

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DHB - DEPARTAMENTO DE HIDROBIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

**Influência da complexidade do substrato na ecologia das
comunidades de Chironomidae (Diptera)**

Gustavo Rincon Mazão

Orientadora: Prof. Dra. Susana Trivinho Strixino

SÃO CARLOS-SP

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DHB - DEPARTAMENTO DE HIDROBIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

**Influência da complexidade do substrato na ecologia das
comunidades de Chironomidae (Diptera)**

Gustavo Rincon Mazão

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutor em ciências, área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais.

SÃO CARLOS-SP

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

M475ic

Mazão, Gustavo Rincon.

Influência da complexidade do substrato na ecologia das comunidades de Chironomidae (Diptera) / Gustavo Rincon Mazão. -- São Carlos : UFSCar, 2013.

86 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Ecologia de comunidades. 2. Geometria fractal. 3. Chironomidae. 4. Rios e riachos. 5. Cerrados. I. Título.

CDD: 574.5247 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Relatório de Defesa de Tese
Candidato: Gustavo Rincon Mazão

Aos 15/03/2013, às 14:00, realizou-se na Universidade Federal de São Carlos, nas formas e termos do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, a defesa de tese de doutorado sob o título: Diferentes perspectivas sobre a influência da complexidade espacial do substrato na ecologia da família Chironomidae (Diptera), apresentada pelo candidato Gustavo Rincon Mazão. Ao final dos trabalhos, a banca examinadora reuniu-se em sessão reservada para o julgamento, tendo os membros chegado ao seguinte resultado:

Participantes da Banca

Profa. Dra. Susana Trivinho Strixino
Profa. Dra. Alaide Aparecida Fonseca Gessner
Profa. Dra. Odete Rocha
Prof. Dr. Pitágoras da Conceição Bispo
Prof. Dr. Fabio de Oliveira Roque

Função Instituição
Presidente UFSCar
Titular UFSCar
Titular UFSCar
Titular UNESP
Titular UFMS

Conceito
Aprovado
Aprovado
Aprovado
Aprovado
Aprovado

Resultado Final: Aprovado

Parecer da Comissão Julgadora*:

Aprovado com distinção

Encerrada a sessão reservada, o presidente informou ao público presente o resultado. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada e, para constar, eu, João Augusto da Silva Affonso, representante do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, lavrei o presente relatório, assinado por mim e pelos membros da banca examinadora.

Susana Trivinho Strixino

Profa. Dra. Susana Trivinho Strixino

Alaide Ap. F. Gessner

Profa. Dra. Alaide Aparecida Fonseca Gessner

Odete Rocha

Profa. Dra. Odete Rocha

Pitágoras C. Bispo

Prof. Dr. Pitágoras da Conceição Bispo

Fabio de O. Roque

Prof. Dr. Fabio de Oliveira Roque

Representante do PPG: João Augusto da Silva Affonso

() Não houve alteração no título da tese (x) Houve. O novo título passa a ser:

Influência da complexidade do substrato na ecologia das comunidades de Chironomidae (Diptera)

*Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

Para gozar dos direitos do título de Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, o candidato ainda precisa ter sua tese homologada pelo Conselho de Pós-Graduação da UFSCar.

Agradecimentos

Mais uma vez me encontro numa sinuca de bico! Escrevo isso me lembrando do que passei ao redigir minha nota de agradecimentos da minha Dissertação de Mestrado. Novamente estou aqui me esforçando pra não cometer nenhuma injustiça e me lembrar de todos que ajudaram e apoiaram. Considerando que por menor que tenha sido a ajuda dada, ou mesmo o gesto de apoio, gostaria que todos soubessem que sem tal ajuda eu não conseguiria chegar aqui. Vocês foram extremamente importantes para a elaboração desta Tese de Doutorado!

Primeiramente agradeço as instituições: UFSCar por oferecer a infraestrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela disponibilização da minha bolsa de pesquisa; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (proc. 09/53233-7) que financiou a compra de frascos e do material utilizado na confecção das placas usadas nos experimentos em campo.

Agradeço a orientação da professora Dr. Susana Trivinho Strixino, que sempre se prontificou me ajudando nos momentos de dúvidas a respeito da biologia dos bichos, com a identificação destes e nas discussões a respeito dos trabalhos. Obrigado Susana, pois hoje tenho outro olhar a respeito de como se fazer pesquisa, devo isso a você! Não poderia deixar de agradecer a professora Dr. Alaíde Gessner que ao me cumprimentar, sempre me recebeu com um belo sorriso. Isso alegrava meus dias de trabalho no laboratório. Novamente agradeço ao professor Dr. Pitágoras Bispo (vulgo “Pit”) pela amizade e incentivo para realização destes trabalhos. Lembre se Pit que sempre poderá contar com minha ajuda, independente de nossa distância!

Deixo um agradecimento mais que especial a aqueles que me ajudaram colocando a mão na massa. Durante minhas varias coletas obrigado a Ana, Daniel,

Joaquim, Jujuba, Rubens, Thais pelo auxílio em campo e a Danilo, Camila e Ricardo pelas discussões a respeito das análises aplicadas. Ressalto o agradecimento ao senhor Joaquim que além de me ajudar diretamente nas coletas, abriu as portas de sua chácara, sem mesmo me conhecer, pra que eu tivesse onde ficar durante as coletas. Agradeço também o Hugo da fábrica de reciclagem de plásticos que me ajudou na escolha do melhor material a ser utilizado na confecção das placas.

Agradeço a minha família Rubens, Zélia, Fabiane, Raquel e Natalia pelo cuidado, incentivo, força, paciência, carinho, amor... enfim, POR EXISTIREM! Vocês são pessoas importantíssimas para mim. Dedico esta Tese a vocês!

Aos amigos do laboratório e da pós Victor, Daniel, Chicão, Melissa, Luciene, Toshiro, Ricardo, Rogerio, Hugo, Cris e Bia muito obrigado pelo ótimo convívio, aprendizado, lanches da tarde e por tornarem meus dias no laboratório melhores.

Aos amigos e colegas do beto Marcos, Maristela, Felipe, Guta, Rodrigo, Gustavo, Reginaldo e Eduardo. Pessoal, saibam que, apesar da estafa e dores horríveis no corpo que sentimos nos dias seguintes as nossas partidas de beto, exercício físico regular é importante, portanto, continuem jogando! Obrigado por me proporcionarem momentos de extrema felicidade durante nossas brincadeiras e minha estada em São Carlos.

Agradeço também a todos meus outros familiares e amigos, que mesmo não tendo contribuído diretamente para realização destes trabalhos, me apoiam e sempre ensinam algo novo, enriquecendo minha vida.

Sumário

Resumo	1
Abstract	2
Introdução Geral	3
Referencias Bibliográficas	7
Capítulo 1: Dinâmica temporal de Chironomidae (Diptera) em substratos com diferentes complexidades e rugosidades em um riacho do Brasil Central	13
Resumo	14
Abstract	15
Introdução	16
Materiais e Métodos	18
Resultados	22
Discussão	26
Referências Bibliográficas	31
Capítulo 2: A complexidade do substrato é importante para as larvas de Chironomidae (Diptera) resistirem à perturbação hídrica?	37
Resumo	38
Abstract	39
Introdução	40
Materiais e Métodos	42
Resultados	46
Discussão	49
Referências Bibliográficas	52
Capítulo 3: Influência da complexidade espacial e da rugosidade na estrutura de organismos da família Chironomidae (Diptera)	58

Resumo	59
Abstract	60
Introdução	61
Materiais e Métodos	63
Resultados	67
Discussão	71
Referências Bibliográficas	74
Considerações finais	80
Referencias Bibliográficas	83

Resumo

Buscando esclarecer alguns aspectos a respeito da importância da complexidade espacial do substrato sobre a ecologia de Chironomidae (Diptera) em córregos de baixa ordem do Cerrado brasileiro, foram realizados três experimentos aqui apresentados em três capítulos: i) Dinâmica temporal de Chironomidae (Diptera) em substratos com diferentes complexidades e rugosidades em um riacho do Brasil Central; ii) A complexidade do substrato é importante para as larvas de Chironomidae (Diptera) resistirem à perturbação hídrica?; iii) Influência da complexidade espacial e da rugosidade na assembleia de Chironomidae (Diptera). Os experimentos foram realizados nos municípios de Ipameri e Mimoso de Goiás, ambos situados no Estado de Goiás. Para amostragem das larvas de Chironomidae foram utilizados substratos artificiais com diferentes níveis de complexidade e rugosidade fixados no leito dos riachos para colonização. De forma geral os resultados obtidos indicaram que: i) A colonização dos substratos pelas larvas não foi influenciada pela complexidade espacial do substrato, não sendo observados padrões de colonização, considerando as diferentes guildas ecológicas; ii) Tanto a complexidade quanto a rugosidade do substrato não foram suficientes para a manutenção da abundância das larvas de Chironomidae, evidenciando sua sensibilidade a eventos inesperados de chuva; iii) A complexidade espacial e a rugosidade do substrato afetam a estrutura da assembleia de Chironomidae, sendo dois importantes aspectos para a diversidade destes organismos.

Palavras-chave: complexidade do substrato, rugosidade do substrato, assembleia de Chironomidae, riachos de Cerrado

Abstract

Different perspectives of the influence of substrate spatial complexity on the ecology of Chironomidae (Diptera) family With the purpose of elucidating some aspects concerning the importance of substrate spatial complexity to the ecology of Chironomidae (Diptera) family in Cerrado streams, three field experiments were carried out in Ipameri and Mimoso de Goiás Municipalities, Goiás State, Brazil. These experiments are described in three chapters that compose this thesis i) Temporal dynamics of Chironomidae (Diptera) larvae on substrates with different levels of spatial complexity and roughness in a Central Brazil stream; ii) Is substrate complexity important for Chironomidae (Diptera) larvae to resist hydrological disturbance?; iii) Influence of spatial complexity and roughness on Chironomidae (Diptera) assemblages. Artificial substrates with different complexity and roughness levels were fixed in bed streams for colonization of Chironomidae larvae. Samplings were taken after a period of 30 days. Results indicated that: i) Colonization of substrates by larvae was not influenced by substrate spatial complexity and no patterns of colonization were observed, considering the various ecological guilds; ii) Both complexity and roughness were not sufficient to maintain the abundance of these organisms, evidencing their sensibility to sudden rain events; iii) Spatial complexity and roughness of substrate influenced the structure of Chironomidae assemblages and were two important aspects to the diversity of these organisms.

Keywords: substrate complexity, substrate roughness, Chironomidae assemblage, Cerrado streams

Introdução Geral

A estrutura do habitat e sua influência sobre os organismos são assuntos que há tempos são documentados no meio científico (Gorman & Karr, 1978; Minshall, 1984; McCoy & Bell, 1991). Apesar de antigo, o tema sempre reavive discussões levando-se em conta a forte influência que a estrutura do habitat exerce sobre o estabelecimento dos organismos, a disponibilidade de recursos e refúgios (contra predação e distúrbios hídricos) e as interações entre os organismos (como fator estruturante da fauna), o que torna este, um assunto atual (Costa & Melo, 2008; Mykra et al., 2011; Schneck et al., 2011; Verdonschot et al., 2012; Tokeshi & Arakaki, 2012).

Nas últimas décadas os estudos a respeito da estrutura do habitat ganharam novo enfoque, levando-se em conta a necessidade de um maior refinamento para avaliação e quantificação da complexidade espacial. Um método atualmente utilizado é o Fractal. Mandelbrot (1983) definiu fractal como uma forma geométrica fragmentada, na qual as partes componentes desta, ao serem reduzidas, são a cópia do todo. Recentemente Mormul & Padial (2012) fizeram um levantamento demonstrando o aumento considerável na utilização desses modelos fractais em estudos ecológicos. Em ambientes aquáticos, o método tem sido aplicado na quantificação da complexidade de costões rochosos (Kostylev et al., 2005), estruturas de macrófitas (McAbendroth et al., 2005), bem como em experimentos com manipulação do substrato (Taniguchi & Tokeshi, 2004; Tokeshi & Arakaki, 2012). Deste modo, o método tem se mostrado uma excelente ferramenta para descrição de padrões ecológicos da relação entre os organismos e a arquitetura do habitat.

O sucesso no processo de estabelecimento local dos organismos depende de diversos fatores. Em ambientes lóticos este processo é influenciado pela disponibilidade de recursos, correnteza da água, área disponível, largura, profundidade e inclinação do

canal (Figuroa et al., 2006), entre as quais, as características do substrato merecem destaque. Perspectivas experimentais são frequentemente utilizadas para avaliar o comportamento de colonização por macroinvertebrados em substratos naturais (Mathooko & Otieno, 2002; Melo & Fröhlich, 2004; Hose et al., 2007; Alonso et al., 2010), artificiais (Mathooko, 1995; Baer et al., 2001) e comparativos (Rinella & Feminella, 2005). De modo geral e de acordo com as características do substrato, esperar-se que haja facilidade ou dificuldade de sua ocupação por parte dos organismos, uma vez que habitats mais complexos e heterogêneos podem oferecer mais vantagens aos colonizadores.

A maior parte dos estudos de colonização por macroinvertebrados tem como objetivos avaliar movimentação da fauna e a importância destes organismos sobre a decomposição de substratos orgânicos (Fowler, 2002; Tanaka et al., 2006; Yamamuro & Lamberti, 2007) não considerando a importância que a complexidade espacial do substrato exerce sobre estes organismos (Taniguchi & Tokeshi, 2004; Tokeshi & Arakaki, 2012). Contudo, apesar de ser um tema bastante estudado, pouco se sabe a respeito da influência da complexidade do substrato sobre o processo de colonização e estabelecimento da fauna bentônica.

Outra característica do substrato importante para a fauna bentônica é a disponibilização de refúgios, que afeta diretamente a resiliência destes organismos (Melo & Fröhlich, 2004; Van Son & Thiel, 2006) considerando que tais refúgios os mantem a salvo de distúrbios bióticos (predação) e abióticos (abruptas variações hidráulicas). As interações de predação podem ser influenciadas pelas características físicas do substrato, pois a presença de habitats de refúgio reduz a eficiência de predação (Holomuzki, 1996). Além disso, a presença de micro-habitats aumenta a disponibilidade de refúgios, reduzindo os impactos negativos dos distúrbios como, por

exemplo, da força d'água, sendo fundamental na manutenção, sobrevivência e recolonização da fauna residente (Lancaster, 1999; 2000).

De forma complementar, as características do substrato tem papel determinante na estruturação e diversidade tanto da fauna de macroinvertebrados, quanto de outros organismos aquáticos (Taniguchi & Tokeshi, 2004; Vieira et al., 2007; Schneck et al., 2011). Para os macroinvertebrados, a heterogeneidade e a complexidade espacial são importantes para uma maior disponibilização de refúgios e nichos, afetando diretamente a diversidade local destes organismos (Beisel et al., 2000; Boyero, 2003; Taniguchi & Tokeshi, 2004; Tokeshi e Arakaki, 2012). Tal como a complexidade, a rugosidade superficial do substrato também tem sido apontada como uma característica estruturante da biota aquática (Bergey, 2005; Vieira et al., 2007; Schneck et al., 2011) de modo que maiores riquezas estão associadas a superfícies mais rugosas.

O Brasil é um país que possui história em estudos que abordam a fauna de insetos aquáticos, com pesquisas realizadas desde a década de 40. Vale lembrar que, no país, a maior parte destes estudos ainda se concentram na região sudeste. Dando seus primeiros passos, o Estado de Goiás tem uma história mais recente ainda de estudos com insetos aquáticos iniciada em 1993 (Oliveira & Santos, 1994), tendo continuidade com outros estudos que focaram principalmente a ecologia de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Oliveira et al., 1999; Bispo et al., 2001; Bispo et al., 2002, Bispo et al., 2006; Bispo & Oliveira, 2007). O início de estudos sobre a ecologia da família Chironomidae no estado são ainda mais recentes (Vieira et al., 2007; Simião-Ferreira et al., 2009) e permanecem escassos. Provavelmente essa lacuna de estudos ocorre em função da dificuldade de identificação destes organismos e considerando que o estado não possui nenhum taxonomista no grupo.

Apesar da maior parte dos estudos ecológicos envolvendo insetos aquáticos negligenciarem a família Chironomidae, esta merece devida atenção. Considerada mega diversa são estimadas no grupo aproximadamente 15000 espécies (Armitage et al., 1995). Recentemente, Ferrington Jr. (2008) fez uma revisão do número espécies de larvas descritas no mundo e identificou seguramente um total de 4.147 espécies. Este número sem dúvida está desatualizado para a fauna do Brasil, uma vez que muitas novas revisões tem sido feitas na região (ex. Wiedenbrug et al., 2009; Wiedenbrug et al., 2012; Trivinho-Strixino, 2012). As espécies desta família apresentam distribuição global e suas larvas estão presentes nos mais variados biótopos aquáticos (lóticos, lênticos, marinhos e fitotelmata) sendo inclusive encontradas em extremos de temperatura, pH, velocidade da água, profundidades e salinidades (Armitage et al., 1995). No Brasil estão presentes as subfamílias Telmatogetoninae, Podonominae, Tanypodinae, Orthocladiinae e Chironominae. As três últimas são mais comuns e frequentemente encontradas em quase todos os biótopos aquáticos (Roque et al., 2007; Simião-Ferreira et al., 2009; Sonoda et al., 2009; Rosa et al., 2011). A subfamília Podonominae, mais rara, foi recentemente registrada em riachos de altitude (Roque & Trivinho-Strixino, 2004).

A presente tese busca abordar, sob diferentes perspectivas, a importância da complexidade espacial do substrato sobre a fauna de Chironomidae. São objetivos gerais da tese: aumentar o conhecimento em ecologia desta família no Brasil, abrangendo tal conhecimento ao Estado de Goiás; investigar a importância da complexidade do substrato sobre os processos de colonização e sucessão, perda de diversidade por distúrbios hídricos não sazonais e avaliar os efeitos da complexidade na estruturação e diversidade destes organismos. Para isto são apresentados três

experimentos, separados por capítulos, escritos no formato dos seguintes artigos científicos:

- (I) Dinâmica temporal de Chironomidae (Diptera) em substratos com diferentes complexidades e rugosidades em um riacho do Brasil Central
- (II) A complexidade do substrato é importante para as larvas de Chironomidae (Diptera) resistirem à perturbação hídrica?
- (III) Influência da complexidade espacial e da rugosidade na assembleia de Chironomidae (Diptera)

Referencias Bibliográficas

- Alonso, A., González-Muñoz, N. & Castro-Díez, P. 2010. Comparison of leaf decomposition and macroinvertebrate colonization between exotic and native trees in a freshwater ecosystem. *Ecological Research*, 25(3): 647–653.
- Armitage, P. D., Cranston P. S. & Pinder, L. C. V., 1995. *The Chironomidae: The biology and ecology of non-biting midges*. London, Chapman & Hall, 538p.
- Baer, S. G., Siler, E. R., Eggert, S. L. & Wallace, B., 2001. Colonization and production of macroinvertebrates on artificial substrata: upstream–downstream responses to a leaf litter exclusion manipulation. *Freshwater Biology*, 46: 347–365.
- Beisel, J. N., Usseglio-Polatera, P. & Moreteau, J. C., 2000. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 422/423: 163–171.
- Bergey, E. A., 2005. How protective are refuges? Quantifying algal protection in rock crevices. *Freshwater Biology*, 50: 1163–1177.

- Bispo, P. C., Oliveira, L. G., Crisci, V. L. & Silva, M. M., 2001. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos do Planalto Central do Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 13(2): 1-9.
- Bispo, P. C., Froehlich, C. G. & Oliveira, L. G., 2002. Spatial distribution of Plecoptera nymphs in streams of a mountain área of Central Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62(3): 409-417.
- Bispo, P. C., Oliveira, L. G., Bini, L. M. & Sousa, K. G., 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian Journal of Biology*, 66(2B): 611-622.
- Bispo, P. C. & Oliveira, L. G., 2007. Diversity and structure of Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (Insecta) assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24(2): 283-293.
- Boyero, L., 2003. The quantification of local substrate heterogeneity in streams and its significance for macroinvertebrate assemblages. *Hydrobiologia*, 499: 161–168.
- Costa, S. S. & Melo, A. S., 2008. Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. *Hydrobiologia*, 598: 131-138.
- Ferrington Jr., L. C., 2008: Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; insecta- Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 447–455.
- Figueroa, R., Ruíz, V., Niell, X., Araya, E. & Palma, A., 2006. Invertebrate colonization patterns in a Mediterranean Chilean stream. *Hydrobiologia*, 571: 409–417.

- Fowler, R. T., 2002. Relative importance of surface and subsurface movement on benthic community recovery in the Makaretu River, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 36: 459–469.
- Gorman, O. T. & Karr, J. R., 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology*, 59: 507–515.
- Holomuzki, J. R., 1996. Effects of substrate and predator type on microdistribution and drift of a lotic mayfly. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(4): 520-528.
- Hose, G. C., Walter, T. & Brooks, A. J., 2007. Short-term colonisation by macroinvertebrates of cobbles in main channel and inundated stream bank habitats. *Hydrobiologia*, 592: 513–522.
- Kostylev, V. E., Erlandson, J. Ming, M. Y. & Williams, G. A., 2005. The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: Fractal application on rocky shores. *Ecological Complexity*, 2: 272-286.
- Lancaster, J., 1999. Small-scale movements of lotic macroinvertebrates with variations in flow. *Freshwater Biology*, 41: 605-619.
- Lancaster, J., 2000. Geometric scaling of microhabitat patches and their efficacy as refugia during disturbance. *Journal of Animal Ecology*, 69: 442-457.
- Mandelbrot, B. B., 1983. *The fractal geometry of nature*. New York: W.H. Freeman and Company, 468p.
- Mathooko, J., 1995. Colonization of artificial substrates by benthos in a second-order high altitude river in Kenya. *Hydrobiologia*, 308: 229-234.
- Mathooko, J. M. & Otieno, C. O., 2002. Does surface textural complexity of woody debris in lotic ecosystems influence their colonization by aquatic invertebrates? *Hydrobiologia*, 489: 11–20.

- McAbendroth, L., Ramsay, P. M., Foggo, A., Rundle, S. D. & Bilton, D. T., 2005. Does macrophyte fractal complexity drive invertebrate diversity, biomass and body size distributions? *Oikos*, 111: 279-290.
- McCoy, E. D. & Bell, S. S., 1991. Habitat Structure: The evolution and diversification of a complex topic. In: *Habitat Structure: the Physical Arrangement of Objects in Space* Bell, S. S., McCoy, E. D. & Mushinsky, H. R. (eds), Chapman & Hall, London, pp. 3–27.
- Melo, A. & Fröhlich, C. G., 2004. Colonization by Macroinvertebrates of Experimentally Disturbed Stones in Three Tropical Streams Differing in Size. *International Review of Hydrobiology*, 89(3) 317–325.
- Minshall, G. W., 1984. Aquatic insect-substratum relationships. In: *The Ecology of Aquatic Insects*. Resh, V. H. & Rosenberg, D. (eds), Praeger, New York, pp. 358-400.
- Mormul, R. P. & Padial, A. A., 2012. The study of fractals among ecologists. *Acta Scientiarum*, 34(1): 41-45.
- Mykra, H., Heino, J., Oksanen, J. & Muotka, T., 2011. The stability–diversity relationship in stream macroinvertebrates: influences of sampling effects and habitat complexity. *Freshwater Biology*, 56: 1122–1132.
- Oliveira, L. G. & Santos, B. B. 1994. Ocorrência de Trichoptera, Ephemeroptera e Plecoptera (Insecta), no Estado de Goiás. In: XX Congresso Brasileiro de Zoologia, Rio de Janeiro-RJ. *Anais do XX Congresso Brasileiro de Zoologia*, 1: 54-54.
- Oliveira, L. G., Bispo, P. C., Crisci, V. L. & Sousa, K. G., 1999. Distribuição de categorias funcionais alimentares de larvas de Trichoptera (Insecta) em uma região serrana do Brasil Central. *Acta Limnologica Bralisiensia*, 11(2): 1-11.

- Rinella, D. J. & Feminella, J. W., 2005. Comparison of Benthic Macroinvertebrates Colonizing Sand, Wood, and Artificial Substrates in a Low-Gradient Stream. *Journal of Freshwater Ecology*, 20(2): 209-220.
- Roque, F. O. & Trivinho-Strixino, S., 2004. *Podonomus pepinellii* n. sp., first record of the genus and subfamily from Brazil (Diptera: Chironomidae: Podonominae). *Zootaxa*, 689: 1-7.
- Roque, F. O., Trivinho-Strixino, S., Milan, L. & Leite, J. G., 2007. Chironomid species richness in low-order streams in the Brazilian Atlantic Forest: a first approximation through a Bayesian approach. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(2): 221-231.
- Rosa, B. F. J. V., Oliveira, V. C & Alves, R. G., 2011. Structure and spatial distribution of the Chironomidae community in mesohabitats in a first order stream at the Poço D'Anta Municipal Biological Reserve in Brazil. *Journal of Insect Science*, 11(36): 1-13.
- Schneck, F., Schwarzbald, A. & Melo, A. S., 2011. Substrate roughness affects stream benthic algal diversity, assemblage composition, and nestedness. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(4): 1049-1056.
- Simião-Ferreira, J., DeMarco Jr., P., Mazão, G. R. & Carvalho, A. R., 2009. Chironomidae Assemblage Structure in Relation to Organic Enrichment of an Aquatic Environment. *Neotropical Entomology*, 38(4): 464-471.
- Sonoda, K. C., Matthaei, C. D. & Trivinho-Strixino, S., 2009. Contrasting land uses affect Chironomidae communities in two Brazilian rivers. *Fundamental and Applied Limnology*, 174(2): 173–184.

- Tanaka, M. O., Ribas, A. C. A. & Souza, A. L. T., 2006. Macroinvertebrate succession during leaf litter breakdown in a perennial karstic river in Western Brazil *Hydrobiologia*, 568: 493–498.
- Taniguchi, H. & M. Tokeshi, 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, 49: 1164–1178.
- Trivinho-Strixino, S., 2012. A systematic review of Neotropical *Caladomyia* Sæwedal (Diptera: Chironomidae). *Zootaxa*, 3495: 1–41.
- Tokeshi, M. & Arakaki, S., 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractal and beyond. *Hydrobiologia*, 685: 27-47.
- Van Son, T. S. & Thiel, M., 2006. Multiple predator effects in an intertidal food web. *Journal of Animal Ecology*, 75: 25-32.
- Verdonschot, R. C. M., Didderen, K. & Verdonschot, P. F. M., 2012. Importance of habitat structure as a determinant of the taxonomic and functional composition of lentic macroinvertebrate assemblages. *Limnologia*, 42(1): 31-42.
- Vieira, L. C. G., Bini, L. M., Velho, L. F. M. & Mazão, G. R., 2007. Influence of spatial complexity on the density and diversity of periphytic rotifers, microcrustaceans and testate amoebae. *Fundamental and Applied Limnology*, 170: 77–85.
- Wiedenbrug, S., Mendes, H. F., Pepinelli, M. & Trivinho-Strixino, S., 2009. Review of the genus *Onconeura* Andersen et Sæther (Diptera: Chironomidae), with the description of four new species from Brazil. *Zootaxa*, 2265: 1–26.
- Wiedenbrug, S., Lamas, C. E. & Trivinho-Strixino, S., 2012. A review of the genus *Corynoneura* Winnertz (Diptera: Chironomidae) from the Neotropical region. *Zootaxa*, 3574: 1–61.

Yamamuro, A. M. & Lamberti, G. A., 2007. Influence of organic matter on invertebrate colonization of sand substrata in a northern Michigan stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(2): 244–252.

CAPITULO I

**Dinâmica temporal de Chironomidae (Diptera) em
substratos com diferentes geometrias fractais
em um riacho do Brasil Central**

Dinâmica temporal de Chironomidae (Diptera) em substratos com diferentes geometrias fractais em um riacho do Brasil Central

Gustavo Rincon Mazão¹

1 Programa de Pós-Graduação em Ecologia Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Resumo

O processo de colonização da fauna bentônica dulciaquícola, é parte importante no estabelecimento dos organismos, depende diretamente das características do substrato. Substratos artificiais foram utilizados para avaliar os processos de colonização e sucessão da fauna de Chironomidae. Para isso, placas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com distintos níveis de complexidade e rugosidade foram alocadas no leito de um riacho de baixa ordem em uma região de Cerrado do Brasil Central. Conjuntos de placas com quatro níveis de complexidade e com superfícies lisas e rugosas foram removidos periodicamente para avaliar as alterações na estrutura faunística durante um período de 41 dias de colonização. Ao todo foram coletadas e identificadas 2670 larvas de 40 táxons de Chironomidae. O resultado da Análise de Variância com medidas repetidas indicou que o processo de colonização independe da complexidade do substrato. Tanto a riqueza de táxons quanto a abundância de larvas de Chironomidae foram semelhantes nos diferentes níveis de complexidade e rugosidade durante o estabelecimento da fauna. A avaliação da sucessão comunitária, pelo método de abundância relativa das guildas funcionais, não indicou os padrões esperados de substituição para a família.

Palavras-chave: colonização, complexidade do substrato, rugosidade do substrato, Chironomidae

Abstract

Temporal dynamics of Chironomidae (Diptera) larvae on substrates with different fractal geometry in a Central Brazil stream: Colonization processes are crucial to the establishment of freshwater aquatic organisms and are directly influenced by substrate characteristics. Artificial substrates were utilized to assess processes of colonization and succession by Chironomidae larvae assemblages. High Density Polyethylene tiles with distinct levels of complexity and roughness were submerged in a low-order stream in Central Brazil. In the course of 41 days of colonization, periodical samples were carried out. In each sampling, one set of tiles (with four distinct spatial complexities and two roughness levels) was removed to observe changes in fauna structure. A total of 2670 larvae pertaining to 40 Chironomidae genera were collected. Results of repeated-measure analysis of variance (ANOVA) showed that the process of fauna colonization was not dependent on substrate complexity. Both Chironomidae richness and abundance were similar in different levels of complexity and roughness during larvae establishment. The assessment of successional processes of larvae assemblages using the method of relative abundance of ecological guilds did not show the expected patterns of substitution for this family.

Key words: colonization, substrate complexity, substrate roughness, Chironomidae

Introdução

O processo de colonização é um importante mecanismo ecológico de estabelecimento da fauna e flora, em especial nos ambientes aquáticos. Nestes ambientes o processo ocorre por meio de carreamento, ovoposição e movimentação lateral e vertical dos organismos (Williams & Hynes, 1976). Muitos trabalhos que abordam a colonização se atem às respostas da fauna bentônica sobre o processo de decomposição da matéria orgânica, o deslocamento dos organismos no substrato e a resiliência dessa fauna na presença de eventos de distúrbio (Fowler, 2002; Melo & Fröhlich, 2004; Carvalho & Uieda, 2006; Tanaka et al., 2006; Yamamuro & Lamberti, 2007; Hose et al., 2007). Além disso, outros trabalhos destacam a importância da complexidade do substrato sobre a estrutura e composição de macroinvertebrados (O'Connor, 1991; Taniguchi & Tokeshi, 2004; Tokeshi & Arakaki, 2012). Entretanto, a influência da complexidade do substrato sobre o processo de colonização da fauna bentônica permanece pouco esclarecida.

As características do habitat atuam diretamente na colonização de macroinvertebrados. Dentre estas, o substrato merece especial enfoque, visto que a heterogeneidade espacial, a composição granulometria e orgânica do sedimento (i. e. tamanho das partículas minerais e orgânicas), a quantidade e diversidade de materiais de origem alóctone (folhas, troncos e raízes) e a estabilidade do substrato são fatores que atuam diretamente na colonização destes organismos bentônicos (Baer et al., 2001; Melo & Fröhlich, 2004; Hose et al., 2007; Alonso, 2010). Outra importante característica do substrato, que se processa em menor escala, é a textura. Tanto a presença de pequenas ranhuras (Vieira et al., 2007), quanto a rugosidade superficial do substrato (Mathooko & Otieno, 2002) são características que podem ter uma relação

direta com a estrutura da biota associada, sendo esperada maior diversidade em superfícies mais elaboradas.

Deste modo o substrato tem um importante papel no processo de colonização e sucessão dos organismos, uma vez que o habitat funciona como um moldador da comunidade, atuando como um filtro seletor de organismos potencialmente colonizadores (Poff, 1997). Em escala local, substratos que apresentam níveis de complexidade distintos atuam diferentemente sobre a fauna, interferindo no processo de colonização e sucessão dos organismos, acelerando ou retardando o estabelecimento da fauna.

Na fauna aquática as larvas de Chironomidae destacam-se dos demais insetos bentônicos pelo grande número de espécies e pela representatividade numérica (Armitage et al., 1995; Angradi, 1996; Carvalho & Uieda, 2004; Ribeiro & Uieda, 2005; Ferrington Jr., 2008). Outras características relevantes desse grupo são a facilidade e rapidez na colonização dos diferentes biótopos (Figuroa, et al., 2006; Silveira et al., 2006), além de ser um importante elo entre produtores e os demais níveis da cadeia trófica (Benker, 1998). Estas características tornam a família um bom instrumento de pesquisa para estudos que busquem esclarecer os mecanismos de colonização e as relações ecológicas dessa fauna com o meio.

Pautado na hipótese de que a complexidade espacial e a rugosidade são fatores que afetam a composição faunística das larvas de Chironomidae durante o estabelecimento da fauna no processo de colonização, o objetivo do presente estudo foi avaliar possíveis alterações na estrutura faunística do grupo durante o processo de colonização em um riacho de baixa ordem do Brasil Central, visando responder as questões: Durante o processo de colonização, qual o tempo necessário para a estabilização da fauna? Existe diferença no padrão de colonização da fauna de acordo

com a arquitetura do substrato? O processo de sucessão das guildas funcionais desta família durante a colonização é influenciado pela complexidade e rugosidade do substrato?

Materiais e Métodos

Área de estudo

O experimento foi realizado no Córrego Santa Bárbara (17° 10' 15''S / 47° 57'5''O), um afluente de segunda ordem do rio Corumbá, situado no município de Ipameri, na região sul do Estado de Goiás (Fig. 1). Com nascentes em uma região serrana com o solo pedregoso e vegetação ripária bem preservada, composta basicamente por Cerrado *sensu stricto*. A junção de suas duas nascentes combinada ao declive do terreno e ao solo predominantemente rochoso faz com que o riacho apresente um curso de água rápida, bem oxigenada e de temperaturas amenas. No Estado de Goiás, são característicos dois períodos climáticos (Saito & Mazão, 2012), um de duração de novembro a abril, com maior frequência e incidência de chuvas, gerando instabilidade no leito do riacho, e outro de maio a outubro com raros eventos de chuva, que garantem maior estabilidade do leito do riacho. Este foi o período considerado ideal para a realização do experimento o qual foi desenvolvido entre os meses de agosto e setembro de 2009.

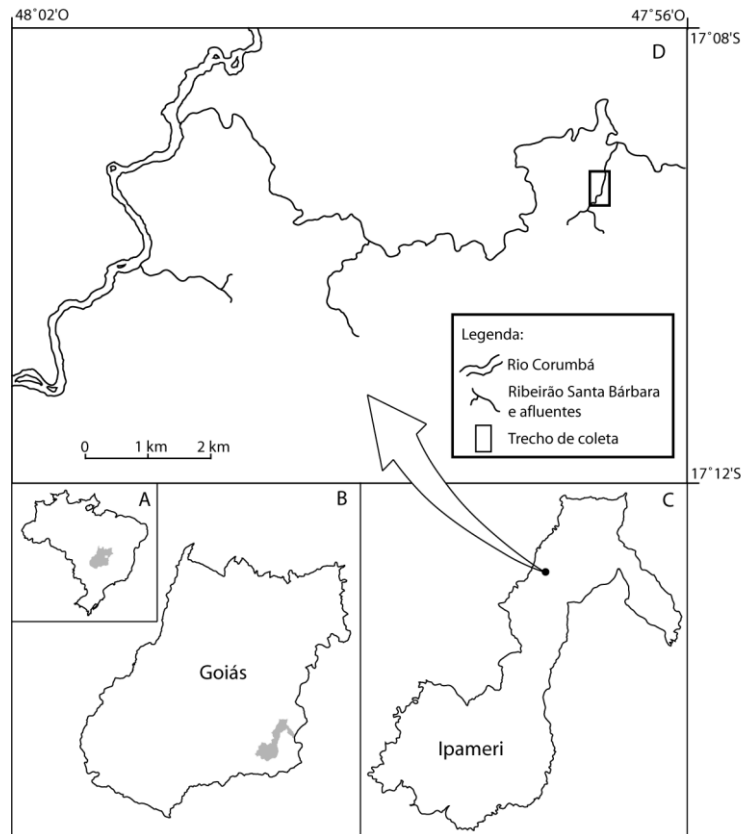


Fig. 1 Figura de localização do trecho estudado: em A, mapa do Brasil com destaque para o estado de Goiás; em B, mapa do estado de Goiás com destaque para o município de Ipameri; em C, localização do trecho estudado no município de Ipameri; em D, representação e localização do trecho estudado do Córrego Santa Bárbara, um afluente do Rio Corumbá.

Delineamento experimental

Foi delimitado no riacho um trecho de aproximadamente 500 m constituído basicamente de zonas rápidas. A escolha de um trecho homogêneo (com características semelhantes) ocorreu visando a uma resposta similar no processo de colonização, levando-se em conta que a heterogeneidade ambiental poderia acarretar diferenças na composição faunística e, por conseguinte, respostas diversas do processo de colonização.

No trecho selecionado foram introduzidas no leito do riacho, com auxílio de pedras, placas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) de 24x24 cm que apresentavam quatro níveis de complexidade espacial e dois níveis de rugosidade (Fig. 2). O desenho

da superfície das placas seguiu o padrão de um “tabuleiro de xadrez”, no qual as casas “pretas e brancas” representam desníveis (0,3cm de diferença), e a complexidade da placa depende do tamanho das casas do tabuleiro (12x12, 6x6, 4x4, 2x2 cm). A complexidade espacial de cada placa foi medida através do método de “grid” (Williamson & Lawton, 1991), que define a dimensão fractal pelo coeficiente angular da regressão logarítmica entre os valores da escala de “grid” e o número de “grids” em que está presente o objeto mensurado. A complexidade espacial variou entre 1,537 a 1,661 da placa menos complexa à mais complexa. Para os cálculos da complexidade foi utilizado o programa Fractalyse 2.4. Além disso, cada nível de complexidade apresentava uma placa com superfície lisa e outra rugosa, constituindo assim o conjunto de oito placas (Fig. 2). As placas foram dispostas uma a uma ao longo do trecho, distantes dois metros uma da outra, totalizando no final, 14 conjuntos de placas.

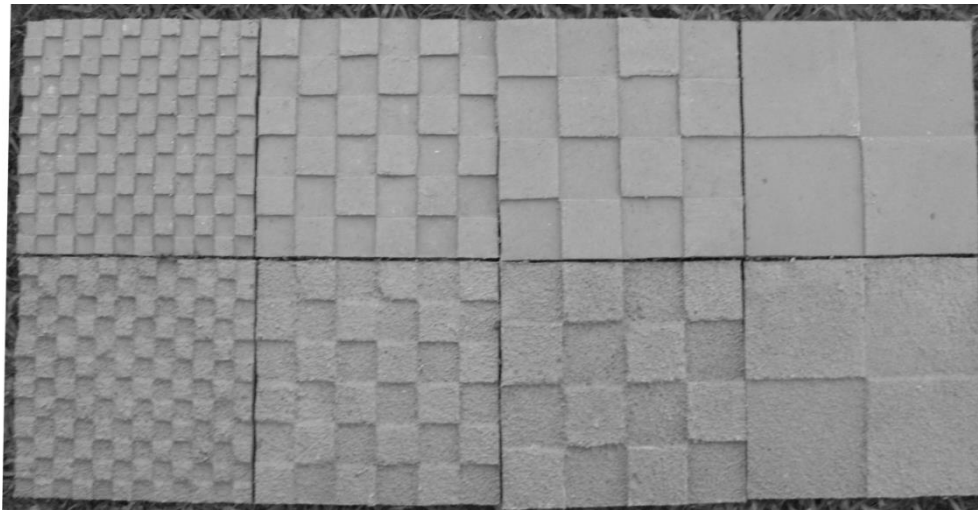


Fig. 2 Foto das placas de polietileno de alta densidade (PEAD) utilizadas no estudo. Vista superior das placas e suas diferentes complexidades espaciais (C4-1,661; C3-1,623; C2- 1,6 e C1-1,537 da esquerda para a direita), acima placas lisas e abaixo rugosas.

A remoção das placas ocorreu aos 1°, 3°, 7°, 14°, 21°, 31°, 41° dias de colonização. Em cada período foram retirados, com o auxílio de uma rede em D (para

evitar perda de organismos), dois conjuntos de placas. Adicionalmente foram registrados a temperatura da água (°C), o potencial hidrogeniônico (pH), a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), o oxigênio dissolvido (mg/l) e a turbidez (NTU), com auxílio de um analisador multiparamétrico. A velocidade da água (m/s) foi medida usando um fluxômetro (Swoffer model 3000) e vazão (m^3/s) calculada através do produto da velocidade média da água por uma área de secção feita no riacho (Lind, 1979). Os valores obtidos nesse monitoramento físico e químico do riacho estão apresentados na tabela 1.

Tab. 1 Valores das variáveis físicas e químicas da água do Córrego Santa Bárbara localizado no município de Ipameri/GO (Agosto-Setembro/2009).

Dias de colonização	DO	Turbidez	Condutividade		Temperatura	Vazão m^3/s	Velocidade m/s
	mg/l		MS/cm	pH	$^{\circ}\text{C}$		
1	7,75	-	0,008	5,48	18,7	0,022	0,545
3	7,83	1	0,008	5,68	20,0	0,022	0,568
7	7,83	-	0,008	6,08	18,3	0,021	0,551
14	7,86	0	0,008	5,32	18,1	0,020	0,547
21	8,46	0	0,008	5,52	19,6	0,021	0,680
31	7,94	1	0,009	5,08	19,3	0,021	0,598
41	7,66	1	0,009	5,14	22,7	0,024	0,638

Logo após a retirada das placas, estas foram escovadas com escova de cerdas macias e o material retido na rede D ($250\ \mu\text{m}$) foi fixado em etanol 80%. As larvas de Chironomidae foram identificadas no menor nível taxonômico possível utilizando a chave de Trivinho-Strixino (2011). Posteriormente os exemplares foram agrupados em três guildas (residente coletor, forrageador coletor e predador) segundo aspectos ecológicos, levando se em conta os hábitos alimentares e comportamento de estabelecimento (larvas construtoras de tubos ou não construtoras).

Análises dos dados

Para avaliar se a complexidade do substrato e a rugosidade são fatores que alteram a riqueza e a abundância das larvas de Chironomidae durante o processo de colonização foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) com medidas repetidas, por meio do programa R (R Core Team, 2012). Esta análise permite comparar a influência das variáveis categóricas (complexidade do substrato e da rugosidade) sobre as variáveis respostas (riqueza e abundância) excluindo o efeito temporal.

Os processos de colonização e sucessão dos organismos foram avaliados para cada nível de complexidade e rugosidade, pelo método de abundância relativa (Brower & Zar, 1984), através da equação $RD_j = D_j / \sum D$, na qual RD_j é a abundância relativa, D_j representa a abundância momentânea da espécie j e $\sum D$ a somatória dos indivíduos ao final do processo de colonização. Este método permite avaliar a relevância de cada grupo nos diferentes estágios serais, levando em conta a representatividade que cada grupo possui durante o processo de colonização. Os organismos foram agrupados em guildas (grupos que apresentam comportamento ecológico similar) visando à identificação de possíveis padrões de colonização.

Resultados

As variáveis físicas e químicas do riacho não apresentaram diferenças marcantes em nenhum dos parâmetros aferidos durante o período de execução do experimento. Ao todo foram coletadas 2.670 larvas de Chironomidae distribuídas em 40 morfotipos, com maiores representatividades das subfamílias Chironominae (42%) e Orthocladiinae (46%).

Tanto a riqueza quanto a abundância de larvas apresentaram valores médios crescentes até o 21º dia de colonização, decrescendo somente após este período (Fig. 3).

Entre os diferentes níveis de complexidade e rugosidade constatou-se valores de riqueza e abundância similares. Deste modo, os resultados da ANOVA não indicaram influência da complexidade e da rugosidade do substrato sobre a riqueza (complexidade $p=0,66$ e rugosidade $p=0,46$) e abundância (complexidade $p=0,71$ e rugosidade $p=0,27$).

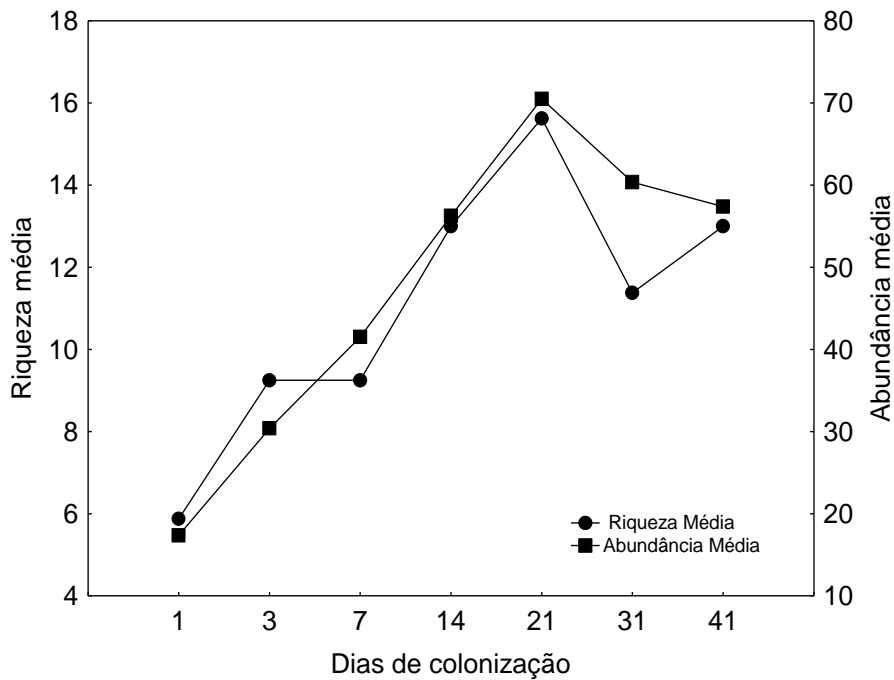


Fig. 3 Valores médios de riqueza e abundância das larvas de Chironomidae coletadas no Córrego Santa Bárbara (Iporá/GO), durante 41 dias de colonização em substratos artificiais.

Da mesma forma, tanto a complexidade quanto a rugosidade não se mostraram como agentes controladores da colonização, levando-se em conta que, pelo método de densidade relativa das guildas ecológicas, não foram observados padrões de colonização, uma vez que os resultados indicaram que o estabelecimento das guildas foi aleatório em todos os substratos analisados (Fig. 4).

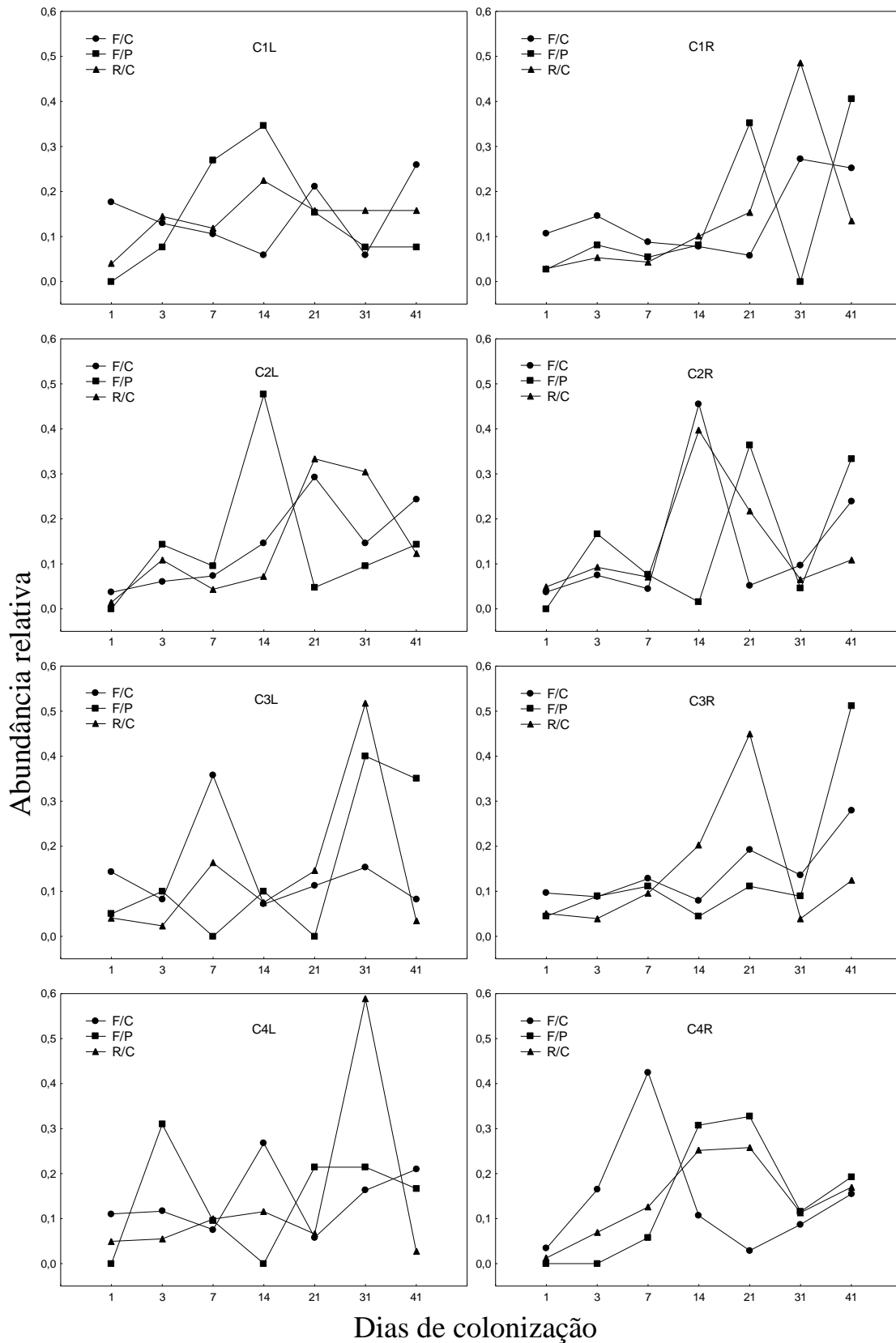


Fig. 4 Gráficos das abundâncias relativas das guildas ecológicas (F- forrageador; R- residente; C- coletor; P- predador) nos diferentes níveis de complexidade (C1, C2, C3, C4) e rugosidade (L- liso; R- rugoso) representando o processo de colonização do substrato.

De um total de 30 gêneros identificados, *Polypedilum*, *Phaenopsectra*, *Caladomyia*, *Labrundinia*, *Pentaneura*, *Cricotopus*, *Nanocladius*, *Rheotanytarsus*, *Corynoneura* e *Thienemanniella* estiveram presentes em todos os períodos de amostragem, sendo os três últimos com elevada participação desde o primeiro dia de colonização (Tab. 2).

Tab. 2 Abundância de larvas e gêneros de Chironomidae amostrados durante o período de 41 dias de colonização no Córrego Santa Bárbara no município de Ipameri/GO.

Subfamília	Gênero	Guildas	1	3	7	14	21	31	41	
Chironominae	<i>Apedium</i>	F/p	-	-	1	5	15	2	48	
	<i>Beardius</i>	R/c	-	-	-	3	6	12	10	
	<i>Chironomus</i>	R/c	-	-	-	-	-	-	3	
	<i>Nilothauma</i>	F/p	-	-	-	3	1	-	2	
	<i>Parachironomus</i>	F/p	-	-	-	-	-	-	1	
	<i>Paratendipes</i>	R/c	2	1	-	5	6	6	5	
	<i>Phaenopsectra</i>	R/c	2	1	1	6	9	2	4	
	<i>Polypedilum</i>	R/c	1	7	6	4	16	10	4	
	<i>Stenochironomus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-
	<i>Zavreliella</i>	R/c	-	-	-	-	4	-	-	
	<i>Caladomyia</i>	R/c	2	7	5	21	62	6	44	
	<i>Rheotanytarsus</i>	R/c	28	53	81	130	130	197	50	
	<i>Stempellinella</i>	R/c	-	4	3	8	31	2	-	
	<i>Tanytarsus</i>	R/c	-	7	2	9	34	8	3	
Tanypodinae	<i>Ablabesmyia</i>	F/p	-	1	-	2	10	1	4	
	<i>Djalmabatista</i>	F/p	-	-	-	-	1	-	1	
	<i>Larsia</i>	F/p	-	-	-	-	10	4	21	
	<i>Labrundinia</i>	F/p	3	28	26	18	47	13	26	
	<i>Monopelopia</i>	F/p	-	-	-	1	3	3	3	
	<i>Macropelopia</i>	F/p	1	8	-	1	-	-	-	
	<i>Pentaneura</i>	F/p	2	4	1	6	9	1	4	
	gr. <i>Thienemannimyia</i>	F/p	-	2	2	12	6	2	1	
Orthoclaadiinae	<i>Corynoneura</i>	F/c	43	83	107	90	65	71	138	
	<i>Cricotopus</i>	R/c	12	6	22	45	54	81	14	
	<i>Nanocladius</i>	F/c	2	6	6	11	19	18	22	
	<i>Parametriocnemus</i>	F/c	-	-	-	-	-	2	6	
	<i>Thienemanniella</i>	F/c	29	23	68	65	26	40	35	
	<i>Onconeura</i>	F/c	12	2	-	4	-	-	7	
	<i>Orthocladus</i>	F/c	-	-	1	1	-	1	2	
	<i>Mesosmittia</i>	F/c	-	-	-	-	-	-	1	

Discussão

Colonização e o substrato

Em leitos de riachos, o tipo de substrato define a estrutura da comunidade bentônica residente. Substratos que apresentam arquitetura mais complexa são importantes para essa fauna, tendo em vista a relação direta existente entre a complexidade espacial e a disponibilidade de nichos e refúgios (O'Connor, 1991; Taniguchi & Tokeshi, 2004). A rugosidade, além de auxiliar na fixação dos organismos ao substrato (Mathooko & Otieno, 2002), influencia no estabelecimento de algas bentônicas (Schneck et al., 2011), importante fonte de alimento para a maior parte das larvas de quironomídeos. Baer et al. (2001) aponta que a maior heterogeneidade do substrato é um fator facilitador para uma rápida colonização por macroinvertebrados. Deste modo, esperava-se que no experimento realizado, o estabelecimento das larvas fosse facilitado nos substratos mais complexos e com superfície rugosa, apresentando maior diversidade antecipadamente nesses substratos quando comparado aos de menor complexidade e lisos. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas nas riquezas e abundâncias de Chironomidae entre as diferentes complexidades e rugosidades do substrato ao longo do tempo. É provável que a real influência da complexidade e da rugosidade do substrato sobre a estrutura faunística de Chironomidae não tenha sido identificada, levando-se em conta que foi testada em apenas um córrego. Uma avaliação que abranja outros riachos facilitaria a identificação de tal influência.

A colonização contínua por larvas de Chironomidae em substratos artificiais é apontada como motivo pelo qual a abundância total de macroinvertebrados não se estabiliza (Baer et al., 2001). O fato dos valores médios da abundância terem sido crescentes até o 21º dia de colonização (Fig. 3) reforça a posição da família Chironomidae como boa e rápida colonizadora quando comparada a outros insetos

aquáticos, resultado também observado em outros estudos (Carvalho & Uieda, 2004; Figueroa et al., 2006; Silveira et al., 2006). Entretanto, quando se comparou individualmente a abundância entre os diferentes substratos, observou-se ampla flutuação ao longo de todo o processo de colonização (Fig. 5) resultado semelhante aos obtidos por Taniguchi & Tokeshi (2004). Sabe-se que a colonização de substratos por macroinvertebrados ocorre basicamente por carreamento (montante-jusante) e por movimentação ativa (jusante-montante, vertical e lateral) (Mathooko & Otieno, 2002; Carvalho & Uieda, 2006) e que as larvas de Chironomidae se dispersam e se estabelecem principalmente por carreamento (Carvalho & Uieda, 2006). Deste modo, nossos resultados apontam que a colonização por parte dos quironomídeos nos substratos artificiais utilizados ocorreu de forma aleatória e contínua.

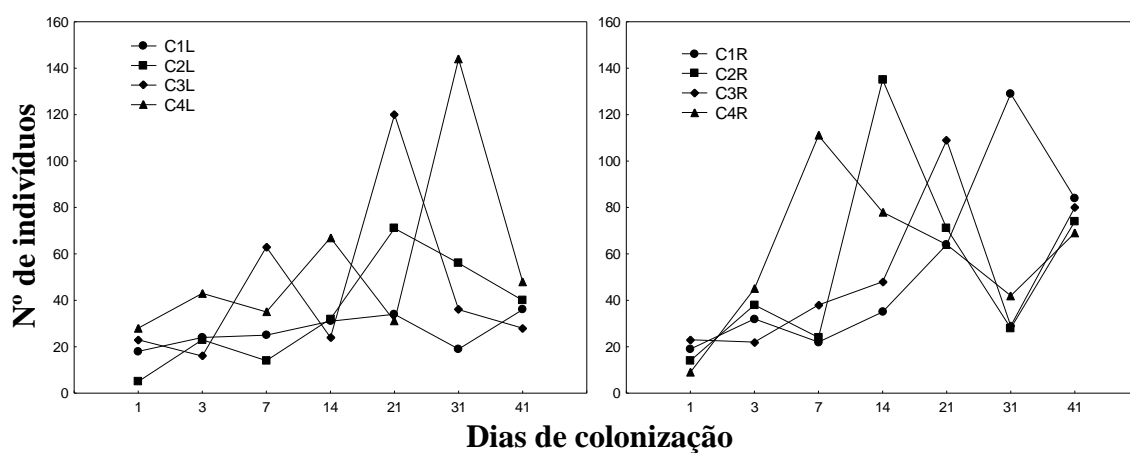


Fig. 5 Número de indivíduos coletados em substratos artificiais com diferentes complexidades (C1, C2, C3 e C4) ao longo de 41 dias de colonização. À esquerda estão representadas as abundâncias dos substratos lisos (L) e à direita dos rugosos (R).

Modelos temporais de ocupação do substrato por grupos funcionais de macroinvertebrados aquáticos são direcionados, ocorrendo, em geral, a colonização inicial por filtradores, seguido de coletores e por fim predadores (Thorp et al., 1985; Malmqvist et al., 1991). Em contrapartida, a colonização por macroinvertebrados pode não obedecer este padrão (Baer et al., 2001). Da mesma forma, como observado no

presente estudo, a colonização por diferentes guildas não seguiu os padrões esperados. É importante ressaltar que a aplicação de grupos funcionais em ambientes tropicais para insetos aquáticos é questionável, levando-se em conta a alta flexibilidade para obtenção de recurso por estes organismos (Tomanova et al., 2006). Como exemplo, entre as larvas de quironomídeos da subfamília Tanypodinae, embora consideradas predadoras (Coffman & Ferrigton, 1996) podem se alimentar também de algas ou detritos, sendo então predadoras facultativas (Trivinho-Strixino & Strixino, 1998; Henriques-Oliveira et al., 2003). Deste modo, assim como os demais macroinvertebrados (Tomanova et al., 2006), a colonização precoce das larvas Tanypodinae (predadores facultativos) juntamente às demais guildas reforça a alta flexibilidade dessa macrofauna na utilização dos recursos, dependendo basicamente da sua disponibilidade.

Grande parte das larvas de quironomídeos é considerada oportunista, alimentando se basicamente dos recursos disponíveis carregados pela água (Nessimian & Sanseverino, 1998), ou seja, tem facilidade na obtenção de alimento, pois dependem simplesmente da deposição ou disponibilidade de detritos orgânicos. Portanto, substratos ainda não ocupados podem oferecer vantagens a estas larvas, que colonizam essas áreas em busca de habitat e alimento evitando a competição com outros organismos por tais recursos.

Organismos e a colonização

Dos 30 táxons encontrados, as larvas de *Polypedilum*, *Phaenopsectra*, *Caladomyia*, *Labrundinia*, *Pentaneura*, *Cricotopus*, *Nanocladius*, *Rheotanytarsus*, *Corynoneura* e *Thienemanniella* (33% do total) foram rápidas colonizadoras, presentes desde o primeiro dia de colonização. Estes são frequentemente apontados como comuns e muitas vezes abundantes em vários sistemas aquáticos (Amorim et al., 2004; Helson et

al., 2006; Sanseverino & Nessimian, 2008). Deste modo, a elevada representatividade numérica dessas larvas, juntamente à alta capacidade dispersiva dos representantes da família (Carvalho & Uieda, 2006), provavelmente são os motivos pelo qual estes organismos foram pioneiros na colonização, considerando-se que tais atributos aumentam a probabilidade de seu estabelecimento em substratos ainda não ocupados. Em contra partida as larvas de *Apedilum*, *Beardius*, *Nilothauma*, *Larsia*, *Monopelopia*, no geral, só se estabeleceram a partir da segunda semana de colonização sendo considerados neste estudo como colonizadores tardios.

Outro resultado interessante foi a colonização dos substratos por larvas de *Stempellinella*, construtoras de tubos transportáveis. Segundo Ferrington Jr (1995) larvas de *Constempellina* se movimentam localmente carregando seus tubos, com o auxílio de estruturas cefálicas, comportamento similar observado em outras larvas construtoras de tubos transportáveis (e.g. *Zavreliella*, *Lauterborniella*, *Constempellina*, *Stempellina* e *Stempellinella*). O deslocamento dessas larvas, porém se restringe a pequenas áreas. Bispo et al. (2001) aponta que a baixa mobilidade de algumas larvas de Trichoptera é atribuída ao fato destas serem construtores de “casas”. Apesar da baixa mobilidade de larvas construtoras de tubos, as larvas de *Stempellinella* no presente estudo ocorreram da segunda até a penúltima coleta, sendo por isso consideradas boas colonizadoras. Em geral este gênero é associado a ambientes lóticos e comumente amostrado em riachos de baixa ordem (Nolte, 1991; Roque et al., 2003; Roque et al., 2007). Biótopos de águas correntes facilitariam a dispersão por carreamento das larvas de *Stempellinella*, aumentando sua capacidade de locomoção apesar destas carregarem consigo seus tubos. Esta observação poderia explicar a capacidade dispersiva e de colonização da maior parte das larvas de Chironomidae deste estudo.

Considerando o tipo e o modo de ocupação do substrato, a ocorrência de larvas de *Stenochironomus* e de *Chironomus* no experimento não era esperada. As larvas de *Stenochironomus* são minadoras de folhas e troncos (Borkent, 1984; Henriques-Oliveira et al., 2003), portanto a presença foi acidental. Da mesma forma, a presença de larvas de *Chironomus*, características de substratos lodosos e pouco oxigenados (Coimbra et al., 1995; Real et al., 2000) não seria esperada. Esses dois táxons foram representados por poucos exemplares, reforçando a ideia de colonização acidental.

A flutuação numérica observada ao longo de todo o experimento (Fig. 5) indica que não houve estabilização da fauna na ocupação dos substratos, mesmo considerando os picos máximos de riqueza e abundância em 21 dias de colonização. Deste modo conclui-se que as larvas de Chironomidae são rápidas colonizadoras, porém, não apresentam padrões de ocupação dos substratos. Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que a complexidade estrutural do substrato (complexidade e rugosidade) não interferiu nos processos de colonização e substituição dos organismos durante a ocupação do substrato artificial. Estudos de colonização de substratos artificiais incluindo períodos mais longos e que abranjam um maior número de riachos são necessários para um melhor entendimento do processo de ocupação da fauna bentônica.

Agradecimentos Os autores agradecem a CAPES pela bolsa concedida à GRM, a FAPESP pelo auxílio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais pela infraestrutura oferecida para realização do trabalho. À Ana Carolina Malta Martins pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Referências Bibliográficas

- Alonso, A., González-Munoz, N. & Castro-Díez, P., 2010. Comparison of leaf decomposition and macroinvertebrate colonization between exotic and native trees in a freshwater ecosystem. *Ecological Research*, 25: 647–653.
- Amorim, R. M., Henrique-Oliveira, A. L. & Nessimian, J. L., 2004. Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) na seção ritral do rio Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. *Lundiana*, 5: 119-127.
- Angradi, T. R., 1996. Inter-habitat variation in benthic community structure, function, and organic matter storage in 3 Appalachian headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(1): 42-63.
- Armitage, P. D., Cranston P. S. & Pinder, L. C. V., 1995. *The Chironomidae: The biology and ecology of non-biting midges*. London, Chapman & Hall, 538p.
- Baer, S. G., Siler, E. R., Eggert, S. L. & Wallace, J. B., 2001. Colonization and production of macroinvertebrates on artificial substrata: upstream–downstream responses to a leaf litter exclusion manipulation. *Freshwater Biology*, 46: 347–365.
- Benke, A. C., 1998. Production dynamics of riverine chironomids: extremely high biomass turnover rates of primary consumers. *Ecology*, 79(3): 899–910.
- Bispo, P. C., Oliveira, L. G., Crisci, V. L. & Silva, M. M., 2001. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna Bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos do Planalto Central do Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 13: 1-9.
- Borkent, A., 1984. The systematic and phylogeny of the *Stenochironomus* complex (Diptera: Chironomidae). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 128: 1-269.

- Brower, J. E. & Zar, J. H., 1984. *Field and laboratory methods for general ecology*.
Dubuque, W. C. Brown Publishers, 226p.
- Carvalho, E. M. & Uieda, V. S., 2004. Colonization by benthic macroinvertebrates in artificial and natural substrates in a mountain stream from Itatinga, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21: 287-293.
- Carvalho, E. M. & Uieda, V. S., 2006. Colonization routes of benthic macroinvertebrates in a stream in southeast Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 18(4): 367-376.
- Coffman, W. P. & Ferrington, L. C., 1996. Chironomidae. In: Merritt, R. W. & Cummins, K. W. (Eds.). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Dubuque: Kendall/Hunt pp. 635 - 754.
- Coimbra, C. N., Graça, M. A. S. & Cortes, R. M., 1996. The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean River. *Environmental Pollution*, 94(3): 301-307.
- Ferrington Jr., L. C., 2008: Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; insecta- Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 447–455.
- Ferrington Jr., L. C., 1995. Utilization of anterior headcapsule structures in locomotion by larvae of *Constempellina* sp. (Diptera: Chironomidae). In: *Chironomids: From Genes to Ecosystems*. Cranston, P. (ed.), CSIRO Publications, pp. 305-316.
- Figueroa, R., Ruéz, V., Niell, X., Araya, E & Palma, A., 2006. Invertebrate colonization patterns in a Mediterranean Chilean stream. *Hydrobiologia*, 571: 409–417.
- Fowler, R. T., 2002. Relative importance of surface and subsurface movement on benthic community recovery in the Makaretu River, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 36: 459–469.

- Helson, J. E., Williams, D. D. & Turner, D. 2006. Larval chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. *Hydrobiologia*, 559: 413–431.
- Henriques-Oliveira, A. L. Nessimian, J. L. & Dorvillé, L. F. M, 2003. Feeding habits of Chironomidae larvae (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. *Brasilian Journal of Biology*, 63(2): 269-281.
- Hose, G. C., Walter, T. & Brooks, A. J., 2007. Short-term colonisation by macroinvertebrates of cobbles in main channel and inundated stream bank habitats. *Hydrobiologia*, 592: 513–522
- Lind, O. T., 1979. *Handbook of Common Methods in Limnology*. London, Cambridge The C. V. Mosby Company, 199p.
- Malmqvist B., Rundle S., Bronmark C. & Erlandsson A., 1991. Invertebrate colonization of a new, man made stream in southern Sweden. *Freshwater Biology*, 26: 307–324.
- Mathooko, J. M. & Otieno, C. O., 2002. Does surface textural complexity of woody debris in lotic ecosystems influence their colonization by aquatic invertebrates? *Hydrobiologia*, 489: 11–20.
- Melo, A. S. & Fröhlich, C. G., 2004. Colonization by Macroinvertebrates of Experimentally Disturbed Stones in Three Tropical Streams Differing in Size. *International Review of Hydrobiology*, 89(3): 317–325.
- Nessimian, J. L. & Sanseverino, A., 1998. Trophic functional characterization of Chironomidae larvae (Diptera: Chironomidae) in a first order stream at the mountain region of Rio de Janeiro State, Brazil. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 26: 2115-2119.

- Nolte, U., 1991. Seasonal dynamics of moss-dwelling chironomid communities. *Hydrobiologia*, 222: 197-211.
- O'Connor, N. A., 1991. The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. *Oecologia*, 85: 504-512.
- Poff, N. L., 1997. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16(2): 391-409.
- R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Real, M. Rieradevall, M. & Prat, N., 2000. *Chironomus* species (Diptera: Chironomidae) in the profundal benthos of Spanish reservoirs and lakes: factors affecting distribution patterns. *Freshwater Biology*, 43: 1-18.
- Ribeiro, L. O. & Uieda, V. S., 2005. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(3): 613-618.
- Roque, F. O., Trivinho-Strixino, S., Milan, L. & Leite, J. G., 2007. Chironomid species richness in low-order streams in the Brazilian Atlantic Forest: a first approximation through a Bayesian approach. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(2): 221–231
- Roque, F. O., Trivinho-Strixino, S. Strixino, G., Agostinho, R. C. & Fogo, J. C., 2003. Benthic macroinvertebrate in streams of the Jaragua State Park (Southeast of Brazil) considering multiple spatial scales. *Journal of Insect Conservation*, 7: 63-72.
- Saito, V. S. & Mazão, G. R., 2012. Macroinvertebrates under stochastic hydrological disturbance in cerrado streams of Central-Brazil. *Iheringia*, 102(4): 448-452.

- Sanseverino, A. M. & Nessimian, J. L., 2008. Larvas de Chironomidae (Diptera) em depósitos de folhiço submerso em um riacho de primeira ordem da Mata Atlântica (Rio de Janeiro, Brasil). *Revista Brasileira de Entomologia*, 52(1): 95-104.
- Sanseverino, A. M., Nessimian, J. L. & Oliveira, A. L. H., 1998. A fauna de Chironomidae (Diptera) em diferentes biótopos aquáticos na Serra do Subaio (Teresópolis/RJ). In: *Ecologia de Insetos Aquaticos*. Nessimian, J. L. & Carvalho A. L. (eds), Rio de Janeiro, Oecologia Brasiliensis, pp. 253-263.
- Schneck, F., Schwarzbald, A. & Melo, A. S., 2011. Substrate roughness affects stream benthic algal diversity, assemblage composition, and nestedness. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(4): 1049–1056.
- Silveira, M. P., Buss, D. F., Nessimian, J. L. & Baptista, D. F., 2006. Spatial and temporal distribution of benthic macroinvertebrates in a southeastern Brazilian river. *Brazilian Journal of Biology*, 66(2B): 623-632.
- Tanaka, M. O., Ribas, A. C. A. & Souza, A. L. T., 2006. Macroinvertebrate succession during leaf litter breakdown in a perennial karstic river in Western Brazil *Hydrobiologia*, 568: 493–498.
- Taniguchi, H. & Tokeshi, M., 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, 49: 1164–1178.
- Tokeshi, M. & Arakaki, S., 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractal and beyond. *Hydrobiologia*, 685: 27-47.
- Tomanova, S. Goitia, E. & Helesic, J., 2006. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556: 251–264.
- Trivinho-Strixino, S. & Strixino, G. 1998. Chironomidae (Diptera) associado a troncos de arvores submersos. *Revista Brasileira de Entomologia*, 41(2-4): 173-178.

- Trivinho-Strixino, S., 2011. *Larvas de Chironomidae: Guia de identificação*. São Carlos: gráfica UFScar, v. 1,2,3. 371p.
- Thorp, J. H., McEwan, E. M., Flynn, M. F. & Hauer, F. R., 1985. Invertebrate colonization of submerged wood in a Cypress-Tupelo swamp and blackwater stream. *American Midland Naturalist*, 113: 56–68.
- Vieira, L. C. G., Bini, L. M., Velho, L. F. M. & Mazao, G. R., 2007. Influence of spatial complexity on the density and diversity of periphytic rotifers, microcrustaceans and testate amoebae. *Fundamental and Applied Limnology*, 170: 77–85.
- Williams, D. D. & Hynes, H. B. N., 1976. The recolonisation mechanisms of the stream benthos. *Oikos*, 27: 265–272.
- Williamson, M. H. & Lawton, J. H., 1991. Fractal geometry of ecological habitats. In: *Habitat Structure: the Physical Arrangement of Objects in Space*. Bell, S. S., McCoy, E. D. & Mushinsky, H. R. (eds.), Chapman & Hall, London, pp. 69–86.
- Yamamuro, A. M. & Lamberti, G. A., 2007. Influence of organic matter on invertebrate colonization of sand substrata in a northern Michigan stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(2): 244–252.

CAPITULO II

**A geometria fractal do substrato é importante
para as larvas de Chironomidae (Diptera)
resistirem à perturbação hídrica?**

A geometria fractal do substrato é importante para as larvas de Chironomidae (Diptera) resistirem à perturbação hídrica?

Gustavo Rincon Mazão¹

1 Programa de Pós-Graduação em Ecologia Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Resumo

Alterações abruptas na vazão de riachos, decorrentes de chuva, aumentam o arrasto dos organismos e modificam as características do substrato, reduzindo assim a disponibilidade de refúgios e, por conseguinte a diversidade faunística local. Nestes casos, substratos mais complexos oferecem condições mais favoráveis à fauna, pois reduzem a força de arrasto da água. O experimento foi executado em quatro riachos do Brasil Central nas estações secas de 2009 e 2010. Placas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com quatro níveis de complexidade e dois de rugosidade foram utilizadas como substrato para organismos da família Chironomidae. Foram observados dois momentos, IX/2009 quando ocorreu chuva e VIII/2010 sem chuva. Foram coletados nos dois experimentos 2.012 indivíduos e identificados 36 táxons. A análise de variância não indicou diferenças significativas entre a fauna e os níveis de complexidade e rugosidade do substrato. Porém, a ocorrência de chuva afetou a abundância dos organismos, sendo observada uma redução significativa no número de indivíduos depois das chuvas comparado aos dados do período sem essa perturbação. A Análise de Espécies Indicadoras indicou que os morfotipos *Beardius* sp., *Apedilum* sp.2, *Caladomyia* sp.2, *Tanitarsus* sp. e *Labrundinia* sp.3 foram mais sensíveis à perturbação.

Palavras Chaves: complexidade do substrato, rugosidade do substrato, distúrbio, Chironomidae

Abstract

Is geometry fractal of substrate important for Chironomidae (Diptera) larvae to resist hydrological disturbance? Sudden changes in stream flow caused by rain events increase drifting of organisms and modify substrate characteristics. In consequence, the availability of refuges and the diversity of local fauna are reduced. In this case, most complex substrates may be propitious to the establishment of fauna as they reduce drift forces of water. The aim of this study was to assess the influence of substrate spatial complexity on the establishment of Chironomidae larvae during stochastic rain events. The experiment was carried out in four streams of Central Brazil during dry seasons of 2009 and 2010. High Density Polyethylene tiles with four spatial complexity levels and two surface roughness levels were utilized as substrate in two samplings (September of 2009, when some rain fell, and August of 2010, when no rain was recorded). A total of 2012 organisms of 36 taxa were collected in both field experiments. Factorial ANOVA test showed no significant differences in fauna structure among complexity and roughness levels. However, as expected, the rain events influenced the abundance of organisms, resulting in significant differences between months with recorded rain and months with no recorded rain. The Species Indicator Analysis showed that the larvae of *Beardius*, *Apedilum*, *Caladomyia*, *Tanytarsus* and *Labrundinia* taxa are sensitive to disturbance.

Key words: substrate complexity, substrate roughness, disturbance, Chironomidae

Introdução

Alterações abruptas das características do habitat são eventos que atuam diretamente sobre a biota sendo responsáveis pela diminuição da abundância e diversidade de espécies local. Nos ecossistemas lóticos modificações do habitat pela deposição de sedimento (Vasconcelos & Melo, 2008), movimentação e estabilidade do substrato (Cobb et al., 1992), pela queimada da vegetação do entorno (Beganyi & Batzer, 2011), bem como mudanças na vazão (Collier & Quinn, 2003; James et al., 2008) são alguns exemplos destes eventos de perturbação que impactam negativamente a fauna.

A pluviosidade, associada a sazonalidade, é apontada como um dos fatores estruturantes da comunidade de macroinvertebrados (Buss et al., 2004; Bispo & Oliveira, 2007). No Brasil Central, onde o regime pluviométrico é bem definido, com ampla diferença na frequência de chuvas durante as estações de seca e chuvosa, foi observada significativa redução na abundância de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em função de alterações da vazão nos riachos desta região (Bispo et al., 2001). Assim como EPT, as larvas de Chironomidae também apresentam flutuação na sua densidade numérica decorrente do regime pluviométrico anual (Silva et al., 2009). Além da influência sazonal da chuva, eventos súbitos de fortes chuvas no período de estiagem também são apontados como fatores impactantes sobre a fauna de macroinvertebrados (Carvalho & Uieda, 2004).

O substrato tem um importante papel na manutenção da fauna aquática nos casos de alterações na vazão, levando-se em conta que a estabilidade do substrato depende diretamente de variações destas decorrentes de chuvas (Melo & Fröhlich, 2004), as quais produzem alterações físicas do substrato, ocasionando a redução drástica no número de insetos aquáticos (Flecker & Feifarek, 1994). Lancaster (2000) ressalta que a

presença de micro-habitats de refúgio (áreas discretas como frestas, fendas, buracos e saliências, que reduzem os impactos negativos dos distúrbios e da força d'água) no substrato é importante para a permanência e sobrevivência de invertebrados aquáticos, além de ser elemento auxiliar na recolonização das áreas impactadas. Além disto, a presença desses micro-habitats é apontada como fator que aumenta a diversidade de organismos aquáticos (O'Connor, 1991; Mathooko & Otieno, 2002; Taniguchi & Tokeshi, 2004; Vieira et al., 2008).

Taniguchi et al. (2003) comparando a complexidade do habitat entre substratos artificiais e naturais, encontraram elevada riqueza de macroinvertebrados em ambos substratos. Deste modo a utilização de substratos artificiais em experimentos, além de oferecer resultados similares aos encontrados em substratos naturais, oferece vantagem pela facilidade de manipulação e determinação da complexidade espacial do substrato. Apesar de conhecidas as influências das características do substrato e das perturbações sobre a fauna bentônica, estudos que agreguem as interações entre ambos são de grande valor, pois permitem relacionar a influência exercida pelo substrato na redução dos impactos suportados pela fauna em casos de perturbação hídrica.

Insetos aquáticos de sistemas lóticos, em geral, possuem estruturas morfológicas (e. g. ventosas e garras), anatomia reofílica (corpo achatado no sentido dorso ventral e pernas projetadas lateralmente) ou adaptações comportamentais (construção de tubos para redução da resistência hídrica, utilização de microhabitats estáveis) que reduzem os problemas devido à resistência hídrica (Wallace & Anderson, 1996). Dentre os insetos aquáticos destacam-se as larvas da família Chironomidae por sua representatividade numérica e diversidade (Armitage et al., 1995; Ferrington Jr., 2008). Apesar de serem construtoras de tubos e possuírem garras nos pseudópodos (Trivinho-Strixino, 2011; Pinder, 1995), suas larvas não são muito resistentes ao arrasto pela correnteza da água

(Lancaster, 2000), sendo numericamente abundantes em redes de deriva (Callisto & Goulart, 2005). Por suas características e representatividade, as larvas desta família são indicadas como um bom instrumento para avaliações da importância do substrato sobre a fauna em caso de distúrbio hídrico.

Considerando as características do substrato e os distúrbios hídricos não sazonais, e, pautado na hipótese de que a complexidade espacial do substrato influencia na resistência da comunidade bentônica à perturbação causada pela chuva em ambientes lóticos, o presente estudo tem como objetivo avaliar a estrutura da fauna de Chironomidae buscando responder as seguintes questões: A complexidade espacial e a rugosidade do substrato são fatores importantes na manutenção da riqueza e da abundância de larvas de quironomídeos frente ao distúrbio hídrico? Existe redução na perda de diversidade dos organismos na medida em que aumenta a complexidade espacial e a rugosidade? Quais são os táxons mais sensíveis à perturbação hídrica?

Materiais e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na região leste do estado de Goiás no município de Mimoso de Goiás (Brasil), divisa com a região norte do estado (Fig. 1). Localizada dentro da bacia Tocantins-Araguaia a região possui grande número de mananciais e Riachos, que desaguam no Rio Maranhão. A paisagem, composta predominantemente por serras, vales e montanhas, tem como vegetação dominante o Cerrado *sensu stricto*, sendo também visualizadas áreas de pastos em função da principal atividade econômica da região, a pecuária.

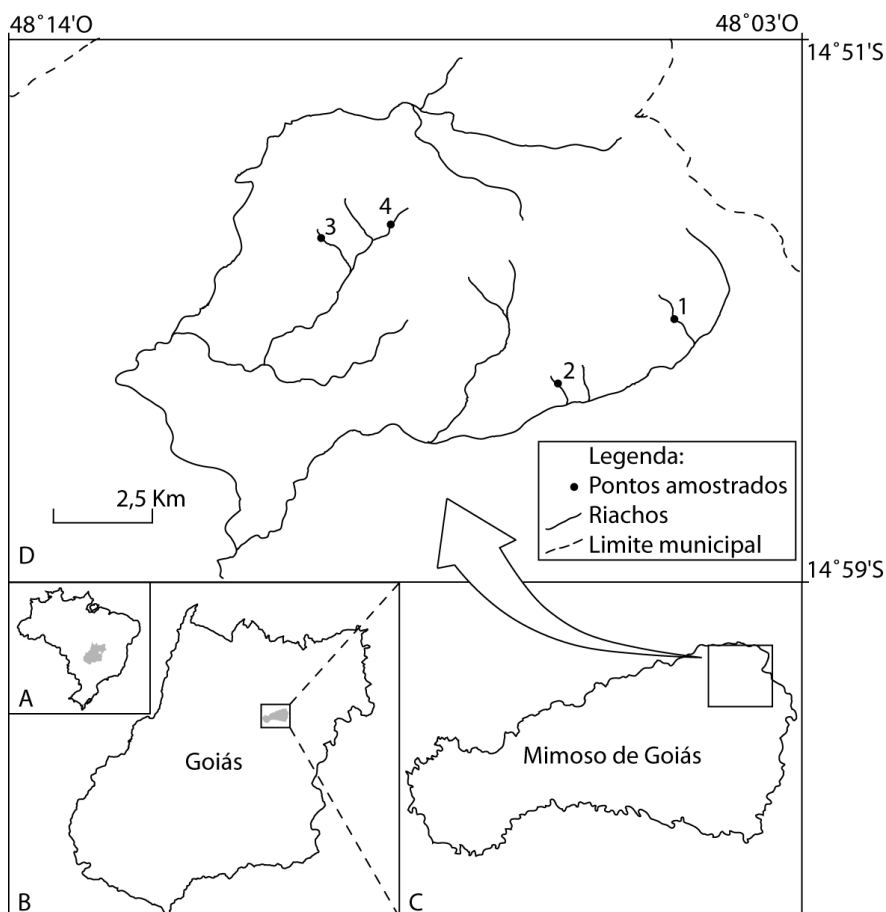


Fig. 1 Figura de localização dos riachos estudados: em A, mapa do Brasil com destaque para o estado de Goiás; em B, mapa do estado de Goiás com destaque para o município de Mimoso de Goiás; em C, localização dos riachos no município de Mimoso de Goiás; em D, representação e localização dos riachos e pontos coletados.

A região onde o estudo foi desenvolvido, caracteriza-se pelo clima tropical quente semiúmido com regime sazonal de chuvas definido em duas estações climáticas, uma chuvosa e mais longa entre os meses de outubro a abril, e outra seca entre os meses de maio e setembro (Fig. 2) (Saito & Mazão, 2012).

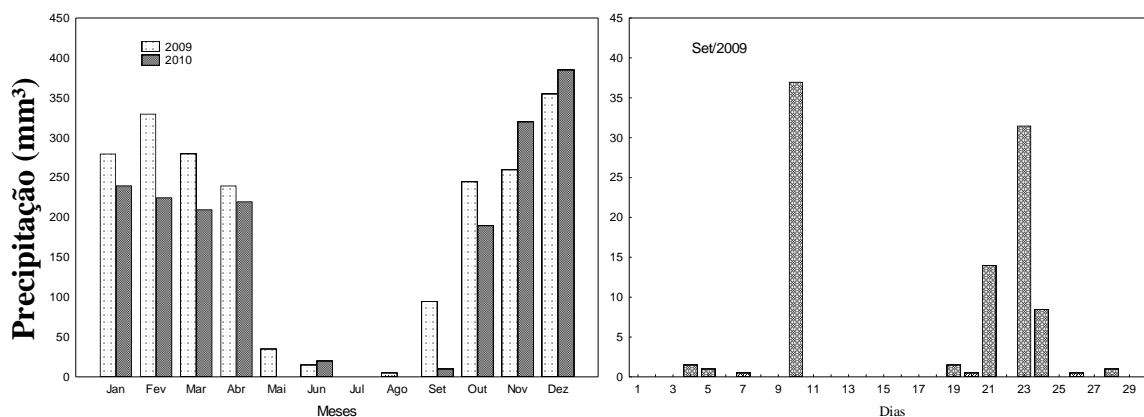


Fig. 2 Gráficos dos valores pluviométricos obtidos pela Estação Meteorológica Pirenópolis (Brasil, INMET, 2012). À esquerda o gráfico com os valores mensais de chuva acumulada (mm) para os anos de 2009 e 2010. À direita o gráfico com os valores diários de chuva acumulada (mm) para o mês de setembro de 2009.

Os riachos da região são similares, apresentando uma composição estrutural constituída de rochas nuas e seixos, alternando corredeiras e remansos (onde se deposita matéria orgânica como folhas e troncos) e mata ciliar preservada.

Delineamento Experimental

Os experimentos foram realizados em quatro riachos de primeira ordem em dois momentos: um em setembro de 2009 e outro em agosto de 2010. No leito dos riachos foram fixadas, amarradas sobre pedras do próprio riacho, placas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com superfícies lisas e rugosas para cada nível de complexidade. As placas tinham área superficial aproximada de 576 cm² (24 x 24 cm) e arquitetura superficial semelhante a “tabuleiro de xadrez”. A distinção da complexidade espacial das placas (variando de 1,537 a 1,661 da menos complexa à mais complexa) se baseou no tamanho das casas do tabuleiro (12 x 12; 6 x 6; 4 x 4; 2 x 2 cm), que se apresentavam em desnível (0,3 cm) entre casas “brancas e pretas” (Fig. 3), modelo semelhante ao proposto por Taniguchi & Tokeshi (2004). A complexidade espacial de cada placa foi medida através do método de “grid” (Williamson & Lawton, 1991), que define a dimensão fractal pelo coeficiente angular da reta de regressão logarítmica entre

os valores da escala de “grid” e o número de “grids” que apresentam parte do objeto mensurado. Para realização dos cálculos da complexidade das placas foi utilizado o programa Fractalize 2.4.

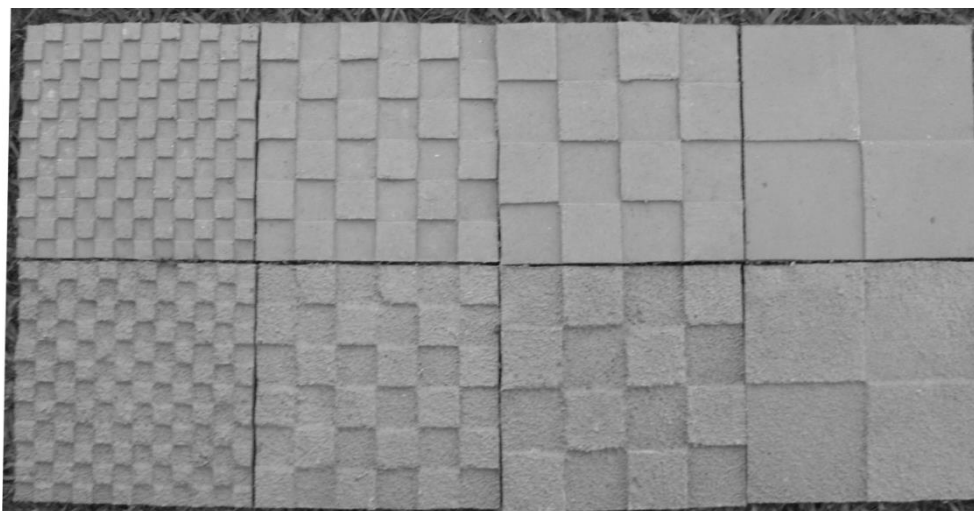


Fig. 3 Foto das placas de polietileno de alta densidade (PEAD) utilizadas no estudo. Vista superior das placas e suas diferentes complexidades espaciais (C4- 1,661; C3- 1,623; C2- 1,6 e C1- 1,537 da esquerda para a direita), acima placas lisas e abaixo rugosas.

As placas foram fixadas no primeiro dia dos meses citados anteriormente e mantidas por um período de 30 dias para que houvesse colonização pelos insetos como recomendado por Carvalho & Uieda (2004). No primeiro experimento as placas foram fixadas em setembro (2009), quando ocorrem as primeiras chuvas na região, que em geral são eventos raros, porém intensos. No segundo, as placas foram fixadas em agosto (2010), período em que não foram observados eventos de chuva (Fig. 2). Após o período de colonização das placas estas foram removidas com o auxílio de uma rede D (250 μ m) para que não houvesse perda de organismos. O material depositado sobre as placas foi lavado com uma escova de cerdas macias, sendo todo material fixado em etanol 80%, em campo, e triado sob estereoscópio em laboratório. As larvas de

Chironomidae foram montadas em lâminas em meio Hoyer e identificadas em nível de morfótipo com auxílio de chave (Trivinho-Strixino, 2011).

Analises dos dados

Os dados obtidos foram analisados após normalização [$\log(x+1)$]. Para avaliar se a complexidade espacial e a rugosidade do substrato são fatores que reduzem a perda da diversidade de larvas de Chironomidae em caso de perturbação, foi realizada uma análise de variância fatorial (ANOVA). Foram comparadas as estruturas faunísticas (riqueza e abundância) entre os diferentes níveis de complexidade e rugosidade do substrato, nos dois períodos (com e sem interferência de chuvas), utilizando o programa R (R Core Team, 2012).

Para identificar os táxons sensíveis à perturbação foi realizada uma Análise de Espécies Indicadoras (ISA) (Dufrene & Legendre, 1997). Através da combinação entre a abundância relativa e a fidelidade dos táxons a uma determinada situação (perturbada ou não) a uma categoria específica da variável em estudo, esta análise permite identificar quais são as espécies sensíveis à perturbação. A validação na identificação dos táxons sensíveis foi feita por meio de um teste de Monte Carlo (10.000 permutações), utilizando o programa de análises multivariadas PC-ORD 5.15 (McCune & Mefford, 2006).

Resultados

Ao todo foram coletadas 2.012 larvas de 36 táxons, dos quais, 655 foram amostradas no primeiro experimento (sob influência de chuvas) e 1.357 no segundo experimento (sem influência de chuva). As larvas da tribo Chironomini foram as mais

representativas nos dois períodos de coleta contribuindo respectivamente com 56% (IX/2009) e 75% (VIII/2010).

A análise de variância, aplicada tanto à complexidade quanto à rugosidade, indicou que esses fatores não reduziram a perda de organismos durante o evento de perturbação (Tab. 1). Portanto não foram observadas diferenças na riqueza (Rugosidade $F=1,47$ e $p=0,22$; Complexidade $F= 0,65$ e $p= 0,58$) e abundância (Rugosidade $F=2,25$ e $p=0,13$; Complexidade $F= 1,28$ e $p= 0,28$) entre os dois períodos analisados. Porém, quando a fauna foi comparada nos períodos com e sem perturbação não se observou diferença na riqueza ($F=1,84$ e $p=0,18$), mas houve redução significativa na abundância ($F=11,4$ e $p=0,001$), com menor número de indivíduos na presença de perturbação.

Tab. 1 Resultados da Análise de variância para testar o efeito da complexidade do substrato e da rugosidade sobre a riqueza e abundância (transformadas \log_{10}) de larvas de Chironomidae em regimes hídricos distintos (com e sem chuva) em quatro riachos do município de Mimoso de Goiás/GO, Brasil.

Fatores	F	p
Riqueza		
Rugosidade	1,4783	0,229993
Complexidade	0,6564	0,582881
Distúrbio	1,8465	0,180537
Rugosidade*Distúrbio	0,4314	0,731476
Complexidade*Distúrbio	0,6189	0,435314
Complexidade*Rugosidade	1,2975	0,286081
Rugosidade*Complexidade*Distúrbio	0,1313	0,941005
Abundância		
Rugosidade	2,25191	0,139999
Complexidade	1,28628	0,289795
Distúrbio	11,40029	0,001463
Rugosidade*Distúrbio	0,43543	0,728629
Complexidade*Distúrbio	2,76945	0,102595
Complexidade*Rugosidade	0,41684	0,741704
Rugosidade*Complexidade*Distúrbio	0,30317	0,822942

Dentre os 36 morfótipos identificados (Tab. 2) nos dois períodos amostrados, *Paratendipes* sp., *Pseudochironomus* sp., *Stempellinella* sp., *Paracladius* sp. e

Orthocladius sp. só foram encontrados no período sem chuva. A análise ISA identificou que cinco morfotipos (*Beardius* sp. *Apedilum* sp.2 *Caladomyia* sp.2, *Tanytarsus* sp. e *Labrundinia* sp.3) foram sensíveis à perturbação (Tab. 2).

Tab. 2 Tabela contendo as morfotipo sensíveis à perturbação obtida a partir da Analise de Espécies Indicadoras (ISA). IV – corresponde ao valor de indicação de cada morfotipos (%). Teste validado pelo teste de Monte Carlo (10.000 permutações).

Morfotipo	Ambiente	IV	P
<i>Beardius</i> sp.1	S. perturbação	37,5	0,0228
<i>Chironomus</i> sp.	C. perturbação	3,1	10,000
<i>Cryptochironomus</i> sp.	S. perturbação	13,7	0,5315
<i>Endotribelus</i> sp.	S. perturbação	5,5	10,000
<i>Nilothauma</i> sp.	C. perturbação	7,1	10,000
<i>Parachironomus</i> sp.	C. perturbação	12,5	0,1115
<i>Paratendipes</i> sp.	S. perturbação	6,2	0,4849
<i>Polypedilum</i> sp.1	S. perturbação	13,6	0,4873
<i>Polypedilum</i> sp.2	C. perturbação	3,1	10,000
<i>Pseudochironomus</i> sp.	S. perturbação	6,2	0,492
<i>Apedilum</i> sp.1	S. perturbação	13,3	0,141
<i>Apedilum</i> sp.2	S. perturbação	24,6	0,0068
<i>Xestochironomus</i> sp.	S. perturbação	3,1	10,000
<i>Caladomyia</i> sp.1	S. perturbação	36,4	0,9373
<i>Caladomyia</i> sp.2	S. perturbação	46,7	0,0185
<i>Rheotanytarsus</i> sp.	C. perturbação	9,8	0,7365
<i>Tanytarsus</i> sp.1	S. perturbação	15,2	0,7761
<i>Tanytarsus</i> sp.2	S. perturbação	65,2	0,0013
<i>Stempellinella</i> sp.	S. perturbação	9,4	0,2402
<i>Ablabesmyia</i> sp.	S. perturbação	35,8	0,1958
<i>Alotanypus</i> sp.	S. perturbação	10,1	0,5773
<i>Djalmabatista</i> sp.	S. perturbação	5,4	0,9339
<i>Fittkauimyia</i> sp.	C. perturbação	7,5	0,4941
<i>Labrundinia</i> sp.1	C. perturbação	38,2	0,1173
<i>Labrundinia</i> sp.2	C. perturbação	18,5	0,3624
<i>Labrundinia</i> sp.3	S. perturbação	56,4	0,0058
<i>Pentaneura</i> sp.	C. perturbação	19,6	0,8875
<i>Paracladius</i> sp.	S. perturbação	9,4	0,234
<i>Corynoneura</i> sp.	S. perturbação	31,4	0,2538
<i>Cricotopus</i> sp.	C. perturbação	28,1	0,2776
<i>Nanocladius</i> sp.	C. perturbação	25,5	0,0914
<i>Parakiefferiella</i> sp.	C. perturbação	3,1	10,000
<i>Parametriocnemus</i> sp.	C. perturbação	3,1	10,000
<i>Thienemanniella</i> sp.	S. perturbação	12,5	0,9375
<i>Orthocladius</i> sp.	S. perturbação	3,1	10,000

Discussão

Perturbação e o substrato

As oscilações de vazão em sistemas lóticos resultantes de chuvas são fatores que influenciam na estrutura da comunidade de macroinvertebrados (Flecker & Feifarek, 1994; Buss et al., 2004). Nos riachos do Brasil Central, onde o regime climático sazonal é bem definido, ficam evidentes essas alterações da comunidade em função das chuvas (Diniz-Filho et al., 1998; Bispo et al., 2001; Bispo & Oliveira, 2007; Saito & Mazão, 2012). Este fato foi observado no presente estudo, onde ocorreu decréscimo da abundância durante o evento de perturbação. Diferentes autores também verificaram perda significativa na densidade numérica de indivíduos em decorrência de eventos de chuva (Flecker & Feifarek, 1994; Carvalho & Uieda, 2004; Bispo & Oliveira, 2007; Saito & Mazão, 2012). Com o aumento na força de arrasto da água, em função do aumento da vazão, boa parte dos organismos é carregada, resultando na diminuição da abundância local. Além do carreamento dos organismos, em função do distúrbio, a diminuição da disponibilidade de alimento e a redistribuição de predadores também são fatores responsáveis pela movimentação ativa ou passiva da fauna bentônica, reduzindo assim a densidade numérica local destes organismos (Lancaster & Hildrew, 1993).

Cobb et al. (1992) acrescentam que estudos nos quais o substrato é artificialmente ou naturalmente perturbado, tanto a abundância quanto a riqueza de espécies diminui. Diferente do esperado, não foi observada diminuição da riqueza de organismos nos riachos estudados. As larvas de Chironomidae, em geral, são pouco resistentes a aumento na vazão, sendo frequentemente encontradas em redes de deriva (Boyero & Bosch, 2002; Callisto & Goulart, 2005; Hay et al., 2008). Esta característica pode ter mascarado a perda local de taxóns. Provavelmente houve redistribuição da fauna local, pois, ao mesmo tempo em que houve a redução no número de táxons, pode

ter havido reposição destes de trechos a montante do experimento. Outro aspecto que vale ser lembrado é que esta família é considerada boa colonizadora (Figueiroa et al., 2006; Silveira et al., 2006), fato que explicaria a recomposição faunística em um curto período de tempo após o último grande evento de chuva (23/IX/ 2009) (Fig. 3).

As características estruturais do substrato são importantes para a diversidade local de macroinvertebrados, levando-se em conta que sua maior complexidade proporciona maior possibilidade de refúgios e nichos para tais organismos (O'Connor, 1991; Taniguchi & Tokeshi, 2004). A disponibilidade de refúgios (microhabitats) reduz os efeitos das forças hidráulicas garantindo a estabilidade da fauna, mesmo em situações de aumento de vazão (Lancaster, 2000). Assim sendo, no presente estudo, eram esperadas diferenças significativas na perda de organismos entre os substratos com diferentes complexidades e rugosidades, havendo maior perda nos substratos menos complexos e lisos. Entretanto, não foi constatada diferenças significativas na perda de riqueza taxonômica e abundância de larvas de Chironomidae entre os diferentes substratos expostos à perturbação. Este resultado reflete a pouca adaptabilidade destas larvas às alterações na vazão, pois independente da arquitetura do substrato a redução da abundância dos organismos ocorreu de forma semelhante.

Organismos e a perturbação

Do total de morfotipos coletados, 14% (*Paratendipes* sp., *Pseudochironomus* sp., *Stempellinella* sp., *Paracladius* sp. e *Orthocladius* sp.) só foram registrados no período sem perturbação. A baixa abundância destes táxons foi responsável pelo fato de não serem consideradas boas indicadoras. Trabalhos da literatura que avaliam a comunidade de Chironomidae apontam que espécies de gêneros, como *Pseudochironomus*, *Stempellinella* e *Orthocladius* são, em geral, pouco representativas

e frequentes (Sanseverino et al., 1998; Amorim et al., 2004; Helson et al., 2006). Silva et al. (2009) avaliando durante um ano a fauna de Chironomidae no Rio Batalha na região centro-oeste do estado de São Paulo registraram a presença de *Paratendipes* em apenas um mês. Embora estes táxons não tenham sido considerados como sensíveis à perturbação na análise ISA, sua ausência no período perturbado deve ser considerada na redução da diversidade local, através da perda das espécies menos abundantes e raras.

Todos os morfotipos apontados como sensíveis à perturbação pertencem a gêneros cujas espécies possuem como habitat preferencial ambientes lênticos. Larvas de *Beardius*, *Caladomyia* e *Labrundinia*, apesar de encontrados em riachos e rios de baixa velocidade, são mais frequentes em águas lênticas (Trivinho-Strixino & Strixino, 2003; Pinho et al., 2009); *Apedilum* e *Tanytarsus* são comuns em lagoas e reservatórios (Trivinho-Strixino, 2011). Embora a família apresente ampla distribuição no que diz respeito à ocupação de habitat (Nessimian & Sanseverino, 1998) tais táxons provavelmente são mais sensíveis levando se em conta sua baixa resistência ao arrasto pela água.

Por outro lado, *Rheotanytarsus*, *Corynoneura*, *Cricotopus*, *Nanocladius* e *Thienemanniella*, característicos de ambientes de água corrente (Trivinho-Strixino, 2011), foram observados com densidades numéricas similares nos dois períodos de coleta. A razão pela qual estes táxons suportam melhor a força de arrasto da água provavelmente se deve pelo seu pequeno tamanho corpóreo ou pela capacidade de construir casulos fixados ao substrato, como é o caso de *Rheotanytarsus*.

É recomendado um acompanhamento do comportamento da fauna mais imediato à perturbação para identificação das alterações ocorridas. Outra sugestão é a manipulação de diferentes níveis de perturbação (utilizando esta como variável contínua) e a frequência destas artificialmente, o que facilitaria a avaliação das

modificações na fauna. Tais experimentos contribuiriam com o maior entendimento das interações existentes entre a importância do substrato e a manutenção da fauna em caso de perturbações hídricas.

Agradecimentos Os autores agradecem a CAPES pela bolsa concedida à GRM, a FAPESP pelo auxílio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais pela infraestrutura oferecida para realização do trabalho. A Daniel Orsi Laranjeira, Joaquim Vieira Fernandes e Juliana Beatriz Sousa Leite pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Referências Bibliográficas

- Amorim, R. M., Henrique-Oliveira, A. L. & Nessimian, J. L., 2004. Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) na seção ritral do rio Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. *Lundiana*, 5: 119-127.
- Armitage, P. D., Cranston P. S. & Pinder, L. C. V. 1995. *The Chironomidae: The biology and ecology of non-biting midges*. London, Chapman & Hall, 538p.
- Beganyi, S. R. & Batzer, D. P., 2011. Wildfire induced changes in aquatic invertebrate communities and mercury bioaccumulation in the Okefenokee Swamp. *Hidrobiologia*, 669: 237–247.
- Bispo, P. C., Oliveira, L. G., Crisci, V. L. & Silva, M. M., 2001. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna Bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos do Planalto Central do Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 13: 1-9.

- Bispo, P. C. & Oliveira, L. G., 2007. Diversity and structure of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 283–293.
- Brasil, INMET 2012. *Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*
<http://www.inmet.gov.br>.
- Boyero, L. & Bosch, J., 2002. Spatial and Temporal Variation of macroinvertebrate Drift in Two Neotropical Streams. *Biotropica*, 34(4): 567-574.
- Brooks, A. J., Haeusler, T., Reinfelds, I. & Williams, S., 2005. Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblages in riffles. *Freshwater Biology*, 50: 331–344.
- Buss, D. F., Baptista, D. F., Nessimian, J. L. & Egler, M., 2004. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 518: 179–188.
- Callisto M. & Goulart, M., 2005. Invertebrate drift along a longitudinal gradient in a Neotropical stream in Serra do Cipó National Park, Brazil. *Hydrobiologia*, 539: 47-56.
- Carvalho, E. M. & Uieda, V. S., 2004. Colonization by benthic macroinvertebrates in artificial and natural substrates in a mountain stream from Itatinga, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21: 287-293.
- Cobb, D. G., Galloway, T. D. & Flannagan, J. F., 1992. Effects of Discharge and Substrate Stability on Density and Species Composition of Stream Insects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(9): 1788-1795.
- Collier, K. J. & Quinn, J. M., 2003. Land-use influences macroinvertebrate community response following a pulse disturbance. *Freshwater Biology*, 48: 1462–1481.

- Diniz-Filho, J. A. F., Oliveira, L. G. & Silva, M. M., 1998. Explaining the beta diversity of aquatic insects in “Cerrado” streams from Central Brazil using Multiple Mantel Test. *Revista Brasileira de Biologia*, 58(2): 223-231.
- Dufrene, M. & Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- Ferrington Jr., L. C., 2008. Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; insecta- Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 447–455.
- Figueroa, R., Ruéz, V., Niell, X., Araya, E & Palma, A., 2006. Invertebrate colonization patterns in a Mediterranean Chilean stream. *Hydrobiologia*, 571: 409–417.
- Flecker, A. S. & Feifarek, B., 1994. Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblage in two Andean streams. *Freshwater Biology*, 31: 131-132.
- Hay, C. H., Franti T. G., Marx D. B., Peters E. J. & Hesse L. W., 2008. Macroinvertebrate drift density in relation to abiotic factors in the Missouri River. *Hydrobiologia*, 598: 175–189.
- Helson, J. E., Williams, D. D. & Turner, D., 2006. Larval chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. *Hydrobiologia*, 559: 413–431.
- James, A. B. W., Dewson, Z. S. & Death, R. G., 2008. The effect of experimental flow reduction on macroinvertebrate drift in natural and streamside channels. *River Research Applications*, 24: 22-35.
- Lancaster, J., 2000. Geometric scaling of microhabitat patches and their efficacy as refugia during disturbance. *Journal of Animal Ecology*, 69: 442-457.

- Lancaster, J. & Hildrew, A. G., 1993. Flow refugia and the microdistribution of lotic macroinvertebrate. *Journal of North American Benthological Society*, 12(4): 385-393.
- Mathooko, J. M. & Otieno, C. O., 2002. Does surface textural complexity of woody debris in lotic ecosystems influence their colonization by aquatic invertebrates? *Hydrobiologia*, 489: 11–20.
- Melo, A. S. & Fröhlich, C. G., 2004. Substrate stability in stream: effects of stream size, particle size, and rainfall on frequency of movement and burial of particles. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16(4): 381-390.
- Merritt, R. W. & Cummins, K. W., 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Dubuque, Kendall/Hunt, 3rd ed., 722p.
- Nessimian, J. L. & Sanseverino, A., 1998. Trophic functional characterization of Chironomidae larvae (Diptera: Chironomidae) in a first order stream at the mountain region of Rio de Janeiro State, Brazil. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 26: 2115-2119.
- O'Connor, N. A., 1991. The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. *Oecologia*, 85: 504-512.
- Pinder, L. C. V., 1995. The habitats of chironomid larvae. In: *The Chironomidae: The biology and ecology of non-biting midges*. Armitage, P. D., Cranston, P. S. & Pinder, P. C. V. (eds.) London, Chapman & Hall, pp. 107-133.
- Pinho, L. C., Mendes, H. F. & Andersen, T., 2009. New species and records of *Beardius* Reiss & Sublette from Brazil. *Spixiana*, 32(2): 255–264.
- R Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- Saito, V. S. & Mazão, G. R., 2012. Macroinvertebrates under stochastic hydrological disturbance in cerrado streams of Central-Brazil. *Iheringia*, 102(4): 448-452.
- Sanseverino, A. M., Nessimian, J. L. & Oliveira, A. L. H., 1998. A fauna de Chironomidae (Diptera) em diferentes biótopos aquáticos na Serra do Subaio (Teresópolis/RJ). In: *Ecologia de Insetos Aquaticos*. Nessimian, J. L. & Carvalho, A. L. (eds.), Rio de Janeiro, Oecologia Brasiliensis, pp. 253-263.
- Silva, F. L., Silveira, A. L., Talamoni, J. L. B. & Ruiz, S. S., 2009. Temporal variation of Chironomidae larvae (Insecta, Diptera) in the Batalha River, Midwestern São Paulo State, Brazil. *Ciência et Praxis*, 2(3): 7-12.
- Silveira, M. P., Buss, D. F., Nessimian, J. L. & Baptista, D. F., 2006. Spatial and temporal distribution of benthic macroinvertebrates in a southeastern Brazilian river. *Brazilian Journal of Biology*, 66(2B): 623-632.
- Taniguchi, H., Nakano, S. & Tokeshi, M., 2003. Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biology*, 48, 718–728.
- Taniguchi, H. & Tokeshi, M., 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, 49: 1164–1178.
- Trivinho-Strixino, S., 2011. *Larvas de Chironomidae: Guia de identificação*, São Carlos, gráfica UFScar, 1, 2, 3, 371p.
- Trivinho-Strixino, S. & Strixino, G., 2003. The immature stages of two *Caladomyia* Sæwedall, 1981 species, from São Paulo State, Brazil (Chironomidae, Chironominae, Tanytarsini). *Revista Brasileira de Entomologia*, 47(4): 597-602.
- Vasconcelos, M. C. & Melo, A. S., 2008. An experimental test of the effects of inorganic sediment addition on benthic macroinvertebrates of a subtropical stream. *Hydrobiologia*, 610: 321–329.

- Vieira, L. C. G., Bini, L. M., Velho, L. F. M. & Mazão, G. R., 2007. Influence of spatial complexity on the density and diversity of periphytic rotifers, microcrustaceans and testate amoebae. *Fundamental and Applied Limnology*, 170: 77–85.
- Wallace, J. B. & Anderson, N. H., 1996. Habitat, life history, and behavioral adaptations of aquatic insects. In: *An introduction to the aquatic insects of North America*. Merritt, R. W. & Cummins, K. W. (eds.), Iowa: Kendall, Hunt Publishing Co. Dubuque, pp. 41-73.
- Williamson, M. H. & Lawton, J. H., 1991. Fractal geometry of ecological habitats. In: *Habitat Structure: the Physical Arrangement of Objects in Space*. Bell, S. S., McCoy E. D. & Mushinsky, H. R. (eds.), Chapman & Hall, London, pp. 69–86.

CAPITULO III

Influência da geometria fractal na assembléia de Chironomidae (Diptera)

Influência da complexidade espacial e da rugosidade na assembléia de Chironomidae (Diptera)

Gustavo Rincon Mazão¹

1 Programa de Pós-Graduação em Ecologia Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Resumo

As características do substrato exercem forte influência sobre a diversidade local de macroinvertebrados aquáticos. Substratos mais complexos proporcionam uma maior gama de nichos possibilitando o estabelecimento de um maior número de espécies e indivíduos. Neste experimento placas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) foram utilizadas como substrato para a colonização de larvas de Chironomidae em treze riachos de baixa ordem no Brasil central. Em cada riacho foi montado um grupo com oito placas, com quatro níveis de complexidade espacial e dois níveis de rugosidade (lisas e rugosas), as placas permaneceram submersas por 30 dias para colonização pelas larvas de Chironomidae. Ao todo foram analisadas 2.253 larvas distribuídas em 41 táxons. Os efeitos da complexidade e da rugosidade do substrato sobre a estrutura faunística foram testados por meio de Análises de Variância. A abundância relativa das larvas nos diferentes substratos foi avaliada por dois métodos complementares de repartição de nicho (*Random Fraction* e *Random Assortment*). Os resultados obtidos indicaram que tanto a complexidade quanto a rugosidade do substrato influenciaram na estruturação da comunidade dessas larvas.

Palavras-chave: complexidade do substrato, rugosidade do substrato, assembléia de Chironomidae, cerrado

Abstract

Influence of spatial complexity and roughness on Chironomidae (Diptera)

assemblages: Substrate characteristics have strong influence on local diversity of aquatic macroinvertebrates. Complex substrates provide a huge range of niches and give support to the establishment of a high number of species and organisms. In this experiment High Density Polyethylene (HDPE) tiles were utilized as substrate in thirteen low-order streams of the central region of Brazil. A set of eight tiles with four spatial complexity levels and two surface roughness levels (smooth and rough) were submerged in each stream for a period of 30 days for Chironomidae larvae colonization. A total of 2.253 larvae pertaining to 41 Chironomidae taxa were collected. The effects of substrate complexity and roughness on the structure of Chironomidae assemblage were tested by Analyses of Variance. Relative abundances of assemblages from the different substrates were assessed by two complementary methods of niche apportionment (Random Fraction and Random Assortment). Results showed that both substrate complexity and roughness influenced on the assemblage structure of these larvae.

Key words: substrate complexity, substrate roughness, Chironomidae assemblage, cerrado

Introdução

A complexidade do habitat tem sido considerada como um fator determinante para a diversidade local da biota aquática, levando-se em conta que ambientes mais heterogêneos suportam um maior número de espécies quando comparados a ambientes menos complexos. Sobre essa ótica, muito tem sido feito buscando avaliar a influência que os diferentes tipos de substrato exercem sobre a estrutura da fauna de macroinvertebrados. O aumento da complexidade física gerada pela presença de macrófitas é apontado com um fator importante para a colonização e diversidade de espécies de macroinvertebrados (Gregg & Rose, 1982; Tokeshi & Pinder, 1985; Taniguchi et al., 2003; Hutchens et al., 2004). Como as macrófitas, os musgos também atuam sobre a diversidade de macroinvertebrados proporcionando o aumento na existência de microhabitats (Clenaghan et al., 1998; Heino et al., 2004). Além disso, fragmentos de madeira e serapilheira também são apontados como agentes enriquecedores da complexidade do habitat afetando diretamente a diversidade e abundância dessa macrofauna (Mathooko & Otieno, 2002; O'Connor, 1991)

Uma problemática comumente observada em trabalhos experimentais sobre a complexidade espacial é a dificuldade em se quantificar esta variável, sendo por isso, em geral, tratada como variável categórica (O'Connor, 1991; Taniguchi et al., 2003; Brown, 2007). Atualmente, com o aprimoramento de modelos matemáticos (como por exemplo, o modelo fractal) o número de trabalhos ecológicos utilizando este método tem aumentado consideravelmente (Mormul & Padial, 2012). Este método tem sido uma importante ferramenta, pois permite uma estimativa mais precisa da complexidade espacial, auxiliando no melhor entendimento da real influência da complexidade espacial sobre a biota e, em especial de macroinvertebrados (Taniguchi & Tokeshi, 2004; Kostylev et al., 2005).

Diferentemente da complexidade que se processa em escalas maiores (e.g. presença de macrófitas, algas, musgos ou rochas), a rugosidade do substrato também é um fator que influencia a biota residente, agindo, porém em menor escala. Em ambientes aquáticos substratos com superfícies heterogêneas como sulcos, fendas, cavidades e projeções são apontadas como fatores que afetam a diversidade local (O'Connor, 1991; Downes et al., 2000; Bergey, 2005; Vieira et al., 2007). Estas deformidades dos substratos podem ser definidas como micro-habitats de refúgio, sendo consideradas áreas discretas que reduzem os impactos negativos sobre a fauna, auxiliando na sobrevivência destes organismos (Lancaster, 2000). Tais estruturas protegem a fauna pela disponibilização de refúgios contra predação e eventos de aumento da vazão (Way et al., 1995), bem como aumentam o acúmulo dos recursos utilizados por estes organismos (O'Connor, 1991).

A maior parte da fauna macrobentônica é composta por insetos aquáticos, sendo a família Chironomidae frequentemente a mais abundante e diversa em sistemas lóticos tropicais (Angradi, 1996; Carvalho & Uieda, 2004; Ribeiro & Uieda, 2005). Esta família tem distribuição global, sendo suas larvas encontradas nos mais variados habitats aquáticos, (Ferrington Jr., 2008). A dificuldade de identificação de imaturos, a elevada diversidade e taxonomia pouco resolvida e o fato de que estes organismos serem muito numerosos são fatores limitantes que dificultam os experimentos e a ampliação do conhecimento do grupo. Tais aspectos são motivos pelos quais muitos pesquisadores subestimam o grupo (e.g. identificação em família ou sub-família) ou até mesmo seja desconsiderado em alguns trabalhos (Li et al., 2001; Melo & Fröhlich, 2001; Dudgeon, 2006; Costa & Melo, 2008; James et al., 2008). Estudos ecológicos que tentem explicar as relações desta fauna com o substrato são importantes, uma vez que podem contribuir para ampliar o conhecimento da ecologia dos sistemas lóticos.

Diante do exposto no presente trabalho é testada a seguinte hipótese: a complexidade espacial do substrato influencia na estrutura da comunidade macrobentônica. Esta será analisada comparando-se a estrutura da fauna de Chironomidae que colonizam substratos com diferentes níveis de complexidade e rugosidade.

Materiais e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Mimoso de Goiás localizado na região leste do estado de Goiás, ao sul da microrregião da Chapada dos Veadeiros (Fig. 1). Trata-se de uma região fortemente acidentada, com predomínio de serras e montanhas e vegetação típica de Cerrado *sensu stricto*. A região também é rica em mananciais, sendo frequentes riachos com leitos pedregosos.

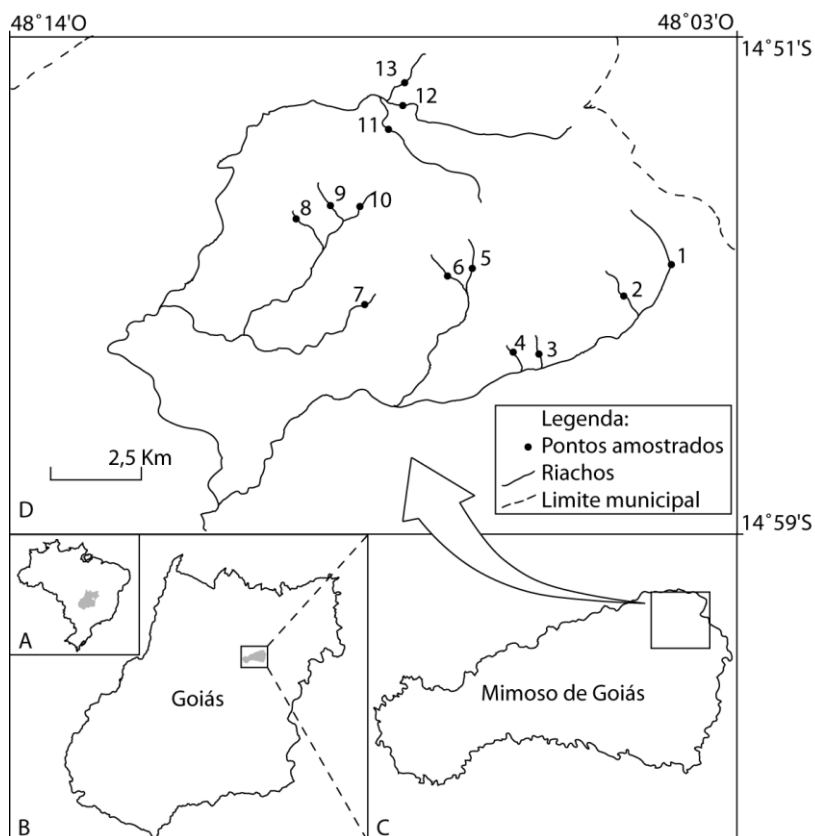


Fig. 1 Figura de localização dos riachos onde foram realizados os experimentos: A, mapa do Brasil com destaque para o estado de Goiás; B, mapa do estado de Goiás com destaque para o município de Mimoso de Goiás; C, localização dos riachos no município de Mimoso de Goiás; D, representação e localização dos riachos e pontos dos experimentos.

Os riachos desta região são estruturalmente semelhantes, com leitos de rochas nuas e seixos e, em função da declividade, com numerosas corredeiras que se alternam com remansos, ricos em depósitos de partículas inorgânicas e orgânicas de origem alóctone.

Delineamento Experimental

No experimento foram analisadas as larvas de Chironomidae que colonizaram as placas disposta em treze riachos de baixa ordem, que apresentavam boas condições de conservação da mata ripária. O experimento foi realizado no mês de agosto de 2010, período de menor pluviosidade na região (Saito & Mazão, 2012), e consistiu na fixação

de substratos artificiais no leito dos riachos, montados no início do mês e retirados após 30 dias de colonização por larvas de Chironomidae.

Como substrato, foram utilizadas placas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com 576 cm² de área (24x24 cm). No leito de cada riacho foram fixadas oito placas que com dois níveis de rugosidade (lisas e rugosas) em quatro níveis de complexidade espacial (Fig. 2). A complexidade espacial de cada placa foi medida pelo método de “grid” (Williamson & Lawton, 1991), que define a dimensão fractal pelo coeficiente angular da regressão logarítmica entre os valores da escala de “grid” e o número de “grids” que apresentam parte do objeto mensurado. A estimativa da complexidade foi realizada utilizando o programa Fractalyse 2.4. As placas apresentavam um desenho superficial semelhante ao de um “tabuleiro de xadrez” (Fig. 2) com “casas” se alternando com distintas profundidades (0,3 cm). A distinção na complexidade espacial entre as placas, que variou entre 1,537 a 1,661 da menos complexa para a mais complexa, distinguindo-se pelo tamanho das casas do tabuleiro (12 x 12; 6 x 6; 4 x 4; 2 x 2 cm).

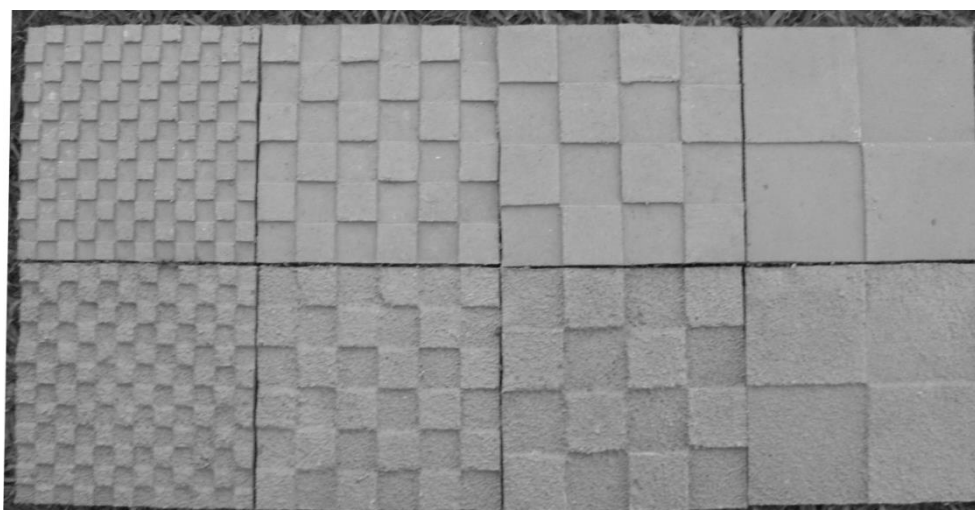


Fig. 2 Foto das placas de polietileno de alta densidade (PEAD) utilizadas no estudo. Vista superior das placas e suas diferentes complexidades espaciais (C4- 1,661; C3- 1,623; C2- 1,6 e C1- 1,537 da esquerda para a direita), acima placas lisas e abaixo rugosas.

Após o período de colonização as placas foram retiradas com auxílio de rede D(250 µm) para que não houvesse perda de organismos. O material retido nas placas foi lavado com uma escova de cerda macia, sendo acondicionado em potes contendo etanol 70% e posteriormente triado. As larvas de Chironomidae foram identificadas até o menor nível taxonômico possível (morfortipo) com auxílio da chave de Trivinho-Strixino (2011).

Análise dos dados

Para análise os dados foram previamente normalizados [$\log(x+1)$]. Por questões probabilísticas, sabe-se que a coleta de um maior número de indivíduos ocasiona o levantamento de um maior número de espécies. Sabendo dessa influência da abundância sobre a riqueza de espécies (Gotelli & Graves, 1996), a análise dos efeitos da complexidade e da rugosidade do substrato sobre a riqueza foi realizada utilizando uma Análise de Co-Variância em blocos (ANCOVA). O método permite analisar os riachos como blocos e a abundância da fauna como co-variável, evitando assim, erros de comparação entre riachos com estruturas faunísticas distintas e excluindo os efeitos que o número de indivíduos exerce sobre o número de espécies. Os efeitos da complexidade e da rugosidade do substrato sobre a abundância de organismos foram analisados por uma Análise de Variância em blocos (ANOVA), usando os riachos como blocos.

Adicionalmente, foi realizada uma avaliação do comportamento de ocupação dos substratos (diferentes complexidades e rugosidades) pelas larvas de Chironomidae utilizando dois modelos de repartição de nicho, o *Random Fraction* e o *Random Assortment* (*sensu* Tokeshi, 1990). Estes modelos foram utilizados considerando dois aspectos: i) que os organismos são fortemente influenciados por fatores estocásticos; ii) e por serem modelos complementares, pois representam a alocação aleatória da

abundância entre os táxons (*Random Fraction*) e nenhuma ou pouca interação entre os táxons (*Random Assortment*). Como critérios de comparação dos modelos foram escolhidos os táxons mais abundantes (cujo somatório representasse 95% da comunidade analisada). Só foram aceitos (com bom ajuste) os modelos que apresentaram 90% dos valores médios de abundância observados dentro dos intervalos de confiança dos modelos criados (distribuição de probabilidades criada por 10000 permutações).

Os procedimentos analíticos do experimento, incluindo as análises de variância e a avaliação das abundâncias relativas, foram realizados utilizando o programa R (R Core Team, 2012).

Resultados

Foram coletadas 2.253 larvas de Chironomidae distribuídas em 41 morfotipos. A tribo Chironomini apresentou maior representatividade numérica (com 1533 exemplares, 68% do total) com 21 morfotipos.

Os resultados das análises de ANCOVA e ANOVA indicaram que a tanto a complexidade espacial e quanto a rugosidade do substrato influenciaram a estrutura da comunidade de Chironomidae (Tab. 1). Os maiores valores de riqueza estiveram associados aos níveis mais altos de complexidade, sendo significativamente distintos ($F=7,398$ e $p=0,0077$). Da mesma forma, a rugosidade do substrato também influenciou na riqueza desta fauna ($F=32,691$ e $p<0,0000$), sendo substrato o rugoso mais rico que o liso. Diferentemente, a abundância de larvas de Chironomidae não foi influenciada pela complexidade espacial ($F=1,695$ e $p=0,1959$), mas sim pela rugosidade do substrato, com diferenças significativas entre os substratos rugosos e lisos ($F=6,257$ e $p=0,0140$). Os testes não indicaram interações entre as variáveis analisadas.

Tab. 1 Resultados das análises de variância testando o efeito da complexidade do substrato e da rugosidade sobre a riqueza padronizada e abundância de Chironomidae em riachos do município Mimoso de Goiás/GO, Brasil.

Fatores	F	p
ANCOVA em blocos		
Riqueza padronizada		
Complexidade	7.398	0,0077
Rugosidade	32.691	0,0000
Riachos (Blocos)	0,417	0,5198
Abundância (Log 10)	431.075	0,0000
Complexidade*Rugosidade	0,048	0,8264
ANOVA em blocos		
Abundância		
Complexidade	1.695	0,1959
Rugosidade	6.257	0,0140
Riachos (Blocos)	5.470	0,0214
Complexidade*Rugosidade	0,01	0,9198

Os padrões de abundância relativa observados juntamente aos modelos de repartição de nichos analisados (*Random Fraction* e *Random Assortment*) estão representados nas figuras 3 e 4 respectivamente. De acordo com os critérios adotados não foram observados ajustes para nenhuma das comunidades testadas (diferentes complexidades e rugosidades).

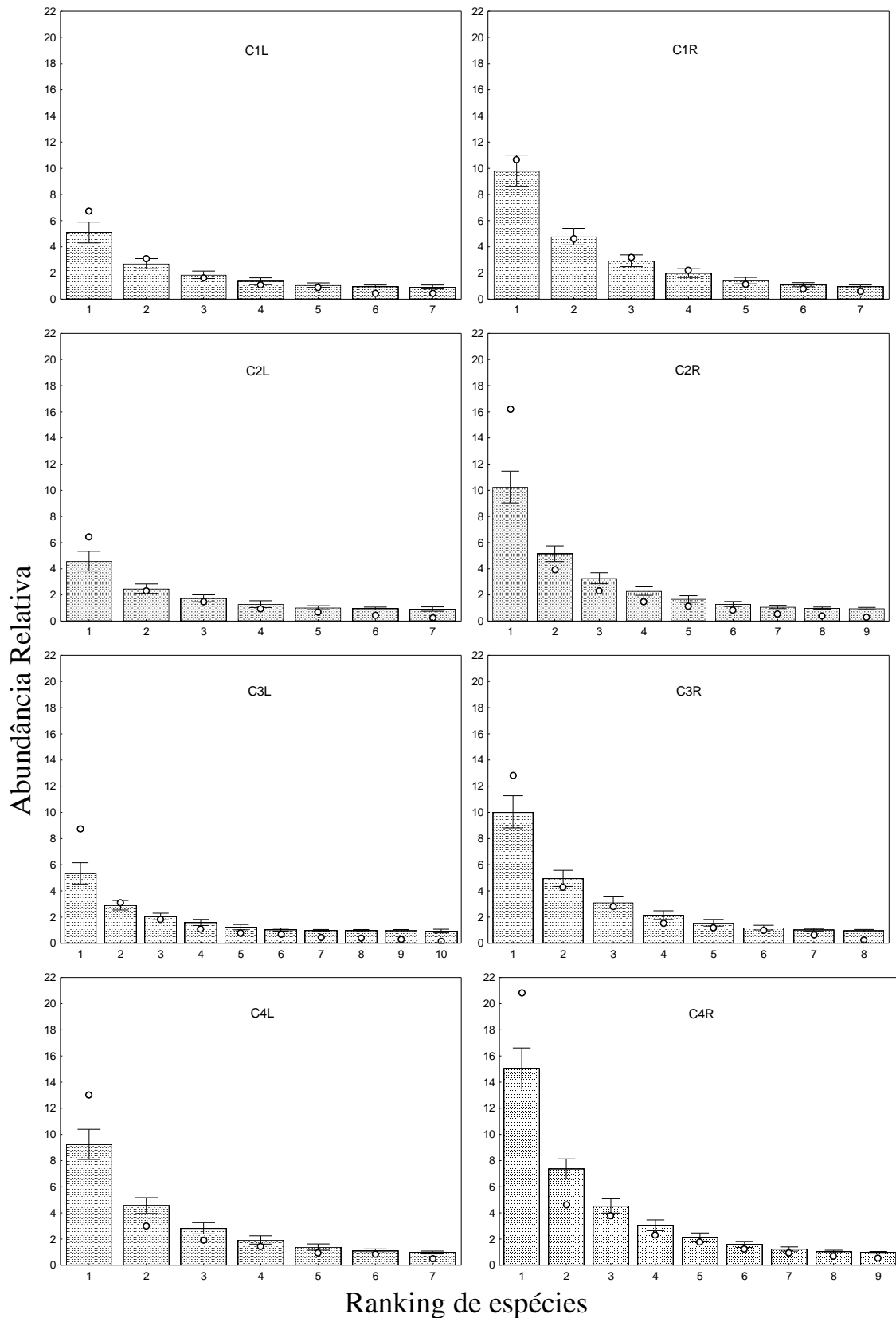


Fig. 3 Histogramas do modelo *Random Fraction* comparando as abundâncias relativas obtidas pelo modelo com a observada nos diferentes níveis de complexidade e rugosidade do substrato (média do modelo - barras; média observada - ○; intervalo de confiança – I; diferentes complexidades C1, C2, C3, C4; substratos lisos L e rugosos R).

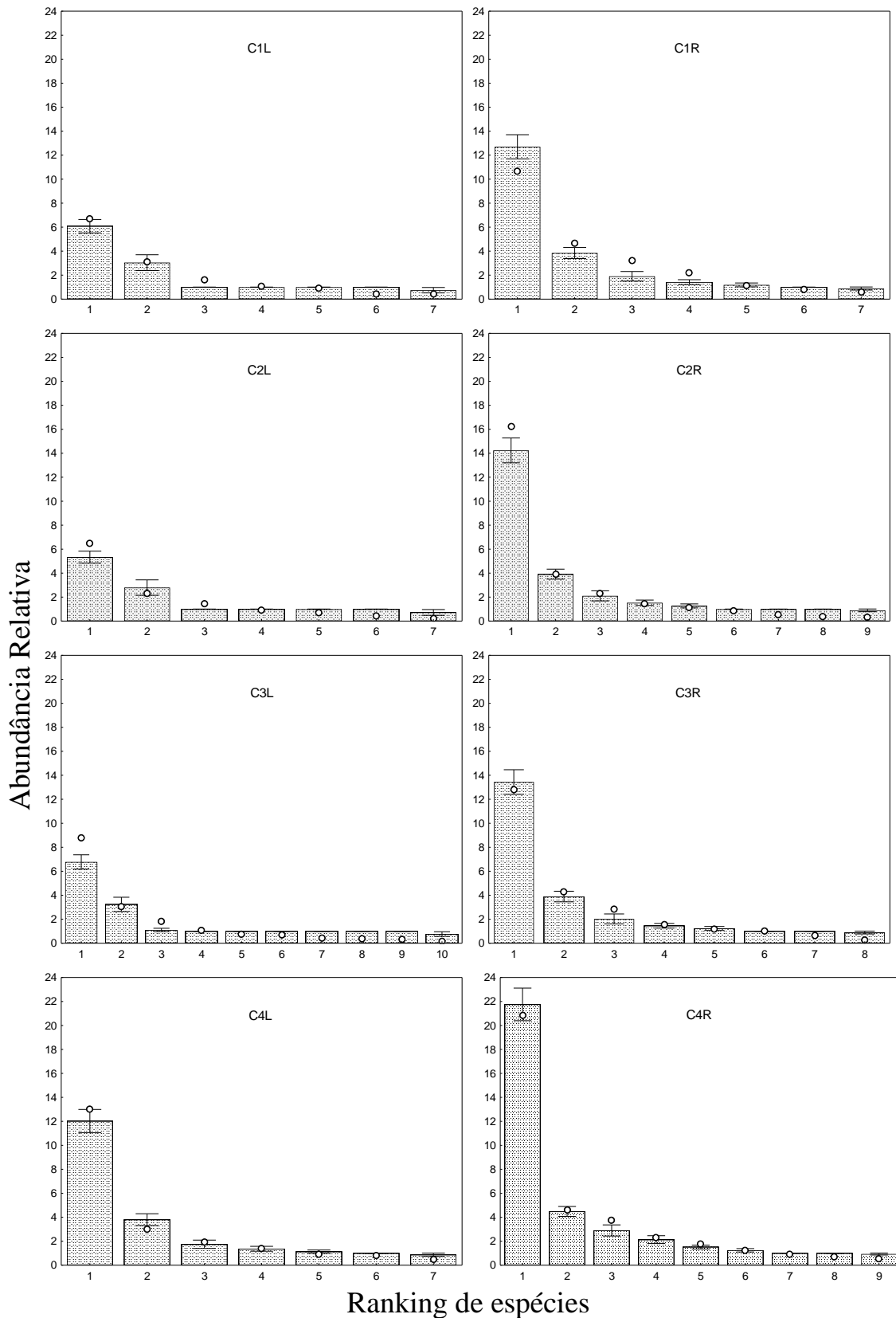


Fig. 4 Histogramas do modelo *Random Assortment* comparando as abundâncias relativas obtidas pelo modelo com a observada nos diferentes níveis de complexidade e rugosidade do substrato (média do modelo - barras; média observada - ○; intervalo de confiança – I; diferentes complexidades C1, C2, C3, C4; substratos lisos L e rugosos R).

Discussão

Estrutura faunística e o substrato

A complexidade espacial do substrato tem sido apontada como um fator importante na estruturação da comunidade dos organismos ali residentes (Taniguchi et al., 2003; Viera et al., 2007; Schneck et al., 2011). Para os macroinvertebrados, a arquitetura, o posicionamento, bem como a heterogeneidade do substrato tem sido apontados como fatores responsáveis pelo aumento na disponibilidade de nichos e refúgios (beneficiando tais organismos), e por consequência, contribuem para o aumento da diversidade local (O'Connor, 1991; Beisel et al., 2000; Taniguchi & Tokeshi, 2004; Tokeshi & Arakaki, 2012). Além disso, a estrutura física de habitats mais complexos pode modificar as condições locais do fluxo da água. Lancaster (2000) realizando experimentos de perturbação hídrica constatou o aumento de agregação dos macroinvertebrados em microhabitats de refúgio. Considerando tais aspectos, é esperado que substratos que com maior complexidade abriguem maior diversidade e número de organismos. Confirmando a hipótese do presente estudo, os resultados mostraram que a complexidade do substrato influenciou na estrutura da assembléia de Chironomidae, sendo a riqueza maior nos substratos mais complexos. A estruturação e a arquitetura das placas mais complexas proporcionaram maior diversidade de microhabitats com características hidráulicas distintas. A maior diversidade de microhabitats possibilitou o estabelecimento de táxons com diversificados modos de utilização de nichos, aumentando conseqüentemente, a riqueza local.

Da mesma maneira que a complexidade, a rugosidade do substrato também é um importante fator para a estrutura e composição da biota aquática (Brooks et al., 2005; Schneck et al., 2011), porém, agindo em uma escala menor. Este fator reduz o impacto direto produzido pela força de arrasto da água, disponibilizando microhabitats

de refúgio que beneficiam a fauna (Way et al., 1995; Brooks et al., 2005). Esperava-se portanto, uma maior diversidade destes organismos nas superfícies rugosas. Embora Bergey (2005) não tenha constatado influência da rugosidade do substrato na densidade numérica de Chironomidae, no presente estudo, foram observadas diferenças significativas na abundância destes organismos entre substratos lisos e rugosos. Do mesmo modo, Brooks et al. (2005) encontrou diferenças significativas da estrutura e composição da comunidade de insetos aquáticos avaliando o efeito da rugosidade em ambientes de corredeira. É importante ressaltar que a complexidade afeta a riqueza considerando que existe relação entre as escalas espaciais e o tamanho dos organismos (Tolonen et al., 2003). Existem vários estudos que apontam essa relação de dependências (Taniguchi & Tokeshi, 2004; Vieira et al., 2007). Deste modo, é provável que os microhabitats criados pela rugosidade, neste experimento, tenham gerado condições mais adequadas ao tamanho das larvas favorecendo seu estabelecimento.

Modelos de repartição

Considerando os ajustes de modelos ecológicos utilizando larvas de Chironomidae (Tokeshi, 1986; 1990), no presente experimento era esperado que houvesse adequação dessa comunidade a, pelo menos um dos modelos aplicados. No presente experimento não foram observados ajustes, utilizando os modelos *Random Fraction* e *Random Assortment*. Taniguchi & Tokeshi (2004), avaliando os efeitos das variações sazonais e da complexidade do substrato sobre a assembleia de Chironomidae, indicaram adequações das comunidades aos mesmos modelos. Embora os resultados obtidos neste experimento sejam aparentemente antagônicos, é interessante ressaltar que os autores supracitados não realizaram um teste de ajuste, mas somente uma avaliação de comparação geral dos modelos.

As larvas de Chironomidae em sua maioria são generalistas considerando os hábitos de alimentação (Nessimiam & Sanseverino, 1998; Motta & Uieda, 2004) e a ocupação de habitats (Amorim et al., 2004). No presente experimentos os táxons que apresentaram expressiva representatividade numérica, e conseqüentemente maior relevância nos métodos de repartição de nicho, foram *Labrundinia*, *Caladomyia* e *Tanytarsus*. As larvas de *Labrundinia* são epibentônicas, frequentemente encontrada em quase todos sistemas aquáticos lênticos e lóticos (Trivinho-Strixino, 2011), além de consideradas predadoras facultativas e alimentam-se também de detritos (Henriques-Oliveira et al., 2003). As larvas de *Caladomyia* e *Tanytarsus* possuem uma dieta variada alimentando-se de algas, fungos, pólen, fragmentos de folhas e madeira e detritos (Henriques-Oliveira et al., 2003; Motta & Uieda, 2004). Adicionalmente, Motta & Uieda (2004) ressaltaram a importância de partículas orgânicas finas como recurso ilimitado em ambientes lóticos. Deste modo, a ampla capacidade na obtenção de recursos por estas larvas, somada à elevada disponibilidade deste recurso em riachos, provavelmente diminui a competição entre estes organismos. Este fato pode explicar o não ajuste aos modelos testados, considerando que os recursos não foram fator limitante.

Os resultados do presente experimento confirmam que a influência da complexidade do substrato sobre larvas de Chironomidae, em uma perspectiva local, se processa tanto em escalas intermediárias (complexidade) quanto em microescala (rugosidade). Deve-se considerar que a influência da complexidade do substrato sobre os organismos aquáticos pode variar espacialmente e/ou sazonalmente. Investigações adicionais que envolvam a influência da complexidade do substrato sobre a comunidades de macroinvertebrados que vivem em diferentes habitats e em diferentes

situações climáticas permitirão abranger de maneira mais completa o conhecimento da ecologia desses organismos bentônicos.

Agradecimentos Os autores agradecem a CAPES pela bolsa concedida à GRM, a FAPESP pelo auxílio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais pela infraestrutura oferecida para realização do trabalho. À Camila Mandai pelo auxílio com os ajustes dos modelos e a Thais de Fatima Corrêa e Rubens Rincon Mazão, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Referencias Bibliográficas

- Amorim, R. M., Henrique-Oliveira, A. L. & Nessimian, J. L., 2004. Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) na seção ritral do rio Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. *Lundiana*, 5: 119-127.
- Angradi, T. R., 1996. Inter-habitat variation in benthic community structure, function, and organic matter storage in 3 Appalachian headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(1): 42-63.
- Beisel, J. N., Usseglio-Polatera, P. & Moreteau, J. C., 2000. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 422/423: 163–171.
- Bergey, E. A., 2005. How protective are refuges? Quantifying algal protection in rock crevices. *Freshwater Biology* 50: 1163–1177.
- Brown, B. L., 2007. Habitat heterogeneity and disturbance influence patterns of community temporal variability in a small temperate stream. *Hydrobiologia*, 586: 93-106.

- Brooks, A. J., Haeusler, T. Reinfields, I. & Williams, S., 2005. Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblages in riffles. *Freshwater Biology*, 50: 331–344.
- Carvalho, E. M. & Uieda, V. S., 2004. Colonization by benthic macroinvertebrates in artificial and natural substrates in a mountain stream from Itatinga, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21: 287-293.
- Clenaghan, C., Giller, P. S., O'halloran, J. & Hernan, R., 1998. Stream macroinvertebrate communities in a coniferafforested catchment in Ireland: relationships to physico-chemical and biotic factors. *Freshwater Biology*, 40: 175-193.
- Costa, S. S. & Melo, A. S., 2008. Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. *Hydrobiologia*, 598: 131-138.
- Dudgeon, D., 2006. The impacts of human disturbance on stream benthic invertebrates and their drift in North Sulawesi, Indonesia. *Freshwater Biology*, 51: 1710–1729.
- Downes, B. J., Lake, P. S., Schreiber, E. S. G. & Glaister, A., 2000. Habitat structure, resources and diversity: the separate effects of surface roughness and macroalgae on stream invertebrates. *Oecologia*, 123: 569–581.
- Ferrington Jr., L. C., 2008: Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; insecta- Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 447–455.
- Gregg, W. W. & Rose F. L., 1982. The effects of aquatic macrophytes on the stream microenvironment. *Aquatic Botany*, 14: 309–324.
- Gotelli, N. J. & Graves, G. R., 1996. Null Models in Ecology. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 368 p.

- Heino, J., Louhi, P. & Muotka, T., 2004. Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. *Freshwater Biology*, 49: 1230-1239.
- Henriques-Oliveira, A. L. Nessimian, J. L. & Dorvillé, L. F. M, 2003. Feeding habits of Chironomidae larvae (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. *Brasilian Journal of Biology*, 63(2): 269-281.
- Hutchens, J. J., Wallace, J. B. & Romaniszyn, E. D., 2004. Role of *Podostemum ceratophyllum* Michx. in structuring benthic macroinvertebrate assemblages in a southern Appalachian river. *Journal of the North American Benthological Society*, 23(4): 713–727.
- James, A. B. W., Dewson, Z. S & Death, R. G., 2008. The effect of experimental flow reductions on macroinvertebrate drift in natural and streamside channels. *River Research and Applications*, 24: 22–35.
- Kostylev, V. E., Erlandsson, J., Ming, M. Y. & Williams, G. A., 2005. The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: Fractal application on rocky shores. *Ecological Complexity*, 2: 272–286.
- Lancaster, J., 2000. Geometric scaling of microhabitat patches and their efficacy as refugia during disturbance. *Journal of Animal Ecology*, 69: 442-457.
- Li, J., Herlihy, A., Gerth W., Kaufmann, P., Gregory, S., Urquhart, S. & Larsen, D. P., 2001. Variability in stream macroinvertebrates at multiple spatial scales. *Freshwater Biology*, 46: 87–97.
- Mathooko, J. M. & Otieno, C. O., 2002. Does surface textural complexity of woody debris in lotic ecosystems influence their colonization by aquatic invertebrates? *Hydrobiologia*, 489: 11–20.

- Melo, A. & Fröhlich, C. G., 2001. Evaluation of methods for estimating macroinvertebrate species richness using individual stones in tropical streams. *Freshwater Biology*, 46: 711-721.
- Mormul, R. P. & Padial, A. A., 2012. The study of fractals among ecologists. *Acta Scientiarum*, 34(1): 41-45.
- Motta, R. L. & Uieda, V. S., 2004. Diet and trophic groups of an aquatic insects community in a tropical stream. *Brazilian Journal of Biology*, 64(4): 809-817.
- Nessimian, J. L. & Sanseverino, A. M., 1998. Trophic functional characterization of Chironomidae larvae (Diptera: Chironomidae) in a first order stream at the mountain region of Rio de Janeiro State, Brazil. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 26: 2115-2119.
- O'Connor, N. A., 1991. The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. *Oecologia*, 85: 504-512.
- R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ribeiro, L. O. & Uieda, V. S., 2005. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(3): 613-618.
- Saito, V. S. & Mazão, G. R., 2012. Macroinvertebrates under stochastic hydrological disturbance in cerrado streams of Central-Brazil. *Iheringia*, 102(4): 448-452.
- Schneck, F., Schwarzbald, A. & Melo, A. S., 2011. Substrate roughness affects stream benthic algal diversity, assemblage composition, and nestedness. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(4): 1049-1056.
- Taniguchi, H. & Tokeshi, M., 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, 49: 1164–1178.

- Taniguchi, H., Nakano, S. & Tokeshi, M., 2003. Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biology*, 48: 718-728.
- Tokeshi, M., 1986. Resource Utilization, Overlap and Temporal Community Dynamics: A Null Model Analysis of an Epiphytic Chironomid Community. *Journal of Animal Ecology* 55(2): 491-506.
- Tokeshi, M., 1990. Niche apportionment or random assortment: species abundance patterns revisited. *Journal of Animal Ecology*, 59: 1129-1146.
- Tokeshi M. & Pinder, L. C. V., 1985. Microhabitats of stream invertebrates on two submerged macrophytes with contrasting leaf morphology. *Holarctic Ecology*, 8: 313–319.
- Tokeshi, M. & Arakaki, S., 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractal and beyond. *Hydrobiologia*, 685: 27-47.
- Tolonen, K. T., Hamalainen, I. J. Holopainen, K. Mikkonen & J. Karjalainen, 2003. Body size and substrate association of littoral insects in relation to vegetation structure. *Hydrobiologia*, 499: 179-190.
- Trivinho-Strixino, S., 2011. Larvas de Chironomidae: Guia de identificação. São Carlos: gráfica UFScar, v. 1,2,3. 371 p.
- Vieira, L. C. G., Bini, L. M., Velho, L. F. M. & Mazão, G. R., 2007. Influence of spatial complexity on the density and diversity of periphytic rotifers, microcrustaceans and testate amoebae. *Fundamental and Applied Limnology*, 170: 77–85.
- Way, C. M., Burky, A. J., Bingham, C. R. & Miller, A. C., 1995. Substrate roughness, velocity refuges, and macroinvertebrate abundance on artificial substrates in the lower Mississippi River. *Journal of the North American Benthological Society*, 14(4): 510-518.

Williamson, M. H. & Lawton, J. H., 1991. Fractal geometry of ecological habitats. In:
Habitat Structure: the Physical Arrangement of Objects in Space. Bell, S. S.,
McCoy E. D. & Mushinsky, H. R. (eds.), Chapman & Hall, London, pp. 69–86.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há tempos muitos estudos têm sido feitos sobre os efeitos da importância do substrato para os macroinvertebrados bentônicos dulciaquícolas, especialmente nas últimas duas décadas (O' Connor, 1991; Beisel et al., 2000; Boyero, 2003; Taniguchi & Tokeshi, 2004; Kostylev et al., 2005; Bergey, 2006; Becerra-Munõz & Schramm Jr, 2007; Tokeshi & Arakaki, 2012). Apesar de ser um tema bastante estudado, a todo momento, surgem novas ideias para o aprimoramento de técnicas que melhor explicam as interações entre os diferentes habitats e substratos e os organismos neles residentes. Deste modo, fica claro que, por mais que já tenha sido feito, a estrutura do substrato ainda permanece como objeto de avaliação.

Estudos com enfoque na família Chironomidae tem aumentando consideravelmente nos últimos anos. Atualmente, muito tem sido feito, em especial, a respeito da taxonomia do grupo (Donato et al., 2012; Fu et al., 2012; Gilka & Spies, 2012; Trivinho-Strixino, 2012; Wiedenbrug et al., 2012), o que facilita a elaboração de estudos ecológicos sobre estes organismos, levando-se em conta a disponibilização de chaves para identificação de imaturos para as espécies. Abordagens empíricas utilizando larvas de Chironomidae tem buscado esclarecer padrões espaciais e sazonais (Amorim et al., 2004; Lencioni & Rossaro, 2005; Farias et al., 2012; Floss, et al. 2012), habitats preferenciais (Henriques-Oliveira et al., 1999; Sanseverino & Nessimian, 2001; Marziali et al., 2010), hábitos alimentares (Henriques-Oliveira et al., 2003), avaliação de impactos de ação antrópica (Kleine & Trivinho-Strixino, 2005; Helson et al., 2006; Marques et al., 2007). Estudos ecológicos, como os supracitados, são importantes considerando as lacunas ainda existentes dessas informações na literatura da região Neotropical. A elaboração de estudos que agregam essas informações são necessárias para consolidar e esclarecer os padrões biológicos da família, que ainda permanecem pouco elucidados.

Diante dos resultados expostos na presente Tese conclui-se que:

- As larvas de Chironomidae são rápidas colonizadoras, porém não seguem os padrões de colonização de guildas ecológicas conforme concepção de Malmqvist et al., 1991. Este resultado indica que a colonização pelas larvas ocorre de maneira aleatória, sendo independente da complexidade espacial do substrato. Além disso, a aplicação de guildas para organismos generalistas quanto à obtenção de alimentos pode não ser adequada, pela dificuldade de se agrupar com clareza as larvas nas diferentes guildas.

- As alterações observadas na estrutura faunística das larvas de Chironomidae, após eventos de chuva inesperados, ocorreram em médias (substratos com alta e baixa complexidade) e micro escalas (substratos lisos e rugosos). Tais alterações confirmam a sensibilidade das larvas de Chironomidae à perturbação hídrica decorrente de chuvas sazonais (Silva et al., 2009) e não sazonais (Carvalho & Uieda, 2004).

- A complexidade espacial do substrato não afetou a colonização e não ofereceu abrigo suficiente para manutenção da estrutura faunística das larvas de Chironomidae nos eventos de distúrbio hídrico inesperados. Entretanto, em ambientes estáveis foi observada a influência da complexidade espacial do substrato sobre a riqueza e abundância dessas larvas. Assim como outros estudos os resultados desta tese confirmam que substratos mais complexos e rugosos suportam maiores riquezas e maior número de organismos (O' Connor, 1991; Taniguchi & Tokeshi, 2004; Tokeshi & Arakaki, 2012).

Espera-se que a presente Tese de Doutorado tenha agregado informações importantes para um melhor entendimento da ecologia de larvas da Família Chironomidae e da relação destes organismos com a complexidade espacial do substrato. Fica também o desejo do autor de que esta Tese venha contribuir com a elaboração e construção de novos conhecimentos a respeito do tema.

Referencias Bibliográficas

- Amorim, R. M., Henrique-Oliveira, A. L. & Nessimian, J. L., 2004. Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) na seção ritral do rio Cascatinha, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. *Lundiana*, 5: 119-127.
- Becerra-Munõz, S. & Schramm Jr, H. L., 2007. On the influence of substrate morphology and surface área on phytofauna. *Hydrobiologia*, 575: 117–128.
- Beisel, J. N., Usseglio-Polatera, P. & Moreteau, J. C., 2000. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 422/423: 163–171.
- Bergey, E. A., 2006. Measuring the surface roughness of stream stones. *Hydrobiologia*, 563: 247–252.
- Boyero, L., 2003. The quantification of local substrate heterogeneity in streams and its significance for macroinvertebrate assemblages. *Hydrobiologia*, 499: 161–168.
- Carvalho, E. M. & Uieda, V. S., 2004. Colonization by benthic macroinvertebrates in artificial and natural substrates in a mountain stream from Itatinga, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21: 287-293.
- Donato, M, Siri, A. & Mauad, M., 2012. Description of a new species of the genus *Onconeura* Andersen et Saether (Diptera: Chironomidae) from Argentina with a cladistic analysis of the genus. *Zootaxa*, 3580: 43-55.
- Floss, E. C. S., Kotzian, C. B., Spies, M. G. & Secretti, E., 2012. Diversity of non-biting midge larvae assemblages in the Jacuí River basin, Brazil. *Journal of Insect Science*, 12: art. 121.

- Fu, Yue, Saether, O. A. & Wang, X., 2012. A review of *Paratrichocladius* Santos Abreu from the Sino-Indian Region (Diptera: Chironomidae: Orthoclaadiinae). *Zootaxa*, 3478: 453–482
- Gilka, W. & Spies, M., 2012. Neotype designation for *Cladotanytarsus* (Lenziella) *bicornutus* (Kieffer), and first description of the distinctive female (Diptera: Chironomidae: Tanytarsini). *Zootaxa*, 3545: 83–88.
- Helson, J. E., Williams, D. D. & Turner, D. 2006. Larval chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. *Hydrobiologia*, 559: 413–431.
- Henriques-Oliveira, A. L. Nessimian, J. L. & Dorvillé, L. F. M, 2003. Feeding habits of Chironomidae larvae (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. *Brasilian Journal of Biology*, 63(2): 269-281.
- Kleine, P. & Trivinho-Strixino, S., 2005. Chironomidae and other aquatic macroinvertebrates of a first order stream: community response after habitat fragmentation. *Acta Limnologica Brasiliensia* 17 (1): 81-90.
- Kostylev, V. E., Erlandsson, J., Ming, M. Y. & Williams, G. A., 2005. The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: Fractal application on rocky shores. *Ecological Complexity*, 2: 272–286.
- Lencioni, V. & Rossaro, B., 2005. Microdistribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in Alpine streams: an autoecological perspective. *Hydrobiologia*, 533: 61–76.
- Malmqvist B., Rundle S., Bronmark C. & Erlandsson A., 1991. Invertebrate colonization of a new, man made stream in southern Sweden. *Freshwater Biology*, 26: 307–324.

- Marques, M. M. G. S. M., Barbosa, F. A. R. & Callisto, M., 2007. Distribution and abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an impacted watershed in South-East Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 59(4): 553-561.
- Marziali, L., Armanini, D. G., Cazzola, M., Erba, S., Toppi, E., Buffagni, A. & Rossaro, B., 2010. Responses of Chironomid larvae (Insecta, Diptera) to ecological quality in mediterranean river mesohabitats (south Italy). *River Research and Applications*, 26: 1036–1051.
- O'Connor, N. A., 1991. The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. *Oecologia*, 85: 504-512.
- Sanseverino, A. M. & Nessimian, J. L., 2001. Habitats de larvas de Chironomidae (Insecta, Diptera) em riachos de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 13: 29-38.
- Silva, F. L., Silveira, A. L., Talamoni, J. L. B. & Ruiz, S. S., 2009. Temporal variation of Chironomidae larvae (Insecta, Diptera) in the Batalha River, Midwestern São Paulo State, Brazil. *Ciência et Praxis*, 2(3): 7-12.
- Taniguchi, H. & M. Tokeshi, 2004. Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, 49: 1164–1178.
- Tokeshi, M. & Arakaki, S., 2012. Habitat complexity in aquatic systems: fractal and beyond. *Hydrobiologia*, 685: 27-47.
- Trivinho-Strixino, S., 2012. A systematic review of Neotropical Caladomyia Säwedal (Diptera: Chironomidae). *Zootaxa*, 3495: 1–41.
- Wiedenbrug, S., Lamas, C. E. & Trivinho-Strixino, S., 2012. A review of the genus Corynoneura Winnertz (Diptera: Chironomidae) from the Neotropical region. *Zootaxa*, 3574: 1–61.