

Consumo de oxigênio de *Astyanax* sp. em função da temperatura e condições de oxigenação

Oxygen consumption of *Astyanax* sp. as function of temperature and oxygen concentration

Jéssica Alves Pereira^{1,3,4}, Thiago Bernardo de Souza^{2,3,4} e Levy C Gomes^{1,4,5}

1. Laboratório de Ictiologia Aplicada; 2. Laboratório de Ecologia Terrestre e Aquática; 3. Bolsista FAPES de Mestrado; 4. Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas – PPEE. Universidade Vila Velha – UVV. Rua Comissário José Dantas de Melo 21, Boa Vista, Vila Velha, ES. 29102-920, Brasil; 5. Professor Titular, bolsista de Produtividade científica do CNPq.

*Autor para correspondência: jpereirabio@hotmail.com

Resumo Espécies que habitam ambientes de água doce são expostas a variações periódicas na disponibilidade de oxigênio e temperatura da água, refletindo os processos físicos, químicos e biológicos do ambiente. Estas variações podem interferir diretamente na distribuição da ictiofauna nestes ambientes. Neste contexto, as espécies de peixe são induzidas a desenvolver características morfológicas e fisiológicas como uma estratégia alternativa a estas variações ambientais. O presente estudo teve como objetivo avaliar o consumo de oxigênio por exemplares de *Astyanax* sp., expondo os indivíduos em dois tratamentos distintos de temperatura (22° C e 29° C). A temperatura apresentou uma influência sob o consumo de oxigênio dos indivíduos onde, em condições normais de oxigênio e temperatura mais baixa, os indivíduos consumiram de forma independente. Em contrapartida, no tratamento com a temperatura elevada, o consumo foi menor caracterizando uma forma de economia em função de um cenário limitado. Dessa forma, conclui-se que temperatura e oxigênio podem interagir para influenciar os mecanismos fisiológicos e adaptativos de organismos frente a situações adversas.

Palavras-chaves: metabolismo, ecofisiologia, respiração, comportamento.

Abstract Freshwater species are expose to periodic environmental variations such as oxygen concentration and temperature, reflecting on physical, chemical and biological process. These variations can reflect directly on the fish's distribution. As response, these organisms are induced to develop morphological and physiological responses as alternative strategic to the environmental fluctuations. The aim of this study was to investigate the oxygen consumption of *Astyanax* sp., after exposing the organisms in two differently temperature treatments (22° C e 29° C). Temperature shows a

significantly effect on fish's oxygen consumption where, under normoxia and lower temperature (22°C), fishes didn't show any saving of oxygen. In other hand, under higher temperature (29°C), a reduction of oxygen consumption was detected as response to a low oxygen concentration on the water. However, we conclude that temperature and oxygen concentration can influence on physiological and adaptive mechanisms under extreme environmental conditions.

Keywords: metabolism, ecophysiology, respiratory, behavior.

Introdução

A temperatura possui um papel importante em diversos aspectos da história de vida, ecologia e fisiologia de animais ectotérmicos (Angilletta *et al.* 2002), os quais não conseguem reter o calor produzido através de seu metabolismo e dependem da temperatura do ambiente para regular a sua temperatura corporal.

Diversos estudos têm demonstrado o quanto as variações ambientais influenciam os parâmetros físicos e químicos dos ecossistemas aquáticos (Portner e Farrell 2008, Rosenzweig *et al.* 2008), bem como as respostas eco-fisiológicas dos organismos em diferentes níveis do ecossistema (Portner e Peck 2010, Domenici *et al.* 2007). O efeito combinado do aumento de temperatura e redução da concentração de oxigênio dissolvido tem o potencial de causar sérias mudanças na dinâmica do ecossistema. Esses efeitos são potencializados em ambientes de água rasa, como ambientes costeiros e lagoas, principalmente aqueles caracterizados por pouca renovação de água (Danovaro e Pusceddu 2007), onde os parâmetros físicos e químicos variam com uma frequência irregular.

Temperaturas mais altas reduzem a solubilidade do oxigênio e

umentam sua demanda, podendo gerar hipóxia extrema e até mesmo condições de anóxia. O aumento da temperatura também intensifica a estratificação do ambiente, reduzindo o suprimento de oxigênio nas camadas mais profundas, especialmente no verão (Wang *et al.* 2011). Em alguns organismos, as elevadas temperaturas resultam em um maior gasto de energia para a obtenção de oxigênio, reduzindo a reserva destinada ao crescimento (Gomes *et al.* 2000). Em contrapartida, quando o animal atinge a temperatura corpórea ideal, o alimento consumido é otimizado, liberando a energia necessária para o crescimento.

Quando a temperatura ultrapassa o nível ótimo ou a disponibilidade de oxigênio declina abaixo do nível tolerável por um organismo, o crescimento, o desenvolvimento e a capacidade reprodutiva do mesmo são reduzidos, aumentando sua susceptibilidade a doenças e podendo afetar a dinâmica das populações (Brander 2007, Portner e Knust 2007). Os organismos podem ser adaptados a se ajustar a essas variações ambientais através da plasticidade fenotípica em suas respostas às altas temperaturas e hipóxia. Certas espécies de peixes são aclimatadas como forma de uma plasticidade fenotípica reversível, modificando sua temperatura máxima tolerável bem como sua tolerância à hipóxia. Entretanto essa capacidade não engloba todas as espécies (Fu *et al.* 2011, Petersen e Gamperl 2011).

A concentração de oxigênio considerada ideal para a maioria dos peixes varia entre 5 - 6 mg L⁻¹. Uma concentração de 3 mg L⁻¹ constitui um cenário estressante, enquanto concentrações abaixo de 2 mg L⁻¹ são consideradas como hipóxia (Baldissotto 2002). As concentrações iguais ou abaixo de 0,5 mg L⁻¹ geralmente são consideradas anóxia, sendo letais para a grande maioria dos peixes (Díaz e Rosenberg 2008).

A temperatura na qual a competência máxima metabólica é alcançada, é chamada de temperatura ótima. Portanto, a redução do desempenho máximo acima da temperatura ótima pode ser resultado da diferença entre a demanda de oxigênio e a capacidade de suprimento de oxigênio nos tecidos (Portner 2010, Portner e Knust 2007). A limitação do suprimento de oxigênio junto ao aumento de sua demanda pode levar a hipóxia funcional dos tecidos em temperaturas acima do ideal (Farrell 2002), limitando a tolerância do indivíduo. A habilidade das espécies aquáticas em se adaptar a novos regimes de temperatura e às suas variações são fatores determinantes para o sucesso de uma população que se encontra em uma situação de aumento da temperatura (Portner e Knust 2007).

Dessa forma, em função das variações ambientais previstas, torna-se importante prever as respostas da biota proveniente desses ambientes, associando suas respostas e adaptações à sua resistência e viabilidade. Acredita-se que em temperaturas mais elevadas o consumo de oxigênio se torna maior devido à redução de sua solubilidade e consequentemente à maior demanda pelos organismos. A espécie *Astyanax* sp. é uma boa indicadora para estudos que envolvem tolerância a situações mais extremas por serem resistentes, além de ser a espécie mais predominante na área estudada.

Métodos

Dez exemplares de uma espécie de lambari (*Astyanax* sp.) foram coletados em um riacho compreendido nos limites da Reserva Natura Vale, localizada em Linhares, Espírito Santo, através de redes de espera de nylon. Os indivíduos foram aclimatados por duas horas no laboratório em recipientes individuais com capacidade de 2 L sob aeração constante. Após o período de aclimação, os exemplares foram distribuídos em dois tratamentos com 5 indivíduos cada. No primeiro tratamento, os indivíduos foram mantidos a uma temperatura de 22°C (temperatura ambiente) enquanto no segundo tratamento, os indivíduos foram mantidos a 29°C. Esta temperatura foi alcançada através do aquecimento dos recipientes, os quais foram acomodados no interior de uma estrutura fechada com lona preta contendo duas lâmpadas incandescentes de 200 W. Antes do início dos experimentos, a aeração foi suspensa e os recipientes tampados a fim de evitar a transferência de gases com o meio.

Após o início dos experimentos, foram feitas medidas a cada 20 minutos das concentrações de oxigênio dissolvido e saturado, e também da temperatura através de um aparelho multiparâmetro (Horibba, Model: U-52G). Em ambos os tratamentos, os peixes foram retirados assim que perdessem o equilíbrio, critério utilizado como um indicador do seu limite à hipóxia. Após retirados, o sistema de aeração era reintroduzido para uma melhor condição de retorno dos animais.

A fórmula utilizada para o consumo de oxigênio foi:

$$CO = (O_i - O_f) \times V/BT$$

onde O_i é a concentração de oxigênio inicial, O_f é a concentração de oxigênio final, V é o volume do recipiente (L), B é a biomassa do indivíduo (g) e T o intervalo de tempo a cada medição (min) (Cunha *et al.* 2009).

Para a análise dos dados foi realizado um teste de normalidade dos parâmetros analisados. Como estes parâmetros não apresentaram uma distribuição Normal ($p < 0,05$), foi realizado uma análise de variância não paramétrica.

Resultados

No início do tratamento a temperatura ambiente (22°C), o consumo dos indivíduos se mostrou independente dos fatores temperatura e oxigênio, já que nessa condição, ambos não eram limitantes (Figura 1), sendo a média de consumo de 0.53 mg L⁻¹ h⁻¹ em condição de normóxia. A medida que a disponibilidade de oxigênio foi reduzindo no recipiente, os indivíduos diminuíram o seu consumo, sendo o consumo foi de 0.2 mg L⁻¹ h⁻¹ em condição de hipóxia moderada (Figura 1). Com a redução ainda mais acentuada do oxigênio (hipóxia severa), os indivíduos apresentaram um aumento de consumo significativo (0.55 mg L⁻¹ h⁻¹) (Figura 1), $p < 0,05$.

No tratamento sob temperatura de 29°C, os indivíduos apresentam

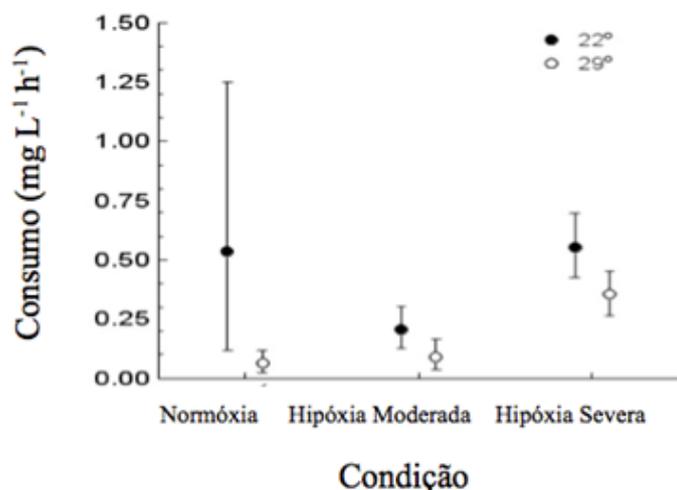


Figura 1 Consumo de oxigênio em exemplares de *Astyanax* sp. em função da temperatura e das condições de oxigenação. Normóxia: 6,0 mg/L de OD, hipóxia moderada: 3,0 mg/L de OD, hipóxia severa: 1,5 mg/L.

um consumo em condição de normóxia mais reduzido em comparação com o tratamento anterior (0.1 mg L⁻¹ h⁻¹, Fig. 1). À medida que o oxigênio disponível foi se tornando limitado, o consumo foi aumentando gradativamente para 0.45 mg L⁻¹ h⁻¹ em condição de hipóxia severa.

Discussão

Diversos estudos tem mostrado a influência que mudanças nos parâmetros físicos e químicos exercem nos ecossistemas aquáticos (Portner e Farrell 2008, Rosenzweig *et al.* 2008). Essas mudanças influenciam diretamente nas respostas eco-fisiológicas dos organismos em diferentes níveis do ecossistema (Portner e Peck 2010, Domenici *et al.* 2007).

Estudos realizados com peixes juvenis estuarinos, demonstraram que o desempenho dos indivíduos durante verão é altamente dependente na temperatura máxima e da disponibilidade mínima de oxigênio no ambiente, sendo que a diferença desses fatores resulta em uma grande variação no crescimento destes organismos (Miller *et al.* 2000). Dessa forma, a interação entre temperatura e oxigênio pode afetar, através do efeito no crescimento e sobrevivência dos indivíduos, a dinâmica das populações de peixes. A hipóxia pode também causar grande efeito negativo na qualidade de habitat, como já foi demonstrado para a perca-amarela *Perca flavescens* (Arend *et al.* 2011).

Em ambos os tratamentos pôde-se observar, quando se iniciava a hipóxia moderada, que os lambaris ficavam próximos a superfície, mesmo com os recipientes fechados. Esse comportamento provavelmente aconteceu devido a maior concentração de oxigênio encontrada nesta região, em função da difusão de oxigênio da atmosférica (Love e Bernard 2002).

Sob condições de hipóxia moderada prolongada, os guppies *Poecilia reticulata* aumentaram a sua atividade locomotora a procura de um local com uma maior concentração de oxigênio (Weber e

Kramer 1983). Estas mesmas características puderam ser observadas nos lambaris quando estavam expostos a hipóxia severa, aumentando o consumo de oxigênio. Essas distinções nos padrões comportamentais em relação a concentração de oxigênio, pode estar relacionada à história evolutiva da espécie e ao seu habitat (McDowall 1988).

Organismos expostos a baixas concentrações de oxigênio, não possuem somente uma elevada tolerância à hipóxia, mas também apresentam uma maior tolerância dos tecidos cardíacos a altas temperaturas (Burlison e Silva 2011). A relação entre tolerância à hipóxia e à temperatura é suportada pela ideia de que a ineficiência de sobreviver a altas temperaturas é resultado de uma baixa disponibilidade de oxigênio, que leva a um aumento da demanda de oxigênio pelos tecidos em temperaturas elevadas (Portner 2010).

Os peixes normalmente respondem ao aumento de temperatura com uma elevação da taxa de batimentos cardíacos e operculares (Sollid *et al.* 2005). Devido a isto, o metabolismo dos organismos se eleva em situações estressantes como uma forma de ajuste às condições ambientais, como visto para *Mugil cephalus*, onde sua taxa padrão metabólica aumentou exponencialmente com a temperatura (Cucco *et al.* 2012). Estas observações suportam o comportamento demonstrado pelos indivíduos expostos a 29°C no presente estudo, que elevaram sua demanda por oxigênio a medida que a concentração era reduzida. No mesmo estudo com a tainha *Mugil cephalus*, foi observado que quando a temperatura e oxigênio não são limitantes, a eficiência metabólica é máxima (Cucco *et al.* 2012), sugerindo uma resposta com o cenário semelhante no tratamento a 22°C.

Dessa forma, pode-se concluir que o consumo de oxigênio por *Astyanax* sp. aumenta com a temperatura em resposta à aceleração metabólica destinada aos ajustes corporais necessários diante de um cenário de estresse. Além disso, pôde ser observado que a tolerância à temperatura influencia a tolerância à hipóxia, ou seja, os organismos expostos a temperaturas dentro de seu intervalo ótimo, apresentam uma maior tolerância a baixas concentrações de oxigênio em relação os organismos dispostos a temperaturas fora de seu intervalo ideal.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPES, pelas bolsas de pós-graduação concedidas, e à Vale pelo apoio concedido durante a realização das atividades do Curso de Campo em Ecologia - PPEE UVV.

Referências

- Angilletta MJ, Niewairowski PH, Navas CA (2002) The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal Thermal Biology* 27: 249–268.
- Arend, KK, Beletsky D, De Pinto JV, Ludsin SAJJ, Roberts DK, Rucinski D, Scavia DJ, Hook TO (2011) Seasonal and interannual effects of hypoxia on fish

- habitat quality in central Lake Erie. **Freshwater Biology** 56: 366–383.
- Baldisserotto B (2002) **Fisiologia de Peixes Aplicada à Piscicultura**. Santa Maria, Ed. UFSM.
- Brander KM (2007) Global fish production and climate change. **Proceedings of the National Academic Sciences** 104: 19709–19714.
- Burleson ML, Silva PE (2011) Cross tolerance to environmental stressors: effects of hypoxic acclimation on cardiovascular responses of Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to a thermal challenge. **Journal Thermal Biology** 36: 250–254.
- Cucco A, Sinerchia M, Lefrançois C, Magni P, Ghezzi M, Umgieser G, Perilli A, Domenici P (2012) A metabolic scope based model of fish response to environmental changes. **Ecological Modelling** 237-238: 132–141.
- Cunha VL, Rodrigues RV, Okamoto MH, Sampaio LA (2009) Consumo de oxigênio pós-prandial de juvenis do pampo (*Trachinotus marginatus*). **Ciência Rural**, Santa Maria 39: 1257–1259.
- Danovaro R, Pusceddu A (2007) Biodiversity and ecosystem functioning in coastal lagoons: does microbial diversity play any role. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 75: 4–12.
- Diaz RJ, Rosenberg R (2008) Spreading dead zone and consequences for marine ecosystems. **Science** 321: 926–929.
- Domenici P, Claireaux G, McKenzie DJ (2007) Environmental constraints upon locomotion and predator-prey interactions in aquatic organisms. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 362(1487): 1929–1936.
- Farrell AP (2002) Cardiorespiratory performance in salmonids during exercise at high temperature: insights into cardiovascular design limitations in fishes. **Comparative Biochemical Physiology** 132A: 797–810.
- Fu SJ, Brauner CJ, Cao ZD, Richards JG, Peng JL, Dhillon R, Wang YX (2011) The effect of acclimation to hypoxia and sustained exercise on subsequent hypoxia tolerance and swimming performance in goldfish (*Carassius auratus*). **Journal of Experimental Biology** 214: 2080–2088.
- Gomes LC, Golombiński J, Chippari-Gomes AR, Baldisserotto B (2000) Biologia do Jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). **Ciência Rural**, Santa Maria 30: 179–185.
- Love JW, Rees BB (2002) Seasonal differences in hypoxia tolerance in gulf killifish (*Fundulus grandis*) (Fundulidae). **Environmental Biology of Fishes** 63: 103–115.
- McDowall RM (1988) **Diadromy in Fishes**. London, Croom Helm.
- Miller JM, Neill WH, Duchon KA, Ross SW (2000) Ecophysiological determinants of secondary production in salt marshes: a simulation study. In: Weinstein MP, Kreeger DA (ed) **Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology**, pp 315–331.
- Petersen LH, Gamperi AK (2011) Cod (*Gadus morhua*) cardiorespiratory physiology and hypoxia tolerance following acclimation to low-oxygen conditions. **Physiology Biochemical Zoology** 84: 18–31.
- Portner HO, Knust R (2007) Climate change effects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. **Science** 315: 95–97.
- Portner HO, Farrell AP (2008) Physiology and climate change. **Science** 322: 690–692.
- Portner HO, Peck MA (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. **Journal of Fish Biology** 77: 1745–1779.
- Portner HO (2010) Oxygen-and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. **Journal of Experimental Biology** 213: 881–893.
- Rosenzweig C, Karoly D, Vicarell M, Neofotis P, Wu Q, Casassa G, Menzel A, Root TL, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu C, Rawlins S, Imeson A (2008) Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature** 453: 353–357.
- Sollid J, Weber RE, Nilsson GE (2005) Temperature alters the respiratory surface area of crucian carp (*Carassius carassius*) and goldfish (*Carassius auratus*). **Journal of Experimental Biology** 208: 1109–1116.
- Wang Y, Hu M, Shin PKS, Cheung SG (2011) Immune responses to combined effect of hypoxia and high temperature in the green-lipped mussel *Perna viridis*. **Marine Pollution Bulletin** 63: 201–208.
- Weber JM, Kramer DL (1983) Effects of hypoxia and surface access on growth, mortality, and behaviour of juvenile guppies (*Poecilia reticulata*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 40: 1583–1588.