & Sartori, 2019). As características ambientais, relacionadas as variáveis físicas e químicas da água e a vegetação, atuam fortemente na estrutura das assembleias de Ephemeroptera (Kłonowska-Olejniak & Skalski, 2014). Assim, como reconhecido por alguns autores, a temperatura da água (Harper & Peckarsky, 2006; Kolpas, Funk, Jackson & Sweeney, 2020; Sweeney & Vannote, 1978) e o pH (Fiance, 1978; Johnson, Weaver, Nietch, Lazorchak, Struewing & Funk, 2015; Petrin, 2011) são alguns dos fatores ambientais mais importantes para as assembleias de Ephemeroptera.

5 CONCLUSÃO

Concluimos que os diferentes tipos de vegetação ripária (i.e. arbórea e campestre) associados a variabilidade das características limnológicas dos riachos moldaram a estrutura das assembleias de Ephemeroptera. No entanto, observamos que a estrutura da vegetação ripária influenciou a dissimilaridade biológica. Esta influência está relacionada a limitação da dispersão das Ephemeroptera, provenientes dos diferentes tipos de vegetação ripária e do aumento da distância espacial entre os riachos. Deste modo, evidenciamos a relevância da vegetação ripária

na estruturação das assembleias de insetos aquáticas. Considerando que nosso estudo foi realizado em áreas minimamente impactadas, acreditamos que, a remoção da vegetação em áreas antropizadas pode gerar alterações nas assembleias de Ephemeroptera. Além disso, considerando que a remoção antrópica da vegetação acarreta em alterações limnológicas dos ambientes aquáticos associados, podemos esperar uma diminuição da qualidade da água e conseqüentemente diminuição da diversidade de Ephemeroptera. Em adição, observamos que as assembleias de Ephemeroptera constituíram-se em um excelente modelo biológico para estudos sobre padrões de distribuição e dissimilaridade de comunidades de organismos aquáticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande e a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Erechim pelo suporte logístico dado para realização deste trabalho. Aos Drs. Frederico F. Salles e Erikcsen A. Raimundi pelos esclarecimentos taxonômicos. Ao Dr. Rogério Viana pelas contribuições no texto. AMFF agradece a bolsa de mestrado concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior Brasil (CAPES) - Financiamento código 001. LUH recebe apoio financeiro CNPq (processo 421632/2016-0) e bolsa produtividade (processo 305203/2017-7).

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não ter conflito de interesses em relação a este trabalho.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados que sustentam as conclusões deste estudo serão disponibilizados pelo autor correspondente, mediante solicitação.

REFERÊNCIAS

- Alp, M., Keller, I., Westram, A.M., & Robinson, C.T. (2012). How river structure and biological traits influence gene flow: a population genetic study of two stream invertebrates with differing dispersal abilities. *Freshwater Biology*, 57(5), 969-981. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02758.x.
- Astorga, A., Oksanen, J., Luoto, M., Soininen, J., Virtanen, R., & Muotka, T. (2012). Distance decay of similarity in freshwater communities: do macro-and microorganisms follow the same rules?. *Global Ecology and Biogeography*, 21(3), 365-375. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00681.x
- Bilton, D. T., Freeland, J. R., & Okamura, B. (2001). Dispersal in Freshwater Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), 159–181. DOI:10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114016

- Boldrini, I. I. (2009). A flora dos campos do Rio Grande do Sul. Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade, 63-77.
- Borcard, D., Legendre, P., & Drapeau, P. (1992). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73(3), 1045-1055. DOI: 10.2307/1940179
- Brittain, J. E. (1982). Biology of mayflies. *Annual Review of entomology*, 27(1), 119-147. DOI: 10.1146/annurev.en.27.010182.001003
- Chessel D, Dufour A, Thioulouse J (2004). “The ade4 Package – I: One-Table Methods.” *R News*, 4(1), 5–10. <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.
- Clarke, A., Mac Nally, R., Bond, N., & Lake, P. S. (2008). Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology*, 53(9), 1707-1721. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2008.02041.x
- Costa, L. D. S. M., Branco, C. C. Z., & Bispo, P. C. (2014). O Papel dos Fatores Ambientais e Espaciais Sobre a Fauna de Ephemeroptera (Insecta) em Riachos de Mata Atlântica. *EntomoBrasilis*, 7(2), 86-92.
- Dias, L. G., Salles, F. F., Francischetti, C. N., & Ferreira, P. S. F. (2006). Key to the genera of Ephemeroptera (Insecta: Ephemeroptera) from Brazil. *Biota Neotropica*, 6(1), 0-0. DOI: 10.1590/S1676-06032006000100015
- Domínguez, E., Molineri, C. & Nieto, C., (2009). Ephemeroptera *In*: Domínguez, E., & Fernández, H. R. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 55-94.
- Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M., Hubbard, M. D., & Nieto, C. (2006). *Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America* (ABLA, Vol. 2). Pensoft, Sofia-Moscow, 646.
- Fiance, S. B. (1978). Effects of pH on the biology and distribution of *Ephemerella funeralis* (Ephemeroptera). *Oikos*, 332-339. DOI: 10.2307/3543659
- Francischetti, C. N., Da-Silva, E. R., Salles, F. F., & Nessimian, J. L. (2004). A Ephemeropterofauna (Insecta: Ephemeroptera) do trecho ritral inferior do Rio Campo Belo, Itaiaia, RJ: composição e mesodistribuição. *Lundiana*, 5(1), 33-39.
- Galbraith, H. S., Vaughn, C. C., & Meier, C. K. (2008). Environmental variables interact across spatial scales to structure trichopteran assemblages in Ouachita Mountain Rivers. *Hydrobiologia*, 596(1), 401-411. DOI: 10.1007/s10750-007-9124-z
- Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A., & Cummins, K. W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41(8), 540-551. DOI: 10.2307 / 1311607
- Grönroos, M., Heino, J., Siqueira, T., Landeiro, V. L., Kotanen, J., & Bini, L. M. (2013). Metacommunity structuring in stream networks: roles of dispersal mode, distance type, and regional environmental context. *Ecology and Evolution*, 3(13), 4473-4487. DOI: 10.1002/ece3.834
- Harper, M. P., & Peckarsky, B. L. (2006). Emergence cues of a mayfly in a high-altitude stream ecosystem: potential response to climate change. *Ecological Applications*, 16(2), 612-621.

- Heino, J. (2013). Does dispersal ability affect the relative importance of environmental control and spatial structuring of littoral macroinvertebrate communities?. *Oecologia*, 171(4), 971-980. DOI: 10.1007/s00442-012-2451-4
- Heino, J., & Mykrä, H. (2008). Control of stream insect assemblages: roles of spatial configuration and local environmental factors. *Ecological Entomology*, 33(5), 614-622. DOI: 10.1111/j.1365-2311.2008.01012.x
- Heino, J., Louhi, P., & Muotka, T. (2004). Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. *Freshwater Biology*, 49(9), 1230-1239. DOI:10.1111/j.1365-2427.2004.01259.x
- Hellmann, C., Winkelmann, C., Worischka, S., & Benndorf, J. (2011). Extended larval development compensates for sublethal effects of fish predation in a mayfly population (*Rhithrogena semicolorata*, Ephemeroptera). *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 41(3), 256-265. DOI: 10.1016/j.limno.2010.10.005
- Hepp, L. U., & Melo, A. S. (2013). Dissimilarity of stream insect assemblages: effects of multiple scales and spatial distances. *Hydrobiologia*, 703(1), 239-246. DOI:10.1007/s10750-012-1367-7
- Hershey, A. E., Pastor, J., Peterson, B. J., & Kling, G. W. (1993). Stable Isotopes Resolve the Drift Paradox for *Baetis* Mayflies in an Arctic River. *Ecology*, 74(8), 2315-2325. DOI: 10.2307/1939584
- Jacobus, L. M., Macadam, C. R., & Sartori, M. (2019). Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. *Insects*, 10(6), 170. DOI: 10.3390/insects10060170
- Johnson, B. R., Weaver, P. C., Nietch, C. T., Lazorchak, J. M., Struewing, K. A., & Funk, D. H. (2015). Elevated major ion concentrations inhibit larval mayfly growth and development. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(1), 167-172. DOI: 10.1002/etc.2777
- Kłonowska-Olejnik, M., & Skalski, T. (2014). The effect of environmental factors on the mayfly communities of headwater streams in the Pieniny Mountains (West Carpathians). *Biologia*, 69(4), 498-507. DOI: 10.2478/s11756-014-0334-3
- Kolpas, A., Funk, D. H., Jackson, J. K., & Sweeney, B. W. (2020). Phenological modeling of the parthenogenetic mayfly *Neocloeon triangulifer* (Ephemeroptera: Baetidae) in White Clay Creek. *Ecological Modelling*, 416, 108892. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2019.108892
- Kovats, Z., Ciborowski, J. A. N., & Corkum, L. (1996). Inland dispersal of adult aquatic insects. *Freshwater Biology*, 36(2), 265-276. DOI: 10.1046/j.1365-2427.1996.00087.x
- Kuinchtner, A., & Buriol, G. A. (2016). Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas*, 2(1), 171-182.
- Landeiro, V. L., Bini, L. M., Melo, A. S., Pes, A. M. O., & Magnusson, W. E. (2012). The roles of dispersal limitation and environmental conditions in controlling caddisfly (Trichoptera) assemblages. *Freshwater Biology*, 57(8), 1554-1564. DOI: 10.1111/j.1365-

2427.2012.02816.x

- Lavandier, P. (1982). Evidence of upstream migration by female adults of *Baetis alpinus* Pict.(Ephemeroptera) at high altitude in the Pyrenees. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 18 (1), 55-59. DOI: 10.1051/limn/1982015
- Leite, P. F., & Klein, R. M. (1990). Vegetação. Geografia do Brasil: região sul, (2ª ed.). 113-150.
- Leszczyńska, J., Głowacki, Ł., & Grzybkowska, M. (2017). Factors shaping species richness and biodiversity of riverine macroinvertebrate assemblages at the local and regional scale. *Community Ecology*, 18(3), 227-236. DOI: 10.1556/168.2017.18.3.1
- Mackay, R. J. (1992). Colonization by lotic macroinvertebrates: a review of processes and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(3), 617-628. DOI: 10.1139/f92-071
- Maloney, K. O., & Munguia, P. (2010). Distance decay of similarity in temperate aquatic communities: effects of environmental transition zones, distance measure, and life histories. *Ecography*, 34(2), 287–295. DOI:10.1111/j.1600-0587.2010.06518.x
- Mcintosh, A. R., Peckarsky, B. L., & Taylor, B. W. (2002). The influence of predatory fish on mayfly drift: extrapolating from experiments to nature. *Freshwater Biology*, 47(8), 1497-1513. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2002.00889.x
- Melo, S. M., Ragonha, F. H., Pinha, G. D., & Takeda, A. M. (2018). Effects of food availability and habitat features on the Ephemeroptera species composition at seasonal and spatial scales from neotropical floodplain rivers. *Brazilian Journal of Biology*, 78(1), 160-168. DOI: 10.1590/1519-6984.168636
- Meyer, J. L., Strayer, D. L., Wallace, J. B., Eggert, S. L., Helfman, G. S., & Leonard, N. E. (2007). The Contribution of Headwater Streams to Biodiversity in River Networks 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(1), 86-103. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00008.x
- Müller, K. (1954). Investigations on the organic drift in North Swedish streams. *Report of the Institute of freshwater research, Drottningholm*, 35, 133-148.
- Mykrä, H., Heino, J., & Muotka, T. (2007). Scale-related patterns in the spatial and environmental components of stream macroinvertebrate assemblage variation. *Global Ecology and Biogeography*, 16(2), 149–159. DOI:10.1111/j.1466-8238.2006.00272.x
- Nekola, J. C., & White, P. S. (1999). The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography*, 26(4), 867–878. DOI: 10.1046/j.1365-2699.1999.00305.x
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B. et al (2014). *Vegan: Community ecology package*. R package version 2.4-2.
- Oliveira-Junior, J. M. B., & Juen, L. (2019). The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): A new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. *Neotropical Entomology*, 48(4), 552-560. DOI:10.1007/s13744-019-00672-x
- Ongaratto, R. M., Loureiro, R. C., Restello, R. M., & Hepp, L. U. (2018). Effects of land use and

- limnology variables on the dissimilarity of common and rare aquatic insects in Atlantic Forest streams. *Revista de Biología Tropical*, 66(3), 1223-1231. DOI: 10.15517/rbt.v66i3.30825
- Petrin, Z. (2011). Species traits predict assembly of mayfly and stonefly communities along pH gradients. *Oecologia*, 167(2), 513-524. DOI: 10.1007/s00442-011-2003-3
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Rezende, R. S., Santos, A. M., Henke-Oliveira, C., & Gonçalves Jr, J. F. (2014). Effects of spatial and environmental factors on benthic a macroinvertebrate community. *Zoologia (Curitiba)*, 31(5), 426-434. DOI: 10.1590 / s1984-46702014005000001
- Richardson, J. (2019). Biological Diversity in Headwater Streams. *Water*, 11(2), 366. DOI: 10.3390/w11020366
- Rios, S. L., & Bailey, R. C. (2006). Relationship between Riparian Vegetation and Stream Benthic Communities at Three Spatial Scales. *Hydrobiologia*, 553(1), 153–160. DOI:10.1007/s10750-005-0868-z
- Salles, F. F., Da-Silva, E. R., Serrão, J. E., & Francischetti, C. N. (2004). Baetidae (Ephemeroptera) na região sudeste do Brasil: novos registros e chave para os gêneros no estágio ninfal. *Neotropical Entomology*, 33(6), 725-735. DOI: 10.1590/S1519-566X2004000600010
- Salles, F. F., Lugo-Ortiz, C. R., Da-Silva, E. R., & Francischetti, C. N. (2003). Novo gênero e espécie de Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) do Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 61(1), 23-30.
- Salles, F. F., Massariol, F. C., Angeli, K. B., Lima, M. M., Gattolliat, J. L., & Sartori, M. (2015). Revealing the diversity of Cloeodes Traver, 1938 (Ephemeroptera: Baetidae) in the Neotropics: description of eleven new species from Brazilian mountain ranges. *Zootaxa*, 4020(1), 1-50. DOI: 10.11646/zootaxa.4020.1.1
- Salles, F.F. & Lima, M.M., (2014). Chave interativa para identificação dos gêneros de Leptophlebiidae (Ephemeroptera) registrados para o Brasil. Data available at <http://www.ephemeroptera.com.br>
- Schulz, G., Siqueira, T., Stefan, G., & Roque, F. de O. (2012). Passive and active dispersers respond similarly to environmental and spatial processes: an example from metacommunity dynamics of tree hole invertebrates. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv Für Hydrobiologie*, 181(4), 315–326. DOI:10.1127/1863-9135/2012/0365
- Shimano, Y., Juen, L., Salles, F. F., Nogueira, D. S., & Cabette, H. S. R. (2013). Environmental and spatial processes determining Ephemeroptera (Insecta) structures in tropical streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 49(1), 31–41. DOI:10.1051/limn/2013036
- Sweeney, B. W., & Vannote, R. L. (1978). Size variation and the distribution of hemimetabolous aquatic insects: two thermal equilibrium hypotheses. *Science*, 200(4340), 444-446. DOI: 10.1126 / science.200.4340.444

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 37(1), 130-137. DOI: 10.1139 / f80-017

CONCLUSÃO GERAL

Nossos resultados demonstraram que os fatores ambientais se mostraram muito importantes para a estruturação das assembleias de larvas de Ephemeroptera. Os diferentes tipos de vegetação ripária influenciaram o potencial de dispersão dos gêneros. Sugerimos que a vegetação ripária arbórea estaria atuando como uma possível “barreira” para processo de dispersão dos organismos, não permitindo que os Ephemeropteras voem para riachos adjacentes, mesmo dentro da mesma bacia hidrográfica. Em contrapartida, na presença da vegetação ripária campestre os Ephemeroptera poderiam voar para os riachos adjacentes sem restrições a sua dispersão. Deste modo, a dissimilaridade da composição taxonômica das assembleias de Ephemeroptera foi influenciada pela vegetação ripária.

O presente estudo, representa uma grande contribuição para o conhecimento da fauna de Ephemeroptera no Rio Grande do Sul. O presente estudo quantificou e identificou 5 famílias e 22 gêneros de Ephemeroptera para os riachos da região estudada. A distribuição das assembleias de Ephemeroptera foi distinta nas microbacias estudadas, sendo os gêneros *Americabaetis*, *Cloeodes* e *Tricorythopsis* os mais abundantes e presentes em todas as microbacias, enquanto que os gêneros *Campylocia*, *Cryptonympha*, *Ulmeritoides* e *Tupiara* foram raros e estavam presentes apenas em uma das microbacias.

Neste sentido, este trabalho abre diversas perspectivas futuras, tais como:

- A importância do refinamento taxonômico na identificação dos organismos. Em nosso trabalho, identificamos todas as larvas a nível de gênero e observamos um grande potencial para a descrição de novas espécies. Além do mais, os gêneros *Camelobaetidius* e *Hermanella*, registrados neste estudo, possuem espécies listadas como vulneráveis e em perigo de extinção na lista vermelha brasileira.
- A relevância para a realização de um levantamento taxonômico para o estado do Rio Grande do Sul. Os bancos de dados existentes onde ocorrem as listagens de espécies de Ephemeroptera, carecem de novas informações e atualizações. Possibilitaria o registro de novos gêneros e espécies, informações sobre possíveis relações de endemismos e características ecológicas.
- A realização de análises genéticas, com a finalidade de comprovar a existência de novas espécies, monofilias e polimorfias taxonômicas. Análises filogeográficas auxiliariam na avaliação de ameaça de extinção de novas espécies de Ephemeroptera.
- A necessidade de estudos que visem compreender os aspectos biológicos e de história de vida dos Ephemeroptera. Estes estudos, possibilitariam suprir a escassez de

informações e auxiliar a compreensão de outros processos que ocorrem em comunidades e populações de Ephemeroptera.

- Para Ephemeroptera, se faz necessário a avaliação sobre o hábito alimentar, visto que há poucas informações sobre o conteúdo alimentar ingerido, em diferentes instares ocorre diferenças do hábito alimentar e plasticidade alimentar. Estudos que realizem análise de conteúdo estomacal, análise molecular e análise isotópica, auxiliariam a compreensão das tramas tróficas e refinariam a classificação dos grupos funcionais alimentares.

- Estudos que incorporem um maior número de traços e que avaliem a aplicação destes traços. Estes estudos, possibilitariam subsidiar informações para melhor avaliação do ambiente e compreender melhor o papel dos Ephemeroptera no ecossistema.

ANEXO

Capítulo 1

Material Suplementar – Abundância dos gêneros de Ephemeroptera coletados em nove bacias hidrográficas dos campos de Cima da Serra, Brasil. As letras representam as iniciais das microbacias SR= Santa Rosa; D = Divisa; P= Patos; ML= Manuel Leão; T = Touros; SE= Sepultura; C = Cerquinha; M = Marcos e L= Lajeadinho, seguido dos números representam o número de amostragens.

Famílias	Baetidae		Euthyplociidae				Leptophlebiidae					Caenidae		Leptohephidae								
	<i>Americabaetis</i>	<i>Baetodes</i>	<i>Camelobaetidius</i>	<i>Cloeodes</i>	<i>Cryptonympha</i>	<i>Paracloeodes</i>	<i>Tupiara</i>	<i>Zeluzia</i>	<i>Campylocia</i>	<i>Askola</i>	<i>Farrodes</i>	<i>Hagenulopsis</i>	<i>Homothraulius</i>	<i>Massartella</i>	<i>Needhamella</i>	<i>Thraulodes</i>	<i>Ulmeritoides</i>	<i>Caenis</i>	<i>Leptohephes</i>	<i>Traverhypes</i>	<i>Tricorythodes</i>	<i>Tricorythopsis</i>
SR1	68	91	115	203	0	1	18	1	0	2	21	2	0	0	1	76	0	0	11	13	2	86
SR2	12	112	6	71	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	4	0	1	3	0	0	22
SR3	12	3	1	65	0	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	14
SR4	6	108	76	34	0	1	0	0	0	1	7	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	41
D1	168	12	89	33	0	8	0	1	0	39	3	1	26	5	0	6	8	6	0	1	17	44
D2	146	27	96	333	0	15	0	0	0	0	4	2	8	2	2	27	0	1	0	2	1	45
D3	17	0	77	106	0	6	0	0	0	0	0	0	5	0	1	7	0	1	0	1	1	10
D4	3	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	4	6	0	0	0	12

P1	23	0	21	18	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	5
P2	142	2	4	23	0	3	0	0	0	5	3	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	66
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ML1	10	4	8	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1
ML2	4	13	10	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
ML3	35	21	60	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	15	0	0	0	0	0	1
T1	11	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	17	1	4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
SE1	117	0	3	4	0	60	0	0	0	0	3	2	0	1	0	25	0	0	0	0	10	92
SE2	17	0	14	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	11	0	0	0	0	1	5
SE3	5	2	12	1	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
C1	33	0	7	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	1
C2	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1
C3	12	4	0	2	0	2	0	0	0	0	4	0	0	3	0	0	0	4	0	25	6	3
M1	144	33	127	240	0	11	0	0	1	13	4	2	2	1	0	57	0	6	0	4	3	83
M2	399	68	74	113	3	0	0	0	0	0	3	4	15	0	3	19	0	0	0	10	1	37
M3	68	2	9	35	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	16
M4	69	25	53	36	0	11	0	0	0	14	0	0	7	2	0	19	0	0	0	4	3	2
L1	121	36	163	149	0	1	0	0	0	10	4	9	5	0	12	20	0	1	0	0	0	15

L2	90	4	31	51	0	0	0	0	0	7	3	4	0	0	3	28	0	1	0	4	0	13
L3	288	167	47	115	0	0	0	0	0	0	11	0	3	0	1	11	0	0	0	233	13	831
L4	4	6	10	216	0	0	0	23	0	6	2	0	7	11	0	31	0	0	0	0	0	1