

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS**

**JULIANA MONTOVANI THOMAZ**

**HABITAT, HÁBITO E MORFOLOGIA CARDÍACA: INFLUÊNCIA  
DESTES FATORES SOBRE AS RESPOSTAS  
CARDIORRESPIRATÓRIAS À HIPÓXIA E ALTERAÇÕES TÉRMICAS  
EM ESPÉCIES DE PEIXES ECOLOGICAMENTE DISTINTAS**

**SÃO CARLOS**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS**

**JULIANA MONTOVANI THOMAZ**

**HABITAT, HÁBITO E MORFOLOGIA CARDÍACA: INFLUÊNCIA  
DESTES FATORES SOBRE AS RESPOSTAS  
CARDIORRESPIRATÓRIAS À HIPÓXIA E ALTERAÇÕES TÉRMICAS  
EM ESPÉCIES DE PEIXES ECOLOGICAMENTE DISTINTAS**

**Tese apresentada ao Programa  
Interinstitucional de Pós-Graduação em  
Ciências Fisiológicas da Universidade  
Federal de São Carlos para a obtenção do  
título de Doutor em Ciências Fisiológicas**

***Orientação: Profa. Dra. Ana Lúcia Kalinin***

**SÃO CARLOS**

**2011**

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

T465hh

Thomaz, Juliana Montovani.

Habitat, hábito e morfologia cardíaca : influência destes fatores sobre as respostas cardiorrespiratórias à hipóxia e alterações térmicas em espécies de peixes ecologicamente distintas / Juliana Montovani Thomaz. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

194 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Fisiologia. 2. Brycon amazonicus. 3. Hipóxia. 4. Hoplias malabaricus. 5. Eletrocardiograma. 6. Respirometria. I. Título.

CDD: 612 (20<sup>a</sup>)


Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências  
Fisiológicas  
Associação Ampla UFSCar/UNESP

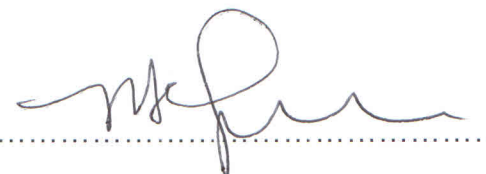
Folha de Aprovação

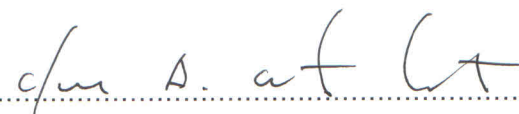
Defesa de Tese de Juliana Montovani Thomaz

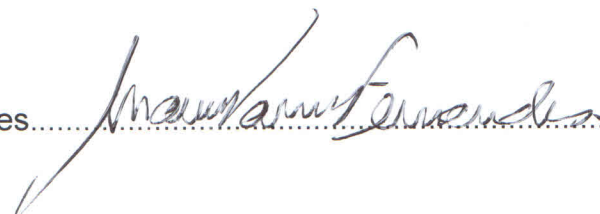
Dia 21/12/2011

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Kalinin.....

Prof. Dr. Matheus Lavorenti Rocha.....

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Monica Jones Costa.....

Prof. Dr. Cléo Alcantara Costa Leite.....

Profa. Dra. Marisa Narciso Fernandes.....

*Dedico este trabalho a quatro pessoas extremamente importantes em minha vida, pelo exemplo de caráter, perseverança e pelo apoio incondicional: minha mãe Lucelena, meu pai Ulysses, meu irmão Marcelo e meu noivo Rafael.*

*“O mundo é como um espelho que devolve a cada pessoa o reflexo de seus próprios pensamentos e seus atos. A maneira como você encara a vida é que faz toda diferença.”*

Luís Fernando Veríssimo

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora, Profa. Dra. Ana Lúcia Kalinin, pela oportunidade, pela confiança, pelos ensinamentos, pela compreensão, pelo incentivo e pelos bons momentos compartilhados dentro e fora do laboratório.

À minha co-orientadora, Profa. Dra. Ana Flávia de Carvalho, pela iniciação na vida científica durante a graduação, pelos ensinamentos, pelo exemplo e pela oportunidade maravilhosa de trabalharmos juntas novamente.

Ao Prof. Dr. Francisco Tadeu Rantin, pelos ensinamentos, pelo ótimo convívio, pela paciência e pelas contribuições ao presente trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro (Proc. 2008/54401-8), extremamente importante para a realização deste trabalho.

Às pisciculturas que forneceram os peixes utilizados, em especial à piscicultura Águas Claras, pela doação dos animais.

Ao corpo docente e funcionários do departamento de Ciências Fisiológicas, em especial à Carmem Cornachioni, Graça da Silva, Angelo Carnelosi, Alexandre Chiva e José Roberto Sanches.

Ao corpo docente e funcionários do Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos (UNIFEOB), por me receberem novamente de portas abertas e pela ajuda, em especial à Marco Roqueto e Ricardo Rosa.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e pelas colaborações ao presente trabalho.

A todos os meus familiares, em especial a meus pais, Lucelena e Ulysses, e a meu irmão, Marcelo, pelo exemplo de perseverança e superação, pelos valores, pelo apoio e pelo amor.

À Silmary, por toda a ajuda, paciência, dedicação e pelo exemplo de profissionalismo.

Aos meus grandes e verdadeiros amigos, pelos momentos de lazer, incentivo, conselhos, enfim, por estarem presentes não importando quando, nem

como, especialmente à Danielli, Beth, Tati, Fer Ghidini, Fer Sampaio, Virgílio, Mari Cortez, Mari Borges, Má Campbell e Má Moga.

Aos amigos do Laboratório de Zoofisiologia e Bioquímica Comparativa, pelo convívio, pelos ensinamentos, apoio e pelas boas risadas de sempre, especialmente Thiaguinho, Samuca, Gabi, Lucão, André, Rafael (Vô), Nathan, DW, Rafael (Z), Iara, Eliton e Nathi.

Às queridas amigas Aike, Vivi e Fer, pela amizade verdadeira, pelos inúmeros momentos de alegrias, tristezas, conselhos, sugestões, comilanças, “bebilanças” e muitos outros. Enfim, pela amizade que, com certeza, será para sempre!

À querida Didi, pela amizade, pelos ensinamentos, pela ajuda, pelo exemplo e pelos bons momentos dentro e fora do laboratório.

À Flavinha, que sempre esteve disposta a ajudar em qualquer momento, desde os tempos da graduação.

Ao Rafael, meu noivo, meu amigo, meu companheiro de todos os momentos, pelo amor, apoio, incentivo, ajuda, paciência, principalmente pela compreensão e por fazer parte da minha vida.

Aos meus animais de estimação, responsáveis pelos agradáveis e extremamente necessários momentos de descontração, pelas lambidas amigas e por passarem horas acompanhando minhas madrugadas acordada.

A todos que, apesar de não citados nominalmente, ajudaram direta ou indiretamente para meu crescimento pessoal e profissional e para a realização deste trabalho.



## RESUMO

Os ambientes aquáticos estão sujeitos a grandes variações em suas propriedades físico-químicas as quais pode comprometer a sobrevivência dos animais que habitam essas águas, especialmente os peixes, os quais exibem comportamento adaptativo, respostas fisiológicas, bioquímicas e genéticas para enfrentar tais mudanças. O objetivo do presente estudo foi avaliar a relação entre a morfologia cardíaca e as respostas cardiorrespiratórias à hipóxia e em diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C) em duas espécies de peixes de diferentes hábitos e habitats: matrinxã (*Brycon amazonicus*) e traíra (*Hoplias malabaricus*). Ambas as espécies possuem ventrículos piramidais, com camada compacta e esponjosa (miocárdio misto), diferenciadas pela espessura da camada compacta e sua irrigação, a qual ocorre em maior proporção em matrinxã, espécie ativa. A redução gradual da temperatura diminuiu os valores da taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ), ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ), frequência respiratória ( $f_R$ ), volume ventilatório ( $V_T$ ) e frequência cardíaca ( $f_H$ ), enquanto o aumento da temperatura levou a respostas opostas, aumentando os valores destes parâmetros. Tanto no matrinxã, quanto na traíra, a redução gradual na concentração  $O_2$  da água em diferentes temperaturas induziram alterações significativas nos parâmetros cardiorrespiratórios. Os efeitos combinados da baixa temperatura e hipóxia levaram a uma redução significativa na  $\dot{V}O_2$ , na  $\dot{V}_G$ , na  $f_R$ , no  $V_T$ , na  $EO_2$  (extração de  $O_2$ ) e na  $f_H$ , enquanto altas temperaturas (35 °C) e hipóxia levaram a um aumento destes parâmetros. Os resultados sugerem que a temperatura atue no metabolismo global do peixe, bem como no metabolismo do miocárdio e na permeabilidade de membrana aos íons envolvidos em sua polaridade. Além disso, o matrinxã, espécie ativa, apresentou valores mais elevados dos parâmetros cardiorrespiratórios e uma menor tolerância à hipóxia, quando comparada com traíra, espécie de hábito sedentário.

**Palavras-chave:** *Brycon amazonicus*. Eletrocardiograma. Hipóxia. *Hoplias malabaricus*. Morfologia cardíaca. Parâmetros ventilatórios. Respirometria. Taxa metabólica.

## ABSTRACT

Aquatic environments are subjected to wide variations in their physicochemical properties which can compromise the survival of the animals that inhabit these waters, especially the fish, which exhibit adaptive behavioral, physiological, biochemical and genetic responses to face such variations. The aim of the present study was to assess the relationship between heart morphology and the cardiorespiratory responses to hypoxia at different temperatures (15, 25 and 35 °C) of two fish species with different habits and habitats: matrinxã (*Brycon amazonicus*) and trahira (*Hoplias malabaricus*). Both species presented pyramidal ventricles with compact and spongy layers (mixed myocardium), differentiated by the thickness of the compact layer and its irrigation, which occurs in greater proportion in matrinxã, the active species. Gradual temperature reductions decreased the values of metabolic rate ( $\dot{V}O_2$ ), gill ventilation ( $\dot{V}_G$ ), respiratory frequency ( $f_R$ ), ventilatory volume ( $V_T$ ), and heart rate ( $f_H$ ) while increases in temperature induced opposite responses, increasing the values of these parameters. In matrinxã and trahira, the gradual reduction in the water  $O_2$  concentration at different temperatures induced significant changes in the cardiorespiratory parameters. The combined effects of low temperature (15 °C) and hypoxia led to a significant reduction in  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_G$ ,  $f_R$ ,  $V_T$ ,  $EO_2$  ( $O_2$  extraction) and  $f_H$ , while high temperature (35 °C) and hypoxia led to a significant increase in these parameters. The results showed that temperature acts in the overall metabolism of fish as well as in myocardial metabolism and membrane permeability to the ions involved in their polarity. Moreover, the active species matrinxã presented higher values of cardiorespiratory parameters and a lower tolerance to hypoxia when compared to trahira, the sedentary species.

**Keywords:** *Brycon amazonicus*. Cardiac morphology. Electrocardiogram. Hypoxia. *Hoplias malabaricus*. Metabolic rate. Respirometry. Ventilatory parameters.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Respostas cardiorrespiratórias à hipóxia e à temperatura ambiental.....	3
1.2 Morfologia cardíaca de peixes.....	5
1.3 Eletrocardiograma em peixes.....	7
1.4 Considerações sobre as espécies estudadas.....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
2.1 Objetivos gerais.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
3.1 Animais.....	13
3.2 Determinação das características físico-químicas da água.....	13
3.2.1 pH e alcalinidade.....	13
3.2.2 Dureza total.....	14
3.2.3 Oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura.....	14
3.3 Análise morfológica.....	14
3.3.1 Análise morfométrica.....	15
3.4 Experimentos cardiorrespiratórios.....	16
3.4.1 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias em diferentes temperaturas	19
3.4.2 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas.....	20
3.5 Protocolos experimentais.....	20
3.5.1 Variáveis ventilatórias.....	20
3.5.2 Cálculo do $Q_{10}$ .....	22
3.5.3 Frequência cardíaca e registros eletrocardiográficos.....	22
3.6 Tratamento estatístico dos dados.....	23
<b>4 RESULTADOS</b> .....	25
4.1 Determinação das características físico-químicas da água.....	25
4.2 Análise morfológica.....	25

4.2.1	Análise morfométrica.....	31
4.3	Experimentos cardiorrespiratórios.....	32
4.3.1	Avaliação das respostas cardiorrespiratórias em diferentes temperaturas	32
4.3.1.1	Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ).....	32
4.3.1.2	Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ).....	34
4.3.1.3	Frequência respiratória ( $f_R$ ).....	36
4.3.1.4	Volume ventilatório ( $V_T$ ).....	38
4.3.1.5	Pressão intrabucal (PIB).....	40
4.3.1.6	Pressão intraopercular (PIO).....	42
4.3.1.7	Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ).....	44
4.3.1.8	Extração de oxigênio da corrente ventilatória ( $EO_2$ ).....	46
4.3.1.9	Frequência cardíaca e análise eletrocardiográfica.....	48
4.3.1.9.1	Frequência cardíaca ( $f_H$ ).....	48
4.3.1.9.2	Duração do intervalo RR.....	50
4.3.1.9.3	Duração do intervalo PR.....	52
4.3.1.9.4	Duração da onda P.....	54
4.3.1.9.5	Amplitude da onda P.....	56
4.3.1.9.6	Duração do intervalo QRS.....	58
4.3.1.9.7	Duração do intervalo QT.....	60
4.3.1.9.8	Duração do segmento ST.....	62
4.3.1.9.9	Duração da onda T.....	64
4.3.1.9.10	Amplitude da onda T.....	66
4.3.2	Avaliação das respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas.....	68
4.3.2.1	Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) e tensão crítica de oxigênio ( $PcO_2$ ).....	79
4.3.2.2	Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ).....	76
4.3.2.3	Frequência respiratória ( $f_R$ ).....	79
4.3.2.4	Volume ventilatório ( $V_T$ ).....	82
4.3.2.5	Pressão intrabucal (PIB).....	85
4.3.2.6	Pressão intraopercular (PIO).....	89

4.3.2.7	Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V} O_2$ ).....	92
4.3.2.8	Extração de oxigênio da corrente ventilatória ( $EO_2$ ).....	95
4.3.2.9	Frequência cardíaca e análise eletrocardiográfica.....	98
4.3.2.9.1	Frequência cardíaca ( $f_H$ ).....	98
4.3.2.9.2	Duração do intervalo RR.....	101
4.3.2.9.3	Duração do intervalo PR.....	104
4.3.2.9.4	Duração da onda P.....	107
4.3.2.9.5	Amplitude da onda P.....	110
4.3.2.9.6	Duração do intervalo QRS.....	113
4.3.2.9.7	Duração do intervalo QT.....	116
4.3.2.9.8	Duração do segmento ST.....	119
4.3.2.9.9	Duração da onda T.....	122
4.3.2.9.10	Amplitude da onda T.....	125
4.3.2	Efeito da interação das diferentes temperaturas e das diferentes concentrações de $O_2$ .....	128
4.3.2.1	Efeitos da interação em matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> .....	128
4.3.2.2	Efeitos da interação em traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> .....	134
4.3.3	Parâmetros cardiorrespiratórios entre as diferentes espécies estudadas.	140
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	144
5.1	Análise morfológica.....	144
5.2	Experimentos cardiorrespiratórios.....	149
5.2.1	Avaliação das respostas cardiorrespiratórias em diferentes temperaturas	149
5.2.1.1	Parâmetros ventilatórios.....	149
5.2.1.2	Frequência cardíaca e registros eletrocardiográficos.....	154
5.2.2	Avaliação das respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas.....	159
5.2.2.1	Parâmetros ventilatórios.....	159
5.2.2.2	Frequência cardíaca e registros eletrocardiográficos.....	167
5.2.3	Efeito da interação das diferentes temperaturas e das diferentes concentrações de $O_2$ .....	172
5.2.3.1	Efeitos da interação em matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> .....	172

5.2.3.2 Efeitos da interação em traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> .....	173
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	176
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	178

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ilustração esquemática das principais características que distinguem os quatro tipos de ventrículos em peixes (tipos I, II, III e IV) (adaptado de Grimes & Kirby, 2009).....	7
<b>Figura 2.</b> Exemplar de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (MIKOLJI, 2010).....	10
<b>Figura 3.</b> Exemplar de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (TIMM, 2010).....	11
<b>Figura 4.</b> Esquema da mensuração da camada compacta em amostras sequenciais de corações posicionados em uma lâmina histológica (A) e os campos analisados (B) (Adaptado de Haverinen & Vornanen, 2007).....	16
<b>Figura 5.</b> Esquema do sistema utilizado na obtenção das respostas cardiorrespiratórias. Em A: a. cubeta termostatzada com eletrodos de O <sub>2</sub> ; b. transdutor de pressão; c. analisador de O <sub>2</sub> ; d. amplificador de pressão; e. amplificador de ECG; f. sistema de aquisição de dados. Em B: a. extremidade da agulha do eletrodo de ECG; b. fragmento de cateter de polietileno com extremidade flangeada; c. revestimento termorretrátil; d. fio de cobre fixado por pressão mecânica; e. fio de cobre encapado; f. cateter de polietileno com extremidade flangeada para tomada de água; g. peça de fixação. Adaptado de Massari (1993).....	17
<b>Figura 6.</b> Esquema do respirômetro de fluxo constante. As setas indicam a direção do fluxo de água através do respirômetro. Adaptado de Massari (1993).....	18
<b>Figura 7.</b> Esquema da câmara experimental. Adaptado de Massari (1993).....	18
<b>Figura 8.</b> Esquema de registro de eletrocardiografia e algumas das medidas realizadas.....	22
<b>Figura 9.</b> Fotografias dos corações de matrinxã (A, B) e de traíra (C e D). Nas setas, detalhe da localização dos corações de ambas as espécies SV: seio venoso, AT: átrio, VE: ventrículo, BA: bulbo arterioso.....	26
<b>Figura 10.</b> Secção longitudinal do seio venoso de matrinxã, (A) e traíra (B). Notar a parede delgada de tecido conjuntivo reticular (TC), eritrócitos (#) e granulócitos (seta). Em C e D, fotomicrografias de cortes longitudinais do átrio de matrinxã e traíra, respectivamente, evidenciando o formato dessa câmara e sua parede fina e trabeculada. Asteriscos evidenciam o lúmen atrial. A a D: HE. Barras = 100 µm.....	27
<b>Figura 11.</b> Secções longitudinais das valvas atrioventriculares (VA) e bulboventriculares (VB) de matrinxã (A) e traíra (B). As valvas sinoatriais de matrinxã e traíra podem ser observadas em C e D. Em E, F, G e H: secção transversal da base das valvas sinoatriais onde nota-se o tecido nodal (TNo) e o tecido nervoso (TN). Notar o seio venoso (SV), o átrio (AT), o ventrículo (VE) e o bulbo arterioso (BA). Detalhes da região sinoatrial de matrinxã (E) e traíra (F) mostrando o tecido nervoso (TN) em secção longitudinal. A, B, C, D, E, G: HE. F, H, I, J: TM. Barras = 100µm.....	28
<b>Figura 12.</b> Secção longitudinal dos ventrículos de matrinxã (A, C) e de traíra (B, D), evidenciando a camada esponjosa (CE), a camada compacta (CC) e suas subcamadas: longitudinal (ccl) e circular (ccc). Notar os vasos coronários (*) e o epicárdio (e). A e B: HE. C e D: TM. Barras = 100 µm.....	29
<b>Figura 13</b> Secção longitudinal do bulbo arterioso de matrinxã (A, C) e de traíra (B, D). Notar a camada externa (♦), a camada média (CM) e a camada interna (seta). Fibras elásticas dispostas longitudinalmente (FE) na camada média. A, B: HE. C, D: TU. Barras = 100 µm.....	30
<b>Figura 14.</b> Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ - mL O <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	33

- Figura 15.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  - mL $O_2$ .kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 34
- Figura 16.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 35
- Figura 17.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 36
- Figura 18.** Frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 37
- Figura 19.** Frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 38
- Figura 20.** Volume ventilatório ( $V_T$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 39
- Figura 21.** Volume ventilatório ( $V_T$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 40
- Figura 22.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 41
- Figura 23.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. b indica diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 42
- Figura 24.** Pressão intraopercular (PIO - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 43



<b>Figura 25.</b> Pressão intraopercular (PIO) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	44
<b>Figura 26.</b> Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ - mLH <sub>2</sub> O.mLO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	45
<b>Figura 27.</b> Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ - mLH <sub>2</sub> O.mLO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	46
<b>Figura 28.</b> Extração de oxigênio (EO <sub>2</sub> - %) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. a indica diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	47
<b>Figura 29.</b> Extração de oxigênio (EO <sub>2</sub> - %) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. b indica diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	48
<b>Figura 30.</b> Frequência cardíaca (f <sub>H</sub> - bpm) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	49
<b>Figura 31.</b> Frequência cardíaca (f <sub>H</sub> - bpm) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	50
<b>Figura 32.</b> Duração do intervalo RR (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	51
<b>Figura 33.</b> Duração do intervalo RR (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	52
<b>Figura 34.</b> Duração do intervalo PR (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	53

<b>Figura 35.</b> Duração do intervalo PR (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	54
<b>Figura 36.</b> Duração da onda P (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	55
<b>Figura 37.</b> Duração da onda P (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	56
<b>Figura 38.</b> Amplitude da onda P (%) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	57
<b>Figura 39.</b> Amplitude da onda P (%) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	58
<b>Figura 40.</b> Duração do intervalo QRS (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	59
<b>Figura 41.</b> Duração do intervalo QRS (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	60
<b>Figura 42.</b> Duração do intervalo QT (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	61
<b>Figura 43.</b> Duração do intervalo QT (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	62
<b>Figura 44.</b> Duração do segmento ST (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> (Ba, n=10) e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. * indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.....	63

- Figura 45.** Duração do segmento ST (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 64
- Figura 46.** Duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 65
- Figura 47.** Duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 66
- Figura 48.** Amplitude da onda T (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 67
- Figura 49.** Amplitude da onda T (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 68
- Figura 50.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; d: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 70
- Figura 51.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; d: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 71
- Figura 52.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{insp} - mmHg$ ) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, à 15 °C (n=10). A seta representa a  $P_{CO_2}$ ..... 73
- Figura 53.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{insp} - mmHg$ ) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, à 25 °C (n=10). A seta representa a  $P_{CO_2}$ ..... 73
- Figura 54.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{insp} - mmHg$ ) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, à 35 °C (n=10). A seta representa a  $P_{CO_2}$ ..... 74
- Figura 55.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{insp} - mmHg$ ) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - mL O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, à 15 °C (n=10). A seta representa a  $P_{CO_2}$ ..... 74

- Figura 56.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{\text{insp}}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, à 25 °C (n=10). A seta representa a  $\text{PcO}_2$ ..... 75
- Figura 57.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{\text{insp}}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, à 35 °C (n=10). A seta representa a  $\text{PcO}_2$ ..... 75
- Figura 58.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ -  $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 77
- Figura 59.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ -  $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 78
- Figura 60.** Frequência respiratória ( $f_R$ -  $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 80
- Figura 61.** Frequência respiratória ( $f_R$  -  $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 81
- Figura 62.** Volume ventilatório ( $V_T$ -  $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 83
- Figura 63.** Volume ventilatório ( $V_T$  -  $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 84
- Figura 64.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M..... 86

**Figura 65.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 88

**Figura 66.** Pressão intraopercular (PIO - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 89

**Figura 67.** Pressão intraopercular (PIO - mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 91

**Figura 68.** Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2 - \text{mLH}_2\text{O.mLO}_2^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 93

**Figura 69.** Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2 - \text{mLH}_2\text{O.mLO}_2^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 94

**Figura 70.** Extração de oxigênio ( $\text{EO}_2 - \%$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 96

**Figura 71.** Extração de oxigênio ( $\text{EO}_2 - \%$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 97

**Figura 72.** Frequência cardíaca ( $f_H - \text{bpm}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 99

- Figura 73.** Frequência cardíaca ( $f_H$  - bpm) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 100
- Figura 74.** Duração do intervalo RR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 102
- Figura 75.** Duração do intervalo RR (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 103
- Figura 76.** Duração do intervalo PR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 105
- Figura 77.** Duração do intervalo PR (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 106
- Figura 78.** Duração da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 108
- Figura 79.** Duração da onda P (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 109
- Figura 80.** Amplitude da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 111

- Figura 81.** Amplitude da onda P (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 112
- Figura 82.** Duração do intervalo QRS (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 114
- Figura 83.** Duração do intervalo QRS (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 115
- Figura 84.** Duração do intervalo QT (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 117
- Figura 85.** Duração do intervalo QT (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 118
- Figura 86.** Duração do segmento ST (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 120
- Figura 87.** Duração do segmento ST (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; d: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 121
- Figura 88.** Duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 123

**Figura 89.** Duração da onda T (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 124

**Figura 90.** Amplitude da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 126

**Figura 91.** Amplitude da onda T (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M..... 127



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características físico-químicas da água medidas ao longo do período experimental. Os valores são médias $\pm$ E.P.M.....	25
<b>Tabela 2.</b> Relação da camada compacta pelo peso corpóreo ( $\mu\text{m.g}^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> e de traíra <i>Hoplias malabaricus</i> , nos três campos analisados. Valores médios $\pm$ E.P.M.....	31
<b>Tabela 3.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - \text{mLO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	70
<b>Tabela 4.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - \text{mLO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	72
<b>Tabela 5.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a ventilação branquial ( $\dot{V}_G - \text{mLH}_2\text{O}.\text{kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	77
<b>Tabela 6.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a ventilação branquial ( $\dot{V}_G - \text{mLO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	79
<b>Tabela 7.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a frequência respiratória ( $f_R - \text{ciclos}.\text{min}^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	80
<b>Tabela 8.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a frequência respiratória ( $f_R - \text{ciclos}.\text{min}^{-1}$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	82
<b>Tabela 9.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o volume ventilatório ( $V_T - \text{mLH}_2\text{O}.\text{kg}^{-1}.\text{ciclo}^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	83
<b>Tabela 10.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o volume ventilatório ( $V_T - \text{mLH}_2\text{O}.\text{kg}^{-1}.\text{ciclo}^{-1}$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	85
<b>Tabela 11.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	86
<b>Tabela 12.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a pressão intrabucal (PIB - mmHg) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	88
<b>Tabela 13.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a pressão intraopercular (PIO - mmHg) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	90
<b>Tabela 14.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a pressão intraopercular (PIB - mmHg) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	92
<b>Tabela 15.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2 - \text{mLH}_2\text{O}.\text{mLO}_2^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	93
<b>Tabela 16.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o volume ventilatório ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2 - \text{mLH}_2\text{O}.\text{mLO}_2^{-1}$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	95
<b>Tabela 17.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a extração de oxigênio ( $EO_2 - \%$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	96
<b>Tabela 18.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a extração de oxigênio ( $EO_2 - \%$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	98
<b>Tabela 19.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a frequência cardíaca ( $f_H - \text{bpm}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	99
<b>Tabela 20.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a frequência cardíaca ( $f_H - \text{bpm}$ ) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	101
<b>Tabela 21.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o intervalo RR (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	102

<b>Tabela 22.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o intervalo RR (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	104
<b>Tabela 23.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o intervalo PR (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	105
<b>Tabela 24.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para o intervalo PR (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	107
<b>Tabela 25.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração da onda P (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	108
<b>Tabela 26.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração da onda P (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	110
<b>Tabela 27.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a amplitude da onda P (%) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	111
<b>Tabela 28.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a amplitude da onda P (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	113
<b>Tabela 29.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração do intervalo QRS (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	114
<b>Tabela 30.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração do intervalo QRS (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	116
<b>Tabela 31.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração do intervalo QT (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	117
<b>Tabela 32.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração do intervalo QT (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	119
<b>Tabela 33.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração do segmento ST (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	120
<b>Tabela 34.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração do segmento ST (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	122
<b>Tabela 35.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração da onda T (s) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	123
<b>Tabela 36.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a duração da onda T (s) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	125
<b>Tabela 37.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a amplitude da onda T (%) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	126
<b>Tabela 38.</b> Valores médios de $Q_{10}$ para a amplitude da onda T (%) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de $O_2$ analisadas.....	128
<b>Tabela 39.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da $\dot{V}O_2$ ( $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ), $\dot{V}_G$ - ( $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ), $f_R$ (ciclos.min <sup>-1</sup> ), $V_T$ ( $mLH_2O.kg^{-1}.ciclo^{-1}$ ) e PIB (mmHg) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , submetido a diferentes tensões de $O_2$ (mmHg) e a diferentes temperaturas (°C). Análise two-way.....	132
<b>Tabela 40.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da PIO (mmHg), $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ - ( $mLH_2O.mLO_2^{-1}$ ), $EO_2$ (%) e $f_H$ (bpm) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , submetido a diferentes tensões de $O_2$ (mmHg) e a diferentes temperaturas (°C). Análise two-way.....	133
<b>Tabela 41.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da $\dot{V}O_2$ ( $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ), $\dot{V}_G$ - ( $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ), $f_R$ (ciclos.min <sup>-1</sup> ), $V_T$ ( $mLH_2O.kg^{-1}.ciclo^{-1}$ ) e PIB (mmHg) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , submetida a diferentes tensões de $O_2$ (mmHg) e a diferentes temperaturas (°C). Análise two-way.....	138
<b>Tabela 42.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da PIO (mmHg), $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ - ( $mLH_2O.mLO_2^{-1}$ ), $EO_2$ (%) e $f_H$ (bpm) de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , submetida a diferentes tensões de $O_2$ (mmHg) e a diferentes temperaturas (°C). Análise two-way.....	139

<b>Tabela 43.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da $\dot{V}O_2$ ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), $\dot{V}_G$ ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), $f_R$ ( $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e $V_T$ ( $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , submetidos a diferentes tensões de $O_2$ ( $P_{in}O_2$ - mmHg) à 25 °C.....	142
<b>Tabela 44.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da PIB (mmHg), PIO (mmHg), $\dot{V}_G / \dot{V}O_2$ ( $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{mLO}_2^{-1}$ ), $EO_2$ (%) de de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , submetidos a diferentes tensões de $O_2$ ( $P_{in}O_2$ - mmHg) à 25 °C.....	142
<b>Tabela 45.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. da fH (bpm), intervalo RR (s), intervalo PR (s), duração da onda P (s) e amplitude da onda P (%) de de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , submetidos a diferentes tensões de $O_2$ ( $P_{in}O_2$ - mmHg) à 25 °C.....	143
<b>Tabela 46.</b> Valores médios $\pm$ E.P.M. do intervalo QRS (s), intervalo QT (s), segmento ST (s), duração da onda T (s) e amplitude da onda T (%) de matrinxã, <i>Brycon amazonicus</i> , e de traíra, <i>Hoplias malabaricus</i> , submetidos a diferentes tensões de $O_2$ ( $P_{in}O_2$ - mmHg) à 25 °C.....	143

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\alpha_{O_2}$	Coeficiente de solubilidade do oxigênio na água
Ba	<i>Brycon amazonicus</i>
ECG	Eletrcardiograma
EO <sub>2</sub>	Extração de oxigênio da corrente circulatória
$f_H$	Frequência cardíaca
$f_R$	Frequência respiratória
HE	Hematoxilina-eosina
Hm	<i>Hoplias malabaricus</i>
PcO <sub>2</sub>	Tensão crítica de oxigênio
P <sub>exp</sub> O <sub>2</sub>	Tensão de oxigênio da água expirada
P <sub>in</sub> O <sub>2</sub>	Tensão de oxigênio da água que entra no respirômetro
P <sub>insp</sub> O <sub>2</sub>	Tensão de oxigênio da água inspirada
PO <sub>2</sub>	Tensão de oxigênio
P <sub>out</sub> O <sub>2</sub>	Tensão de oxigênio da água que sai do respirômetro
Q <sub>10</sub>	Coeficiente de temperatura
SNA	Sistema nervoso autônomo
TM	Tricrômico Masson
TU	Orceína de Taenzer-Unna
$\dot{V}_G$	Ventilação branquial
$\dot{V}_G/\dot{V}O_2$	Necessidade ventilatória
$\dot{V}O_2$	Taxa metabólica
V <sub>R</sub>	Fluxo de água do respirômetro
V <sub>T</sub>	Volume ventilatório
W <sub>t</sub>	Peso do animal

## 1 INTRODUÇÃO

Os ambientes aquáticos apresentam amplas variações em suas propriedades físico-químicas tais como oxigênio dissolvido, CO<sub>2</sub>/pH, íons dissolvidos, temperatura, entre outros fatores que, individualmente ou em conjunto, alteram os sistemas fisiológicos dos animais que habitam estas áreas (PERRY & LAURENT, 1993). Dentre os fatores citados, a temperatura e o oxigênio têm sido amplamente estudados, pois estão sujeitos a alterações tanto naturais como de origem antropogênica e interferem na sobrevivência dos animais aquáticos (JENSEN et al., 1993). Desta forma, respostas adaptativas comportamentais, fisiológicas, bioquímicas e genéticas são necessárias para enfrentar tais mudanças (VAL, 1993).

Considerando o fato dos peixes serem poiquilotérmicos e, portanto, não conseguirem regular sua temperatura corpórea, a qual corresponde à temperatura ambiental, estes animais apresentam uma termorregulação comportamental, isto é, selecionam termicamente seu habitat. No entanto, são limitados pela faixa de temperatura disponível no ambiente (BRIO, 1998; FICKE et al., 2007).

Os teleósteos apresentam preferência por uma determinada variação de temperatura, a qual frequentemente coincide com a taxa de crescimento ótimo (JOBBLING, 1981) e/ou com a elevada capacidade aeróbica (KELSCH & NEIL, 1990). Além disso, segundo Frascá-Scorvo et al. (2001), a temperatura da água é um fator importante no cultivo de peixes, pois influencia diretamente a ingestão de alimentos, como a quantidade de alimento a ser fornecido, o horário de arraçoamento e a frequência de alimentação nos diferentes sistemas de criação e, de acordo com Schimittou (1993), a temperatura ideal para a produção da maioria das espécies tropicais situa-se entre 25 e 28 °C.

Peixes expostos a uma temperatura não favorável podem deixar de ter determinado habitat como preferencial, afetando a distribuição geográfica desta espécie, além de comprometer o tamanho populacional e ameaçar a sobrevivência a longo prazo (JANSEN & HESSLEIN, 2004). Assim, essa resposta comportamental dada pela transição para águas com temperaturas favoráveis varia com a estação, ritmos diários e crescimento, responsáveis pela variação de temperatura ótima de cada espécie (REYNOLDS & CASTERLIN, 1979).

Adicionalmente, Golovanov (2006) analisou um aspecto ecológico e evolutivo importante com relação à termorregulação comportamental que é a possibilidade de peixes sobreviverem a infecções deixando as áreas de conforto térmico para as áreas com temperaturas baixas ou altas ( $\pm 2-5$  °C) nas quais os processos patológicos são retardados ou mesmo suprimidos.

Segundo Boulant (2000) e Van den Burg et al. (2005), nos vertebrados, a área pré-óptica do hipotálamo é, provavelmente, a área termorreguladora mais importante, contendo neurônios sensíveis tanto ao frio quanto ao calor. No entanto, especialmente em ectotérmicos, existem poucos dados sobre as vias termorreguladoras.

Van den Burg et al. (2006), analisando a resposta da carpa comum (*C. carpio*) a alterações bruscas na temperatura, observaram duas vias neurais distintas: a primeira uma via sensorio-motora, provavelmente ativada após a detecção da alteração da temperatura ambiental por receptores presentes na cavidade bucal, levando à resposta de fuga, e a segunda via, denominada via de aclimação, ativada em resposta à modificação da temperatura cerebral, resultante da alteração da temperatura do sangue das brânquias, nos casos em que o peixe não pode utilizar a termorregulação ambiental. Nesse caso, esta via leva a elevados níveis de cortisol no plasma sanguíneo, operando em conjunto com respostas bioquímicas e fisiológicas.

Segundo Bicego et al. (2007), os mecanismos termossensíveis dos ectotérmicos são importantes devido à proteção contra as variações térmicas cerebrais, uma vez que, de acordo com Van den Burg et al. (2006), o cérebro é o órgão mais vulnerável a alterações de temperatura, sendo os peixes capazes de alterar o volume sanguíneo cerebral em casos de alterações agudas desta variável.

A elevação da temperatura no meio aquático afeta a solubilidade do O<sub>2</sub>, além disso, a presença de materiais oxidáveis pode contribuir para a diminuição do O<sub>2</sub> dissolvido na água. A temperatura elevada também aumenta a demanda de O<sub>2</sub> pelos processos respiratórios dos organismos aquáticos, contribuindo para a redução deste gás no ambiente (HUGHES & ROBERTS, 1970; SCHURMANN & STEFFENSEN, 1992). Em vista disso, a temperatura é uma variável fundamental na determinação da vulnerabilidade à hipóxia, sendo também responsável por influenciar as respostas fisiológicas e comportamentais à mesma (JACKSON, 2007).

A quantidade de oxigênio dissolvido nos corpos de água é um indicador primário da qualidade da água, sendo que sua redução pode afetar significativamente a saúde do ecossistema aquático. A concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água é o resultado da interação entre diversos fatores, como a produção fotossintética e a reaeração atmosférica, as quais contribuem para o aumento da concentração desse gás na água, enquanto o consumo de O<sub>2</sub> pela decomposição da matéria orgânica e a respiração realizada pelo ecossistema aquático colaboram para a diminuição deste gás (JANZEN et al., 2008).

Além das causas já citadas, a eutrofização e a poluição orgânica são igualmente responsáveis pela redução da concentração de O<sub>2</sub> no ambiente aquático em larga escala no mundo inteiro, levando a reduções na população e na biomassa de peixes (WETZEL, 1975; ALEXANDER et al., 2000; WU et al., 2003). Adicionalmente, estes efeitos também podem interagir com as alterações ambientais da temperatura, comprometendo ainda mais a sobrevivência desses animais (MORGAN et al., 2001).

### **1.1 Respostas cardiorrespiratórias à hipóxia e à temperatura ambiental**

Assim como em todos os animais ectotérmicos, a fisiologia dos peixes é consideravelmente influenciada pela temperatura da água, a qual pode sofrer alteração aguda ou sazonal. As alterações no metabolismo são acompanhadas de ajustes ventilatórios, cardiovasculares, hematológicos e bioquímicos, que ocorrem com o objetivo de suprir as necessidades teciduais de oxigênio (MARICONDI-MASSARI et al., 1998; RANDALL & CAMERON, 1973). Desta forma, a função cardíaca em peixes é fortemente influenciada pela alteração da temperatura (FARRELL, 2002; FARRELL et al., 1996; TAYLOR et al., 1996), afetando o desempenho contrátil dos miócitos cardíacos (FARRELL, 1984; MATIKAINEN & VORNANEN, 1992) e a frequência de descarga das células marca-passos (LIU & LI, 2005; TIBBITS et al., 1992).

A frequência cardíaca ( $f_H$ ) em teleósteos é determinada pelo ritmo intrínseco do marca-passo sinoatrial, estando envolvidos nesta regulação as próprias células marca-passos, hormônios e fibras nervosas do sistema nervoso autônomo (FARRELL & JONES, 1992).

O aumento agudo na temperatura aquática eleva o débito cardíaco, principalmente como resultado do aumento da  $f_H$  e redução do volume sistólico (GRAHAM & FARRELL, 1985; GOLLOCK et al., 2006). Estas respostas podem ser resultados dos efeitos térmicos na frequência intrínseca de processos fisiológicos. Além disso, a  $f_H$  pode aumentar com objetivo de compensar a capacidade reduzida de carrear oxigênio em altas temperaturas, garantindo assim, constante suprimento tecidual de  $O_2$  (TAYLOR et al., 1996). De maneira oposta, baixas temperaturas reduzem a  $f_H$  e, portanto, tendem a diminuir o débito cardíaco e a atividade dos peixes, principalmente daqueles que habitam ambientes onde amplas alterações de temperatura ocorrem de forma sazonal (HAVERINEN & VORNANEN, 2007).

A princípio, alterações na  $f_H$  relacionadas à temperatura podem ser moduladas pela regulação humoral e neural da atividade do marca-passo. Normalmente, o coração de peixes está sob controle parassimpático e a liberação contínua de acetilcolina nos terminais colinérgicos nervosos mantém a  $f_H$  *in vivo* menor que a frequência de despolarização intrínseca das células marca-passo (SAITO, 1973). Assim, o estímulo do sistema nervoso simpático na  $f_H$  de peixes é, geralmente, muito menos evidente quando comparado com o efeito inibitório colinérgico (CAMERON, 1979).

Com relação à concentração de  $O_2$  na água, peixes expostos à hipóxia ambiental apresentam respostas que visam economia energética e a tentativa de aumentar a capacidade de extração de  $O_2$ . Essas estratégias implicam em alterações comportamentais, fisiológicas e bioquímicas (MUUSZE et al., 1998).

A resposta dos peixes à hipóxia varia de acordo com a tensão de  $O_2$  na qual o animal se encontra e a tolerância da espécie à mesma (HERBERT & STEFFENSEN, 2005; ISHIBASHI et al., 2002). Embora existam diferenças interespecíficas, a resposta fisiológica à hipóxia consiste, basicamente, em uma reação hormonal primária (liberação de catecolaminas) e um conjunto de respostas secundárias inter-relacionadas (metabólica, ionoregulatória e ajustes cardiorrespiratórios) (MAZEAUD et al., 1977).

De acordo com Smith & Jones (1982), os peixes são capazes de manter a tomada de  $O_2$  constante durante a hipóxia aquática através do aumento da ventilação branquial, causado pelo aumento na frequência e/ou no volume respiratório.



Alterações na  $f_H$  também são evidente durante a hipóxia, onde a resposta usual a esta alteração ambiental corresponde a uma bradicardia acompanhada de um aumento do volume sistólico. Como o débito cardíaco é mantido, a importância da bradicardia hipóxica é fundamental para assegurar o desempenho do coração durante a hipóxia do miocárdio, aumentando o tempo de residência do sangue dentro do ventrículo, permitindo uma maior extração de  $O_2$  pelo próprio miocárdio esponjoso, além de aumentar o tempo de residência do sangue nas lamelas secundárias (possibilitando maior captação de  $O_2$  da corrente ventilatória). Tais respostas estão associadas ao efeito do recrutamento lamelar, devido à hipertensão acompanhada de bradicardia e da adequada relação ventilação-perfusão (ALTIMIRAS et al., 1995; FARRELL, 2007; SATCHELL, 1991).

## 1.2 Morfologia cardíaca de peixes

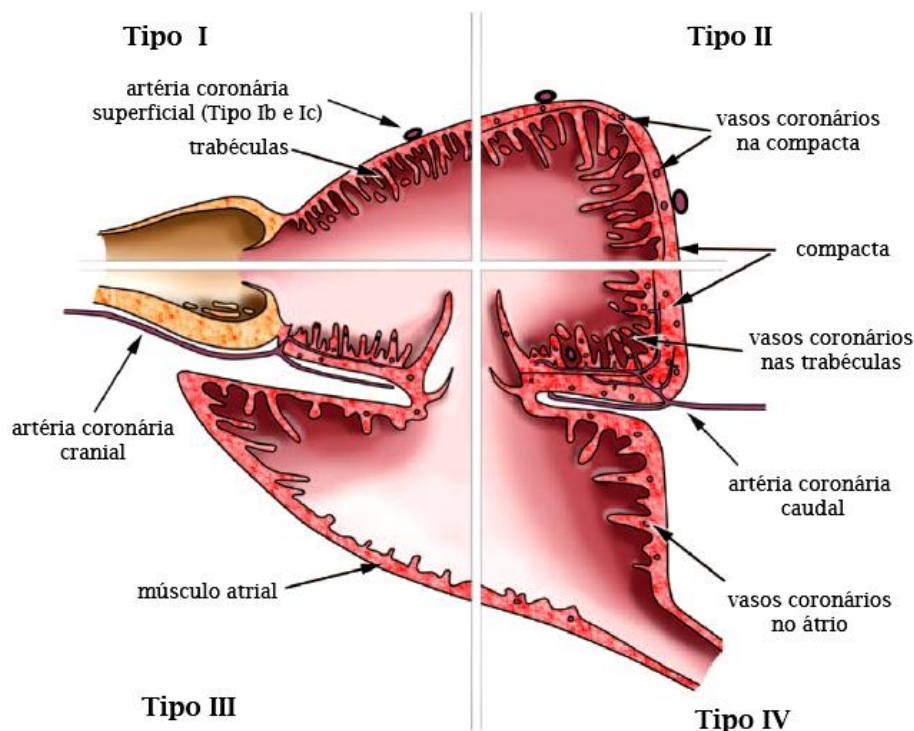
O coração dos peixes é um órgão formado por quatro câmaras em série (seio venoso, átrio, ventrículo, bulbo arterioso nos teleósteos e cone arterioso nos elasmobrânquios) (FARREL & JONES, 1992). A região do marca-passo está localizada na junção sinoatrial e dispara potencias de ação de forma lenta e espontânea (HAVERINEN & VORNANEN, 2007; SAITO, 1973). No entanto, a exata localização e dimensão desta área do coração, bem como a morfologia das células marca-passos e sua atividade elétrica ainda não estão muito claras, tendo sido descritas para pouquíssimas espécies, como na truta arco-íris (*O. mykiss*) (HAVERINEN & VORNANEN, 2007).

A anatomia do coração de peixes não é uniforme em todas as espécies e o ventrículo apresenta três formas distintas (sacular, tubular e piramidal), podendo ser observados dois tipos de miocárdio: (i) o *misto*, caracterizado por uma camada cortical de espessura variável (compacta) e uma camada interna (esponjosa) e (ii) o *trabecular*, o qual possui apenas uma camada, a esponjosa (SANTER et al., 1983).

Baseado na ampla variação do modelo de distribuição dos vasos coronários e na disposição de suas camadas (compacta e esponjosa), Tota et al. (1983) classificaram o coração de peixe em quatro tipos. O tipo I consiste de miocárdio trabecular e é subdividido em Ia, sem vasos coronários penetrantes e Ib, dotado de suprimento vascular exclusivamente epicárdico. Muitos teleósteos caracterizados por hábitos sedentários, como as espécies bentônicas, apresentam

esse tipo de ventrículo, como o alcatraz (*Amia calva*) e o peixe dourado (*Carassius auratus*). As outras três categorias (II, III e IV) apresentam miocárdio misto irrigado por capilares, sendo o tipo II caracterizado pelo suprimento coronariano apenas na camada compacta, como encontrado no pacu (*P. mesopotamicus*) e os tipos III e IV apresentam vasos coronarianos que penetram em ambas as camadas do miocárdio misto e no átrio. A diferença entre estes dois últimos tipos está na proporção entre as camadas do miocárdio (menos de 30% de camada compacta no Tipo III, como no pata-roxa, *Scyliorhinus canícula*, e mais que 30% de camada compacta no tipo IV, como no atum, *Thunnus albacares*). Segundo Farrel & Jones (1992), a maioria dos teleósteos possui coração do tipo II e a maioria dos elasmobrânquios, coração do tipo III. Tubarões endotérmicos e teleósteos ativos apresentam o tipo IV. Uma representação tipos de ventrículos é mostrada na figura 1.

Alguns autores sugerem a existência de uma relação entre atividade locomotora, mioarquitetura e suprimento sanguíneo ventricular de peixes teleósteos, onde espécies muito ativas possuem ventrículo piramidal com miocárdio misto e artérias coronarianas bem desenvolvidas, suportando assim a elevada necessidade metabólica do organismo. Já as espécies sedentárias possuem ventrículo sacular ou tubular e miocárdio esponjoso, sendo irrigado por circuitos venoso lacunares, funcionando como bombas de baixa pressão (SANTER & GREER WALKER, 1980; SANTER et al., 1983; TOTA et al., 1983).



**Figura 1.** Ilustração esquemática das principais características que distinguem os quatro tipos de ventrículos em peixes (tipos I, II, III e IV) (adaptado de Grimes & Kirby, 2009).

Simões et al. (1999, 2002) demonstraram que os ventrículos de peixes tropicais ativos como o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*) seguiram a correlação descrita acima, apresentando formato piramidal e miocárdio ricamente vascularizado, consistindo de uma camada compacta externa e uma camada esponjosa interna. Porém, esse padrão não foi seguido pelo bagre africano (*Clarias gariepinus*), espécie menos ativa e que apresentou ventrículo sacular com miocárdio misto, irrigado por artérias coronárias.

### 1.3 Eletrocardiograma em peixes

A atividade elétrica do coração pode ser registrada através do eletrocardiograma (ECG) e, de acordo com Satchell (1991), os peixes apresentam os mesmo eventos elétricos conhecidos para o ECG de mamíferos, ou seja, a onda P representa despolarização atrial, o complexo QRS indica a despolarização do ventrículo e a onda T corresponde à repolarização ventricular. Além disso, em algumas espécies de peixes o ECG inicia-se com uma deflexão (antes da onda P), denominada onda V, a qual corresponde à contração dos feixes musculares do seio venoso.

A análise detalhada da atividade elétrica cardíaca requer várias derivações, para que seja possível detectar cada componente das ondas do ECG e para estabelecer um eixo elétrico do coração. Entretanto, o uso de várias derivações em peixes é difícil por inúmeras razões, incluindo a diversidade anatômica desses animais e a falta de informação sobre o posicionamento correto dos eletrodos em relação ao coração (KALININ et al., 2009; YOSHIKAWA et al., 1988).

Alguns dos parâmetros analisados no ECG de peixes incluem a análise do intervalo RR, a amplitude e duração da onda P (despolarização atrial), a duração dos intervalos PR (relativo à despolarização atrial e condução do estímulo através do miocárdio atrial) QRS (despolarização ventricular), QT (relativo ao início da despolarização do ventrículo até a total repolarização do mesmo), segmento ST (representando o momento no qual todo o ventrículo é despolarizado) e duração e amplitude da onda T (repolarização ventricular) (FELDMAN & GOLDWASSER, 2004).

Por todas as razões expostas anteriormente, fica clara a necessidade do entendimento das capacidades de diferentes espécies em resistir às modificações nos parâmetros ambientais e dos mecanismos acionados para a manutenção da homeostase frente a tais alterações, ao que se propôs o presente estudo.

Para tanto, foram estudadas duas espécies de peixes Neotropicais ecologicamente distintas: a traíra, *Hoplias malabaricus*, um peixe de hábito sedentário e habitat lêntico, potencialmente hipóxico, e o matrinxã, *Brycon amazonicus*, um peixe de hábito bastante ativo e habitat lótico, frequentemente bem oxigenado.

## 1.4 Considerações sobre as espécies estudadas

Segundo Britski (1972), as espécies matrinxã, *Brycon amazonicus* e traíra, *Hoplias malabaricus* ocupam a seguinte posição sistemática:

Classe: OSTEICHTHYES

Superordem: OSTARIOPHYSI

Ordem: CHARACIFORMES

Subordem: CHARACOIDEI

Família: CHARACIDAE

Sub-Família: BRYCONINAE

Gênero: *Brycon*

Espécie: *Brycon amazonicus* (SPIX & AGASSIZ, 1829)

Família: ERYTHRINIDAE

Gênero: *Hoplias*

Espécie: *Hoplias malabaricus* BLOCH, 1794

O matrinxã (Figura 2) é um peixe teleósteo de água doce Neotropical, nativo das bacias Amazônica e Araguaia-Tocantins. Segundo Zaniboni-Filho & Resende (1988) esta espécie se caracteriza por ter corpo alongado de, aproximadamente, 50 cm de comprimento, atingindo 4 a 5 kg na fase adulta. Por se tratar de uma espécie de hábito alimentar onívoro, alimenta-se de frutos, sementes e pequenos organismos aquáticos. Em condições de cativeiro, aceita ração peletizada, grãos e frutos, apresentando rápido crescimento (HONCZARYK, 1999).

O período reprodutivo de matrinxã, na natureza, ocorre na estação de enchente, entre dezembro e janeiro, atingindo a maturidade sexual entre dois a três anos de vida, dependendo do estado nutricional de cada animal (ZANIBONI-FILHO & RESENDE, 1988).

É uma espécie reofílica, que vive em ambientes de correnteza (FERREIRA et al., 1998), sendo caracterizada pelo seu hábito migratório, ou de piracema, percorrendo longas distâncias durante seus ciclos reprodutivos, atravessando corredeiras ou nadando em águas calmas. Assumindo a natação sustentada da espécie durante estes períodos, bem como o fato de habitar ambientes lóticos, de correnteza, bem aerados, é de se esperar que o matrinxã apresente uma baixa tolerância à hipóxia (VAL & HONCZARIK, 1995).

Devido a excelente qualidade da sua carne, o rápido crescimento e a esportividade na pesca (SCORVO FILHO et al, 1998), destaca-se comercialmente (HONCZARYK, 1994).



**Figura 2.** Exemplar de matrinxã, *Brycon amazonicus* (MIKOLJI, 2010).

A traíra (Figura 3) é uma espécie de ampla distribuição geográfica, tipicamente Neotropical. No Brasil, a espécie ocorre nas bacias do Amazonas, São Francisco, Paraíba, Paranaíba, Doce, Paraná (incluindo o Rio Mogi-Guaçu) e nos grandes e pequenos açudes do Nordeste (QUEROL et al., 2003).

É caracterizada por ser uma espécie sedentária, bem adaptada a ambientes lânticos, de águas paradas ou de pouca correnteza, embora também seja encontrada em rios de pequeno e grande porte, sendo uma espécie resistente à hipóxia (GEALH-ESCOBAR, 1991; KALININ, 1991).

Segundo Britski et al. (1988), a traíra chega a atingir 40 cm de comprimento e 4 kg de peso corporal na fase adulta e, de acordo com Moraes & Barbola (1995), esta espécie atinge a maturidade sexual por volta do segundo ano de vida.

Esta espécie é caracterizada por ser carnívora e predadora de topo de cadeia e, portanto, de elevada importância ecológica (PETRY, 2005). Além disso, é muito valorizada na pesca artesanal com conhecido valor comercial (BARROS et al. 2007).



**Figura 3.** Exemplar de traíra, *Hoplias malabaricus* (TIMM, 2010).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos gerais

O presente trabalho teve como objetivo verificar diferenças na morfologia cardíaca de peixes de hábitos ativos (matrinxã, *Brycon amazonicus*) e sedentários (traíra, *Hoplias malabaricus*) e correlacioná-las com as respostas cardiorrespiratórias à hipóxia e às alterações na temperatura.

### 2.2 Objetivos específicos

Para avaliar a morfologia cardíaca e as alterações cardiorrespiratórias, exemplares de matrinxã e de traíra, aclimatados a  $25 \pm 2$  °C para:

- a) Determinar a morfologia do coração das espécies através de análise macro e microscópica;
- b) Determinar do efeito da elevação da temperatura de 25 para 35 °C e da recuperação subsequente a 25 °C sobre a função cardiorrespiratória de ambas as espécies em condições normóxicas, avaliando a taxa metabólica -  $\dot{V}O_2$ ; a ventilação branquial -  $\dot{V}_G$  o volume ventilatório -  $V_T$ ; a frequência respiratória -  $f_R$ ; a pressão intrabucal - PIB; a pressão intraopercular (PIO), a necessidade ventilatória  $-\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ; a extração de oxigênio -  $EO_2$ , a frequência cardíaca -  $f_H$  e as alterações no traçado eletrocardiográfico (ondas, intervalos e segmentos);
- c) Determinar do efeito da redução da temperatura de 25 para 15 °C e da recuperação subsequente a 25 °C sobre a função cardiorrespiratória de ambas as espécies em condições normóxicas, avaliando a  $\dot{V}O_2$ , a  $\dot{V}_G$ , o  $V_T$ , a  $f_R$ , a PIB, a PIO, a  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ , a  $EO_2$ , a  $f_H$  e as alterações no traçado eletrocardiográfico (ondas, intervalos e segmentos);
- d) Determinar do efeito da redução gradual na concentração de oxigênio do meio sobre a função cardiorrespiratória de ambas as espécies em diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C), avaliando a  $\dot{V}O_2$ , a  $\dot{V}_G$ , o  $V_T$ , a  $f_R$ , a PIB, a PIO, a  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ , a  $EO_2$ , a  $f_H$  e as alterações no traçado eletrocardiográfico (ondas, intervalos e segmentos);
- e) Determinar da tensão crítica de  $O_2$  ( $PcO_2$ ) nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Animais

No presente trabalho foram utilizados exemplares de matrinxã, *Brycon amazonicus* (n = 60; Wt = 202,79 ± 7,12 g) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (n = 60; Wt = 267,67 ± 7,82 g) de ambos os sexos, os quais foram adquiridos em pisciculturas localizadas no Estado de São Paulo: Águas Claras (Mococa, 21°28'04" S - 47°00'17" O), XV de Novembro (São João da Boa Vista, 21°58'09" S - 46°47'53" O), Parque do Dourado (Dourado, 22°06'00" S - 48°19'03" O) e Santa Cândida (Santa Cruz da Conceição, 22°08'25" S - 47°27'07" O).

Os peixes foram transportados para o Laboratório de Zoofisiologia e Bioquímica Comparada do Departamento de Ciências Fisiológicas - DCF/UFSCar, onde foram mantidos em tanques com capacidade de 500 e 1000 L, dotados de recirculação constante de água aerada e termostatizada (25 ± 2 °C), sob fotoperíodo natural (~ 12h:12h), por um período mínimo de 30 dias para aclimação às condições laboratoriais. Durante esta etapa os peixes foram alimentados *ad libitum* com ração comercial peletizada (matrinxã) e com filés de peixe ou peixes pequenos (traíra).

#### 3.2 Determinação das características físico-químicas da água

##### 3.2.1 pH e alcalinidade

Amostras de 100 mL de água foram coletadas dos tanques onde os peixes foram mantidos, sendo posteriormente transferidas para um béquer e mantidas sob agitação para determinação do valor do pH da água. A determinação da alcalinidade foi efetuada de acordo com as técnicas descritas por Golterman & Climo (1969). Para o cálculo da alcalinidade (expressa em mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) das amostras, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{ALCALINIDADE} = (\text{mL de H}_2\text{SO}_4) \times N \times \text{Eq} / \text{volume da amostra (mL)}, \text{ onde:}$$

N (normalidade do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 0,01

Eq (equivalente do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 50.000

### 3.2.2 Dureza total

A análise de dureza foi realizada por titulação das amostras de água, previamente tamponadas com EDTA, até o ponto de viragem de lilás para azul, usando-se como indicador o Eriocromo Negro (ADAD, 1982). Para o cálculo da dureza (em mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>), foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{DUREZA} = \text{EDTA (mL)} \times 1000 / \text{volume da amostra (mL)}$$

### 3.2.3 Oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura

A temperatura (°C) da água nos tanques experimentais foi aferida diariamente e o oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) e a condutividade elétrica (μS.cm<sup>-1</sup>) foram determinados por processo eletrométrico utilizando-se o oxímetro YSI-55 e o condutímetro Check Mate II Corning. As análises foram efetuadas nos próprios tanques dos peixes.

## 3.3 Análise morfológica

O estudo morfológico foi realizado no Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos (UNIFEOB - São João da Boa Vista/SP). Foram utilizados 10 exemplares de matrinxã, *B. amazonicus* (Wt = 276,39 ± 20,7 g) e 10 exemplares de traíra, *H. malabaricus* (Wt = 243,84 ± 40,1 g).

Os corações foram removidos cirurgicamente, fixados em formol a 10% durante 24 horas, analisados e fotografados. Para o estudo da microscopia de luz, os corações de ambas as espécies foram desidratados em uma série de alcoóis em concentrações crescentes (de 70 a 100%) e diafanizados em xilol, seguidos de embebição em parafina (TOLOSA et al., 2003).

Dos 10 corações utilizados em cada espécie, oito foram incluídos longitudinalmente e dois transversalmente. Os cortes (5 μm) foram obtidos utilizando um micrótomo LEICA 2165 e, posteriormente, estes foram corados em: hematoxilina-eosina (HE), para avaliar a organização tecidual; tricrômico Masson (TM), para avaliar e diferenciar tecido conjuntivo e muscular; e orceína de Taenzer-Unna (TU), para avaliar fibras elásticas (TOLOSA et al., 2003). O material foi

analisado e fotografado utilizando um fotomicroscópio Leica DM 2000, com auxílio do software Leica QWin Plus v.3.2.0.

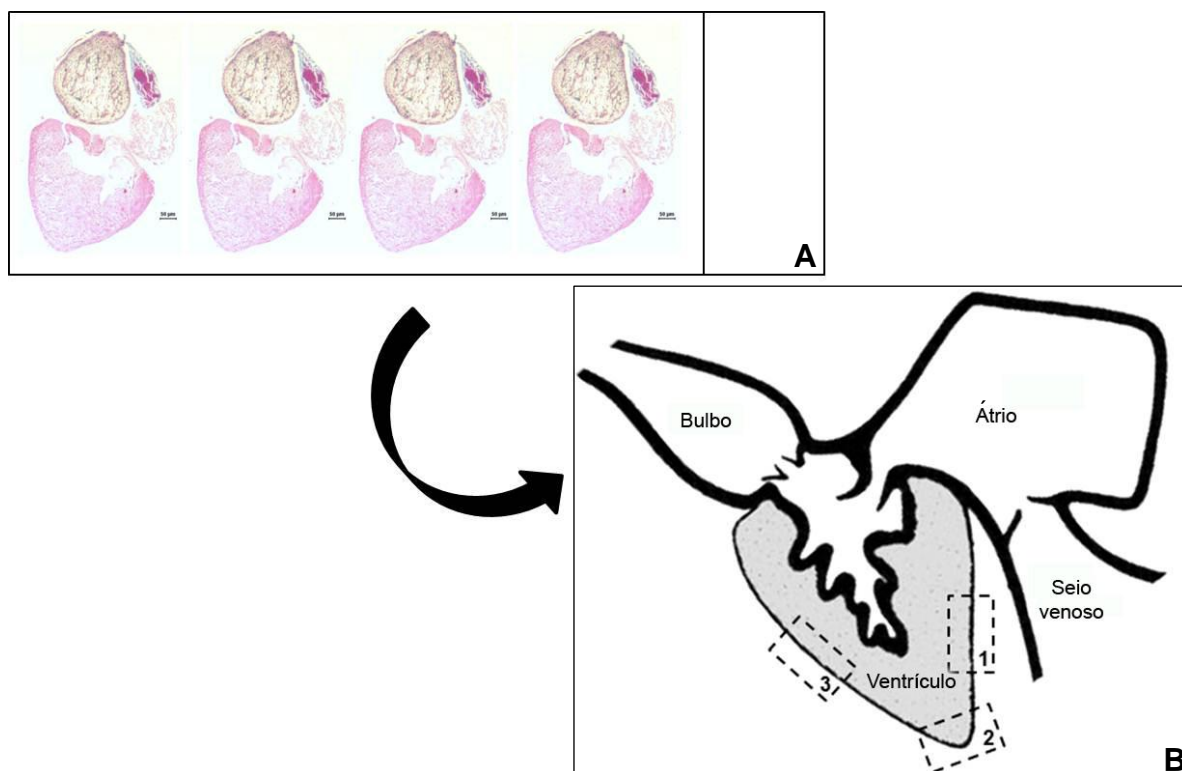
### **3.3.1 Análise morfométrica**

Para a análise morfométrica das camadas ventriculares, foram utilizadas lâminas histológicas com cortes sequenciais das amostras de corações (posicionados longitudinalmente) de matrinxã, *B. amazonicus* (n = 8) e traíra, *H. malabaricus* (n = 8), coradas com HE.

As lâminas histológicas, apresentando cinco cortes sequenciais cada, foram utilizadas para a mensuração da camada compacta. No presente estudo, o ventrículo foi dividido em três regiões (campo 1, 2 e 3), como mostra a figura 4 e, em cada região foram realizadas 10 medidas da espessura da camada.

Em ambas as espécies, após a mensuração da camada compacta das três diferentes regiões (campo 1, 2 e 3), os dados foram corrigidos com o peso de cada peixe (medida da camada/peso do peixe), uma vez que, de acordo com Santer et al. (1983), existe uma relação positiva entre a massa ventricular e a massa do coração e entre a massa do coração e a massa corpórea.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente (teste-t de Student) para avaliar diferenças entre os três campos em uma mesma espécie e entre as duas espécies estudadas.



**Figura 4.** Esquema da mensuração da camada compacta em amostras sequenciais de corações posicionados em uma lâmina histológica (A) e os campos analisados (B) (Adaptado de Haverinen & Vornanen, 2007).

### 3.4 Experimentos cardiorrespiratórios

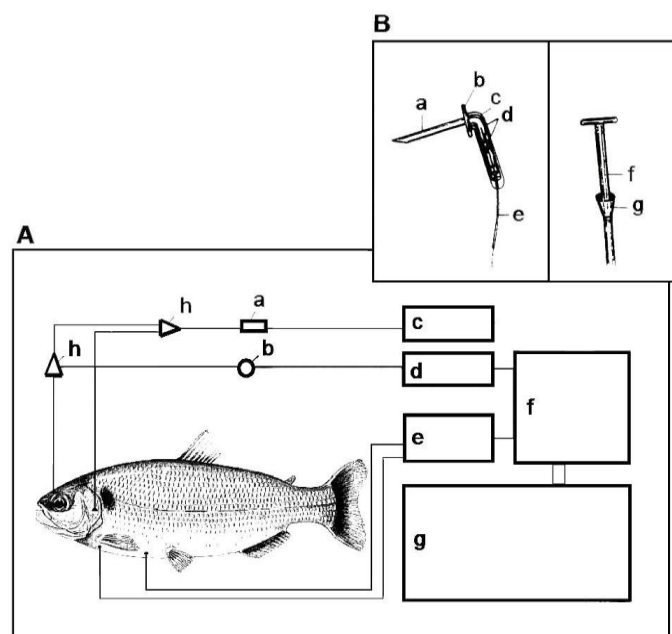
Os protocolos experimentais para a obtenção dos parâmetros cardiorrespiratórios foram baseadas na metodologia utilizada por Glass et al. (1991) e adaptada por Rantin et al. (1993).

A alimentação dos peixes foi suspensa 48 horas antes dos experimentos evitando, assim, a eliminação de fezes ou regurgitação de restos alimentares no interior da câmara experimental, além de evitar o efeito metabólico da digestão.

Os peixes foram previamente anestesiados com benzocaína 0,005% (matrinã) e 0,01% (traíra) até a cessação da atividade espontânea. Imediatamente após a anestesia, os peixes foram pesados e transferidos a uma mesa cirúrgica, onde permaneceram com suas brânquias constantemente irrigadas com uma solução anestésica de manutenção (metade da dose inicial) e foram submetidos à cirurgia para a inserção dos cateteres de polietileno, responsáveis pelo monitoramento das tensões de O<sub>2</sub> da água inspirada e expirada, sendo realizada

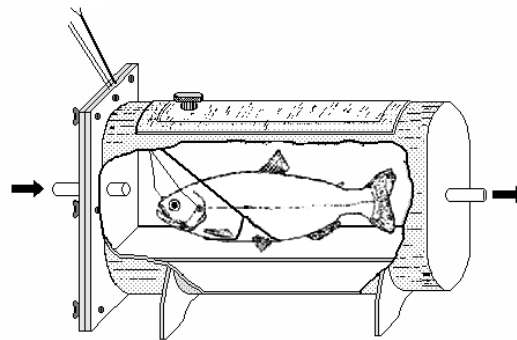
também a fixação dos eletrodos de eletrocardiografia para o registro da atividade cardíaca.

A tensão de  $O_2$  da água inspirada ( $P_{\text{insp}}O_2$  - mmHg) e a frequência respiratória ( $f_R$ ) foram obtidas pela água proveniente do cateter de polietileno (PE 100) inserido no interior da cavidade bucal através de orifício aberto dorsalmente com o auxílio de uma broca, enquanto a tensão de  $O_2$  da água expirada ( $P_{\text{exp}}O_2$  - mmHg) foi obtida pela água proveniente dos cateteres de polietileno (PE 60) inseridos nas partes distais de ambos os cleitros operculares da mesma forma que o cateter bucal (Figura 5).



**Figura 5.** Esquema do sistema utilizado na obtenção das respostas cardiorrespiratórias. Em A: a. cubeta termostalizada com eletrodos de  $O_2$ ; b. transdutor de pressão; c. analisador de  $O_2$ ; d. amplificador de pressão; e. amplificador de ECG; f. sistema de aquisição de dados. Em B: a. extremidade da agulha do eletrodo de ECG; b. fragmento de cateter de polietileno com extremidade flangeada; c. revestimento termorretrátil; d. fio de cobre fixado por pressão mecânica; e. fio de cobre encapado; f. cateter de polietileno com extremidade flangeada para tomada de água; g. peça de fixação. Adaptado de Massari (1993).

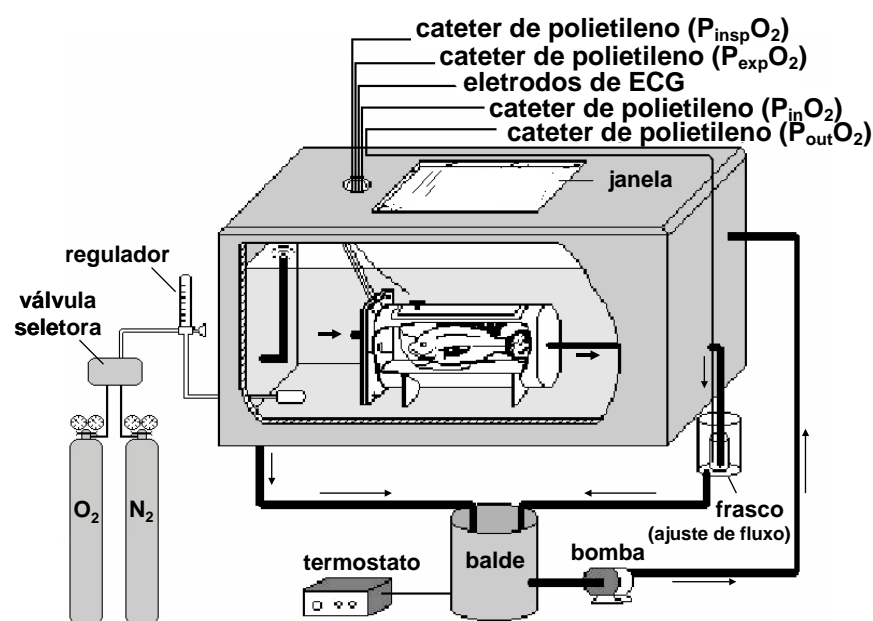
Após a preparação descrita acima, os peixes foram introduzidos em um respirômetro de fluxo constante (Figura 6) e imediatamente transferidos para a câmara experimental (volume de ~ 100 L), mantidos em condições normóxicas, a  $25 \pm 2$  °C, onde permaneceram por um período de, aproximadamente, 12 horas para a recuperação da anestesia e restabelecimento das condições metabólicas basais (Figura 7).



**Figura 6.** Esquema do respirômetro de fluxo constante. As setas indicam o sentido do fluxo de água através do respirômetro. Adaptado de Massari (1993).

A tensão de  $O_2$  da água de entrada no respirômetro ( $P_{in}O_2$  - mmHg) foi monitorada através de cateter de polietileno posicionado no interior da câmara experimental, enquanto a tensão de  $O_2$  da água de saída do respirômetro ( $P_{out}O_2$  - mmHg) foi monitorada pela água originada do cateter de polietileno posicionado na região da saída da água do respirômetro.

As tensões de  $O_2$  da água de entrada ( $P_{in}O_2$ ) e de saída ( $P_{out}O_2$ ) do respirômetro, bem como das tensões de  $O_2$  da água inspirada ( $P_{insp}O_2$ ) e expirada ( $P_{exp}O_2$ ) pelos peixes foram continuamente monitoradas conectando-se os cateteres de polietileno a um sistema de torneiras de 3 vias, acopladas a um eletrodo (FAC-001 $O_2$ , FAC, São Carlos, SP) conectado a um analisador de  $O_2$  (FAC-204A, FAC, São Carlos, SP), o qual permaneceu dentro de uma cuveta termostatizada.



**Figura 7.** Esquema da câmara experimental. Adaptado de Massari (1993).

Para a obtenção do ECG e análise da  $f_H$ , foram inseridos dois eletrodos de aço inoxidável na região ventral dos peixes, o positivo foi posicionado entre as brânquias, em região próxima ao coração; e o negativo, em posição caudal próximo às nadadeiras pélvicas, ambos suturados cirurgicamente à musculatura corpórea para evitar seu deslocamento (Figura 5). Um terceiro eletrodo, de referência, foi colocado na água da câmara experimental (Figura 7). Os eletrodos foram conectados a um amplificador (BioAmp) e registrados em sistema PowerLab (ADInstruments) de aquisição de dados. Esta preparação permitiu que fossem obtidos registros similares àqueles observados na derivação  $D_I$  da eletrocardiografia padrão.

### **3.4.1 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias em diferentes temperaturas**

Para analisar a resposta dos peixes frente às alterações na temperatura experimental, os experimentos foram realizados em condições normóxicas ( $P_{in}O_2 = 140$  mmHg) e as temperaturas foram alteradas gradativamente (a cada 2,5 °C) durante, aproximadamente, 5 min. Uma vez atingida a temperatura desejada, esta foi mantida por 30 min, antes de serem efetuadas as medidas e registros dos parâmetros citados no item anterior.

Em um primeiro grupo de experimentos, os peixes foram submetidos à alteração gradativa (a cada 2,5 °C) de 25 °C para 15 °C e retorno a 25 °C, sendo este procedimento realizado em matrinxãs (Ba, n=10) e traíras (Hm, n=10). Desta forma, as temperaturas experimentais avaliadas foram: 25 °C, 22,5 °C, 20 °C, 17,5 °C, 15 °C e retorno gradativo a 25 °C.

O segundo grupo de experimentos, também realizado em ambas as espécies (matrinxã - Ba, n=10; traíras - Hm, n=10), avaliou a alteração 25 °C para 35°C e retorno para 25 °C, sendo avaliadas as temperaturas: 25 °C, 27,5 °C, 30 °C, 32,5 °C, 35 °C e retorno gradativo a 25 °C.

As alterações na temperatura foram obtidas com termostatos (Atman - 200 e 300 W) ou através da adição de gelo à água da caixa experimental, tendo estes protocolos a duração total de, aproximadamente, 10 horas.

### 3.4.2 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas

Em ambas as espécies estudadas, os experimentos foram realizados em três temperaturas diferentes ( $15 \pm 1$  °C,  $25 \pm 1$  °C e  $35 \pm 1$  °C). Desta forma, os peixes foram divididos em seis grupos, sendo três de matrinxãs: Ba15 (15 °C, n=10); Ba25 (25 °C; n=10); e Ba35 (35 °C, n=10) e três de traíras: Hm15 (15 °C, n=10); Hm 25 (25 °C, n=10); e Hm35 (35 °C, n=10).

A alteração da temperatura ocorreu de forma gradativa, sendo realizada em 3°C/hora, para evitar choque térmico (CHOU et al., 2008). Para a redução a 15 °C foi adicionado gelo ao sistema e o aumento a 35 °C foi obtido com o auxílio de termostatos (Atman - 200 e 300 W).

Após atingir a temperatura desejada, os peixes foram mantidos por, aproximadamente, 1 hora para a estabilização e, posteriormente os parâmetros cardiorrespiratórios foram mensurados como descrito acima, em diferentes concentrações de O<sub>2</sub>, obtidas borbulhando-se quantidades controladas de N<sub>2</sub> na água da caixa experimental. Assim, foram analisadas as tensões de 140, 120, 100, 80, 60, 40, 20 e 10 mmHg. Desta forma, cada experimento foi conduzido em temperatura controlada, sendo ela 15, 25 ou 35 °C, e em diferentes tensões de O<sub>2</sub>, sendo cada uma dessas tensões mantida por um período de 30 minutos antes de serem efetuadas as medidas e registros dos parâmetros, tendo estes protocolos a duração total de, aproximadamente, 10 horas.

obtidas

## 3.5 Protocolos experimentais

### 3.5.1 Variáveis ventilatórias

A taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) em cada uma das tensões de O<sub>2</sub> experimentais e em cada temperatura experimental foi determinada utilizando-se o sistema de respirometria de fluxo constante, pelo monitoramento das tensões de O<sub>2</sub> da água de entrada ( $P_{in}O_2$ ) e de saída ( $P_{out}O_2$ ) do respirômetro. A  $\dot{V}O_2$  foi calculada por meio da equação proposta por Hughes et al. (1983), expressa em mL O<sub>2</sub>.Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>:



$$\dot{V}O_2 = \frac{[(P_{in}O_2 - P_{out}O_2) \cdot \alpha_{O_2} \cdot V_R]}{W_t}, \text{ onde:}$$

$\alpha_{O_2}$  = coeficiente de solubilidade do O<sub>2</sub> na água (mLO<sub>2</sub>·L<sup>-1</sup>·mmHg<sup>-1</sup>);

$V_R$  = fluxo de água através do respirômetro (L·h<sup>-1</sup>);

$W_t$  = peso do animal (kg).

Para a determinação da ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) foi utilizado o método descrito por Saunders (1962). Tal método consiste na obtenção de amostras da água de entrada ( $P_{in}O_2$ ) e de saída ( $P_{out}O_2$ ) do respirômetro, bem como da água inspirada ( $P_{insp}O_2$ ) e expirada ( $P_{exp}O_2$ ) pelos peixes.

A  $\dot{V}_G$  foi calculada de acordo com Kalinin et al. (1996), expressa em mLH<sub>2</sub>O·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>:

$$\dot{V}_G = \frac{[(P_{in}O_2 - P_{out}O_2 / P_{insp}O_2 - P_{exp}O_2) \cdot V_R]}{W_t}, \text{ onde:}$$

$V_R$  = fluxo de água através do respirômetro (mL·min<sup>-1</sup>),

$W_t$  = peso do animal (kg).

Para as medidas de frequência respiratória ( $f_R$ ), pressão intrabucal (PIB) e pressão intraopercular (PIO), os cateteres de polietileno inseridos na boca e nos opérculos dos peixes foram conectados a transdutores de pressão, previamente calibrados, e registrados em sistema PowerLab (ADInstruments) de aquisição de dados (Figura 4 e 5). A  $f_R$ , foi expressa em ciclos respiratórios·min<sup>-1</sup> e a PIB e a PIO em mmHg.

O volume ventilatório, ou volume corrente ( $V_T$ ) foi calculado pelo quociente entre a ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) e a respectiva frequência respiratória ( $f_R$ ). O  $V_T$  foi expresso em mLH<sub>2</sub>O·kg<sup>-1</sup>·ciclo<sup>-1</sup>.

A necessidade ventilatória, ou *water convection requirement* ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - mLH<sub>2</sub>O·mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>), foi obtida pelo quociente entre a ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) e o respectivo valor da taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ).

A extração de O<sub>2</sub> da corrente ventilatória pelas brânquias (EO<sub>2</sub> - %) foi calculada a partir da equação (DEJOURS, 1981):

$$EO_2 = \frac{(P_{\text{insp}}O_2 - P_{\text{exp}}O_2)}{P_{\text{insp}}O_2} \cdot 100$$

$P_{\text{insp}}O_2$  = tensões de  $O_2$  da água inspirada

$P_{\text{exp}}O_2$  = tensão de  $O_2$  da água expirada

### 3.5.2 Cálculo do $Q_{10}$

Os valores do coeficiente de temperatura ( $Q_{10}$ ) representam o fator pelo qual uma variável aumenta a cada elevação de  $10^\circ\text{C}$  na temperatura (MORTOLA & FRAPPE, 2000). O cálculo é feito a partir da equação:

$$Q_{10} = (K_2 \cdot K_1^{-1})^{10(T_2 - T_1)}, \text{ onde:}$$

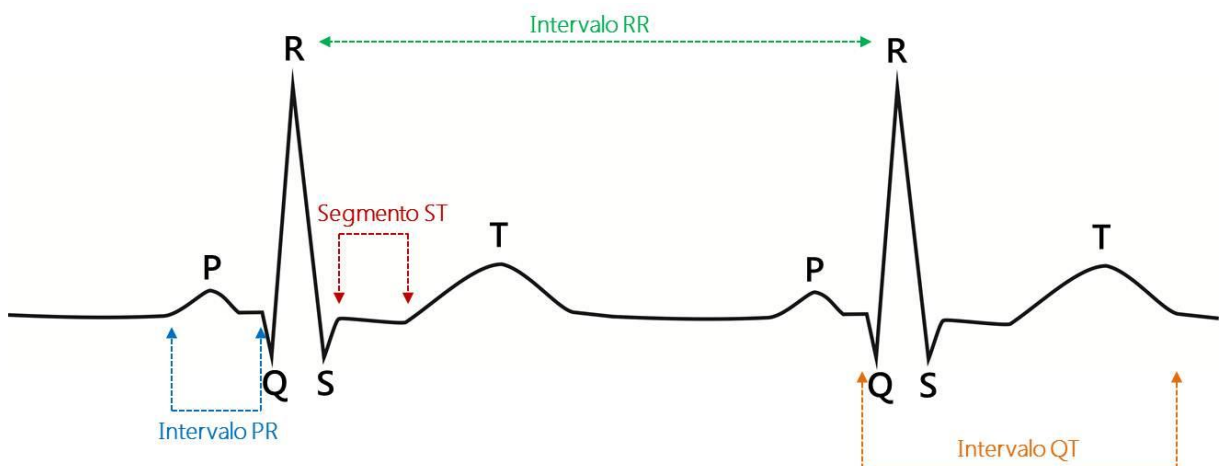
$K_1$  e  $K_2$  = valores inicial e final do parâmetro analisado

$T_1$  = temperatura inicial

$T_2$  = temperatura final.

### 3.5.3 Frequência cardíaca e registros eletrocardiográficos

A frequência cardíaca ( $f_H$ ) dos peixes de ambas as espécies estudadas foi registrada assim como descrito para os parâmetros respiratórios (temperatura e tensão de  $O_2$ ). A  $f_H$  foi expressa em batimentos cardíacos por minuto (bpm), sendo também analisadas as alterações na duração dos intervalos RR, PR, QT, complexo QRS e segmento ST e duração e amplitude das ondas P e T (Figura 8).



**Figura 8.** Esquema de registro de eletrocardiografia e algumas das medidas realizadas.

### 3.6 Tratamento estatístico dos dados

Os valores de todos os parâmetros estão apresentados como média  $\pm$  EPM (erro padrão da média). Foram consideradas diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância. Com o auxílio dos softwares GraphPad InStat v. 3.05 (GraphPad Software Inc., CA, USA) e SigmaPlot v.11.0 (Dundas Software, Germany), os seguintes procedimentos estatísticos foram adotados:

- a) O teste-t de Student não pareado ou seu correspondente não paramétrico Mann-Whitney, dependendo dos critérios de normalidade, homogeneidade e homocedasticidade, foi realizado para avaliar:
- As diferenças significativas na análise morfométrica das camadas ventriculares, comparando os diferentes campos (1, 2 e 3) em cada espécie isoladamente (matrinxã ou traíra) e comparando os campos (1, 2 e 3) entre as espécies (matrinxã e traíra);
  - As diferenças significativas entre o matrinxã e a traíra nos experimentos cardiorrespiratórios envolvendo a alteração da temperatura (BaxHm);
  - As diferenças significativas entre o matrinxã e a traíra nos experimentos cardiorrespiratórios envolvendo a alteração da temperatura e da concentração de O<sub>2</sub> aquático na temperatura controle de 25 °C (Ba25xHm25);
  - As diferenças significativas em cada espécie, de forma isolada, expostas a diferentes temperaturas e concentrações de O<sub>2</sub> (Ba15xBa25, Ba25xBa35, Hm15xHm25 e Hm25xHm35).
- b) A análise de variância (ANOVA) *one-way*, complementada pelo teste de Dunnett foi realizada para a identificação de diferenças significativas entre os valores controles (140 mmHg ou 25 °C) durante os protocolos experimentais (alteração da temperatura ou alteração da temperatura e da concentração de O<sub>2</sub>) em cada grupo experimental, de forma isolada;
- c) Análise de variância Fatorial ou ANOVA *two-way*, com interação envolvendo dois critérios de classificação: nove níveis de O<sub>2</sub> na água (140, 120, 100, 80, 60, 40, 20 e 10 mmHg) e três temperaturas (15, 25 e 35 °C) verificou se as médias dos diferentes níveis de O<sub>2</sub> na água, independentemente da temperatura da água, e as médias das temperaturas experimentais (15, 25 e 35 °C) independentemente

do nível de O<sub>2</sub> na água, foram ou não significativamente diferentes. Esta análise também estabeleceu se a resposta à hipóxia gradual depende da temperatura da água, uma vez que estes fatores podem ou não estar interagindo. A ANOVA two-way foi complementada pelo teste de Dunnett para a identificação das diferenças específicas em relação aos valores controles, sendo eles a tensão de 140 mmHg e a temperatura de 25 °C.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Determinação das características físico-químicas da água

Os parâmetros físico-químicos da água, apresentados na tabela 1, foram monitorados durante os experimentos e mantiveram-se relativamente constantes.

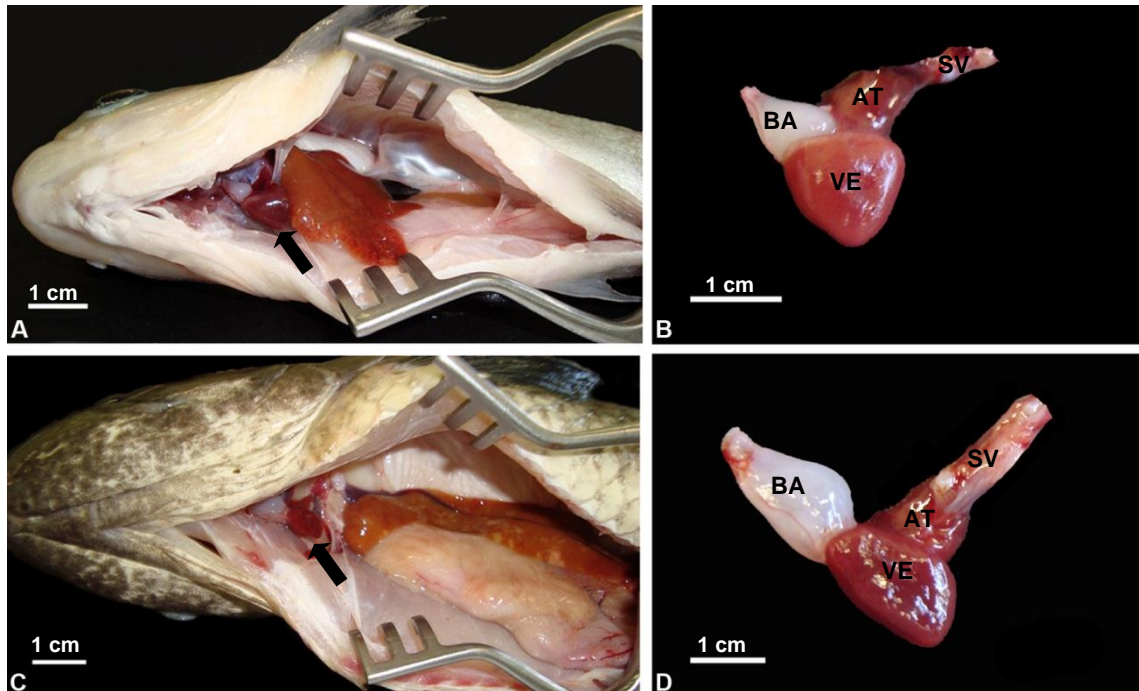
**Tabela 1.** Características físico-químicas da água medidas ao longo do período experimental. Os valores são médias  $\pm$  E.P.M.

<b>Parâmetros físico-químicos</b>	
pH	7,2 $\pm$ 0,4
Temperatura (°C)	24,5 $\pm$ 0,7
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	6,9 $\pm$ 0,6*
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	41,5 $\pm$ 2,1
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	52,0 $\pm$ 5,7
Condutividade elétrica (uS cm <sup>-1</sup> )	112,0 $\pm$ 8,1

\* Valor correspondente à 130 mmHg

### 4.2 Análise morfológica

As análises macroscópicas dos corações de matrinxã (*B. amazonicus*) e traíra (*H. malabaricus*) revelaram que, assim como nos demais teleósteos, este órgão é composto por quatro câmaras em série (seio venoso, átrio, ventrículo e bulbo arterioso). Ambas as espécies estudadas apresentaram ventrículo no formato piramidal (Figura 9).

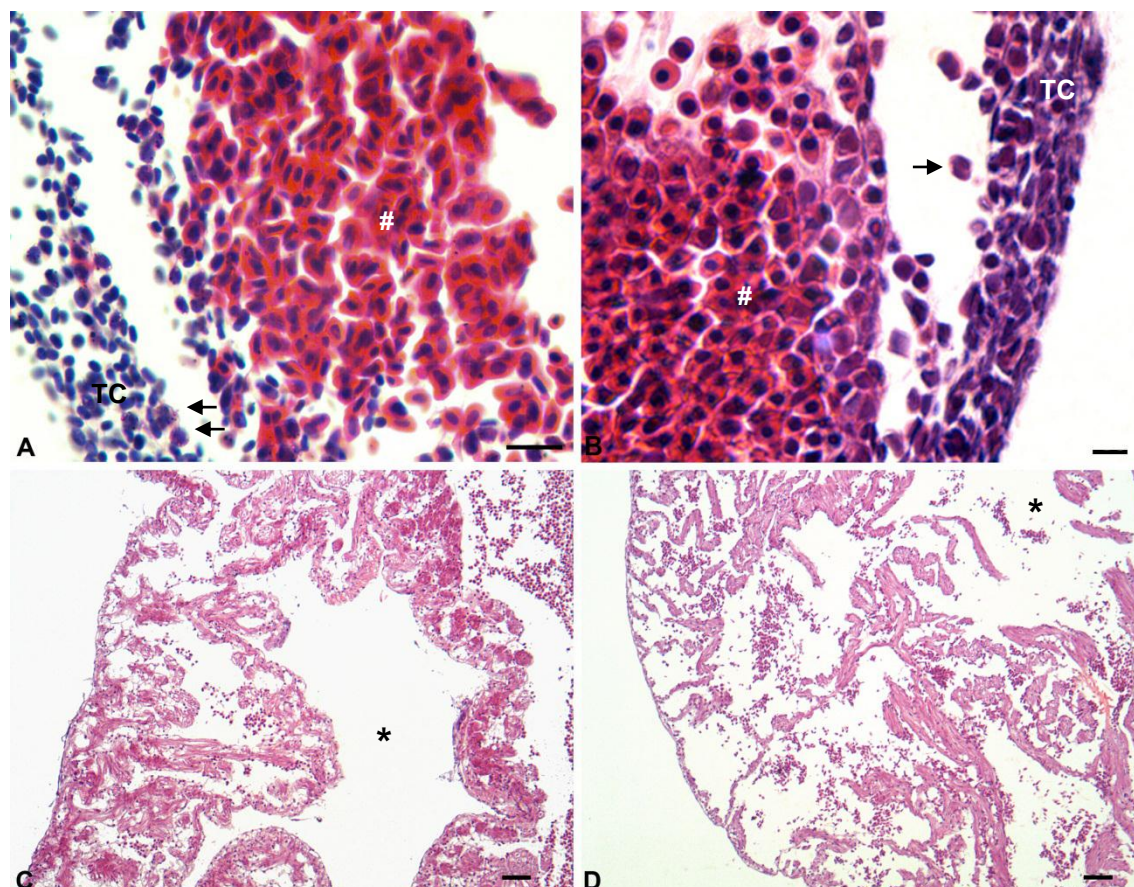


**Figura 9.** Fotografias dos corações de matrinxã (A, B) e de traíra (C e D). Nas setas, detalhe da localização dos corações de ambas as espécies. SV: seio venoso, AT: átrio, VE: ventrículo, BA: bulbo arterioso.

Microscopicamente, foi possível analisar detalhadamente todas as câmaras cardíacas. Assim, seguindo o sentido da circulação sanguínea, a primeira câmara é o seio venoso, que se estende do septo transversal até a junção sinoatrial e recebe sangue dos pares de ductos cuverianos e veia hepática.

Tanto no matrinxã quanto na traíra, o seio venoso foi caracterizado por ser uma câmara com parede delgada de tecido conjuntivo reticular, cujas células apresentaram núcleos ovoides. Além disso, também foi observada nesta câmara a presença de alguns granulócitos, células do sistema imune (Figura 10A e 10B).

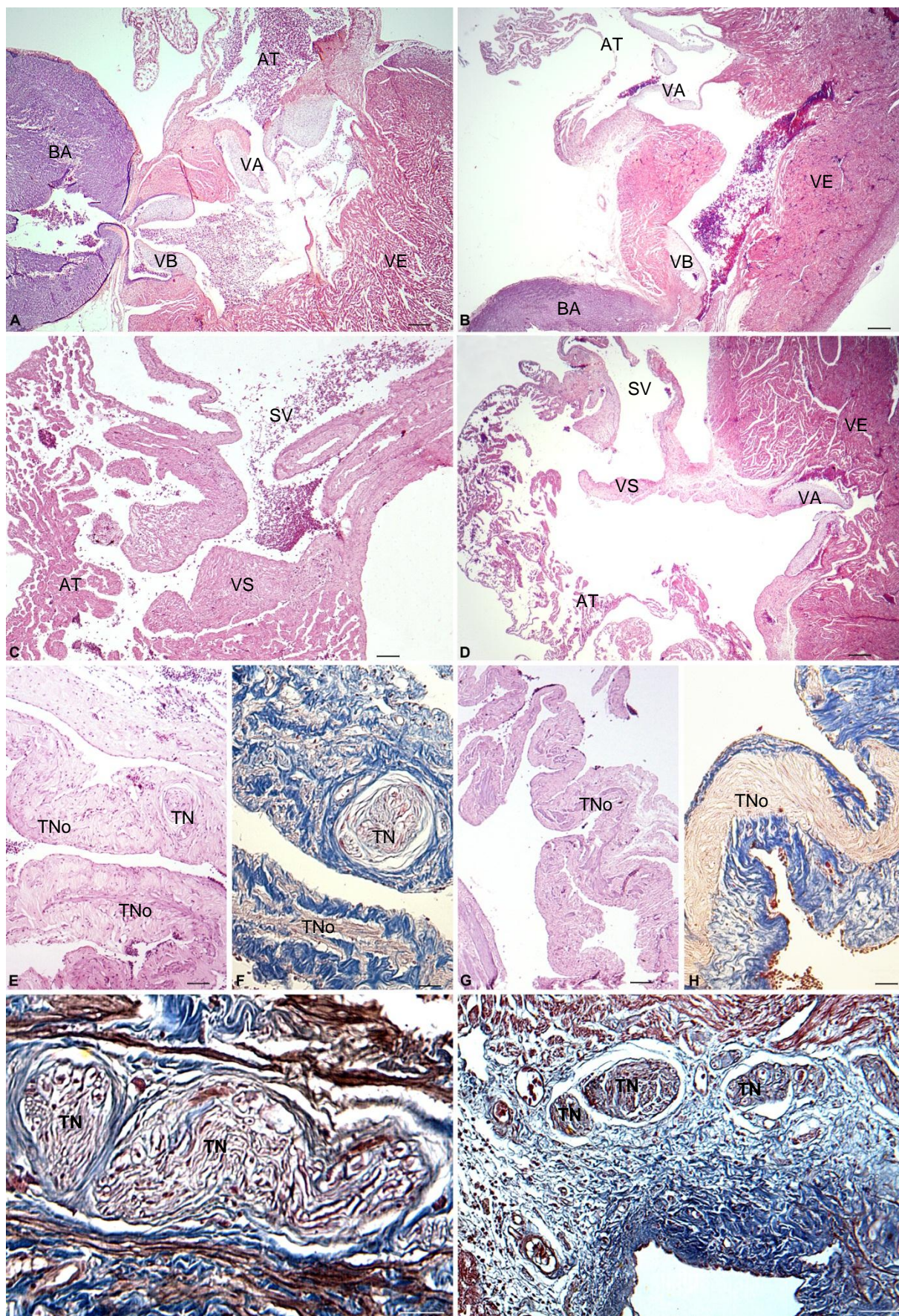
O átrio apresentou formato irregular com parede muscular delgada e trabeculada em matrinxã e traíra (Figura 10C e 10D). A conexão entre o seio venoso e o átrio ocorre através da valva sinoatrial (Figura 11C e 11D) e, na base desta valva (região do miocárdio sinoatrial), em ambas as espécies estudadas, observou-se a presença de feixes nervosos, sendo esta, possivelmente, a região do marca-passo cardíaco (Figura 11 E a J).



**Figura 10.** Secção longitudinal do seio venoso de matrinxã, (A) e traíra (B). Notar a parede delgada de tecido conjuntivo reticular (TC), eritrócitos (#) e granulócitos (seta). Em C e D, fotomicrografias de cortes longitudinais do átrio de matrinxã e traíra, respectivamente, evidenciando o formato dessa câmara e sua parede fina e trabeculada. Asteriscos evidenciam o lúmen atrial. A a D: HE. Barras = 100 µm

A conexão entre o átrio e o ventrículo ocorre através da valva atrioventricular. Desta forma, em ambas as espécies estudadas foram observadas as regiões das válvulas sinoatriais, atrioventriculares e bulboventriculares, como mostra a figura 11.



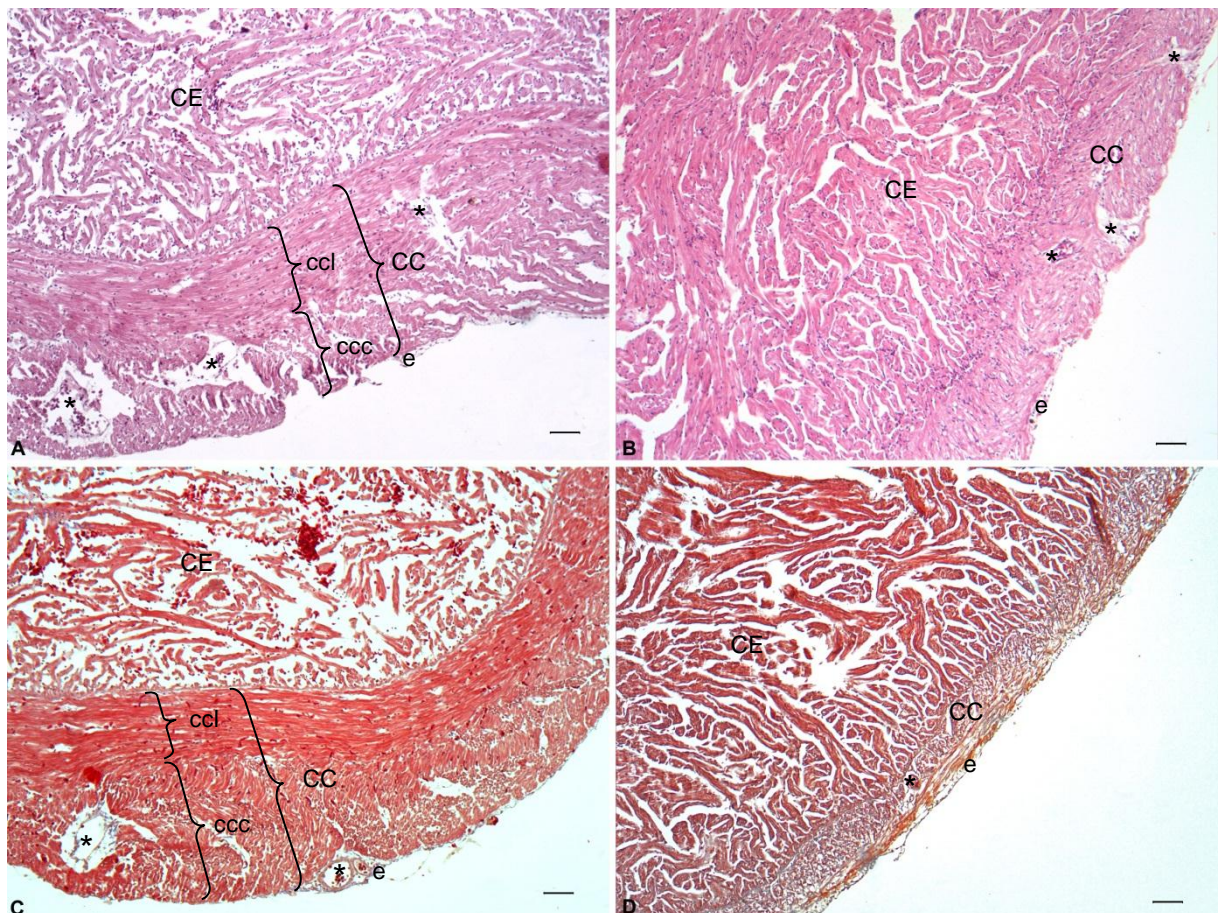


**Figura 11.** Secções longitudinais das valvas atrioventriculares (VA) e bulboventriculares (VB) de matrinxã (A) e traíra (B). As valvas sinoatriais de matrinxã e traíra podem ser observadas em C e D. Em E, F, G e H: secção transversal da vasa das valvas sinoatriais onde nota-se o tecido nodal (TNo) e o tecido nervoso (TN). Notar o seio venoso (SV), o átrio (AT), o ventrículo (VE) e o bulbo arterioso (BA). Detalhes da região sinoatrial de matrinxã (E) e traíra (F) mostrando o tecido nervoso (TN) em secção longitudinal. A, B, C, D, E, G: HE. F, H, I, J: TM. Barras = 100µm.



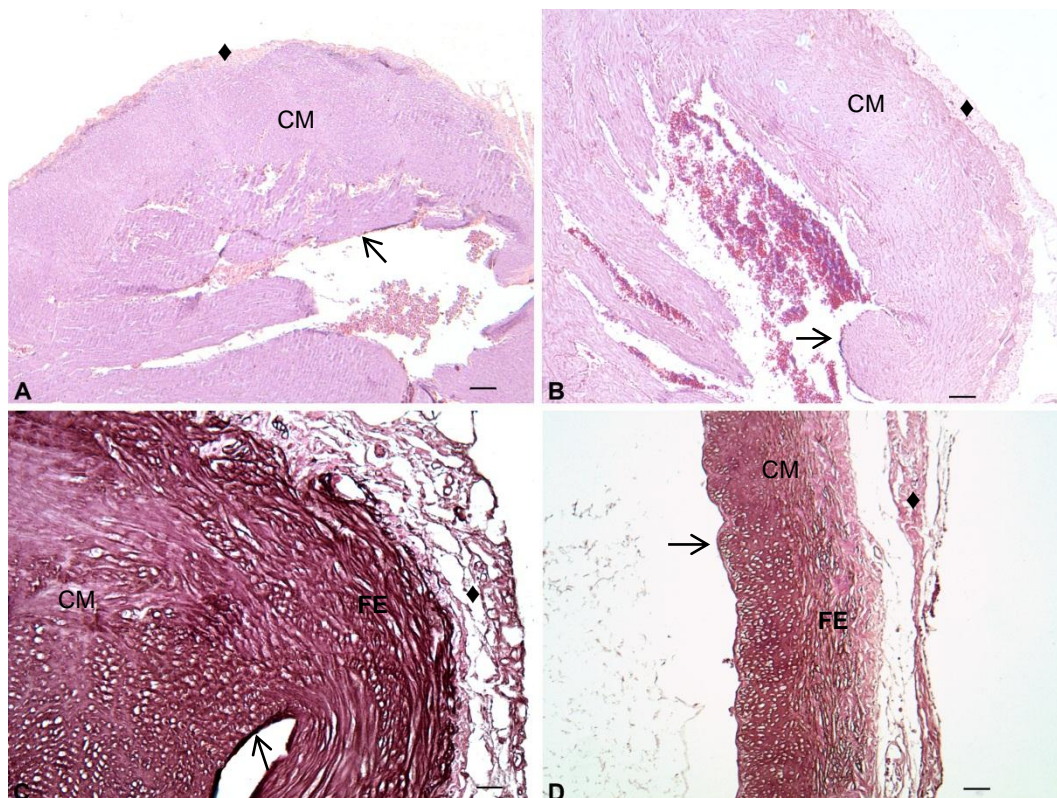
Tanto no matrinxã quanto na traíra, o miocárdio ventricular é do tipo misto, sendo formado de duas camadas distintas: a compacta (externa) e a esponjosa (interna) (Figura 12). A camada compacta apresentou-se formada por fibras musculares densas, no entanto, apenas no matrinxã essa camada é disposta em duas orientações, havendo uma região de transição entre essas duas subcamadas, na qual foi possível observar a presença de vasos coronarianos. Entre o epicárdio e a camada compacta foram observadas as artérias coronárias subepicardiais além de artérias coronárias que se distribuem entre as fibras cardíacas da camada compacta em matrinxã e traíra, como mostra a figura 12A e 12C.

A camada esponjosa apresentou-se bem desenvolvida e formada por um agrupamento de trabéculas, sendo observadas lacunas de tamanhos e formas diferentes entre os feixes de fibras musculares. As fibras musculares desta camada não possuem organização bem definida, estando orientadas em direções longitudinal, transversal e oblíqua (Figura 12).



**Figura 12.** Secção longitudinal dos ventrículos de matrinxã (A, C) e de traíra (B, D), evidenciando a camada esponjosa (CE), a camada compacta (CC) e suas subcamadas: longitudinal (ccl) e circular (ccc). Notar os vasos coronários (\*) e o epicárdio (e). A e B: HE. C e D: TM. Barras = 100 µm.

A última câmara cardíaca no sentido da circulação sanguínea é o bulbo arterioso e, em ambas as espécies estudadas, a parede bulbar apresentou-se composta de três camadas: a primeira composta por células endoteliais, apresentando superfície irregular; a segunda, denominada camada média, apresentando uma pequena quantidade de fibras elásticas e a última, a camada externa, composta por tecido conjuntivo (Figura 13).



**Figura 13.** Secção longitudinal do bulbo arterioso de matrixã (A, C) e de traíra (B, D). Notar a camada externa (◆), a camada média (CM) e a camada interna (seta). Fibras elásticas dispostas longitudinalmente (FE) na camada média. A, B: HE. C, D: TU. Barras = 100  $\mu$ m.



#### 4.2.1 Análise morfométrica

Para a análise morfométrica, em ambas as espécies, os dados obtidos em cada região ventricular (campos 1, 2 e 3) foram utilizados na determinação da razão entre espessura da camada compacta e massa corpórea, sendo seus valores apresentados na tabela 2.

Não foram detectadas diferenças significativas entre os campos 1, 2 e 3 em uma mesma espécie. No entanto, o índice de matrinxã (~ 0,81) foi significativamente maior que a de traíra (~ 0,27), correspondente a valores, aproximadamente, três vezes maiores em todos os campos analisados.

**Tabela 2.** Relação da camada compacta pelo peso corpóreo ( $\mu\text{m.g}^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus* e de traíra *Hoplias malabaricus*, nos três campos analisados. Valores médios  $\pm$  E.P.M.

	Campo 1		Campo 2		Campo 3	
	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra
	0,87	0,44	0,63	0,32	0,86	0,38
	0,73	0,23	0,45	0,29	0,67	0,19
	0,67	0,27	0,45	0,28	0,63	0,28
	0,91	0,20	0,74	0,16	1,28	0,19
	0,94	0,17	0,96	0,19	0,79	0,29
	1,02	0,14	1,02	0,14	0,97	0,12
	0,60	0,31	0,53	0,35	0,35	0,42
	0,90	0,31	1,50	0,33	0,95	0,34
<b>Média <math>\pm</math> EPM</b>	<b>0,83 <math>\pm</math> 0,05</b>	<b>0,26 <math>\pm</math> 0,03*</b>	<b>0,79 <math>\pm</math> 0,13</b>	<b>0,26 <math>\pm</math> 0,03*</b>	<b>0,81 <math>\pm</math> 0,10</b>	<b>0,28 <math>\pm</math> 0,04*</b>

\* indica diferença significativa em relação aos valores obtidos em matrinxã, no mesmo campo analisado. Teste- t não pareado ( $P < 0,05$ ).

### 4.3 Experimentos cardiorrespiratórios

#### 4.3.1 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias em diferentes temperaturas

Considerando que ambas as espécies estudadas habitam ambiente com temperatura próxima dos 25 °C (SCHIMITTOU, 1993), e que a temperatura de aclimação foi de 25 ± 2 °C, esta foi considerada a temperatura controle. Assim, nos experimentos realizados com redução ou aumento da temperatura, sempre a temperatura inicial de 25 °C foi estabelecida como controle.

##### 4.3.1.1 Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ )

Os valores médios da taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) de matrinxã (*Brycon amazonicus*) e de traíra (*Hoplias malabaricus*) durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 14 e 15, respectivamente.

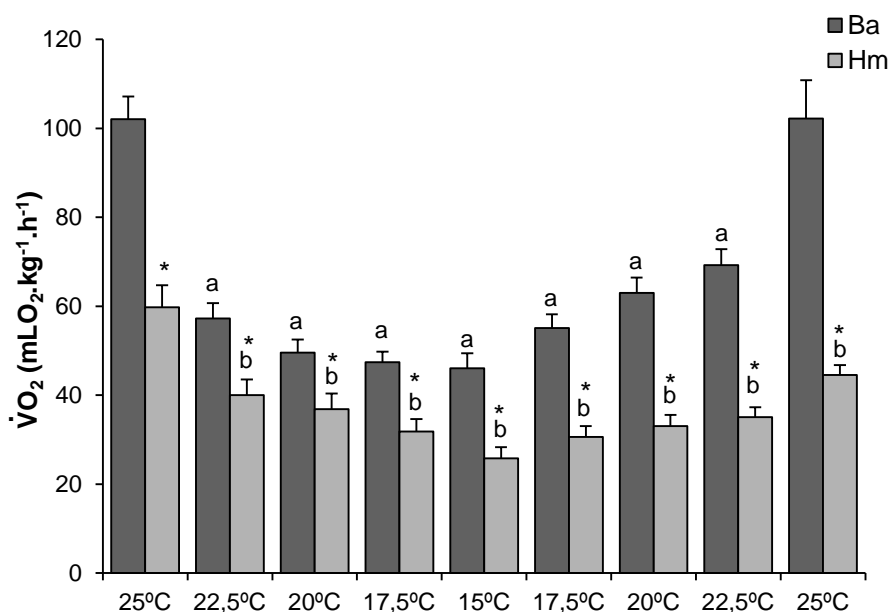
Em matrinxã, a redução da temperatura levou a uma diminuição significativa nos valores da  $\dot{V}O_2$  a partir de 22,5 °C ( $57,27 \pm 3,42 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), retornando aos valores controle somente na temperatura final de 25 °C ( $102,20 \pm 8,58 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Já na traíra, apesar da redução na temperatura também ter diminuído significativamente os valores da  $\dot{V}O_2$  a partir de 22,5 °C ( $40,05 \pm 3,47 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), os mesmos não retornaram aos valores controle até o final do protocolo experimental ( $\sim 34,75 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Comparando ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental, foi possível observar que os valores da  $\dot{V}O_2$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 67,77 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  em matrinxã e  $\sim 37,53 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  em traíra).

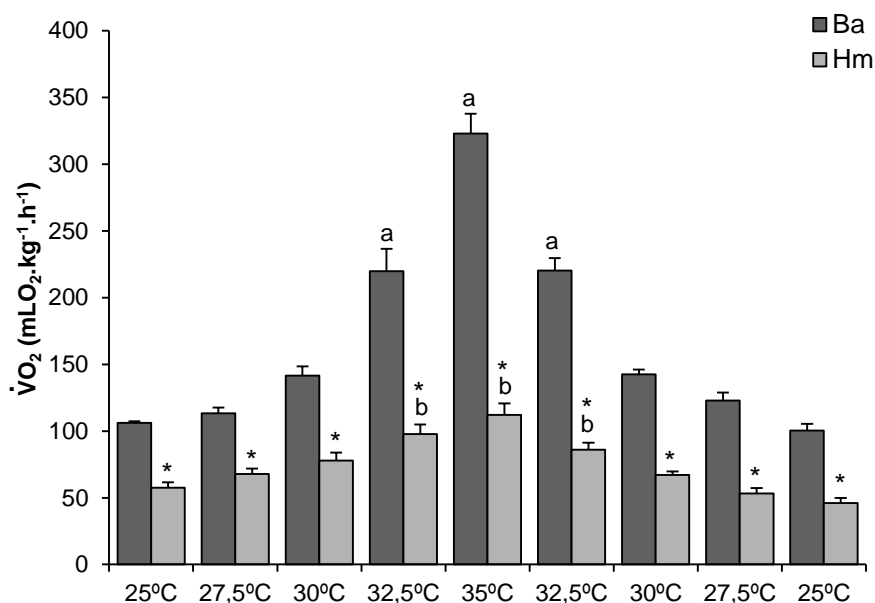
A elevação da temperatura levou a aumentos nos valores da  $\dot{V}O_2$  de ambas as espécies, os quais foram significativos entre as temperaturas de 32,5 °C iniciais e 32,5 °C finais ( $\sim 254,44 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  em matrinxã e  $\sim 98,65 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  em traíra).

A comparação das espécies estudadas revelou que os valores da  $\dot{V}O_2$  de matrinxã foram significativamente superiores aos apresentados pela traíra (~ 165,57 mL $O_2$ .kg $^{-1}$ .h $^{-1}$  e ~ 74,00 mL $O_2$ .kg $^{-1}$ .h $^{-1}$ , respectivamente) em todas as temperaturas experimentais.

Os valores de  $Q_{10}$  para a  $\dot{V}O_2$  durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 3,0 em matrinxã e 1,9 em traíra.



**Figura 14.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  - mL $O_2$ .kg $^{-1}$ .h $^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 15.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  - mL $O_2$ ·kg $^{-1}$ ·h $^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.2 Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ )

Os valores médios da ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 16 e 17, respectivamente.

Tanto em matrinxã quanto em traíra, a redução da temperatura levou a diminuições nos valores da  $\dot{V}_G$ , as quais foram significativas entre as temperaturas inicial e final de 22,5 °C (~ 538,21 mLH $_2$ O·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$  em matrinxã e ~ 130,15 mLH $_2$ O·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$  em traíra).

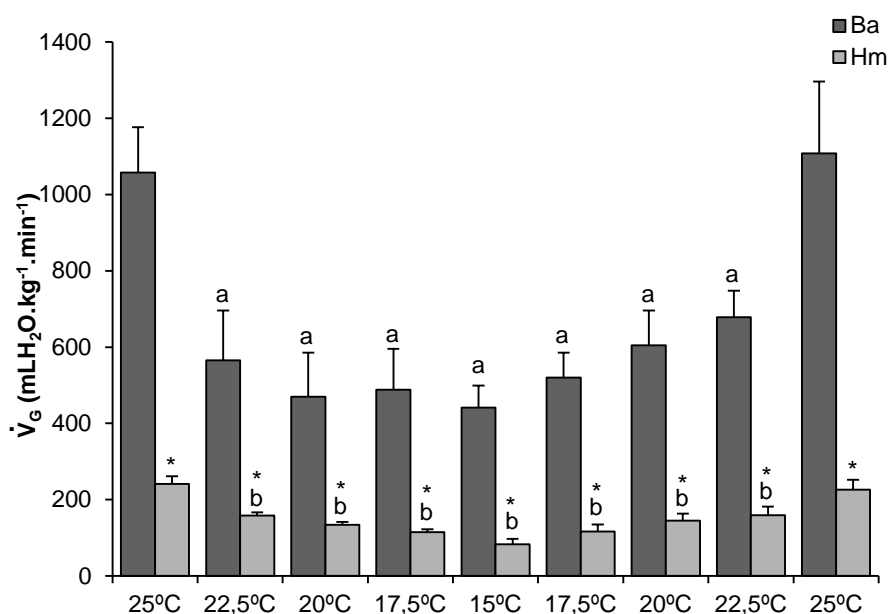
Comparando ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental, os valores da  $\dot{V}_G$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra em todas as temperaturas (~ 659,16 mLH $_2$ O·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$  e ~ 153,15 mLH $_2$ O·kg $^{-1}$ ·min $^{-1}$ , respectivamente).

A elevação da temperatura levou a um aumento nos valores da ventilação branquial em ambas as espécies, os quais foram significativos entre as

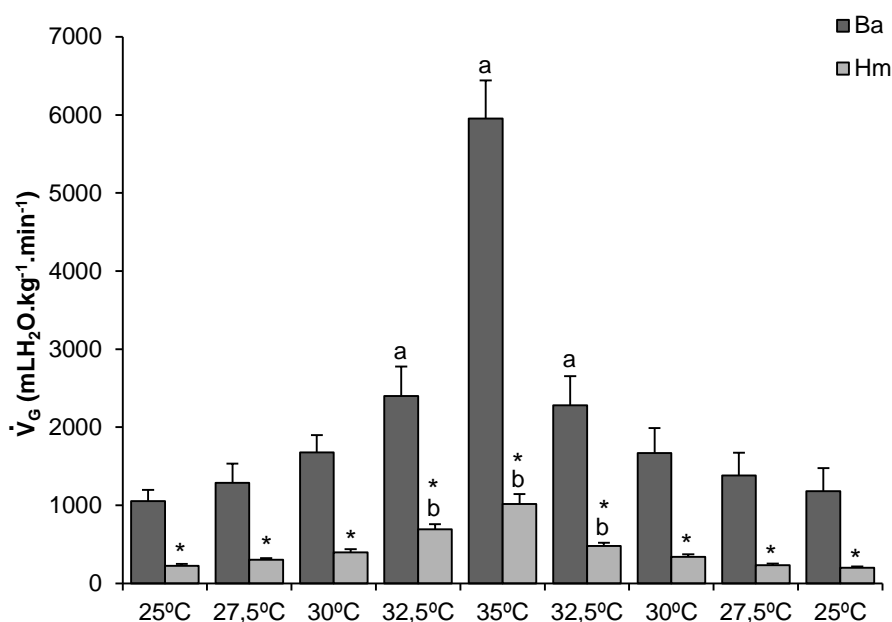
temperaturas inicial e final de 32,5 °C (~ 3545,41 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em matrinxã e ~ 728,29 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em traíra).

A comparação entre as espécies estudadas, expostas ao aumento gradativo da temperatura, revelou que os valores da  $\dot{V}_G$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra, em todas as temperaturas experimentais (~ 2098,21 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> e ~ 430,65 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, respectivamente).

Os valores de Q<sub>10</sub> para a  $\dot{V}_G$  durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 5,7 em matrinxã e 4,6 em traíra.



**Figura 16.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.



**Figura 17.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.3 Frequência respiratória ( $f_R$ )

Os valores médios da frequência respiratória ( $f_R$ ) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 18 e 19, respectivamente.

Tanto no matrinxã quanto na traíra, a redução da temperatura levou a diminuições nos valores da  $f_R$ , as quais foram significativas partir da temperatura inicial de 22,5 °C ( $72 \pm 3$  ciclos.min<sup>-1</sup> no matrinxã e  $31 \pm 3$  ciclos.min<sup>-1</sup> na traíra), retornando ao controle apenas na temperatura de recuperação de 25 °C ( $88 \pm 2$  ciclos.min<sup>-1</sup> no matrinxã e  $41 \pm 3$  ciclos.min<sup>-1</sup> na traíra).

Comparando ambas as espécies expostas à redução gradativa da temperatura experimental, foi possível observar que, durante todo o experimento, os valores da  $f_R$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra (~ 71 ciclos.min<sup>-1</sup> e ~ 33 ciclos.min<sup>-1</sup>, respectivamente).

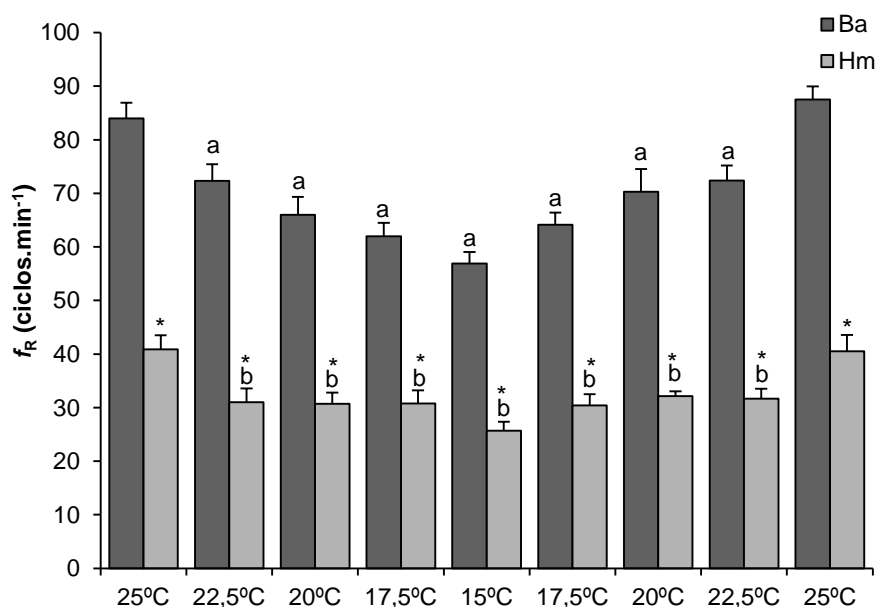
A elevação da temperatura causou aumentos nos valores da frequência respiratória de matrinxã, os quais foram significativos a partir da



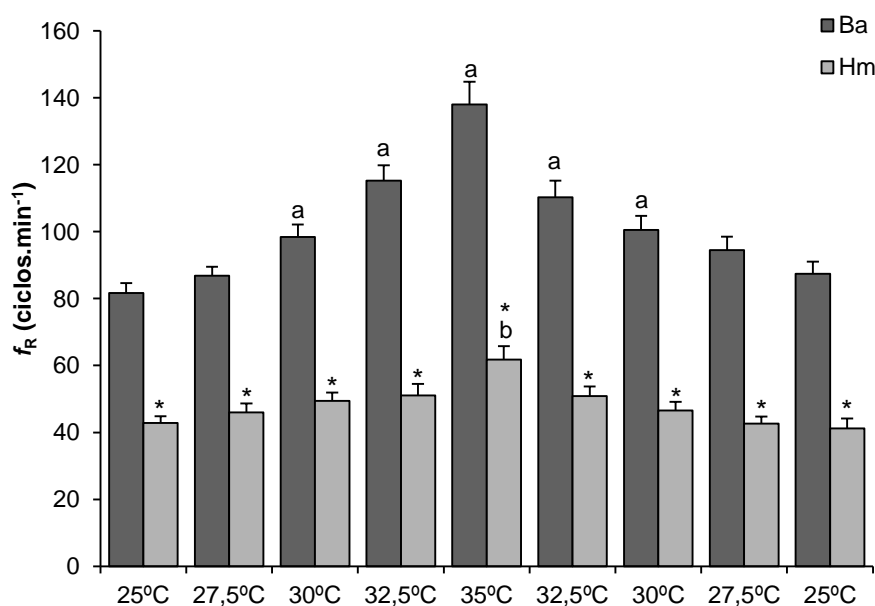
temperatura inicial de 30 °C ( $98 \pm 4$  ciclos.min<sup>-1</sup>), retornando aos valores controle somente a partir dos 27,5 °C finais do protocolo ( $94 \pm 4$  ciclos.min<sup>-1</sup>). Na traíra o valor da  $f_R$  controle foi de  $43 \pm 2$  ciclos.min<sup>-1</sup> e o aumento na temperatura levou a um aumento significativo deste parâmetro apenas em 35 °C ( $62 \pm 4$  ciclos.min<sup>-1</sup>).

A comparação entre as espécies estudadas expostas à elevação da temperatura experimental revelou que os valores da  $f_R$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra em todas as temperaturas analisadas (~ 101 ciclos.min<sup>-1</sup> em matrinxã e ~ 48 ciclos.min<sup>-1</sup> em traíra).

Os valores de  $Q_{10}$  para a  $f_R$  durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 1,7 em matrinxã e 1,4 em traíra.



**Figura 18.** Frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 19.** Frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.4 Volume ventilatório ( $V_T$ )

Os valores médios do volume ventilatório ( $V_T$ ) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 20 e 21, respectivamente.

No matrinxã a redução da temperatura diminuiu os valores do  $V_T$  entre a temperatura inicial de 22,5 °C e a temperatura de recuperação de 17,5 °C (~ 7,72 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>), enquanto na traíra somente houve redução significativa deste parâmetro em 15 °C (~ 3,37 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>).

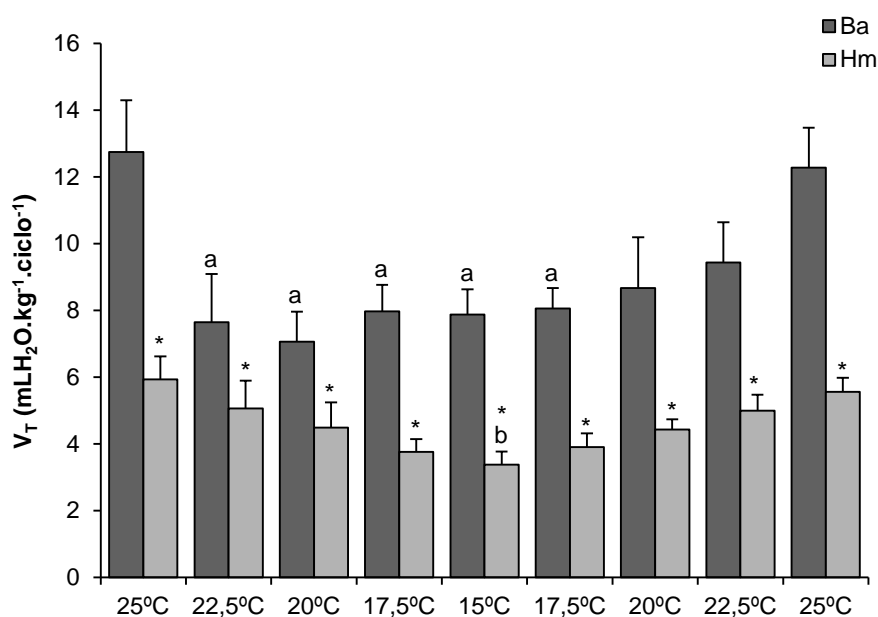
Ao comparar ambas as espécies, foi possível observar que, em todas as temperaturas experimentais, os valores do  $V_T$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra (~ 9,08 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> e ~ 4,61 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>, respectivamente).

A elevação da temperatura levou a aumentos nos valores do  $V_T$  em ambas as espécies, os quais foram significativos em 35 °C em matrinxã (43,34 ±

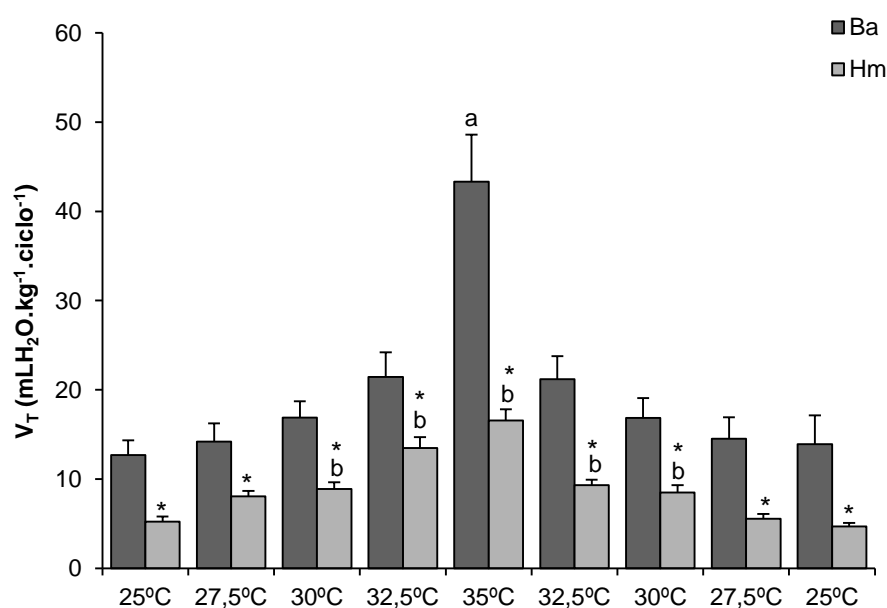
5,25 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) e entre as temperaturas de 30 °C iniciais e 30 °C finais em traíra. (~ 11,34 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> em traíra).

A comparação entre as espécies estudadas revelou que, com a elevação gradativa da temperatura experimental, os valores do V<sub>T</sub> de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra em todas as temperaturas analisadas (~ 19,45 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> em matrinxã e ~ 8,92 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>, em traíra).

Os valores de Q<sub>10</sub> para o V<sub>T</sub> durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 3,4 em matrinxã e 3,2 em traíra.



**Figura 20.** Volume ventilatório (V<sub>T</sub> - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.



**Figura 21.** Volume ventilatório ( $V_T$  - mL $H_2O$ .kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.5 Pressão intrabucal (PIB)

Os valores médios da pressão intrabucal (PIB) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 22 e 23, respectivamente.

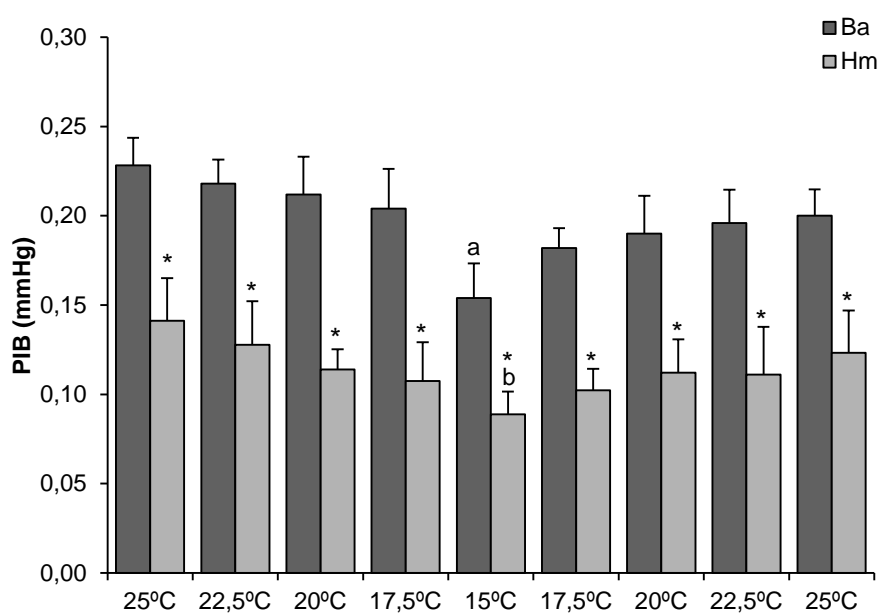
Em ambas as espécies estudadas a redução da temperatura diminuiu significativamente os valores da PIB apenas em 15 °C (0,15 ± 0,02 em matrinxã e 0,09 ± 0,01 mmHg em traíra).

Ao comparar ambas as espécies frente à redução da temperatura experimental, foi possível observar que os valores da PIB de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra em todas as temperaturas analisadas (~ 0,20 mmHg e ~ 0,11 mmHg, respectivamente).

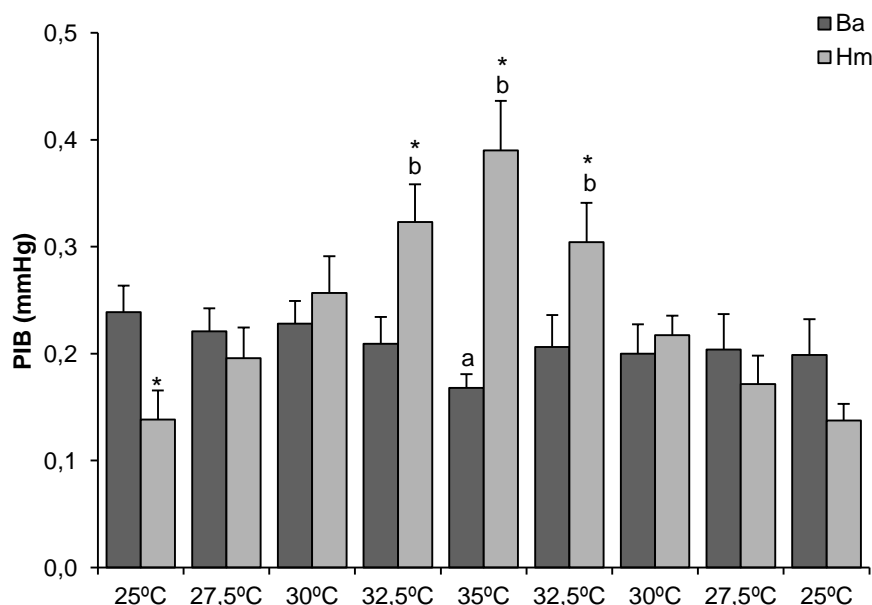
A elevação da temperatura experimental reduziu significativamente os valores da PIB em matrinxã apenas em 35 °C (~ 0,17 mmHg), entretanto aumentou significativamente os valores desse parâmetro em traíra entre as temperaturas de 32,5 °C inicial e 32,5 °C final (~ 0,34 mmHg).

A comparação entre as espécies estudadas frente ao aumento da temperatura revelou que, na temperatura controle, a PIB de matrinxã foi significativamente maior que a de traíra ( $0,24 \pm 0,02$  mmHg e  $0,14 \pm 0,03$  mmHg, respectivamente), porém, entre as temperaturas de  $32,5$  °C iniciais e  $32,5$  °C finais, a PIB de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra ( $\sim 0,19$  mmHg e  $\sim 0,34$  mmHg, respectivamente).

Os valores de  $Q_{10}$  para a PIB durante a elevação da temperatura de  $25$  °C para  $35$  °C foram de  $0,7$  em matrinxã e  $2,8$  em traíra.



**Figura 22.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de  $25$  °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 23.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.6 Pressão intraopercular (PIO)

Os valores médios da pressão intraopercular (PIO) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 24 e 25, respectivamente.

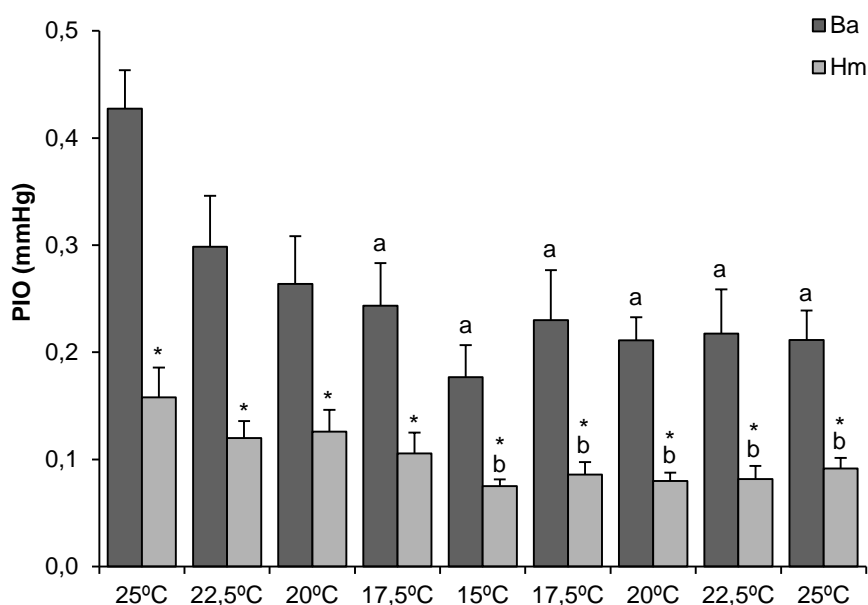
Em matrinxã, a redução da temperatura diminuiu significativamente os valores da PIO a partir da temperatura inicial de 17,5 °C ( $0,24 \pm 0,04$  mmHg) e seus valores não retornaram aos controles ( $0,43 \pm 0,04$  mmHg) até o final do protocolo experimental, enquanto em traíra, o valor da PIO controle foi de  $0,16 \pm 0,03$  mmHg, sendo observadas reduções significativas deste parâmetro a partir da temperatura de 15 °C ( $0,08 \pm 0,01$  mmHg), não retornando aos valores controle até o final do protocolo experimental.

Ao comparar ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental foi possível observar que, em todas as temperaturas, a PIO de matrinxã foi significativamente maior que a de traíra (~ 0,25 mmHg e ~ 0,10 mmHg, respectivamente).

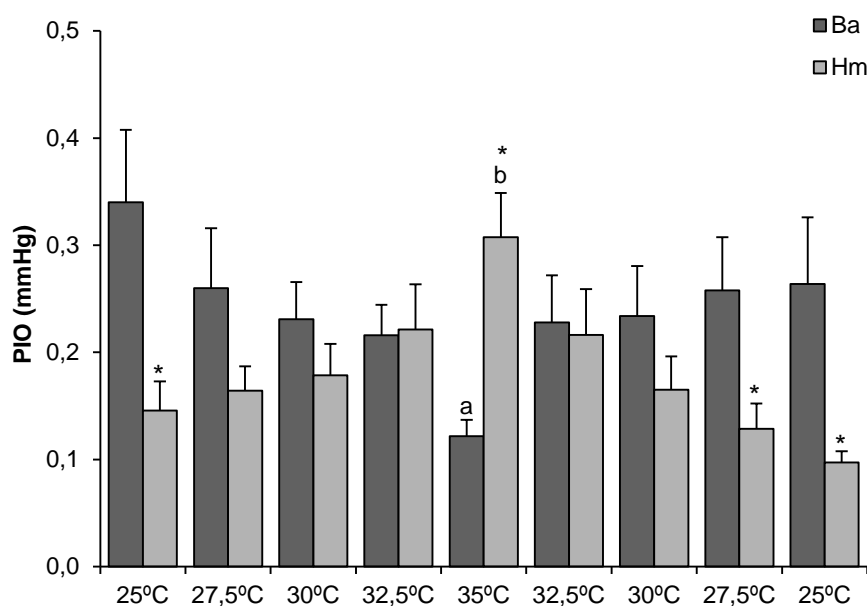
Durante o protocolo de elevação da temperatura, os valores iniciais da PIO em matrinxã e em traíra foram  $0,34 \pm 0,07$  mmHg e  $0,15 \pm 0,03$  mmHg, respectivamente. Em ambas as espécies houve alteração significativa nos valores deste parâmetro na temperatura de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo observada uma redução em matrinxã ( $0,12 \pm 0,02$  mmHg) e um aumento em traíra ( $0,31 \pm 0,04$  mmHg).

Comparando as espécies estudadas, expostas ao aumento da temperatura experimental, observou-se que a PIO de matrinxã foi significativamente maior que a de traíra na temperatura controle e nas temperaturas de recuperação de  $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ( $\sim 0,29$  mmHg em matrinxã e  $\sim 0,12$  mmHg em traíra). Porém, na temperatura de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , este parâmetro foi significativamente menor em matrinxã, cujo valor da PIO foi de  $0,12 \pm 0,02$  mmHg, enquanto em traíra esse valor foi de  $0,31 \pm 0,04$  mmHg.

Os valores de  $Q_{10}$  para a PIO durante a elevação da temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  foram de 0,4 em matrinxã e 2,1 em traíra.



**Figura 24.** Pressão intraopercular (PIO - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 25.** Pressão intraopercular (PIO) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.7 Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ )

Os valores médios da necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 26 e 27, respectivamente.

Tanto em matrinxã quanto em traíra, a redução da temperatura não alterou os valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ , os quais permaneceram constantes durante todo o protocolo experimental. Porém ao comparar as espécies, foi possível observar que, em todas as temperaturas experimentais, os valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra (~ 602,12 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> e ~ 244,85 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>, respectivamente).

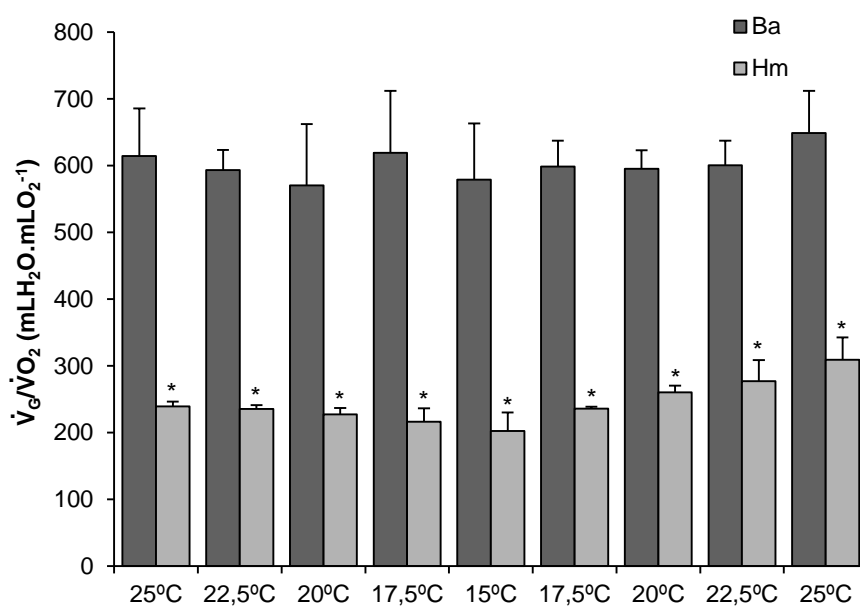
Em matrinxã, a  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  na temperatura controle foi de 530,91 ± 56,19 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> e a elevação da temperatura ocasionou um aumento significativo deste parâmetro apenas na temperatura de 35 °C (1043,82 ± 58,46 98 ± 4 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>). Já em traíra, a elevação da temperatura levou a aumentos



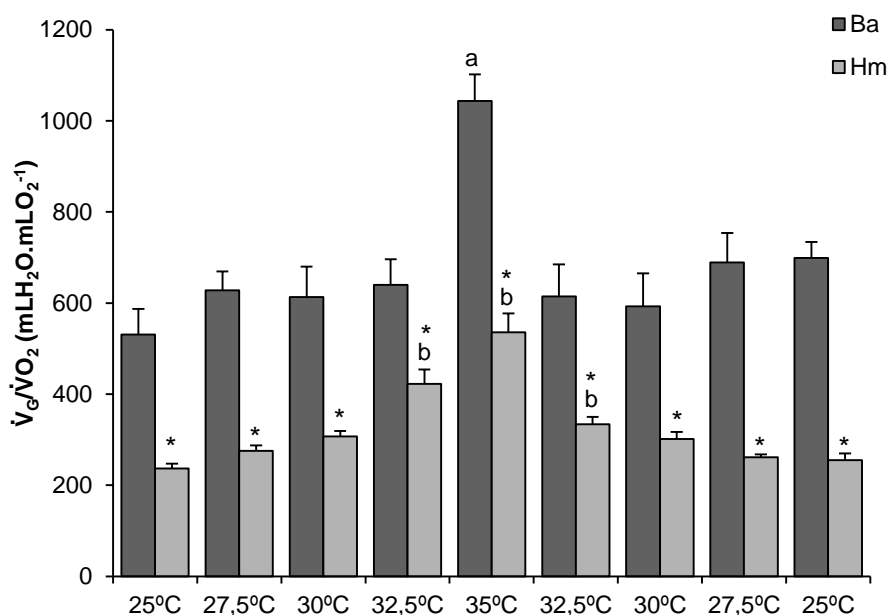
significativos da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  entre as temperaturas inicial e final de 32,5 °C (~ 430,59 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>).

A elevação da temperatura experimental revelou valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  significativamente maiores em matrinxã quando comparados com os encontrados em traíra (~ 672,40 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> e ~ 325,58 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>, respectivamente), em todas as temperaturas analisadas.

Os valores de Q<sub>10</sub> para a  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 2,0 em matrinxã e 2,3 em traíra.



**Figura 26.** Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.



**Figura 27.** Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.8 Extração de oxigênio da corrente ventilatória (EO<sub>2</sub>)

Os valores médios da extração de oxigênio da corrente ventilatória (EO<sub>2</sub>) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 28 e 29, respectivamente.

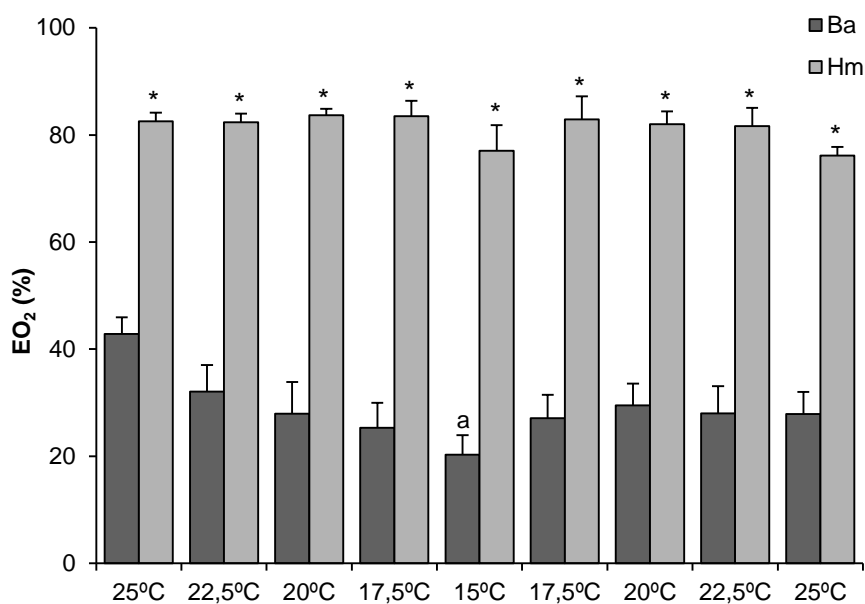
Em matrinxã, a redução da temperatura levou a uma diminuição significativa deste parâmetro apenas na temperatura de 15 °C (20,31 ± 3,60%), enquanto em traíras, esta alteração da temperatura não alterou significativamente os valores da EO<sub>2</sub> durante todo o protocolo experimental (~ 81,32%).

Comparando ambas as espécies frente à redução da temperatura experimental, foi possível observar que, em todas as temperaturas, os valores da EO<sub>2</sub> de matrinxã foram significativamente menores que os de traíra (~ 28,99% e 81,32%, respectivamente).

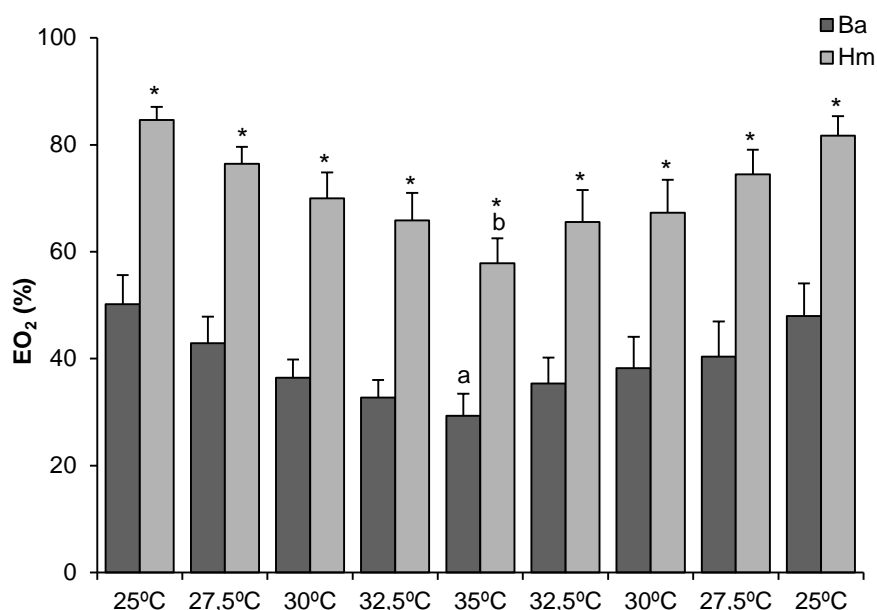
A elevação da temperatura levou a uma redução significativa nos valores da EO<sub>2</sub> tanto em matrinxã quanto em traíra, apenas na temperatura de 35 °C (~ 29,30 no matrinxã e ~ 57,86 na traíra).

A comparação entre as espécies, expostas à elevação da temperatura experimental, revelou valores significativamente menores em matrinxãs, quando comparados com os de traíra, em todas as temperaturas (~ 38,87% em matrinxã e 71,54% em traíra).

O valor de  $Q_{10}$  para a  $EO_2$  durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foi de 0,7 tanto em matrinxã quanto em traíra.



**Figura 28.** Extração de oxigênio ( $EO_2$  - %) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. a indica diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 29.** Extração de oxigênio ( $EO_2$  - %) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

#### 4.3.1.9 Frequência cardíaca e análise eletrocardiográfica

##### 4.3.1.9.1 Frequência cardíaca ( $f_H$ )

Os valores médios da frequência cardíaca ( $f_H$ ) de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 30 e 31, respectivamente.

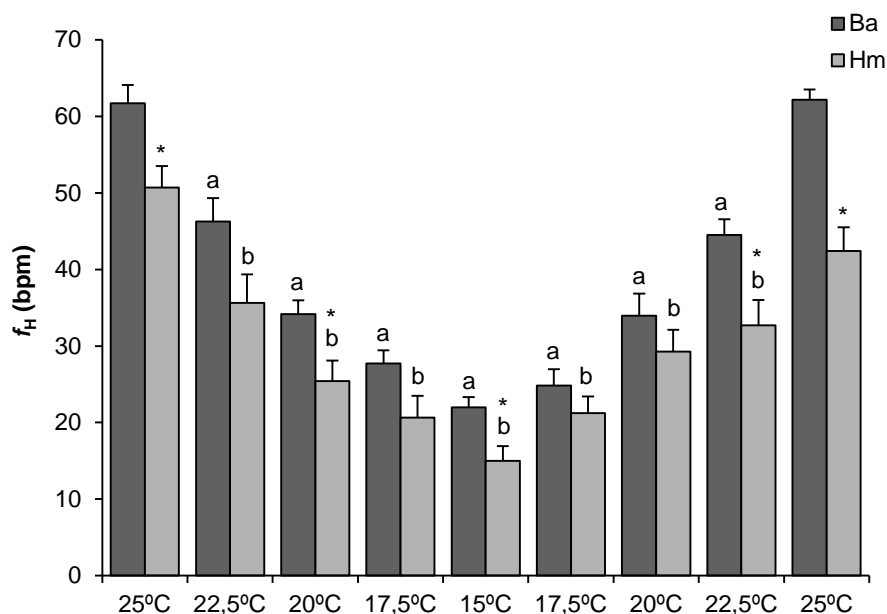
Tanto no matrinxã quanto na traíra, a redução da temperatura levou a uma diminuição significativa nos valores da  $f_H$  a partir da temperatura inicial de 22,5 °C ( $46 \pm 3$  bpm e  $36 \pm 4$  bpm, respectivamente), retornando aos valores controle somente aos 25 °C finais do protocolo ( $62 \pm 1$  bpm e  $42 \pm 3$  bpm, respectivamente).

Comparando ambas as espécies expostas à redução gradativa da temperatura experimental, foi possível observar que os valores da  $f_H$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra apenas nas temperaturas iniciais de 25 °C, 20 °C e 15 °C e nas temperaturas de recuperação de 22,5 °C e 25 °C, sendo os valores de matrinxã, aproximadamente, 26% maiores que os de traíra.

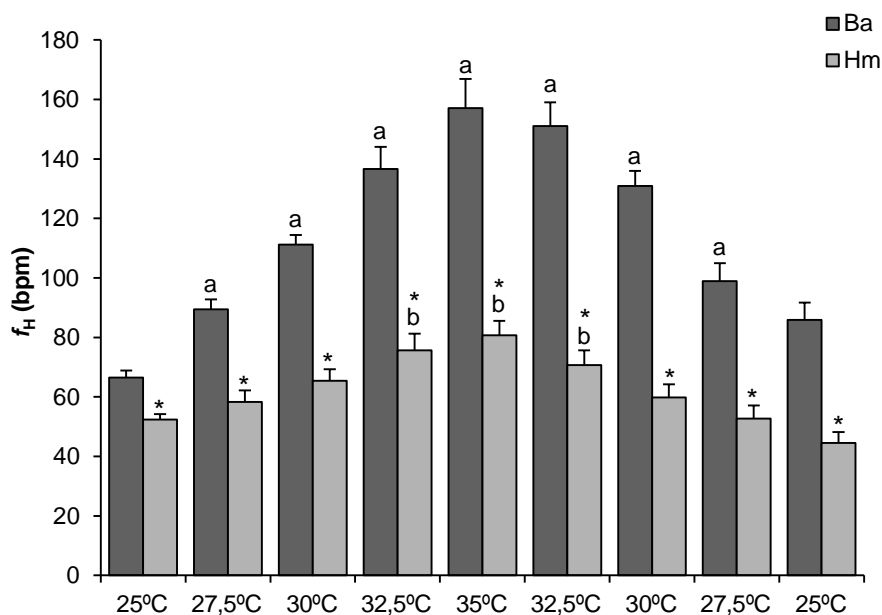
No matrinxã, a elevação da temperatura levou a um aumento significativo nos valores da  $f_H$  a partir da temperatura inicial de 22,5 °C ( $89 \pm 3$  bpm), retornando aos controles somente aos 25 °C finais do protocolo ( $86 \pm 6$  bpm). Na traíra, os valores controle foram de  $52 \pm 2$  bpm e aumentos significativos foram observados entre as temperaturas inicial e final de 32,5 °C ( $\sim 76$  bpm).

A comparação entre as espécies frente à elevação da temperatura, revelou que os valores da  $f_H$  de matrinxã foram significativamente maiores que os de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 114$  bpm e  $\sim 62$  bpm, respectivamente).

Os valores de  $Q_{10}$  para a  $f_H$  durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 2,4 em matrinxã e 1,5 em traíra.



**Figura 30.** Frequência cardíaca ( $f_H$  – bpm) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 31.** Frequência cardíaca ( $f_H$  - bpm) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

#### 4.3.1.9.2 Duração do intervalo RR

Os valores médios da duração do intervalo RR de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno subsequente para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 32 e 33, respectivamente.

Tanto em matrinxã quanto em traíra, a redução da temperatura levou a uma diminuição significativa nos valores da duração do intervalo RR a partir de 22,5 °C ( $1,464 \pm 0,090$  s e  $2,065 \pm 0,172$  s, respectivamente), retornando aos controles somente na temperatura de recuperação de 25 °C ( $0,921 \pm 0,055$  s e  $1,372 \pm 0,125$  s, respectivamente).

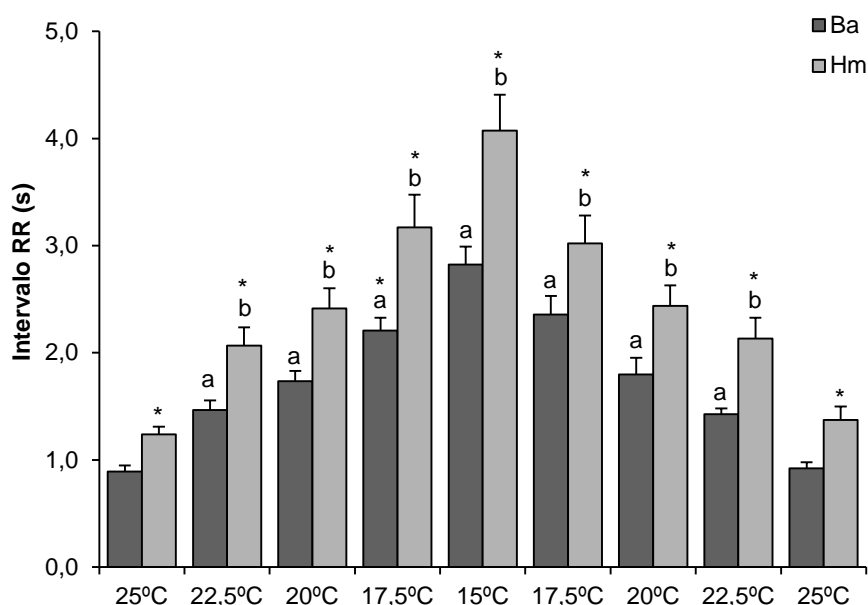
Comparando ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental, foi possível observar que os valores do intervalo RR de matrinxã foram significativamente menores que os de traíra em todas as temperaturas experimentais (~ 1,736 s no matrinxã e ~ 2,436 s na traíra).

Em matrinxã, a elevação da temperatura levou a uma redução significativa na duração do intervalo RR a partir da temperatura inicial de 27,5 °C

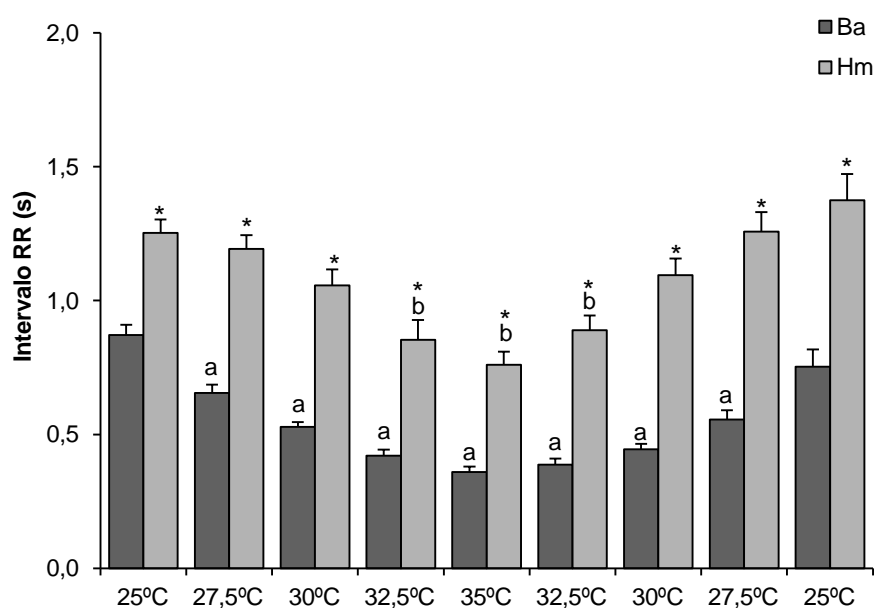
( $0,655 \pm 0,031$  s), retornando aos valores controle somente na temperatura de recuperação de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,753 \pm 0,065$  s). Na traíra os valores controle do intervalo RR foram de  $1,252 \pm 0,051$  s e aumentos significativos foram observados entre as temperaturas inicial e final de  $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\sim 0,834$  s).

A comparação entre as espécies estudadas, frente à elevação da temperatura experimental, revelou que a duração do intervalo RR de matrinxã foi significativamente menor que o de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 0,553$  s e  $\sim 1,081$  s, respectivamente).

Os valores de  $Q_{10}$  para o intervalo RR durante a elevação da temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  foram de 0,4 em matrinxã e 0,6 em traíra.



**Figura 32.** Duração do intervalo RR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 33.** Duração do intervalo RR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.3 Duração do intervalo PR

Os valores médios da duração do intervalo PR de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 34 e 35, respectivamente.

Tanto em matrinxã quanto em traíra, a redução da temperatura levou a um aumento significativo na duração do intervalo PR a partir da temperatura inicial de 22,5 °C ( $0,096 \pm 0,002$  s e  $0,223 \pm 0,006$  s, respectivamente), retornando aos valores controle somente na temperatura de recuperação de 25 °C ( $0,080 \pm 0,002$  s e  $0,181 \pm 0,007$  s, respectivamente).

Comparando ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental, foi possível observar que a duração do intervalo PR em matrinxã foi significativamente menor que em traíra em todas as temperaturas analisadas (~ 0,115 s no matrinxã e ~ 0,244 s na traíra).

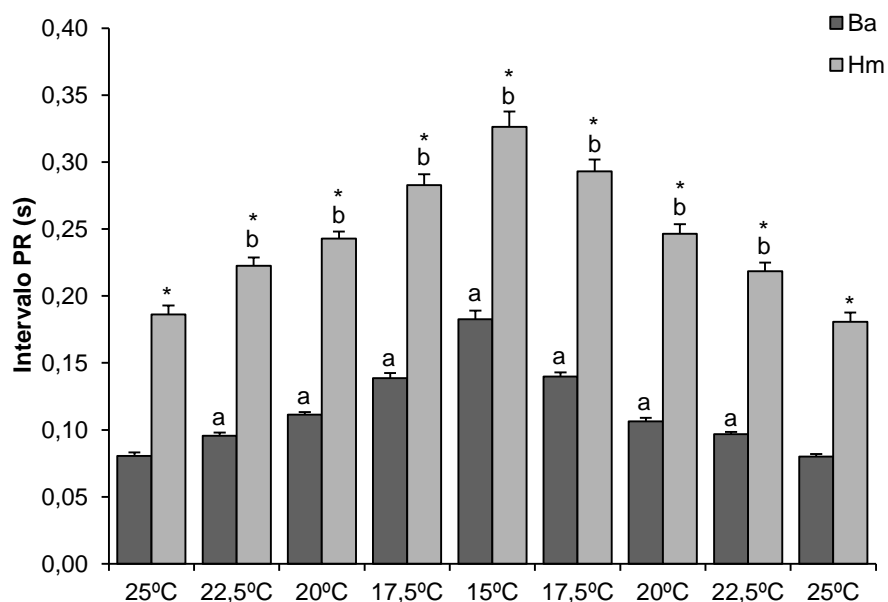
No matrinxã, a elevação da temperatura levou a uma redução significativa na duração do intervalo PR a partir da temperatura inicial de 27,5 °C



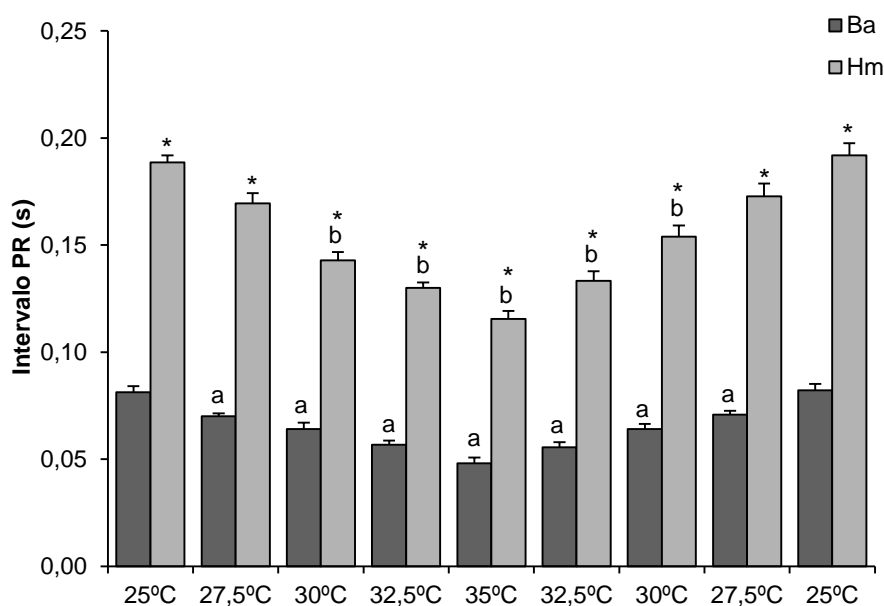
( $0,070 \pm 0,001$  s), retornando ao controle somente na temperatura de recuperação de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,08 \pm 0,003$  s). Na traíra os valores controle do intervalo PR foram de  $0,189 \pm 0,003$  s e reduções significativas foram observadas entre as temperaturas inicial e final de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\sim 0,135$  s).

A comparação entre as espécies estudadas frente à elevação da temperatura experimental revelou que a duração do intervalo PR de matrinxã foi significativamente menor que o de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 0,066$  s e  $\sim 0,155$  s, respectivamente).

O valor de  $Q_{10}$  para o intervalo PR durante a elevação da temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  foi de 0,6 em ambas as espécies.



**Figura 34.** Duração do intervalo PR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 35.** Duração do intervalo PR (s de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.4 Duração da onda P

Os valores médios da duração da onda P de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 36 e 37, respectivamente.

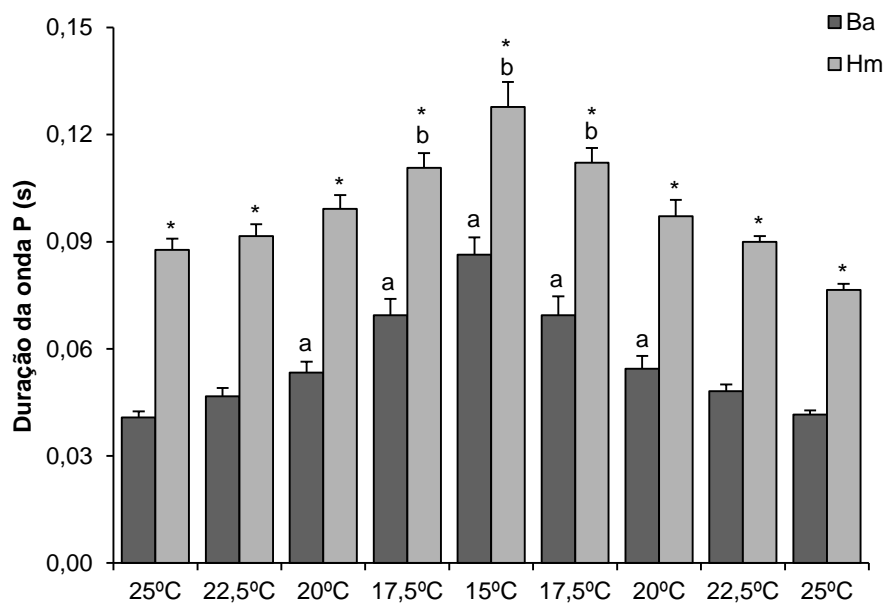
A redução da temperatura levou a um aumento significativo na duração da onda P, em matrinxã, a partir da temperatura inicial de 20 °C ( $0,053 \pm 0,003$  s), retornando aos valores controle a partir da temperatura de recuperação de 22,5 °C ( $0,048 \pm 0,002$  s). Em traíra, a duração da onda P na temperatura controle foi de  $0,088 \pm 0,003$  s e a redução da temperatura levou a um aumento significativo deste parâmetro entre as temperaturas iniciais e finais de 17,5 °C ( $\sim 0,117$  s).

Comparando ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental, foi possível observar que a duração da onda P de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 0,057$  s no matrinxã e  $\sim 0,099$  s na traíra).

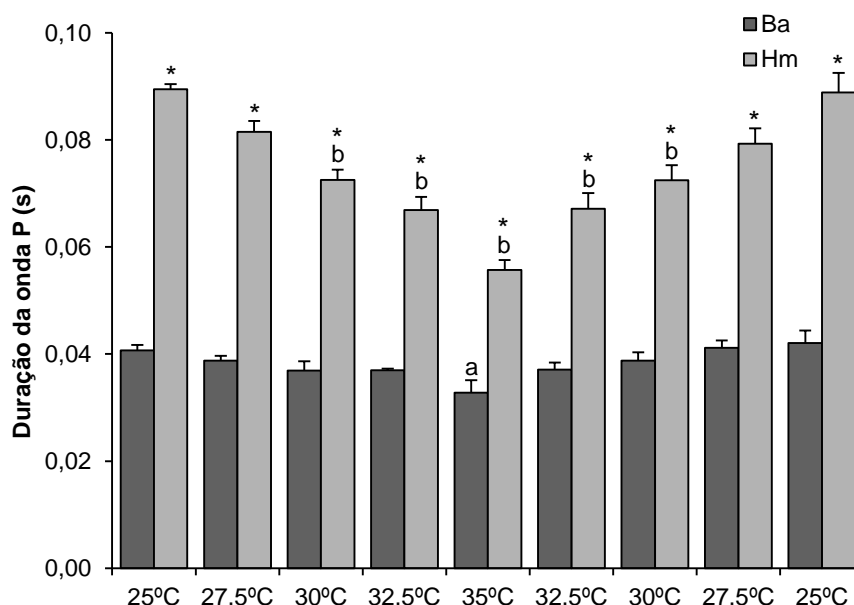
Em matrinxã, os valores controle da duração da onda P foram de  $0,041 \pm 0,001$  s e a elevação da temperatura levou a uma redução significativa deste parâmetro apenas na temperatura de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $0,033 \pm 0,002$  s). No entanto, em traíra, a elevação da temperatura levou a reduções significativas na duração da onda P entre os  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  iniciais e os  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  finais ( $\sim 0,067$ ).

A comparação entre as espécies estudadas frente ao aumento da temperatura experimental revelou que a duração da onda P de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 0,038$  s e  $\sim 0,075$  s, respectivamente).

Os valores de  $Q_{10}$  para a duração da onda P durante a elevação da temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  para  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  foram de 0,8 em matrinxã e 0,6 em traíra.



**Figura 36.** Duração da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 37.** Duração da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.5 Amplitude da onda P

As porcentagens de alteração da amplitude da onda P de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidas durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 38 e 39, respectivamente.

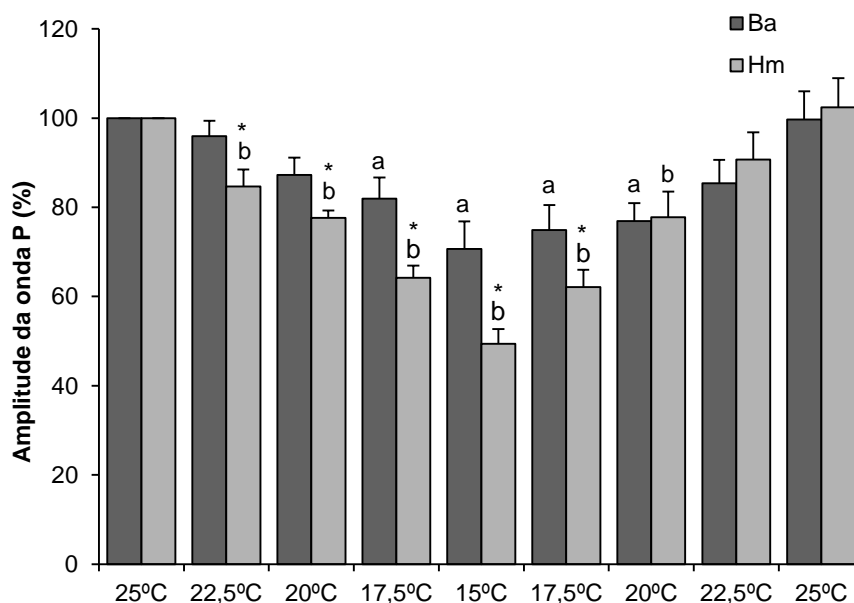
Em matrinxã, a redução da temperatura levou a uma diminuição significativa na amplitude da onda P a partir da temperatura inicial de 17,5 °C ( $81,97 \pm 4,70\%$ ), retornando aos valores controle a partir da temperatura de recuperação de 22,5 °C ( $85,40 \pm 5,26\%$ ). Esta redução também foi observada em traíra, porém nesta espécie a alteração foi significativa a partir dos 22,5 °C iniciais ( $84,70 \pm 3,76\%$ ), retornando aos valores controle a partir da temperatura de recuperação de 22,5 °C ( $90,73 \pm 6,07\%$ ).

Comparando ambas as espécies, foi possível observar que, com a redução da temperatura experimental, os valores da amplitude da onda P foram significativamente maiores em matrinxã entre as temperaturas de 22,5 °C iniciais e 17,5 °C finais (~ 82,14% em matrinxã e ~ 67,60% em traíra).

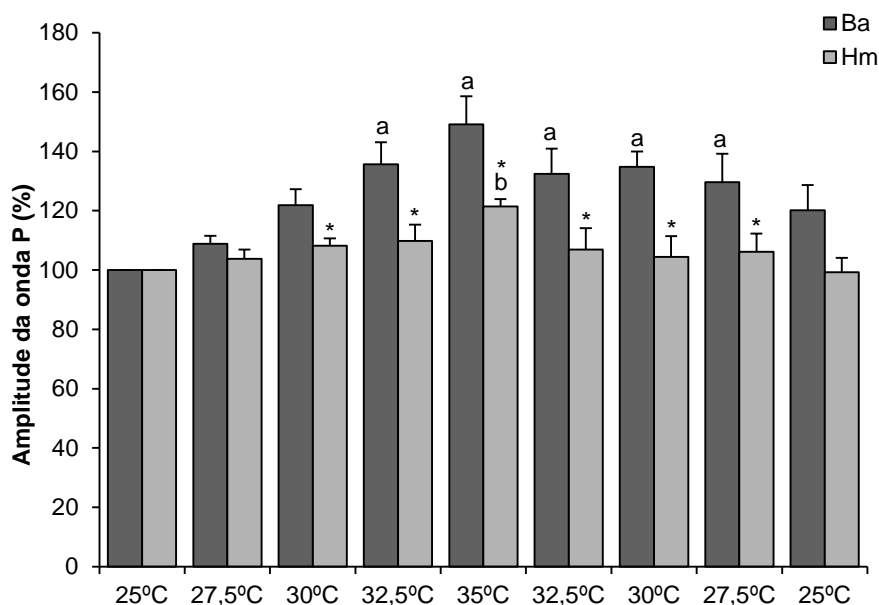
O aumento da temperatura experimental levou a um aumento significativo na amplitude da onda P de matrinxã a partir da temperatura inicial de 32,5 °C ( $135,71 \pm 7,41\%$ ), retornando valores controle apenas na temperatura de recuperação de 25 °C ( $120,15 \pm 8,48\%$ ). Enquanto na traíra houve um aumento significativo apenas na temperatura de 35 °C ( $121,47 \pm 2,43\%$ ).

A comparação entre as espécies estudadas frente ao aumento da temperatura revelou que a amplitude da onda P de matrinxã foi significativamente maior que a de traíra entre a temperatura inicial de 30 °C e a temperatura de recuperação de 27,5 °C (~ 133,94% em matrinxã e ~ 108,31% em traíra).

Os valores de  $Q_{10}$  para a amplitude da onda P durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 1,5 em matrinxã e 1,1 em traíra.



**Figura 38.** Amplitude da onda P (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 39.** Amplitude da onda P (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.6 Duração do complexo QRS

Os valores médios da duração do complexo QRS de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 40 e 41, respectivamente.

Em matrinxã, o complexo QRS teve a duração inicial (controle) de  $0,049 \pm 0,001$  s e a redução da temperatura levou a um aumento significativo desse parâmetro entre as temperaturas inicial e final de 17,5 °C ( $\sim 0,072$  s). Já em traíra houve um aumento significativo apenas em 35 °C ( $0,131 \pm 0,006$  s).

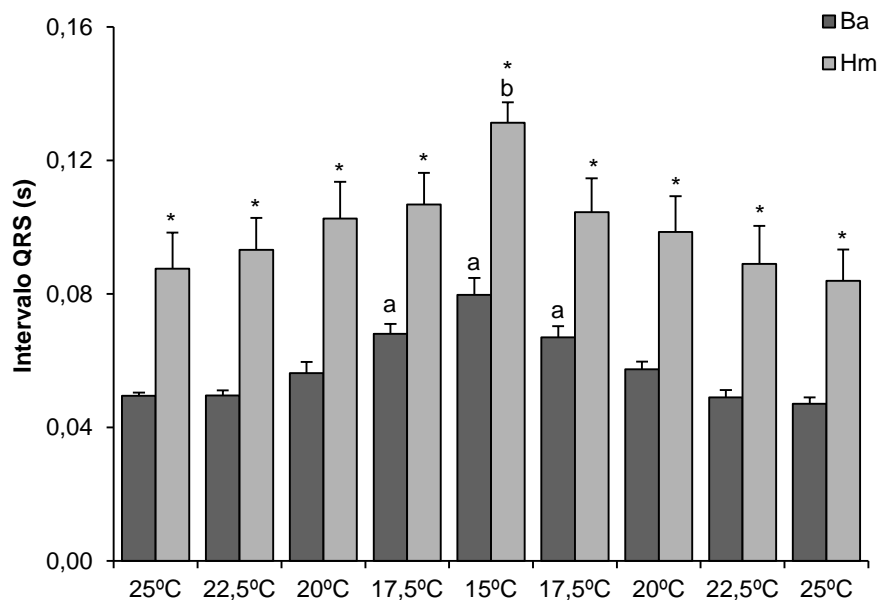
Comparando ambas as espécies, foi possível observar que, com a redução da temperatura experimental, a duração do complexo QRS em matrinxã foi significativamente menor que em traíra em todas as temperaturas experimentais ( $\sim 0,058$  s no matrinxã e  $\sim 0,097$  s na traíra).

A elevação da temperatura levou a reduções na duração do complexo QRS em matrinxã a partir da temperatura inicial de 27,5 °C ( $0,050 \pm 0,002$  s), retornando aos valores controle apenas na temperatura de recuperação de 25 °C ( $0,058 \pm 0,004$  s). Em traíra, o complexo QRS teve a duração inicial (controle) de

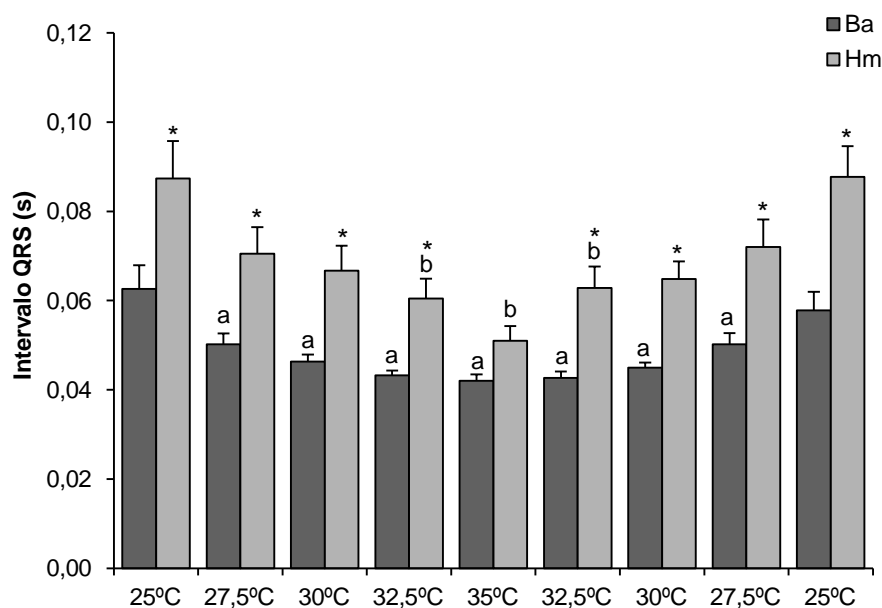
0,087 ± 0,008 s e a elevação da temperatura levou a uma diminuição significativa desse parâmetro entre as temperaturas inicial e final de 32,5 °C (~ 0,058 s).

A comparação entre as espécies estudadas frente ao aumento da temperatura experimental revelou que a duração do complexo QRS em matrinxã foi significativamente menor que em traíra em todas as temperaturas analisadas (~ 0,049 s e ~ 0,069 s, respectivamente).

Os valores de  $Q_{10}$  para a duração do complexo QRS durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 0,7 em matrinxã e 0,6 em traíra.



**Figura 40.** Duração do complexo QRS (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.



**Figura 41.** Duração do complexo QRS (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.7 Duração do intervalo QT

Os valores médios da duração do intervalo QT de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 42 e 43, respectivamente.

Em matrinxã, a duração do intervalo QT na temperatura controle foi de  $0,386 \pm 0,008$  s e a redução da temperatura experimental levou a aumentos significativos deste parâmetro a partir da temperatura inicial de 22,5 °C (~ 0,558 s). Em traíra foram observados aumentos significativos entre as temperaturas inicial e final de 20 °C (~ 1,021 s).

Comparando ambas as espécies, foi possível observar que a duração do intervalo QT de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as temperaturas experimentais durante o protocolo de redução gradativa da temperatura (~ 0,539 s no matrinxã e ~ 0,888 s na traíra).

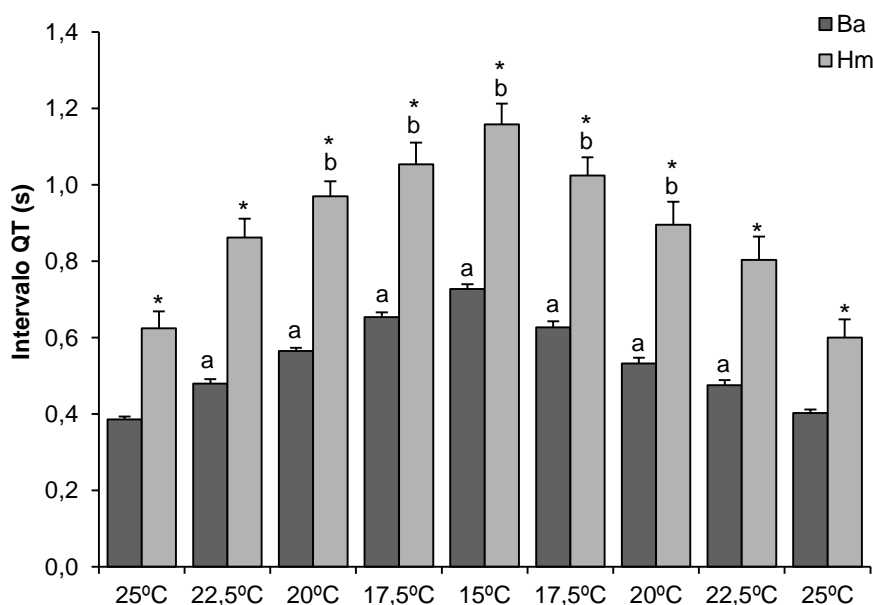
No matrinxã, a elevação da temperatura levou a uma redução significativa na duração do intervalo QT a partir da temperatura inicial de 27,5 °C



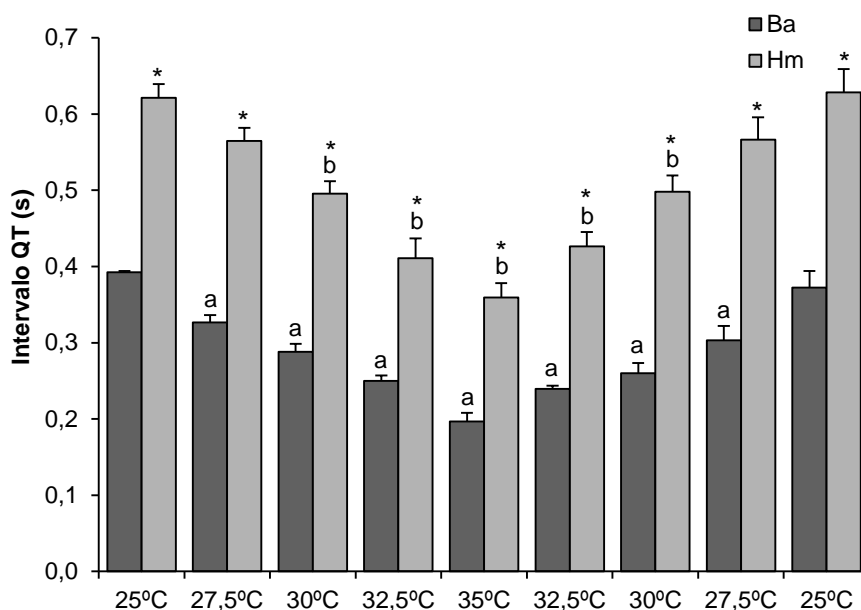
( $0,327 \pm 0,009$  s), retornando aos valores controle somente aos 25 °C finais do protocolo ( $0,372 \pm 0,022$  s). Na traíra os valores iniciais (controle) do intervalo QT foram de  $0,621 \pm 0,018$  s e reduções significativas foram observadas entre as temperaturas inicial e final de 30 °C ( $\sim 0,438$  s).

A comparação entre as espécies estudadas revelou que a duração do intervalo QT de matrinxã foi significativamente menor que o de traíra em todas as temperaturas experimentais ( $\sim 0,292$  s em matrinxã e  $\sim 0,508$  s em traíra).

Os valores de  $Q_{10}$  para a duração do intervalo QT durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foram de 0,5 em matrinxã e 0,6 em traíra.



**Figura 42.** Duração do intervalo QT (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 43.** Duração do intervalo QT (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.8 Duração do segmento ST

Os valores médios da duração do segmento ST de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 44 e 45, respectivamente.

A duração do segmento ST em matrinxã e traíra, na temperatura inicial controle foi de  $0,174 \pm 0,008$  s e  $0,298 \pm 0,023$  s, respectivamente. A redução da temperatura experimental levou a aumentos significativos na duração deste parâmetro em ambas as espécies entre as temperaturas inicial e final de 20 °C (~ 0,343 s em matrinxã e ~ 0,627 em traíra).

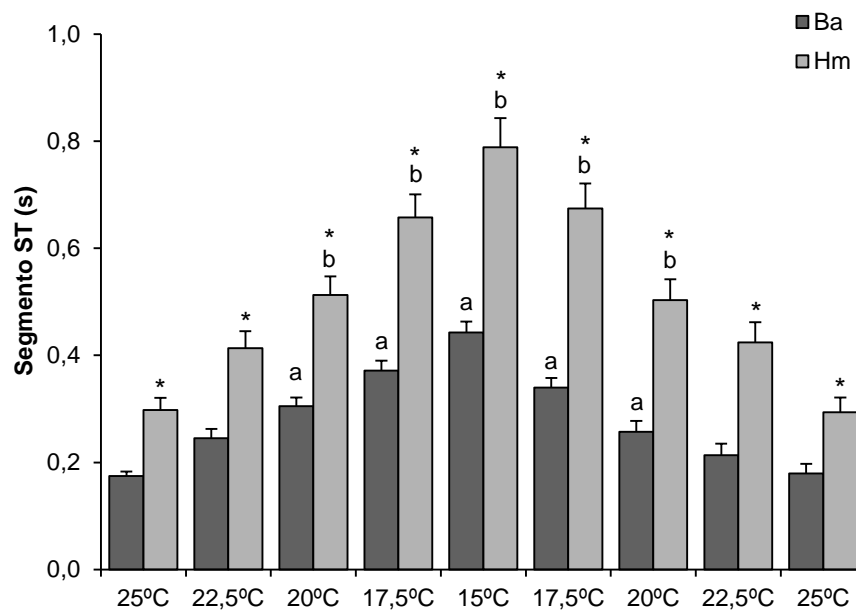
Comparando ambas as espécies, foi possível observar que, com a redução da temperatura experimental, a duração do segmento ST de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as temperaturas analisadas (~ 0,281 s no matrinxã e ~ 0,507 s na traíra).

A elevação da temperatura experimental levou a uma redução significativa na duração do segmento ST em matrinxã a partir da temperatura inicial

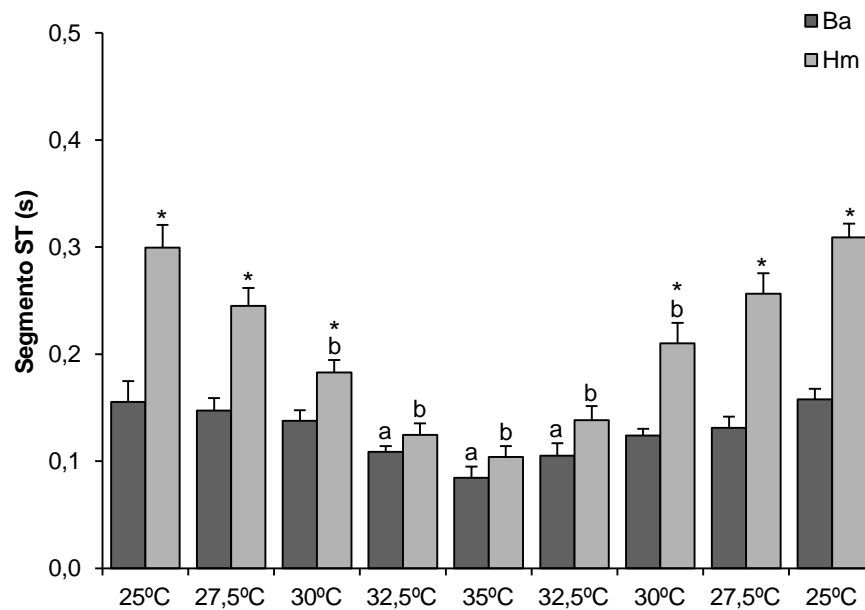
de 32,5 °C ( $0,109 \pm 0,005$  s), retornando aos valores controle a partir da temperatura de recuperação de 30 °C ( $0,124 \pm 0,006$  s). Em traíra, os valores controle do segmento ST foram de  $0,299 \pm 0,021$  s e reduções significativas foram observadas entre as temperaturas de 30 °C iniciais e 30 °C finais ( $\sim 0,152$  s).

Comparando ambas as espécies expostas ao aumento gradativo na temperatura experimental, foi observado que a duração do segmento ST de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra entre as temperaturas iniciais de 25 °C e 30 °C ( $\sim 0,147$  s em matrinxã e  $\sim 0,243$  s em traíra ) e entre as temperaturas de recuperação de 30 °C e 25 °C ( $\sim 0,138$  s em matrinxã e  $\sim 0,258$  s em traíra).

O valor de  $Q_{10}$  para a duração do segmento ST durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foi de 0,5 para o matrinxã e de 0,4 para a traíra.



**Figura 44.** Duração do segmento ST (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 45.** Duração do segmento ST (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.9 Duração da onda T

Os valores médios da duração da onda T de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*) obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 46 e 47, respectivamente.

Em matrinxã, a redução da temperatura levou a um aumento significativo na duração da onda T a partir da temperatura de 22,5 °C ( $0,256 \pm 0,009$  s), enquanto na traíra, a duração da onda T na temperatura controle foi de  $0,310 \pm 0,016$  s e a redução da temperatura levou a um aumento significativo deste parâmetro apenas na temperatura de 35 °C ( $0,439 \pm 0,034$  s).

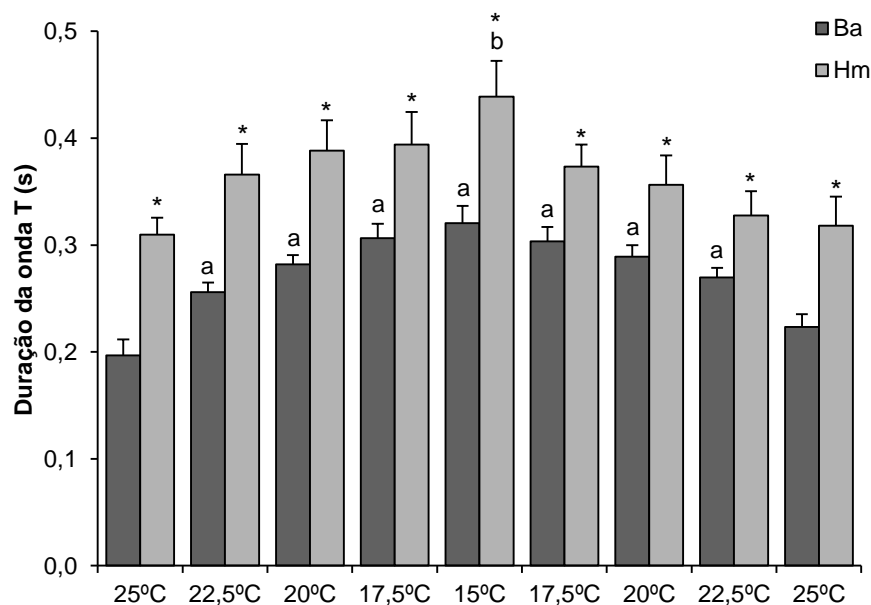
Comparando ambas as espécies, foi possível observar que a duração da onda T de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as temperaturas experimentais, durante o protocolo de redução da temperatura experimental (~ 0,274 s no matrinxã e ~ 0,364 s na traíra).

A elevação da temperatura experimental, em matrinxã, levou a uma redução significativa na duração da onda T a partir da temperatura inicial de 27,5 °C

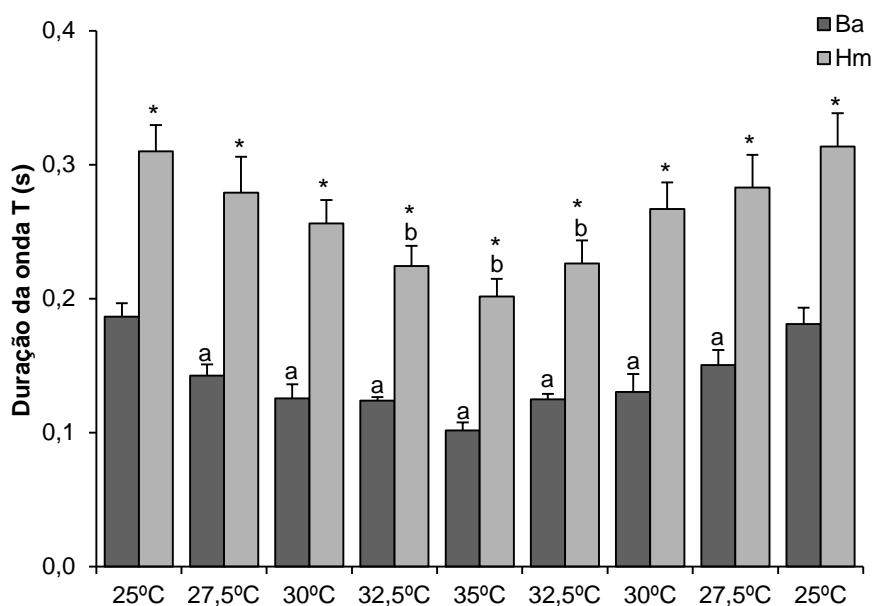
( $0,143 \pm 0,008$  s), retornando aos valores controle somente na temperatura de recuperação de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,181 \pm 0,012$  s). Em traíra os valores controle da duração da onda T foram de  $0,310 \pm 0,020$  s e reduções significativas foram observadas entre as temperaturas inicial e final de  $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\sim 0,218$  s).

A comparação entre as espécies estudadas, frente ao aumento da temperatura experimental, revelou que a duração da onda T de matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as temperaturas analisadas ( $\sim 0,141$  s em matrinxã e  $\sim 0,262$  s em traíra).

O valor de  $Q_{10}$  para a duração da onda T durante a elevação da temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  foi de 0,5 para o matrinxã e de 0,7 para a traíra.



**Figura 46.** Duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 47.** Duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.1.9.10 Amplitude da onda T

Os valores médios da amplitude da onda T de matrinxã (*B. amazonicus*) e de traíra (*H. malabaricus*), obtidos durante a redução da temperatura de 25 °C para 15 °C e retorno para 25 °C e durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C estão representados graficamente nas figuras 48 e 49, respectivamente.

A diminuição da temperatura experimental levou a redução na amplitude da onda T de matrinxãs apenas em 15 °C ( $64,19 \pm 5,60\%$ ), no entanto, em traíras essa redução ocorreu entre as temperaturas inicial e final de 22,5 °C ( $\sim 57,17\%$ ).

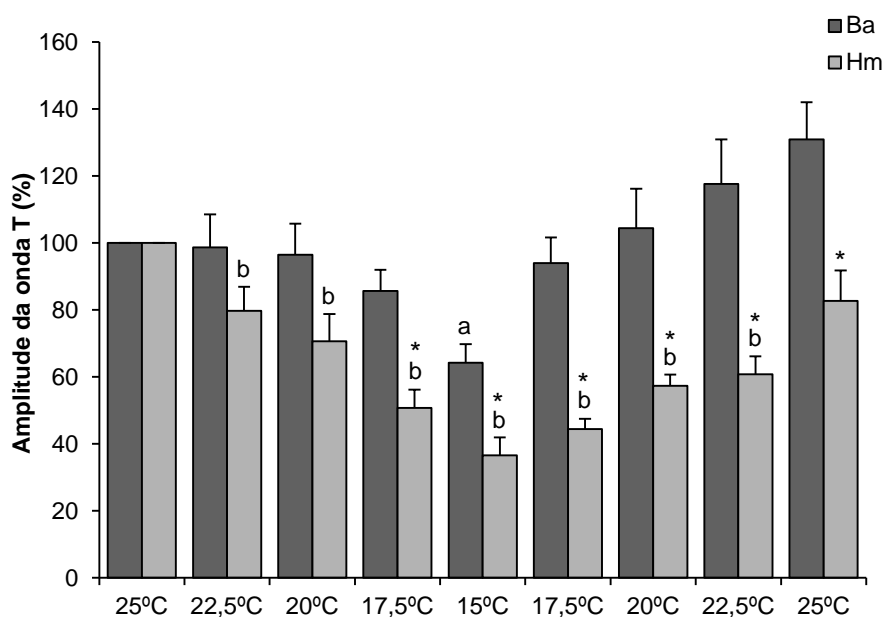
Comparando ambas as espécies expostas à redução da temperatura experimental, foi possível observar que a amplitude da onda T de matrinxã foi significativamente maior que a de traíra entre a temperatura inicial de 17,5 °C e a de recuperação de 25 °C, ( $\sim 99,47\%$  no matrinxã e  $\sim 55,47\%$  na traíra).

Em matrinxã, a elevação da temperatura levou a um aumento significativo na amplitude da onda T a partir da temperatura inicial de 32,5 °C ( $214,70 \pm 24,13\%$ ), retornando aos valores controle a partir da temperatura de

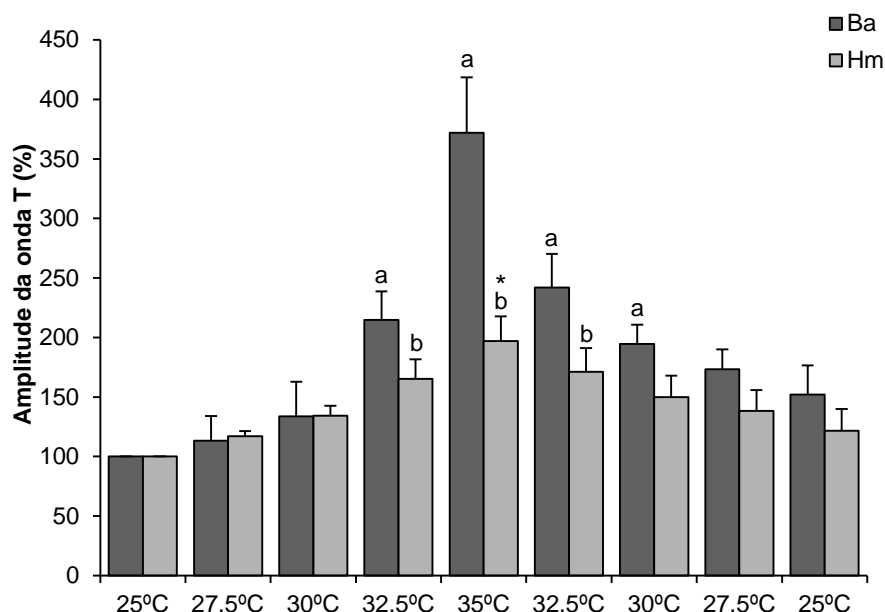
recuperação de 27,5 °C ( $173,39 \pm 16,61\%$ ). Em traíra esse aumento foi observado entre as temperaturas inicial e final de 32,5 °C ( $\sim 177,86\%$ ).

A comparação entre as espécies estudadas revelou que a amplitude da onda T de matrinxã foi significativamente maior que a de traíra apenas em 35 °C ( $372,12 \pm 46,55\%$  em matrinxã e  $197,04 \pm 20,72\%$  em traíra).

O valor de  $Q_{10}$  para a amplitude da onda T durante a elevação da temperatura de 25 °C para 35 °C foi de 3,7 para o matrinxã e de 2,0 para a traíra.



**Figura 48.** Amplitude da onda T (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à redução gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Figura 49.** Amplitude da onda T (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus* (Ba, n=10) e de traíra, *Hoplias malabaricus* (Hm, n=10) submetidos à elevação gradual na temperatura e retorno subsequente. Letras diferem as espécies e indicam diferença significativa em relação à temperatura inicial de 25 °C. \* indica diferença significativa entre as duas espécies. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

#### 4.3.2 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas

A tensão de O<sub>2</sub> em normóxia (140 mmHg) e a temperatura de 25 °C foram utilizadas como parâmetros controle nas análises dos experimentos realizados para avaliar as respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas.

Durante os experimentos realizados para avaliar as respostas cardiorrespiratórias em diferentes concentrações de O<sub>2</sub> (140, 120, 100, 80, 60, 40, 20 e 10 mmHg) e diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C), a espécie matrinxã, *Brycon amazonicus*, não sobreviveu à exposição à 10 mmHg, razão pela qual não foram mensurados os parâmetros cardiorrespiratórios nesta tensão de O<sub>2</sub>.

Ainda sobre o matrinxã, nos experimentos realizados a 35 °C, a grande maioria dos peixes não sobreviveu à tensão experimental de 20 mmHg, o que impossibilitou a aquisição de dados para essa tensão de O<sub>2</sub>.

Em traíra, *Hoplias malabaricus*, a exposição a 35 °C na tensão de 10 mmHg levou ao registro isométrico da onda T, impossibilitando assim, a análise de alguns parâmetros, como intervalos QT e ST, segmento ST e duração e amplitude da onda T.



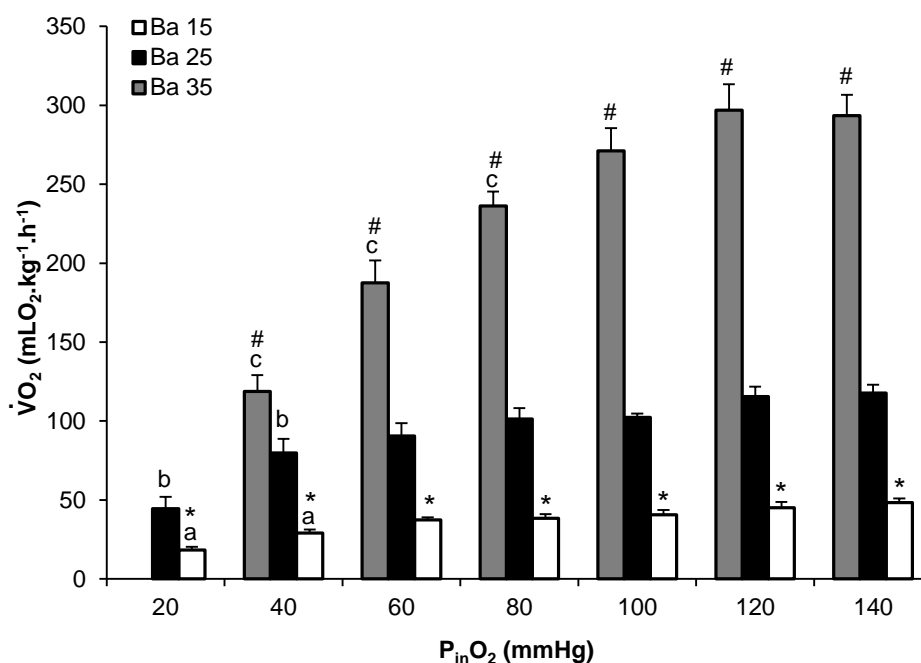
#### 4.3.2.1 Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) e tensão crítica de oxigênio ( $PcO_2$ )

Os valores médios da taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 50. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 3.

A redução do  $O_2$  aquático levou a diminuições significativas nos valores da  $\dot{V}O_2$  nas tensões de 40 e 20 mmHg nos grupos Ba15 (~ 23,56  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ) e Ba25 (~ 62,10  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ) e entre 80 e 40 mmHg em Ba35 (~ 180,85  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ). Comparando com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estas reduções foram de, aproximadamente, 51% em Ba15, 47% em Ba25 e 38% em Ba35.

Ao observar as médias gerais da  $\dot{V}O_2$  em cada grupo experimental, foram obtidos os valores aproximados de 36,68  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$  em Ba15, 93,06  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$  em Ba25 e 234,04  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$  em Ba35. Desta forma, os grupos Ba15 e Ba35, apresentaram valores significativamente diferentes daqueles encontrados em Ba25 em todas as tensões experimentais, sendo maiores em Ba35 e menores em Ba15.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram-se relativamente constantes em todas as tensões de  $O_2$  (~ 2,5), havendo apenas uma redução na tensão de 40 mmHg (1,5).



**Figura 50.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  – mL $O_2$ ·kg $^{-1}$ ·h $^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 3.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ - mL $O_2$ ·kg $^{-1}$ ·h $^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

PᵢₙO₂ (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	2,5
118,2 ± 0,4	2,6
99,8 ± 0,5	2,7
81,4 ± 0,3	2,3
60,5 ± 0,3	2,1
40,8 ± 0,3	1,5

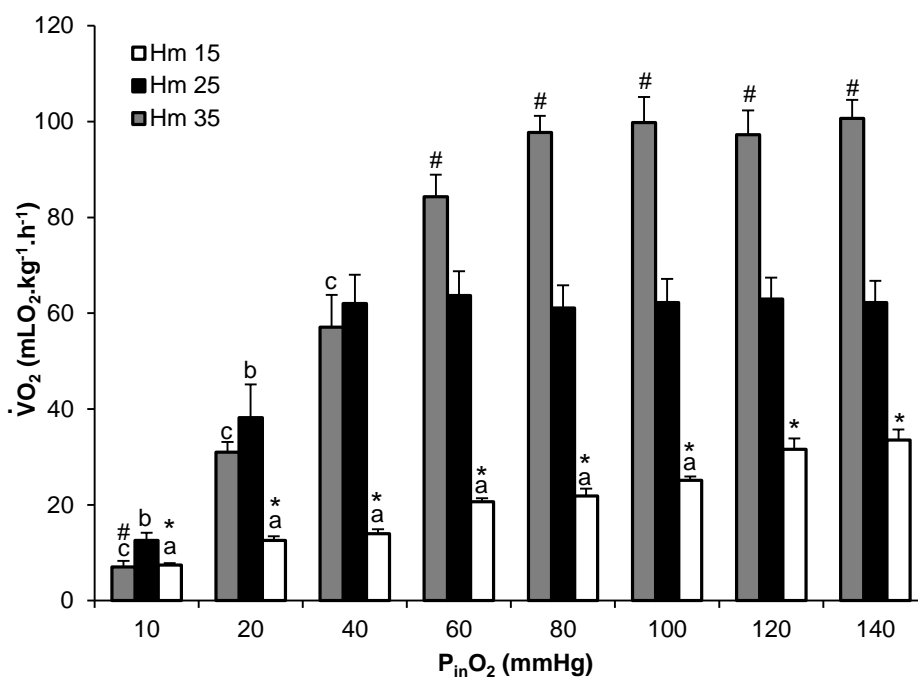
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 51. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 4.

A redução gradual do  $O_2$  experimental diminuiu significativamente os valores da  $\dot{V}O_2$  entre as tensões de 100 a 10 mmHg no grupo Hm15 (~ 16,94 mL $O_2$ ·kg $^{-1}$ ·h $^{-1}$ ), em 20 e 10 mmHg no grupo Hm25 (~ 25,38 mL $O_2$ ·kg $^{-1}$ ·h $^{-1}$ ) e entre 40

e 10 mmHg em Hm35 ( $\sim 31,70 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estas reduções foram de, aproximadamente, 50% em Hm15, 59% em Hm25 e 69% em Ba35.

Os valores médios da  $\dot{V}O_2$  no grupo Hm15 ( $\sim 20,85 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 ( $\sim 53,11 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), em todas as tensões de  $O_2$  experimentais. Enquanto o grupo Hm35 apresentou valores da taxa metabólica significativamente maiores que o grupo Hm25 entre as tensões de 140 a 60 mmHg ( $\sim 98,88 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) e valores menores na tensão de 10 mmHg ( $\sim 12 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  em Hm25 e  $\sim 7 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram uma leve redução de seus valores de acordo com a diminuição do  $O_2$  experimental.



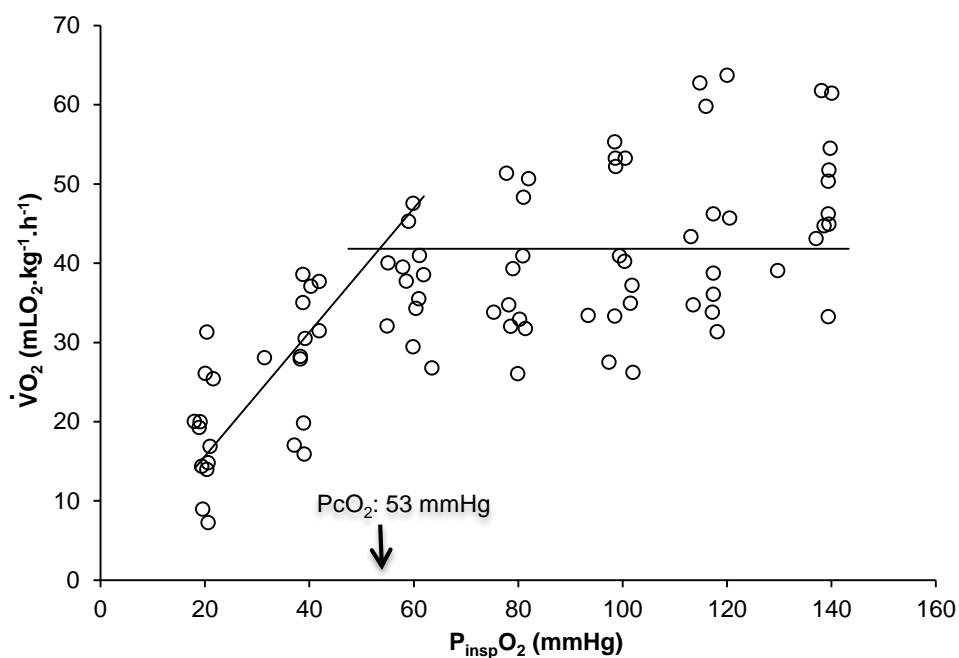
**Figura 51.** Taxa metabólica ( $\dot{V}O_2 - \text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; d: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 4.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $mLO_2.kg^{-1}.h^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

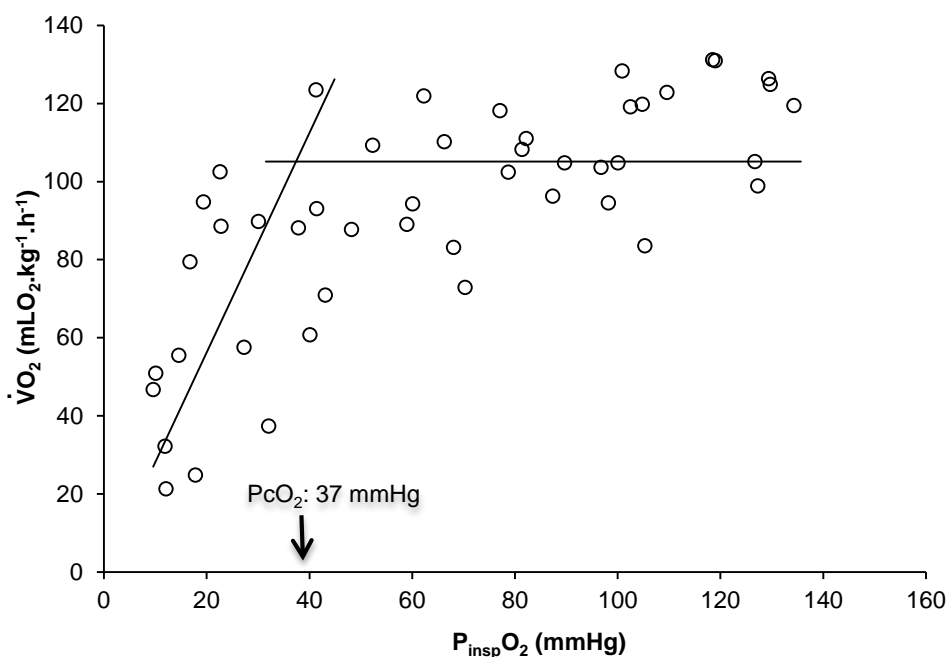
$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,6
118,5 ± 0,5	1,5
101,2 ± 0,5	1,6
81,2 ± 0,4	1,6
61,7 ± 0,4	1,3
41,6 ± 0,3	0,9
22,0 ± 0,3	0,8
12,0 ± 0,4	0,6

As tensões críticas  $O_2$  ( $P_{cO_2}$ ) de matrinxã e de traíra foram obtidas como descrito por RANTIN et al. (1992). Uma reta é ajustada com a abscissa,  $P_{insp}O_2$  versus  $\dot{V}O_2$ , obtida a partir da expressão  $Y = a + bX$ , onde a e b são calculados por regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. Uma segunda reta, paralela à abscissa, é plotada pela média dos valores da  $\dot{V}O_2$  que não apresentaram diferença significativa em relação aos valores normóxicos. A interseção dessas retas ajustadas determinou o ponto que, projetado sobre o eixo x, fornece a  $P_{cO_2}$  da espécie. Este ponto é definido como sendo a tensão parcial de  $O_2$  abaixo da qual a espécie perde sua capacidade de manter uma  $\dot{V}O_2$  constante, independente da disponibilidade de  $O_2$  do ambiente. Portanto, a  $P_{cO_2}$  determina a tensão de  $O_2$  abaixo da qual o peixe não consegue mais acionar eficientemente seus mecanismos de compensação à hipóxia e, assim, manter seu consumo de  $O_2$  constante.

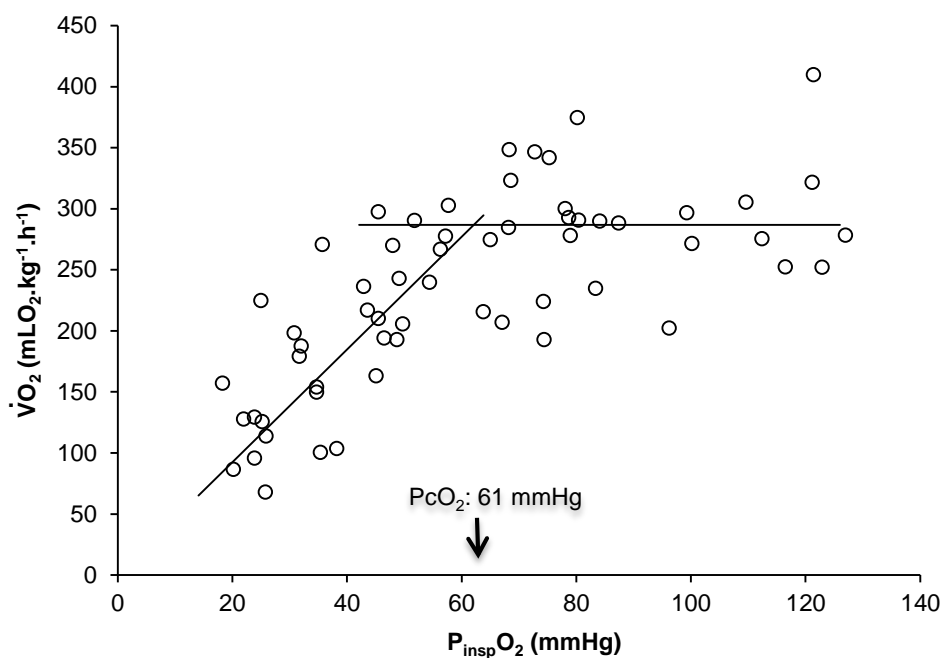
Nos experimentos realizados com matrinxã, a  $P_{cO_2}$  em Ba15 foi 53 mmHg (Figura 52), em Ba25 foi 37 mmHg (Figura 53) e em Ba35 foi 61 mmHg (Figura 54). Em traíra a  $P_{cO_2}$  em Hm15 foi 105 mmHg (Figura 55), em Hm25 foi 21 mmHg (Figura 56) e em Hm35 foi 44 mmHg (Figura 57).



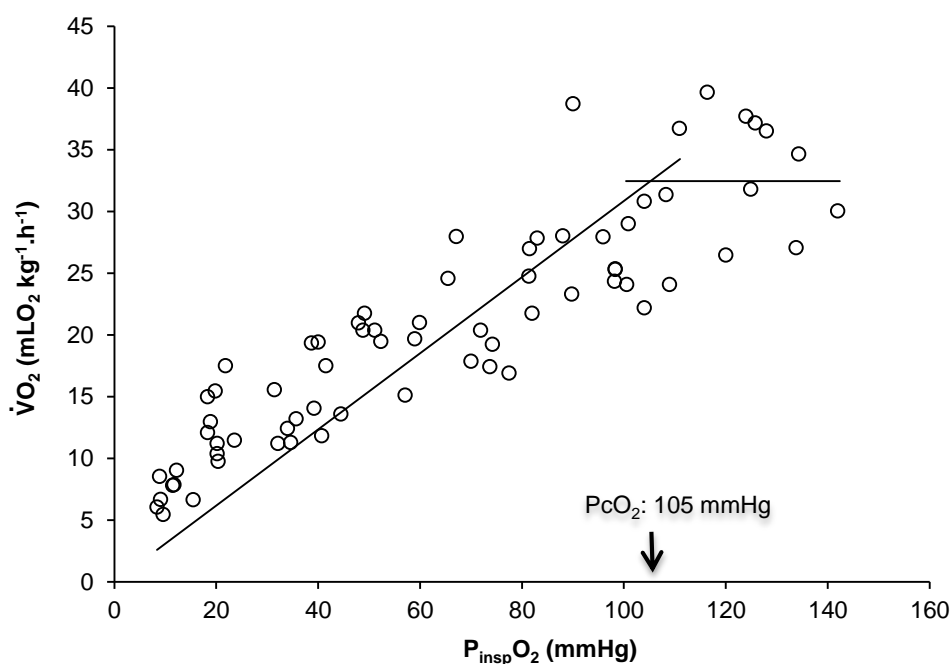
**Figura 52.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{\text{insp}}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}\text{O}_2$  - mLO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, à 15 °C (n=10). A seta representa a  $\text{PcO}_2$ .



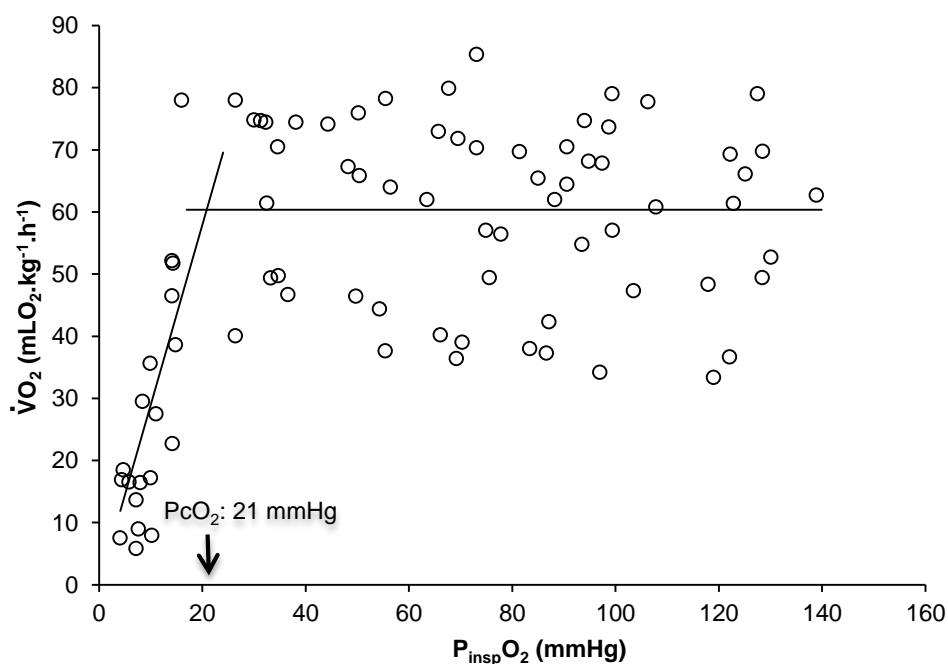
**Figura 53.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{\text{insp}}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}\text{O}_2$  - mLO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, à 25 °C (n=10). A seta representa a  $\text{PcO}_2$ .



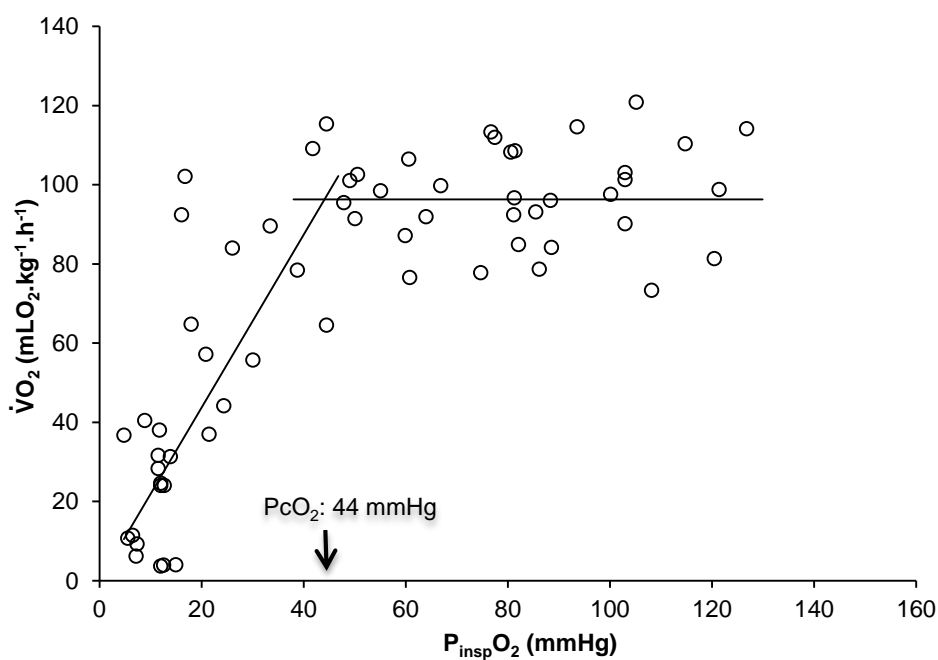
**Figura 54.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{insp}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $mLO_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, à 35 °C (n=10). A seta representa a  $P_{cO_2}$ .



**Figura 55.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{insp}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $mLO_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, à 15 °C (n=10). A seta representa a  $P_{cO_2}$ .



**Figura 56.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{\text{insp}}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, à 25 °C (n=10). A seta representa a  $P_{\text{cO}_2}$ .



**Figura 57.** Efeito da redução gradual nas tensões de oxigênio da água inspirada ( $P_{\text{insp}}$  - mmHg) sobre a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$  -  $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, à 35 °C (n=10). A seta representa a  $P_{\text{cO}_2}$ .

#### 4.3.2.2 Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ )

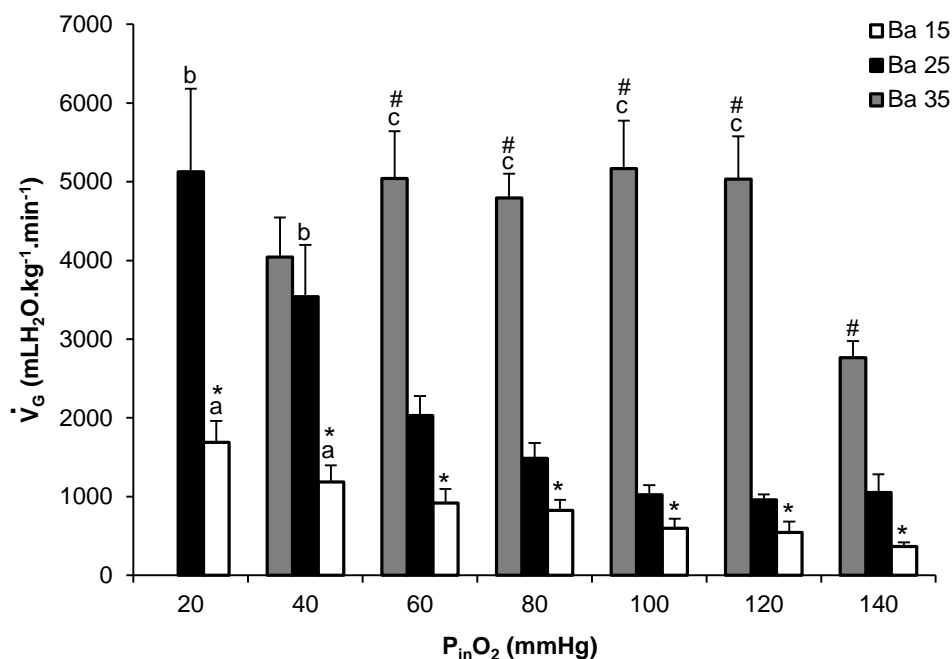
Os valores médios da ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 58. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 5.

A redução gradual do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores da  $\dot{V}_G$  nas tensões de 40 e 20 mmHg nos grupos Ba15 (de ~ 365,88 a 1435,598 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) e Ba25 (de ~ 1050,37 a 4332,41 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) e entre as tensões de 120 e 60 mmHg no grupo Ba35 (de ~ 2764,03 a 5008,03 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Estes aumentos foram de 292% em Ba15, 312% em Ba25 e 81% em Ba35.

O grupo Ba15 apresentou valores significativamente menores que os encontrados em Ba25 em todas as tensões experimentais (~ 873,53 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em Ba15 e ~ 2173,43 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em Ba25). Já o grupo Ba35 apresentou valores significativamente maiores que os encontrados em Ba25 apenas entre 140 e 60 mmHg (~ 1309,84 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em Ba25 e ~ 4559,23 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> em Ba35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram uma diminuição de seus valores com a redução do  $O_2$  experimental.





**Figura 58.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 5.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	2,6
118,2 ± 0,4	5,2
99,8 ± 0,5	5,1
81,4 ± 0,3	3,2
60,5 ± 0,3	2,5
40,8 ± 0,3	1,1

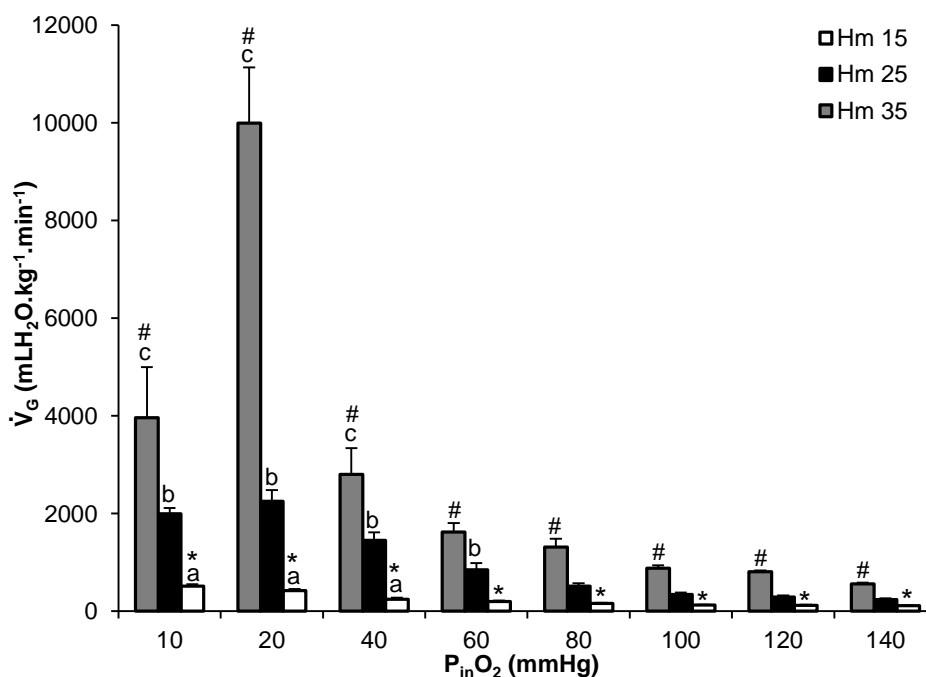
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 59. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 6.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental aumentou os valores da  $\dot{V}_G$  nos três grupos analisados sendo esse aumento significativo entre as tensões de 40 a 10 mmHg nos grupo Hm15 e Hm35 (~ 393,93 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> e ~ 5586,10 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>

$^1 \cdot \text{min}^{-1}$ , respectivamente). No grupo Hm25 esse aumento significativo ocorreu entre 60 e 10 mmHg ( $\sim 1636,22 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 244% em Hm15, 588% em Hm25 e 898% em Ba35.

Ao observar as médias gerais da  $\dot{V}_G$  em cada grupo experimental, foram obtidos os valores aproximados de  $236,64 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  em Hm15, de  $990,67 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  em Hm25 e de  $2742,01 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  em Hm35. Desta forma, os grupos Hm15 e Hm35, apresentaram valores significativamente diferentes daqueles encontrados em Hm25 em todas as tensões experimentais, sendo maiores em Hm35 e menores em Hm15.

O  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentou redução nos seus valores com a diminuição do  $\text{O}_2$  experimental.



**Figura 59.** Ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ -  $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 6.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ -  $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $\text{O}_2$  analisadas.

$P_{\text{inO}_2}$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	2,35
118,5 ± 0,5	2,76
101,2 ± 0,5	2,59
81,2 ± 0,4	2,57
61,7 ± 0,4	1,91
41,6 ± 0,3	1,93
22,0 ± 0,3	4,43
12,0 ± 0,4	1,99

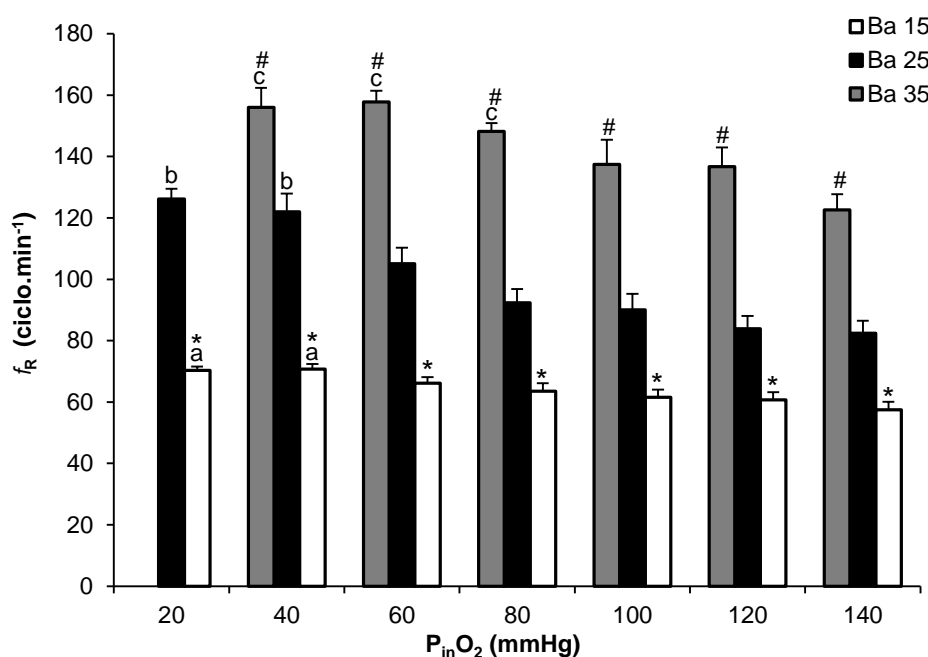
#### 4.3.2.3 Frequência respiratória ( $f_R$ )

Os valores médios da frequência respiratória ( $f_R$ ) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 60. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 7.

A redução gradual do  $\text{O}_2$  experimental aumentou significativamente os valores da  $f_R$  nas tensões de 40 e 20 mmHg nos grupos Ba15 (~ 71 ciclos.min<sup>-1</sup>) e Ba25 (~ 124 ciclos.min<sup>-1</sup>) e entre 80 e 40 mmHg em Ba35 (~ 154 ciclos.min<sup>-1</sup>). Comparando com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 23% em Ba15, 50% em Ba25 e 26% em Ba35.

As médias da  $f_R$  em cada grupo experimental revelaram valores significativamente menores em Ba15 (~ 64 ciclos.min<sup>-1</sup>) e maiores em Ba35 (~ 143 ciclos.min<sup>-1</sup>), quando comparados com os obtidos em Ba25 (~ 100 ciclos.min<sup>-1</sup>), em todas as tensões experimentais de  $\text{O}_2$ .

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram-se relativamente constantes em todas as tensões de  $\text{O}_2$  experimentais.



**Figura 60.** Frequência respiratória ( $f_R$ - ciclos.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 7.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	1,5
118,2 ± 0,4	1,6
99,8 ± 0,5	1,5
81,4 ± 0,3	1,6
60,5 ± 0,3	1,5
40,8 ± 0,3	1,3

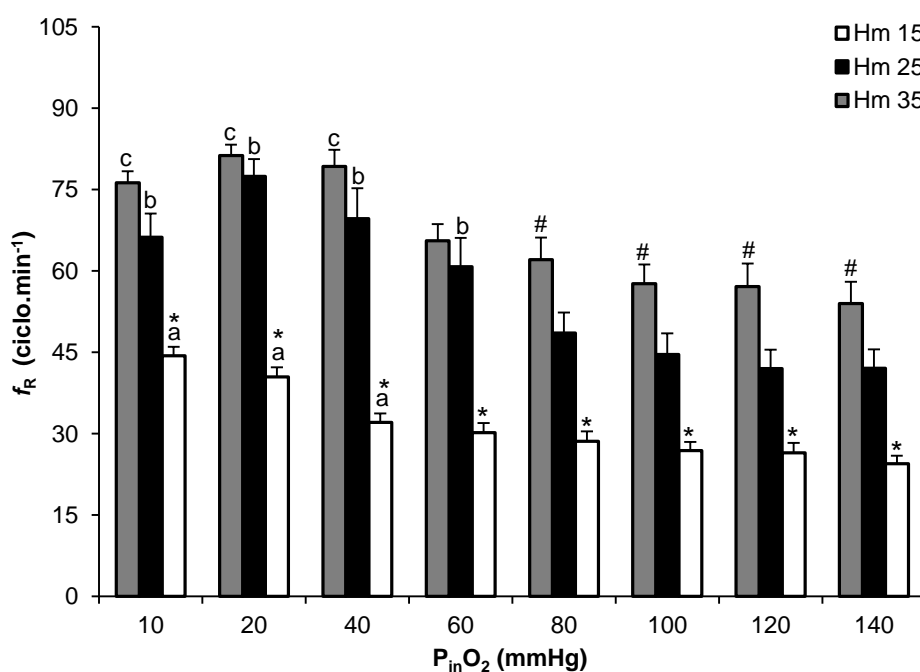
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da frequência respiratória ( $f_R$ ) em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 61. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 8.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental aumentou significativamente os valores da  $f_R$  entre as tensões de 40 a 10 mmHg nos grupos Hm15 e Hm35 (~ 39 ciclos.min<sup>-1</sup> e ~ 79 ciclos.min<sup>-1</sup>, respectivamente). No grupo Hm25 esse aumento

ocorreu entre 60 e 10 mmHg ( $\sim 69$  ciclos.min<sup>-1</sup>). Desta forma, comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 59% em Hm15, 63% em Hm25 e 46% em Ba35.

Os valores médios da  $f_R$  no grupo Hm15 ( $\sim 32$  ciclos.min<sup>-1</sup>) foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 ( $\sim 56$  ciclos.min<sup>-1</sup>) em todas as tensões de O<sub>2</sub> experimentais. Enquanto o grupo Hm35 apresentou valores da frequência respiratória significativamente maiores que o grupo Hm25 entre as tensões de 140 a 80 mmHg ( $\sim 48$  ciclos.min<sup>-1</sup> em Hm 25 e  $\sim 58$  ciclos.min<sup>-1</sup> em Hm35).

Os valores de Q<sub>10</sub> entre 25 e 35°C apresentaram-se relativamente constantes com a diminuição do O<sub>2</sub> experimental ( $\sim 1,2$ , respectivamente).



**Figura 61.** Frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 8.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a frequência respiratória ( $f_R$  - ciclos.min<sup>-1</sup>) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,3
118,5 ± 0,5	1,4
101,2 ± 0,5	1,3
81,2 ± 0,4	1,3
61,7 ± 0,4	1,1
41,6 ± 0,3	1,1
22,0 ± 0,3	1,0
12,0 ± 0,4	1,2

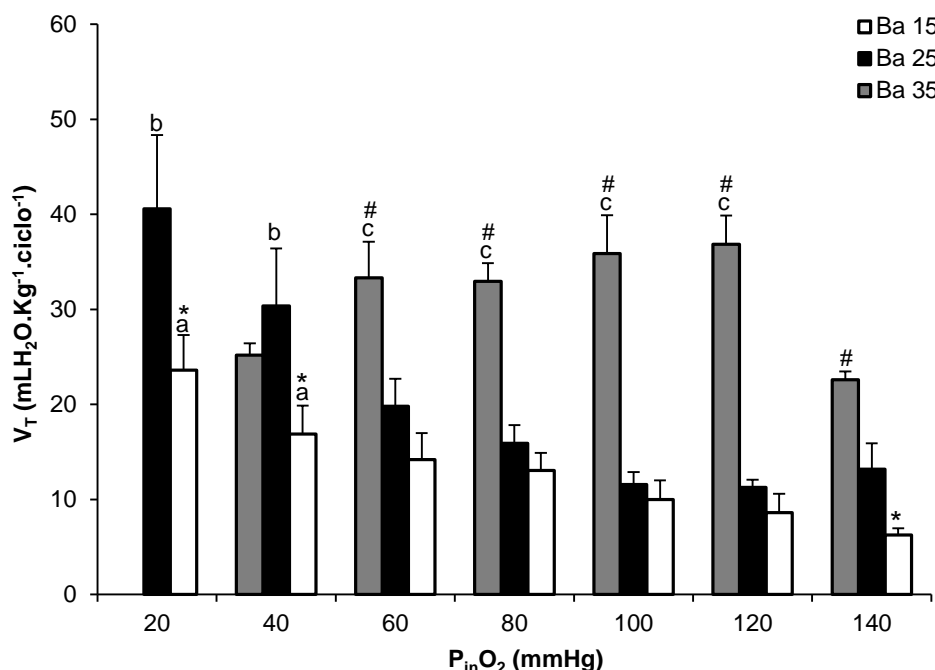
#### 4.3.2.4 Volume ventilatório ( $V_T$ )

Os valores médios do volume ventilatório ( $V_T$ ) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 62. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 9.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental aumentou significativamente os valores do  $V_T$  nas tensões de 40 e 20 mmHg nos grupos Ba15 (de ~ 20,23 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) e Ba25 (de ~ 35,46 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) e entre as tensões de 120 e 60 mmHg no grupo Ba35 (de ~ 34,75 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>). Estes aumentos foram de 223% em Ba15, 169% em Ba25 e 54% em Ba35.

O grupo Ba15 apresentou valores significativamente menores que os encontrados em Ba25 nas tensões de 140, 40 e 20 mmHg (~ 15,57 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> em Ba15 e ~ 28,04 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> em Ba25). Já o grupo Ba35 apresentou valores significativamente maiores que os encontrados em Ba25 entre 140 e 60 mmHg (~ 14,35 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> em Ba25 e ~ 32,31 mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> em Ba35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram relativamente constantes com a redução do O<sub>2</sub> experimental (~ 1,8).



**Figura 62.** Volume ventilatório ( $V_T$  - mLH<sub>2</sub>O.Kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 9.** Valores médios de  $Q_{10}$  para o volume ventilatório ( $V_T$  - mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,5 ± 0,2	1,7
118,2 ± 0,4	3,3
99,8 ± 0,5	3,1
81,4 ± 0,3	2,1
60,5 ± 0,3	1,7
40,8 ± 0,3	0,8

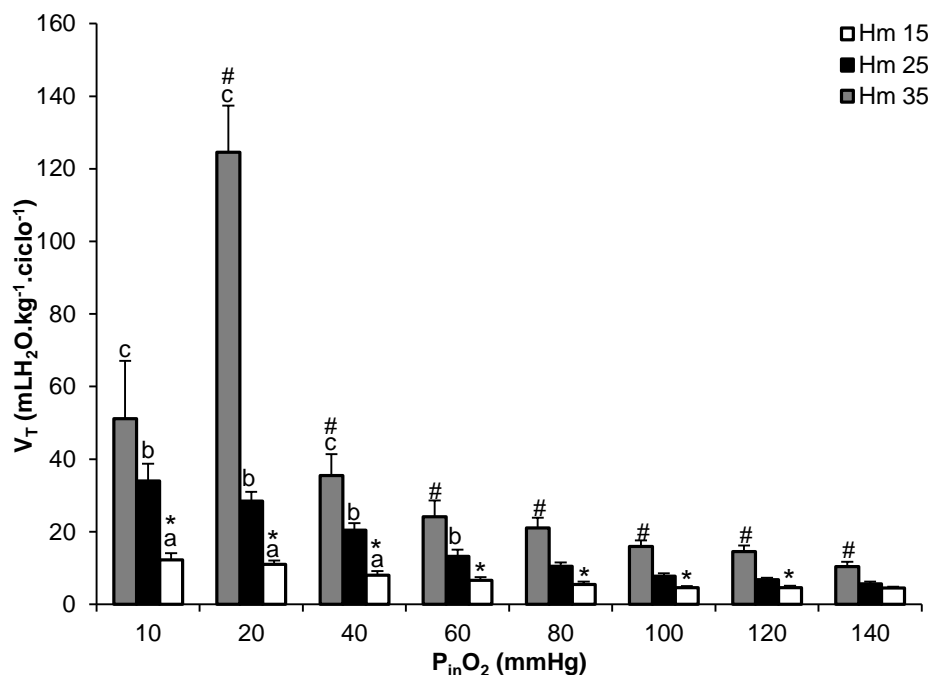
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios do volume ventilatório ( $V_T$ ) em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 63. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 10.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental aumentou os valores do  $V_T$  nos três grupos analisados sendo esse aumento significativo entre as tensões de 40 a 10 mmHg nos grupo Hm15 e Hm35 (~ 10,39 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup> e ~ 70,37 mLH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>

$^1 \cdot \text{ciclo}^{-1}$ , respectivamente). No grupo Hm25 esse aumento significativo ocorreu entre 60 e 10 mmHg ( $\sim 23,99 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ). Comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 132% em Hm15, 327% em Hm25 e 678% em Ba35.

O grupo Hm15 apresentou valores significativamente menores que os encontrados em Hm25 nas tensões de 120 a 10 mmHg ( $\sim 7,49 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$  em Hm15 e  $\sim 17,28 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$  em Hm25), enquanto o grupo Hm35 apresentou valores significativamente maiores que os encontrados em Hm25 entre 140 e 20 mmHg ( $\sim 13,23 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$  em Hm25 e  $\sim 35,14 \text{ mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$  em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram uma media de 1,9 exceto na tensão de 20 mmHg, cujo valor de  $Q_{10}$  foi de 4,4.



**Figura 63.** Volume ventilatório ( $V_T - \text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Tabela 10.** Valores médios de  $Q_{10}$  para o volume ventilatório ( $V_T - \text{mLH}_2\text{O.kg}^{-1}.\text{ciclo}^{-1}$ ) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $\text{O}_2$  analisadas.

$P_{\text{inO}_2}$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,8
118,5 ± 0,5	2,1
101,2 ± 0,5	2,1
81,2 ± 0,4	2,0
61,7 ± 0,4	1,8
41,6 ± 0,3	1,7
22,0 ± 0,3	4,4
12,0 ± 0,4	1,5

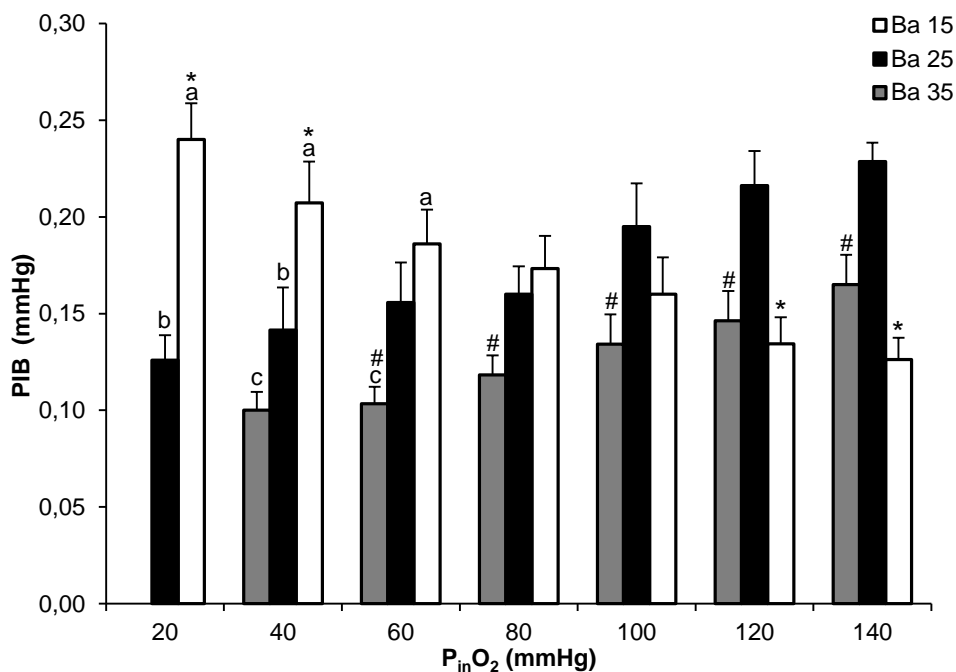
#### 4.3.2.5 Pressão intrabucal (PIB)

Os valores médios da pressão intrabucal (PIB) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 64. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 11.

No grupo Ba15, a redução gradual do  $\text{O}_2$  experimental aumentou significativamente os valores da PIB entre as tensões de 60 a 20 mmHg. Porém, nos grupos Ba25 e Ba35, foi observada uma diminuição nos valores da PIB, com a redução da tensão de  $\text{O}_2$ , sendo significativa nas tensões de 40 e 20 mmHg no grupo Ba25 (~ 0,13 mmHg) e entre 60 e 40 mmHg no grupo Ba35 (~ 0,10 mmHg). Comparando com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estas alterações foram de, aproximadamente, 67% em Ba15, 42% em Ba25 e 38% em Ba35.

O grupo Ba15 apresentou valores significativamente menores que os encontrados em Ba25 nas tensões de 140 e 120 mmHg (~ 0,13 mmHg em Ba15 e ~ 0,22 mmHg em Ba25) e valores significativamente maiores nas tensões de 40 e 20 mmHg (~ 0,22 mmHg em Ba15 e ~ 0,13 mmHg em Ba25). O grupo Ba35 apresentou valores significativamente menores que os encontrados em Ba25 entre 140 e 60 mmHg (~ 0,19 mmHg em Ba25 e ~ 0,13 mmHg em Ba35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram-se relativamente constante durante o protocolo experimental.



**Figura 64.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 11.** Valores médios de  $Q_{10}$  para pressão intrabucal (PIB – mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

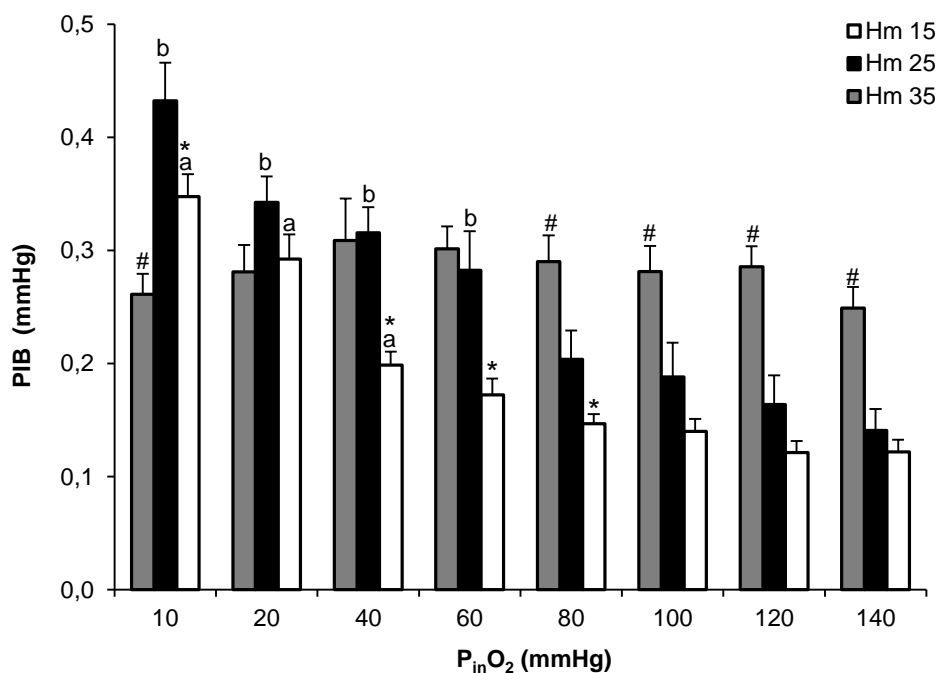
$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,5 $\pm$ 0,2	0,72
118,2 $\pm$ 0,4	0,68
99,8 $\pm$ 0,5	0,69
81,4 $\pm$ 0,3	0,74
60,5 $\pm$ 0,3	0,66
40,8 $\pm$ 0,3	0,71

Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da pressão intrabucal (PIB) em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 65. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 12.

A redução gradual do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores da PIB entre as tensões de 40 a 10 mmHg no grupo Hm15 (~ 0,28 mmHg) e entre as tensões de 60 a 10 no grupo Hm25 (~ 0,34 mmHg). No entanto, no grupo Hm35 não foram observadas alterações significativas nos valores deste parâmetro durante todo o protocolo experimental (~ 0,28 mmHg). Desta forma, comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 130% em Hm15, 144% em Hm25.

Os valores médios da PIB no grupo Hm15 foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 nas tensões de 80, 60, 40 e 10 mmHg (~ 0,22 mmHg em Hm15 e ~ 0,31 mmHg em Hm25). Ao analisar os grupos Hm25 e Hm35 foi observado que nas tensões de 140 a 80 mmHg os valores a 35 °C foram maiores que os encontrados em 25 °C (~ 0,17 mmHg em Hm25 e ~ 0,28 mmHg em Hm35), enquanto em 10 mmHg os valores em Hm35 foram significativamente menores que em Hm25 ( $0,43 \pm 0,03$  mmHg em Hm25 e  $0,26 \pm 0,02$  mmHg em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram-se relativamente constantes com a diminuição do  $O_2$  experimental (~ 1,3).



**Figura 65.** Pressão intrabucal (PIB - mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 12.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a pressão intrabucal (PIB - mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

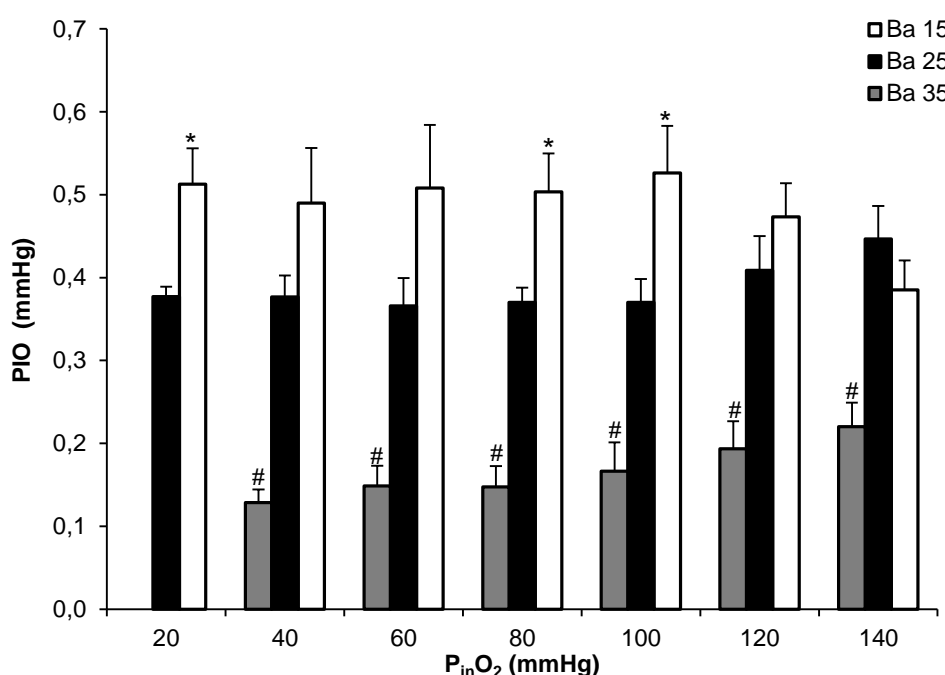
P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,7 ± 0,3	1,8
118,5 ± 0,5	1,7
101,2 ± 0,5	1,5
81,2 ± 0,4	1,4
61,7 ± 0,4	1,1
41,6 ± 0,3	1,0
22,0 ± 0,3	0,8
12,0 ± 0,4	0,6

#### 4.3.2.6 Pressão intraopercular (PIO)

Os valores médios da pressão intraopercular (PIO) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 66. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 13.

Os grupos Ba15, Ba25 e Ba35 não apresentaram alterações dos valores da PIO durante a redução do  $O_2$  experimental (~ 0,49 mmHg em Ba15, ~ 0,39 mmHg em Ba25 e ~ 0,17 mmHg em Ba35). No entanto, nas tensões de 100, 80 e 20 mmHg os valores em Ba15 foram significativamente maiores que os observados em Ba25 (~ 0,51 mmHg em Ba25 e ~ 0,37 mmHg em Ba15) e, em todas as tensões de  $O_2$ , os valores da PIO em Ba35 foram significativamente menores que os encontrados em Ba25.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C reduziram levemente no decorrer do protocolo experimental, ou seja, com a redução da tensão de  $O_2$ .



**Figura 66.** Pressão intraopercular (PIO - mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 13.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a pressão intraopercular (PIO – mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

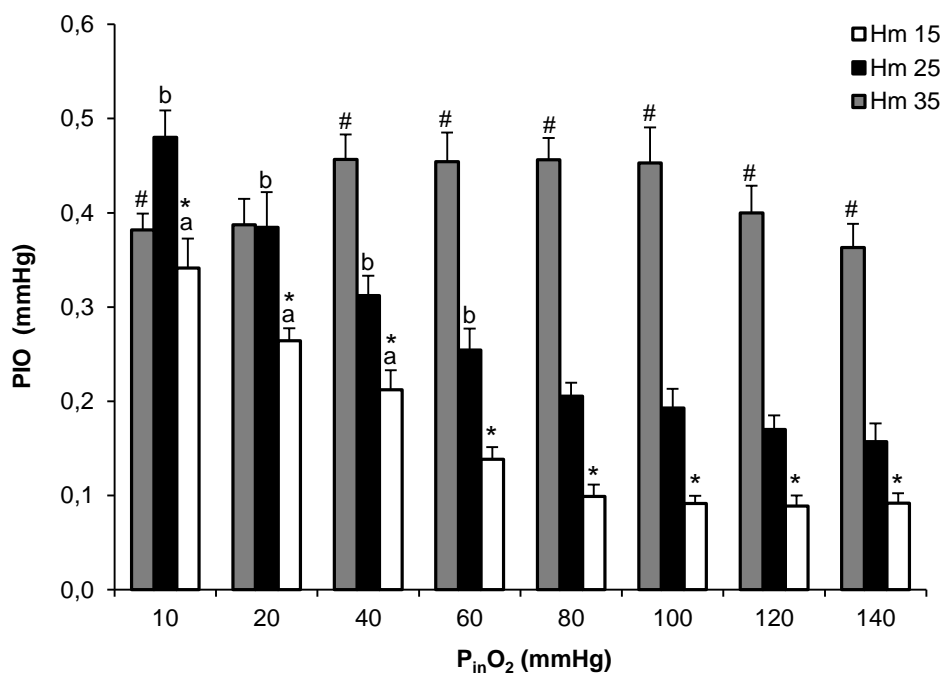
$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,5 ± 0,2	1,7
118,2 ± 0,4	3,3
99,8 ± 0,5	3,1
81,4 ± 0,3	2,1
60,5 ± 0,3	1,7
40,8 ± 0,3	0,8

Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da pressão intraopercular (PIO) em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 67. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 14.

A redução gradual do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores da PIO entre as tensões de 40 a 10 mmHg no grupo Hm15 (~ 0,27 mmHg) e entre as tensões de 60 a 10 no grupo Hm25 (~ 0,36 mmHg). No entanto, no grupo Hm35 não foram observadas alterações significativas nos valores deste parâmetro durante todo o protocolo experimental (~ 0,42 mmHg). Desta forma, comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 197% em Hm15, 128% em Hm25.

Os valores médios da PIO no grupo Hm15 foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 em todas as tensões de  $O_2$  (~ 0,17 mmHg em Hm15 e ~ 0,27 mmHg em Hm25). Ao analisar os grupos Hm25 e Hm35 foi observado que entre as tensões de 140 a 40 mmHg os valores da PIO foram significativamente maiores a 35 °C (~ 0,22 mmHg em Hm25 e ~ 0,43 mmHg em Hm35), porém na tensão de 10 mmHg os valores a 35 °C foram significativamente menores que os encontrados em 25 °C (~ 0,48 mmHg em Hm25 e ~ 0,38 mmHg em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C reduziram no decorrer do protocolo experimental.



**Figura 67.** Pressão intraopercular (PIO - mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 14.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a pressão intraopercular (PIB - mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,7 ± 0,3	2,3
118,5 ± 0,5	2,4
101,2 ± 0,5	2,3
81,2 ± 0,4	2,2
61,7 ± 0,4	1,8
41,6 ± 0,3	1,5
22,0 ± 0,3	1,0
12,0 ± 0,4	0,8

#### 4.3.2.7 Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ )

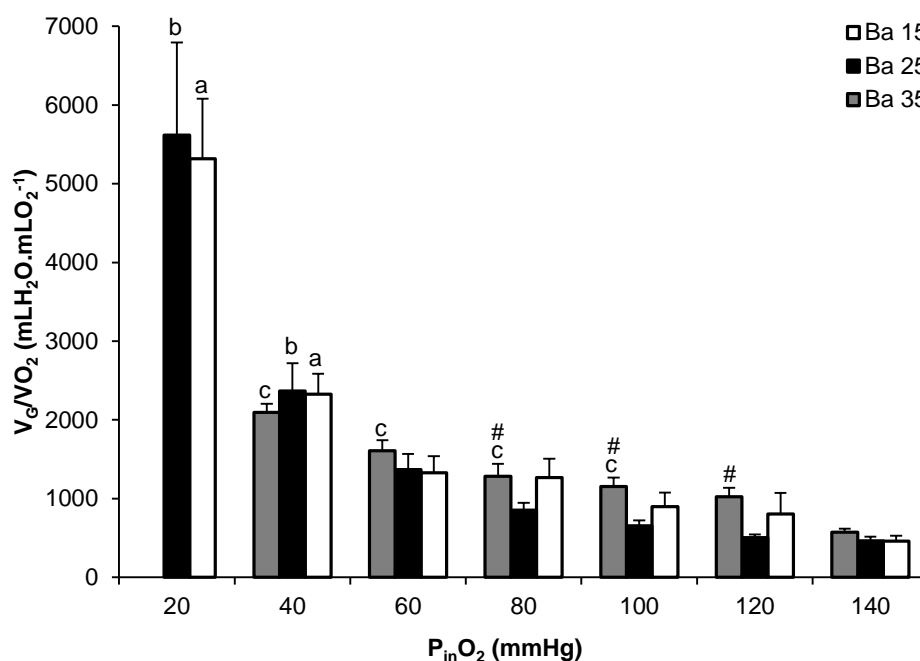
Os valores médios da necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 68. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 15.

A redução gradual do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  nas tensões de 40 e 20 mmHg nos grupos Ba15 (~ 3822,42 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) e Ba25 (~ 3993,16 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) e entre 100 a 40 mmHg em Ba35 (~ 1354,53 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>). Comparando com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 730% em Ba15, 763% em Ba25 e 168% em Ba35.

Os grupos Ba15 e Ba25 não apresentaram diferenças nos valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  durante a redução do  $O_2$  experimental (~ 1771,15 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Ba15, ~ 1689,67 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Ba25). No entanto, nas tensões de 120 a 80 mmHg, os valores em Ba35 foram significativamente maiores que os observados em Ba25 (~ 669,73 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Ba25 e ~ 1152,65 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Ba35).

Com a redução do  $O_2$  experimental, o valor médio de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C foi de 1,2.





**Figura 68.** Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 15.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	1,2
118,2 ± 0,4	2,0
99,8 ± 0,5	1,8
81,4 ± 0,3	1,5
60,5 ± 0,3	1,2
40,8 ± 0,3	0,9

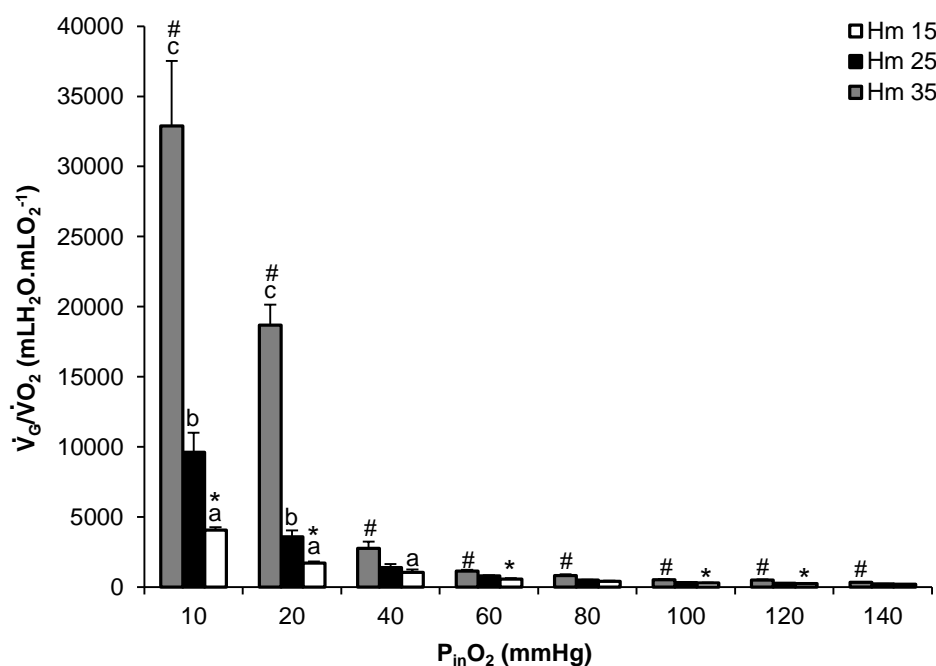
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ) em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 69. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 16.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental aumentou significativamente os valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  nas tensões de 40 a 10 mmHg no grupo Hm15 (~ 2282,71

mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) e em 20 e 10 mmHg nos grupos Hm25 (~ 6599,82 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) e Hm35 (~ 25789,35 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>). Comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 1024% em Hm15, 2772% em Hm25 e 7548% em Ba35.

Os valores da necessidade ventilatória no grupo Hm15 foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 nas tensões de 120, 100, 60, 20 e 10 mmHg (~ 1378,64 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Hm15 e ~ 2919,45 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Hm25). Já o grupo Hm35 apresentou valores significativamente maiores que os encontrados em Hm25 em todas as tensões de O<sub>2</sub> (~ 2090,29 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Hm25 e ~ 7207,39 mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup> em Hm35).

O Q<sub>10</sub> entre 25 e 35 °C apresentou maiores valores nas menores tensões de O<sub>2</sub>.



**Figura 69.** Necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  – mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 16.** Valores médios de  $Q_{10}$  para o volume ventilatório ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,5
118,5 ± 0,5	1,8
101,2 ± 0,5	1,6
81,2 ± 0,4	1,6
61,7 ± 0,4	1,5
41,6 ± 0,3	2,0
22,0 ± 0,3	5,2
12,0 ± 0,4	3,4

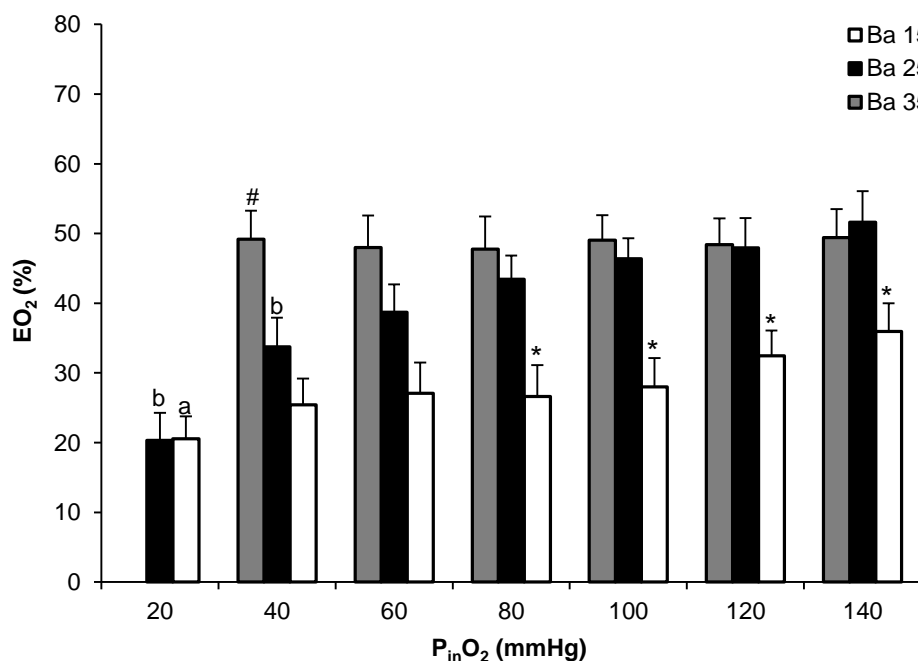
#### 4.3.2.8 Extração de oxigênio da corrente ventilatória (EO<sub>2</sub>)

Os valores médios da extração de oxigênio da corrente ventilatória (EO<sub>2</sub>) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 70. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 17.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental diminuiu significativamente os valores da EO<sub>2</sub> na tensão de 20 mmHg no grupo Ba15 (~ 20,56%) e nas tensões de 40 e 20 mmHg no grupo Ba25 (~ 27,03%). Entretanto, no grupo Ba35, a redução do O<sub>2</sub> não alterou os valores da EO<sub>2</sub> durante o protocolo experimental, a qual se manteve em, aproximadamente, 48,62%. Assim, as reduções observadas nos grupos Ba15 e Ba25, correspondem a uma redução de, aproximadamente, 1,8 vezes no valor encontrado em normóxia (140 mmHg).

As médias da extração de O<sub>2</sub> em cada grupo experimental revelaram valores significativamente menores em Ba15 quando comparados com Ba25 entre as tensões de 140 a 80 mmHg (~30,75% em Ba15 e ~ 47,34% em Ba25. Já a análise entre os grupos Ba25 e Ba35 revelou valores estatisticamente maiores a 35 °C apenas na tensão de 40 mmHg (~ 33,72% em Ba25 e ~ 49,18% em Ba35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram-se relativamente constantes em todas as tensões de O<sub>2</sub> experimentais.



**Figura 70.** Extração de oxigênio (EO<sub>2</sub> - %) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 17.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a extração de oxigênio (EO<sub>2</sub> - %) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	1,0
118,2 ± 0,4	1,0
99,8 ± 0,5	1,1
81,4 ± 0,3	1,1
60,5 ± 0,3	1,2
40,8 ± 0,3	1,5

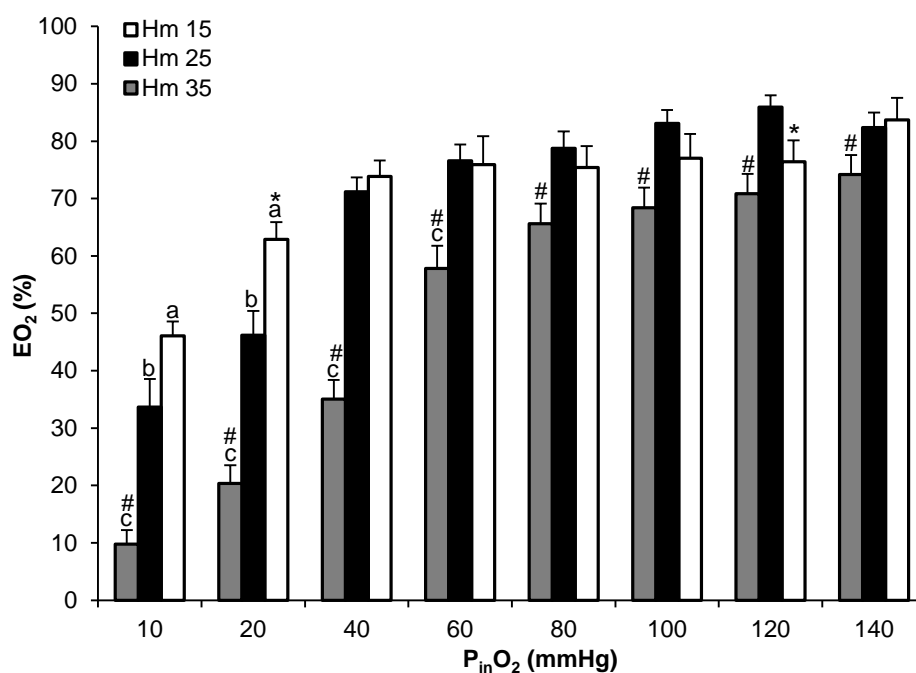
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da extração de oxigênio (EO<sub>2</sub>) em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 71. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 18.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental diminuiu significativamente os valores EO<sub>2</sub> nas tensões de 20 e 10 mmHg nos grupos Hm15 e Hm25 (~ 54,46% e ~ 39,92%, respectivamente). No grupo Hm35 estas diminuições ocorreram entre 60 e

10 mmHg (~ 30,75%). Desta forma, comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estas diminuições foram de, aproximadamente, 1,5 vezes em Hm15, 2,1 vezes em Hm25 e 2,4 vezes em Ba35.

Os valores médios da  $EO_2$  no grupo Hm15, quando comparados com o grupo Hm25, foram significativamente menores em 120 mmHg ( $76,39 \pm 3,76\%$  em Hm15 e  $85,91 \pm 2,07\%$  em Hm25) e significativamente maiores em 20 mmHg ( $62,86 \pm 3,03\%$  em Hm15 e  $46,19 \pm 4,23\%$  em Hm25). Porém, o grupo Hm35 apresentou valores da  $EO_2$  significativamente menores que o grupo Hm25 em todas as tensões de  $O_2$  (~ 69,72% em Hm 25 e ~ 50,25% em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram uma leve redução nos seus valores com a diminuição do  $O_2$  experimental.



**Figura 71.** Extração de oxigênio ( $EO_2$  - %) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 18.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a extração de oxigênio ( $EO_2$  - %) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,9
118,5 ± 0,5	0,8
101,2 ± 0,5	0,8
81,2 ± 0,4	0,8
61,7 ± 0,4	0,8
41,6 ± 0,3	0,5
22,0 ± 0,3	0,4
12,0 ± 0,4	0,3

#### 4.3.2.9 Frequência cardíaca e análise eletrocardiográfica

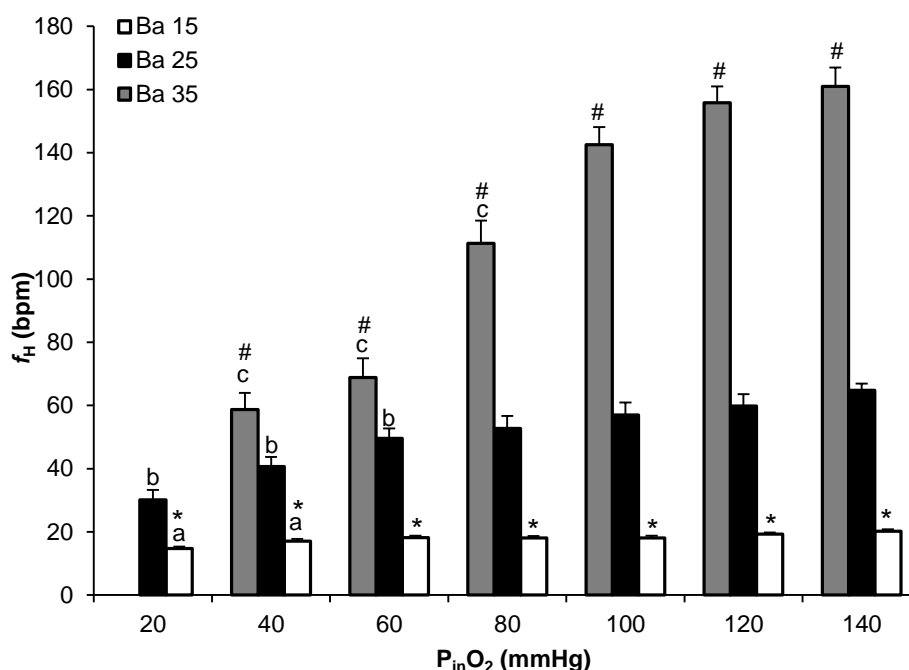
##### 4.3.2.9.1 Frequência cardíaca ( $f_H$ )

Os valores médios da frequência cardíaca ( $f_H$ ) de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 72. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 19.

A redução gradual do  $O_2$  experimental diminuiu significativamente os valores da  $f_H$  nas tensões de 40 e 20 mmHg no grupo Ba15 (~16 bpm), nas tensões de 60 a 20 mmHg no grupo Ba25 (~ 40 bpm) e entre as tensões de 80 e 40 mmHg no grupo Ba35 (~ 80 bpm). Estas reduções foram de 21% em Ba15, 38% em Ba25 e 51% em Ba35.

Ao observar as médias gerais da frequência cardíaca em cada grupo experimental, foram obtidos os valores aproximados de 18 bpm em Ba15, 51 bpm em Ba25 e 116 bpm em Ba35. Desta forma, os grupos Ba15 e Ba35, apresentaram valores significativamente diferentes daqueles encontrados em Ba25 em todas as tensões experimentais, sendo maiores em Ba35 e menores em Ba15.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35°C apresentaram redução de seus valores com a diminuição do  $O_2$  experimental.



**Figura 72.** Frequência cardíaca ( $f_H$  - bpm) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 19.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a frequência cardíaca ( $f_H$  - bpm) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 $\pm$ 0,2	2,5
118,2 $\pm$ 0,4	2,6
99,8 $\pm$ 0,5	2,5
81,4 $\pm$ 0,3	2,1
60,5 $\pm$ 0,3	1,4
40,8 $\pm$ 0,3	1,4

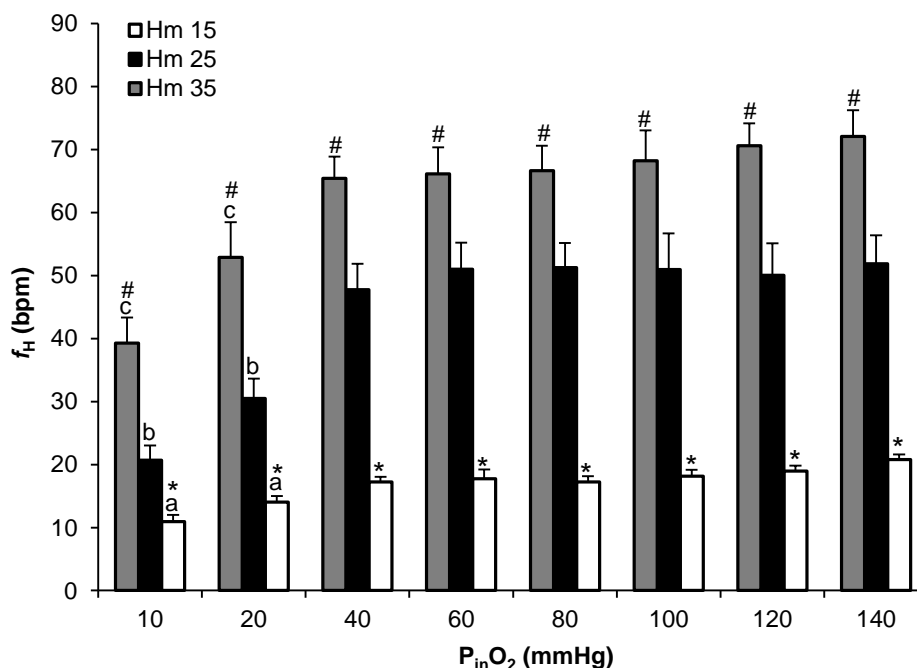
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da frequência cardíaca ( $f_H$ ) em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 73. Os Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 20.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental diminuiu significativamente os valores da  $f_H$  nos três grupos analisados nas tensões de 20 e 10 mmHg (~ 12 bpm em Hm15, ~ 26 bpm em Hm25 e ~ 46 bpm em Hm35). Comparado com os valores

encontrados em normóxia (140 mmHg), estas reduções foram de, aproximadamente, 40% em Hm15, 51% em Hm25 e 36% em Hm35.

Ao observar as médias gerais da frequência cardíaca em cada grupo experimental, foram obtidos os valores aproximados de 17 bpm em Hm15, de 44 bpm em Hm25 e de 63 bpm em Hm35. Desta forma, os grupos Hm15 e Hm35, apresentaram valores significativamente diferentes daqueles encontrados em Hm25 em todas as tensões experimentais, sendo significativamente maiores em Hm35 e menores em Hm15.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C mantiveram-se relativamente constantes durante a redução do  $O_2$ .



**Figura 73.** Frequência cardíaca ( $f_H$  - bpm) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Tabela 20.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a frequência cardíaca ( $f_H$  - bpm) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,4
118,5 ± 0,5	1,4
101,2 ± 0,5	1,3
81,2 ± 0,4	1,3
61,7 ± 0,4	1,3
41,6 ± 0,3	1,4
22,0 ± 0,3	1,7
12,0 ± 0,4	1,9

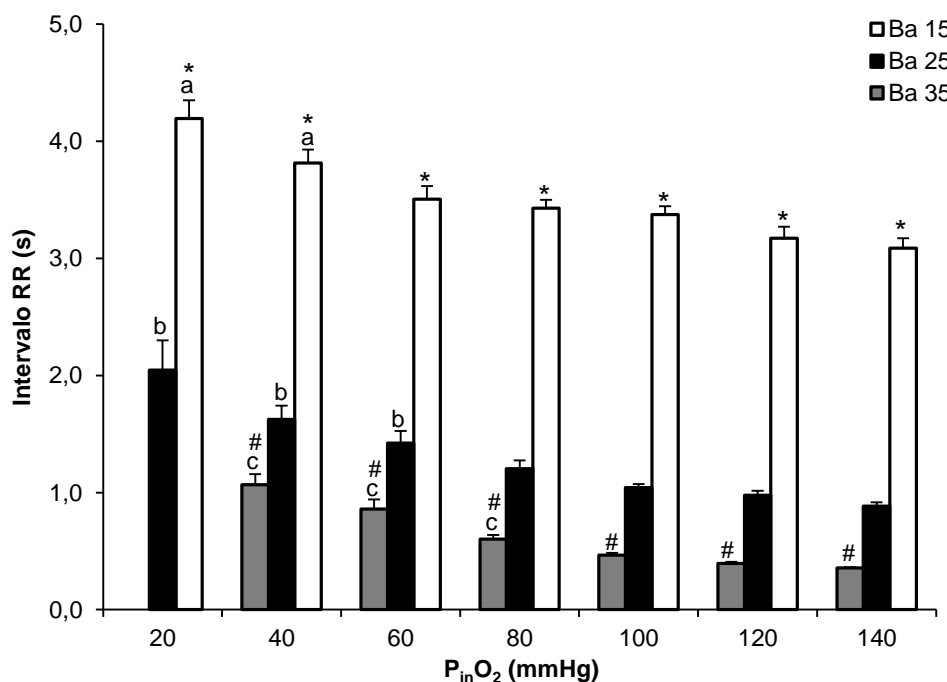
#### 4.3.2.9.2 Duração do intervalo RR

Os valores médios da duração do intervalo RR de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 74. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 21.

A duração do intervalo RR com a redução gradual do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores deste parâmetro nas tensões de 40 e 20 mmHg no grupo Ba15 (~ 4,003 s), nas tensões de 60 a 20 mmHg no grupo Ba25 (~ 1,697 s) e nas tensões de 80 a 40 mmHg no grupo Ba35 (~ 0,844 s). Comparando com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estas alterações foram de, aproximadamente, 30% em Ba15, 92% em Ba25 e 137% em Ba35.

Ao confrontar os valores encontrados no grupo Ba25 (~ 1,314 s) com os encontrado em Ba15 (~ 3,510 s) e Ba35 (~ 0,624 s) foi observado que, em todas as tensões, os valores da duração do intervalo RR foram significativamente maiores em Ba15 e menores em Ba35.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram um leve aumento com a redução do  $O_2$ .



**Figura 74.** Duração do intervalo RR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 21.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para o intervalo RR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	0,4
118,2 ± 0,4	0,4
99,8 ± 0,5	0,4
81,4 ± 0,3	0,5
60,5 ± 0,3	0,6
40,8 ± 0,3	0,7

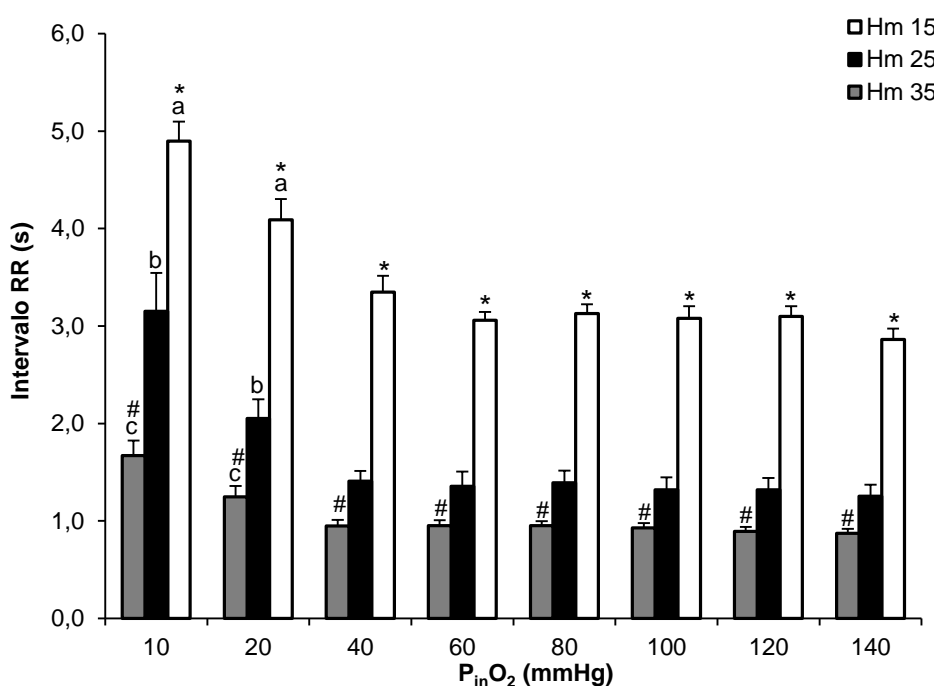
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração do intervalo RR em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 75. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 22.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental aumentou significativamente os valores deste parâmetro nas tensões de 20 e 10 mmHg nos três grupos analisados

(~ 4,495 s em Hm15, ~ 2,603 s em Hm25 e ~ 1,459 s em Hm35) e, comparando com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos foram de, aproximadamente, 57% em Hm15, 108% em Hm25 e 67% em Hm35.

Em todas as tensões de O<sub>2</sub>, os valores médios da duração do intervalo RR foram significativamente diferentes no grupo Hm15 (~ 3,446 s) e Hm35 (~ 1,058 s), quando comparados com o grupo Hm25 (~ 1,657 s), sendo maiores a 15 °C e menores a 35 °C.

Os valores de Q<sub>10</sub> entre 25 e 35 °C apresentaram uma leve redução nas últimas tensões de O<sub>2</sub> experimentais analisadas.



**Figura 75.** Duração do intervalo RR (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 22.** Valores médios de  $Q_{10}$  para o intervalo RR (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,7
118,5 ± 0,5	0,7
101,2 ± 0,5	0,7
81,2 ± 0,4	0,7
61,7 ± 0,4	0,7
41,6 ± 0,3	0,7
22,0 ± 0,3	0,6
12,0 ± 0,4	0,5

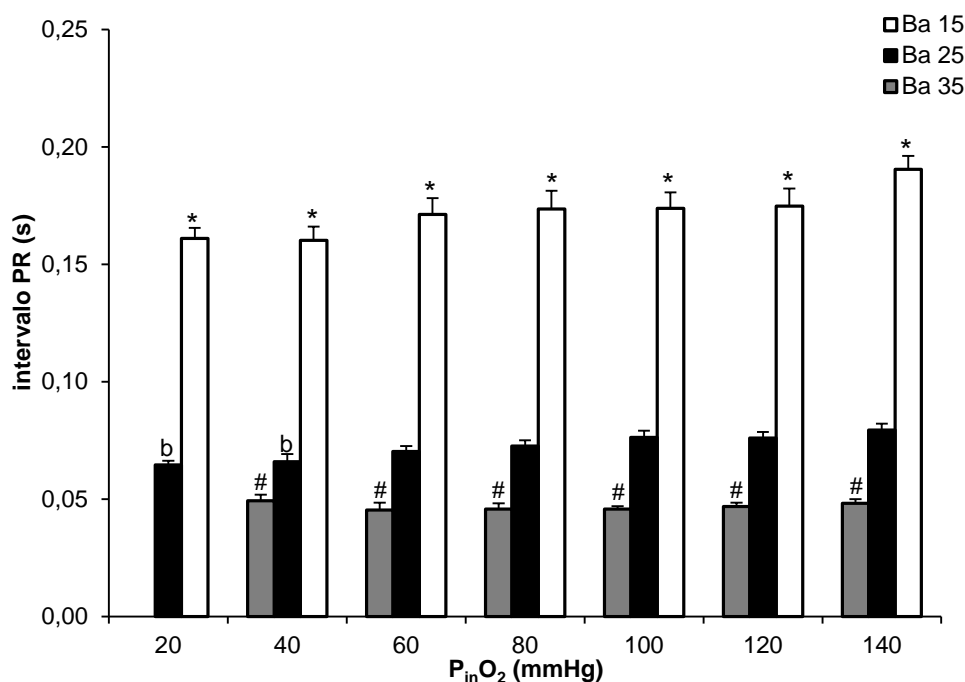
#### 4.3.2.9.3 Duração do intervalo PR

Os valores médios da duração do intervalo PR de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 76. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 23.

A redução gradual do  $O_2$  experimental diminuiu significativamente os valores deste parâmetro nas tensões de 40 e 20 mmHg no grupo Ba25 (~ 0,065 s), refletindo um aumento de 18% comparado com o valor em normóxia (140 mmHg). No entanto, a duração do intervalo PR não sofreu alteração significativa nos grupos Ba15 e Ba35 durante todo o protocolo experimental (~ 0,172 s e ~ 0,047 s, respectivamente).

Ao observar as médias gerais do intervalo PR em cada grupo experimental, foram obtidos os valores aproximados de 0,0172 s em Ba15, 0,072 s em Ba25 e 0,047 s em Ba35. Desta forma, os grupos Ba15 e Ba35, apresentaram valores significativamente diferentes daqueles encontrados em Ba25 em todas as tensões experimentais, sendo maiores em Ba15 e menores em Ba35.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C mantiveram-se relativamente constantes durante a redução do  $O_2$ .



**Figura 76.** Duração do intervalo PR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 23.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para o intervalo PR (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	0,6
118,2 ± 0,4	0,6
99,8 ± 0,5	0,6
81,4 ± 0,3	0,6
60,5 ± 0,3	0,6
40,8 ± 0,3	0,7

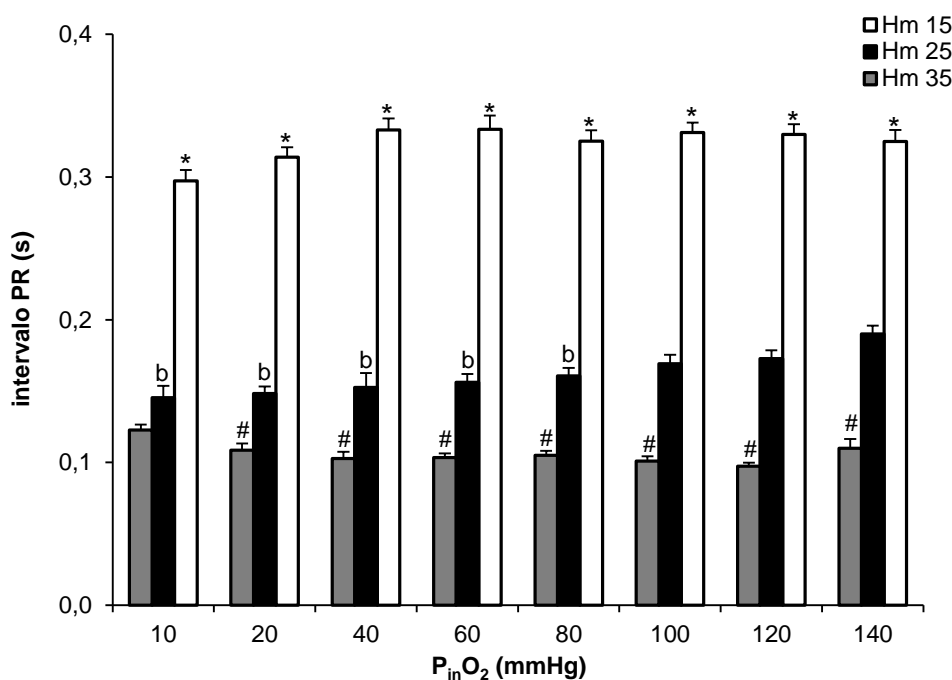
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração do intervalo PR em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 77. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 24.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental diminuiu significativamente os valores deste parâmetro nas tensões de 80 e 10 mmHg no grupo Hm25 (~ 0,153 s), o que corresponde a uma redução de, aproximadamente, 20% nos valores deste

parâmetro, quando comparado com os valores normóxicos (140 mmHg). Entretanto os grupos Hm15 e Hm35 não sofreram alterações significativas nos seus valores com a redução da tensão de O<sub>2</sub> (~ 0,324 s em Hm15 e ~ 0,106 s em Hm35).

Em todas as tensões de O<sub>2</sub>, os valores médios da duração do intervalo PR foram significativamente maiores no grupo Hm15 (~ 0,324 s) quando comparado com o grupo Hm25 (~ 0,162 s). Porém em Hm35 os valores deste parâmetro foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 entre as tensões de 140 a 20 mmHg (~ 0,164 s em Hm25 e ~ 0,104 s em Hm35).

Os valores de Q<sub>10</sub> entre 25 e 35 °C apresentaram um leve aumento nas últimas tensões de O<sub>2</sub> analisadas.



**Figura 77.** Duração do intervalo PR (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 24.** Valores médios de  $Q_{10}$  para o intervalo PR (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,6
118,5 ± 0,5	0,6
101,2 ± 0,5	0,6
81,2 ± 0,4	0,7
61,7 ± 0,4	0,7
41,6 ± 0,3	0,7
22,0 ± 0,3	0,7
12,0 ± 0,4	0,8

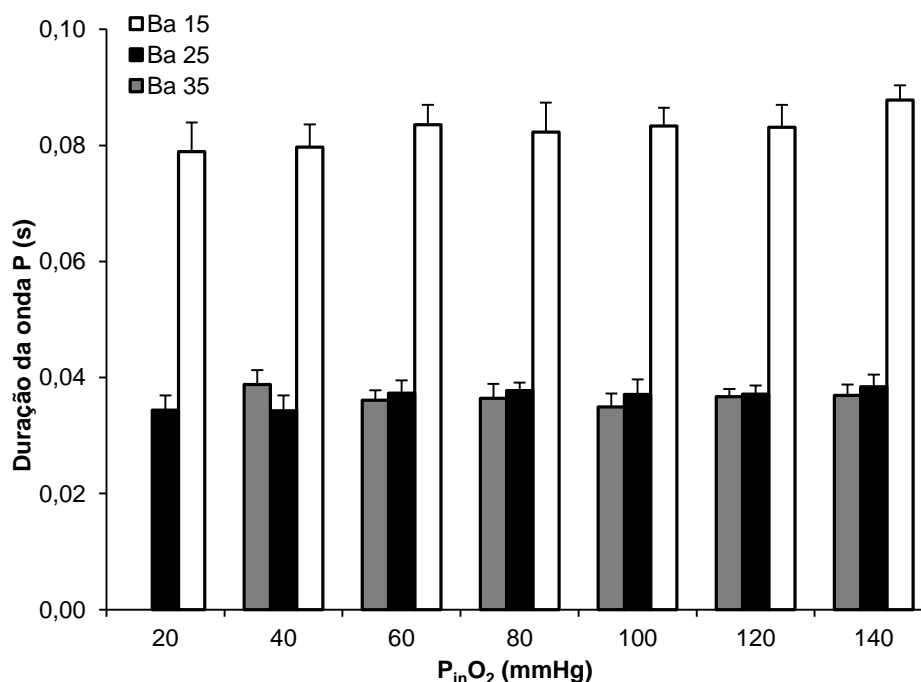
#### 4.3.2.9.4 Duração da onda P

Os valores médios da duração da onda P de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 78. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 25.

A redução gradual do  $O_2$  experimental não alterou os valores deste parâmetro em nenhum dos grupos analisados, os quais mantiveram seus dados constantes durante todo o protocolo experimental (~ 0,083 s em Ba15, ~ 0,037 s em Ba25 e em Ba35).

Ao comparar os grupos Ba15 e Ba25, os valores do intervalo PR a 15 °C foram significativamente superiores aos obtidos em 25 °C em todas as tensões experimentais. No entanto, os valores encontrados em Hm35 não diferiram significativamente dos valores de Hm25 durante todo o protocolo experimental.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram-se relativamente constantes em todas as tensões de  $O_2$  experimentais.



**Figura 78.** Duração da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 25.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a duração da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	1,0
118,2 ± 0,4	1,0
99,8 ± 0,5	0,9
81,4 ± 0,3	1,0
60,5 ± 0,3	1,0
40,8 ± 0,3	1,1

Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração da onda P em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 79. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 26.

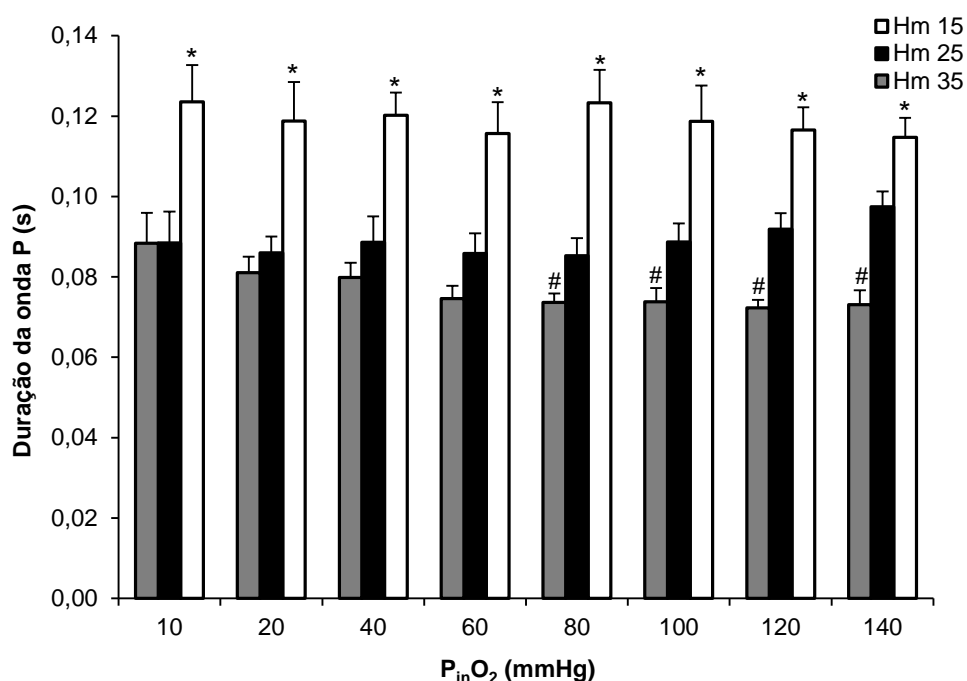
A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental não alterou os valores deste parâmetro em nenhum dos grupos analisados, os quais mantiveram seus dados



constantes durante todo o protocolo experimental (~ 0,119 s em Hm15, ~ 0,089 s em Hm25 e ~ 0,077 s em Ba35).

Ao comparar os grupos Hm15 e Hm25, os valores da duração da onda P a 15 °C foram significativamente superiores aos obtidos em 25 °C em todas as tensões experimentais (~ 0,119 s e ~0,089 s, respectivamente). No entanto, os valores encontrados em Hm35 foram significativamente inferiores aos de Hm25 apenas entre 140 e 80 mmHg (~ 0,091 s em Hm25 e ~ 0,073 s em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram um leve aumento com a redução da tensão  $O_2$ .



**Figura 79.** Duração da onda P (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 26.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a duração da onda P (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,8
118,5 ± 0,5	0,8
101,2 ± 0,5	0,8
81,2 ± 0,4	0,9
61,7 ± 0,4	0,9
41,6 ± 0,3	0,9
22,0 ± 0,3	0,9
12,0 ± 0,4	1,0

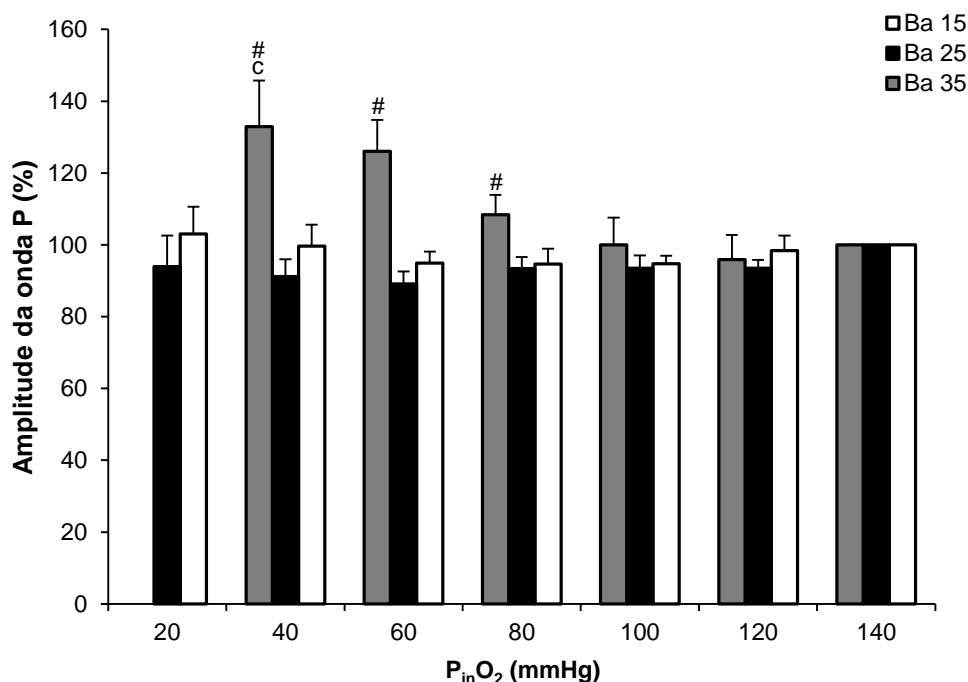
#### 4.3.2.9.5 Amplitude da onda P

Os valores médios da amplitude da onda P de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 80. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 27.

A redução gradual do  $O_2$  experimental não alterou os valores deste parâmetro em Ba15 e Ba25, os quais mantiveram seus dados constantes durante todo o protocolo experimental (~ 97,9% e ~ 93,5%, respectivamente). Entretanto, o grupo Ba35 apresentou um aumento significativo deste parâmetro em 20 mmHg (~ 132%), correspondendo a um aumento de 1,3 vezes na amplitude da onda P.

Ao comparar os grupos Ba15 e Ba25, a amplitude da onda P a 15 °C não diferiu significativamente dos valores aos obtidos em 25 °C em todas as tensões experimentais. No entanto, os valores encontrados em Ba35 foram significativamente maiores que os de Ba25 nas tensões de 80 a 40 mmHg (~ 122,41% em Ba25 e ~ 91,21% em Ba35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram um aumento com a redução do  $O_2$  experimental.



**Figura 80.** Amplitude da onda P (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 27.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a amplitude da onda P (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	1,0
118,2 ± 0,4	1,0
99,8 ± 0,5	1,1
81,4 ± 0,3	1,2
60,5 ± 0,3	1,4
40,8 ± 0,3	1,5

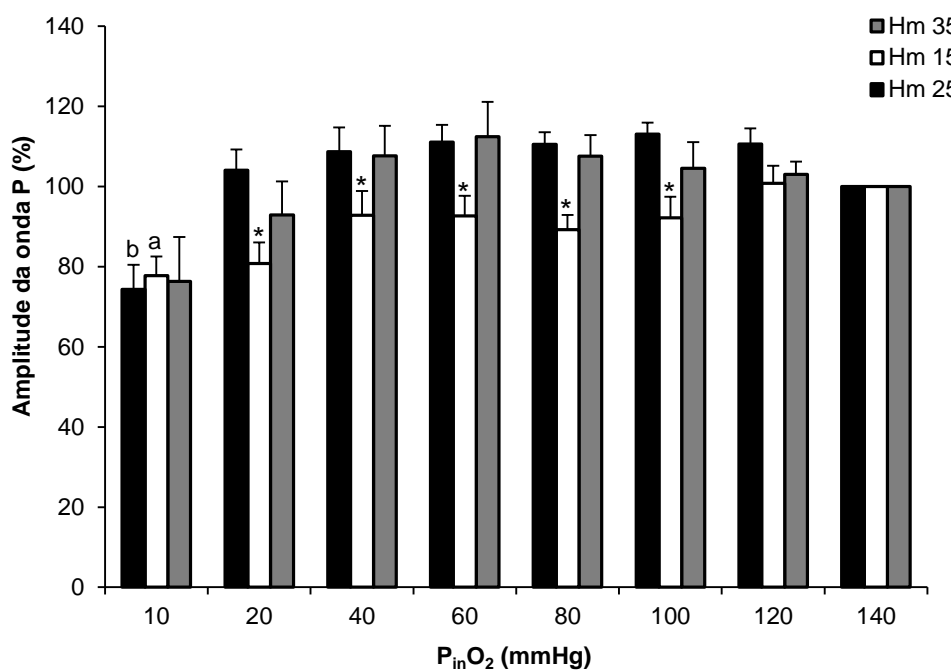
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da amplitude da onda P em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 81. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 28.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental reduziu os valores deste parâmetro na tensão de 10 mmHg nos grupos Hm15 e Hm25 (~ 77,75% e ~ 74,33%

respectivamente). Entretanto, o grupo Hm35 não apresentou alteração dos valores da amplitude da onda P durante todo o protocolo experimental (~ 100,56%).

Ao comparar os grupos Hm15 e Hm25, os valores da amplitude da onda P a 15 °C foram significativamente menores aos obtidos em 25 °C nas tensões de 100 a 20 mmHg (~ 89,57% em Hm15 e ~ 109,50% em Hm25). No entanto, os valores encontrados em Hm35 não diferiram significativamente em relação aos de Hm25 durante todo o protocolo experimental (~ 104,05% em Hm25 e ~ 100,56% em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram-se relativamente constantes no decorrer do protocolo experimental.



**Figura 81.** Amplitude da onda P (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 28.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a amplitude da onda P (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

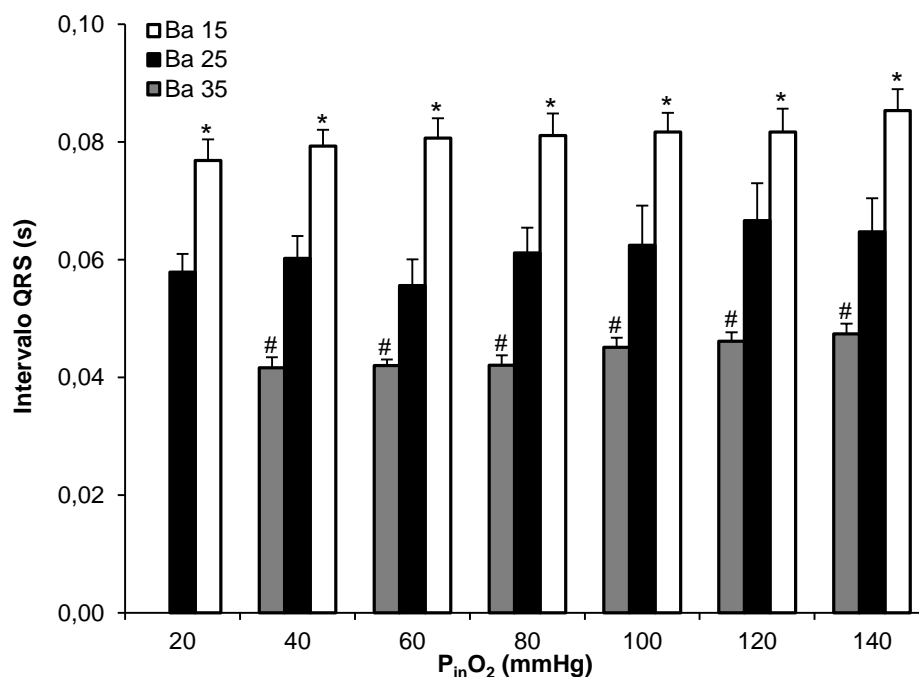
$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,0
118,5 ± 0,5	0,9
101,2 ± 0,5	0,9
81,2 ± 0,4	1,0
61,7 ± 0,4	1,0
41,6 ± 0,3	1,0
22,0 ± 0,3	0,9
12,0 ± 0,4	1,0

#### 4.3.2.9.6 Duração do complexo QRS

Os valores médios da duração do complexo QRS de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 82. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 29.

Os grupos Ba15, Ba25 e Ba35 não apresentaram diferenças significativas com a redução do  $O_2$  experimental (~ 0,081 s, ~ 0,061 s e ~ 0,044 s, respectivamente). No entanto, ao comparar os grupos Ba15 e Ba25, os valores do complexo QRS a 15 °C foram significativamente maiores que os obtidos em 25 °C em todas as tensões experimentais e os valores encontrados em Ba35 foram significativamente menores que os obtidos em 25 °C.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C mantiveram-se relativamente constantes com a redução do  $O_2$ .



**Figura 82.** Duração do complexo QRS (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 29.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a duração do complexo QRS (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

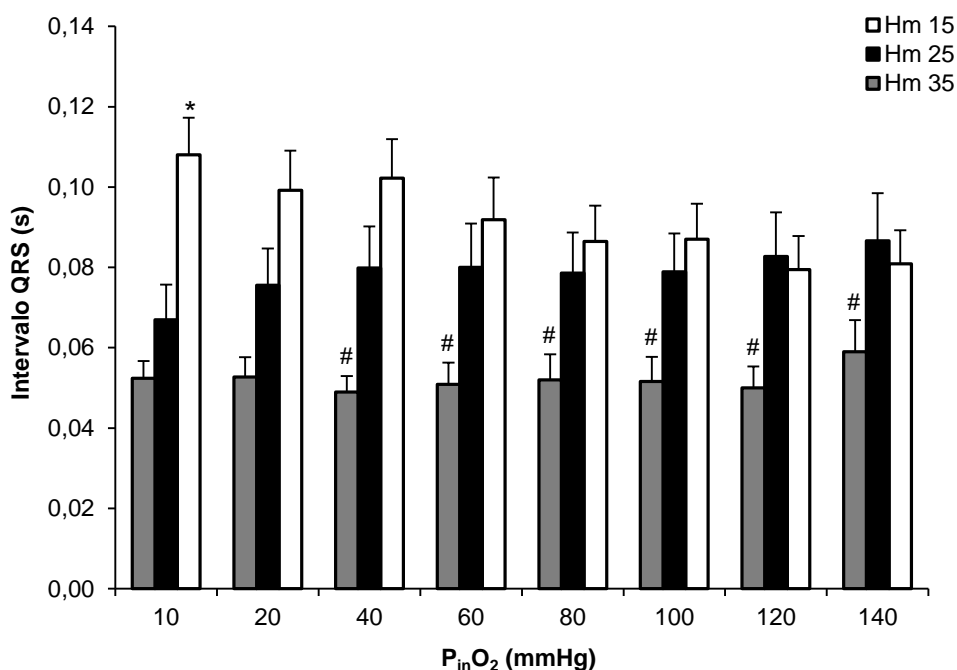
P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	0,7
118,2 ± 0,4	0,7
99,8 ± 0,5	0,7
81,4 ± 0,3	0,7
60,5 ± 0,3	0,8
40,8 ± 0,3	0,7

Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração do complexo QRS em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 83. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 30.

A redução do O<sub>2</sub> experimental não alterou significativamente os valores deste parâmetro nos três grupos experimentais, em todas as tensões de O<sub>2</sub> analisadas (~ 0,092 s em Hm15, ~ 0,079 s em Hm25 e ~ 0,052 s em Hm35).

Ao comparar os grupos Hm15 e Hm25, os valores do complexo QRS a 15 °C foram significativamente superiores aos obtidos em 25 °C apenas em 10 mmHg (~ 0,108 s em Hm15 e ~ 0,067 s em Hm25). No entanto, os valores encontrados em Hm35 foram significativamente inferiores aos de Hm25 entre 140 e 40 mmHg (~ 0,081 s em Hm25 e ~ 0,052 s em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C mantiveram-se relativamente constantes, somente apresentando um aumento na última tensão de  $O_2$  analisada.



**Figura 83.** Duração do complexo QRS (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 30.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a duração do complexo QRS (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,7
118,5 ± 0,5	0,6
101,2 ± 0,5	0,7
81,2 ± 0,4	0,7
61,7 ± 0,4	0,6
41,6 ± 0,3	0,6
22,0 ± 0,3	0,7
12,0 ± 0,4	0,8

#### 4.3.2.9.7 Duração do intervalo QT

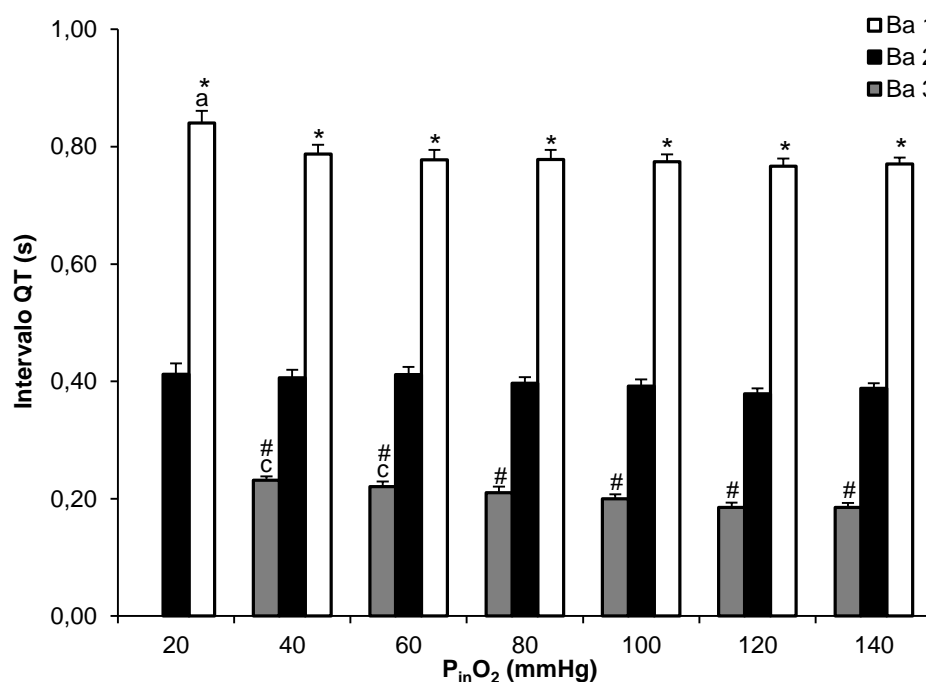
Os valores médios da duração do intervalo QT de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 84. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 31.

A redução do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores deste parâmetro na tensão de 20 mmHg no grupo Ba15 (~ 0,840 s) e nas tensões de 60 e 40 mmHg no grupo Ba35 (~0,226 s), enquanto o grupo Ba25 não sofreu alteração dos valores da duração do intervalo QT durante todo o protocolo experimental (~ 0,205 s). Assim, comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos observados em Ba15 e Ba35 foram de, aproximadamente, 9% e 22%, respectivamente.

Em todas as tensões de  $O_2$ , os valores médios da duração do intervalo QT foram significativamente maiores no grupo Ba15 (~ 0,785 s) quando comparado com o grupo Ba25 (~ 0,398 s), enquanto os valores do grupo Ba35 (~ 0,205 s) foram estatisticamente menores que os encontrados em Ba25.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram-se constantes durante todo o protocolo experimental.





**Figura 84.** Duração do intervalo QT (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 31.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a duração do intervalo QT (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	0,5
118,2 ± 0,4	0,5
99,8 ± 0,5	0,5
81,4 ± 0,3	0,5
60,5 ± 0,3	0,5
40,8 ± 0,3	0,6

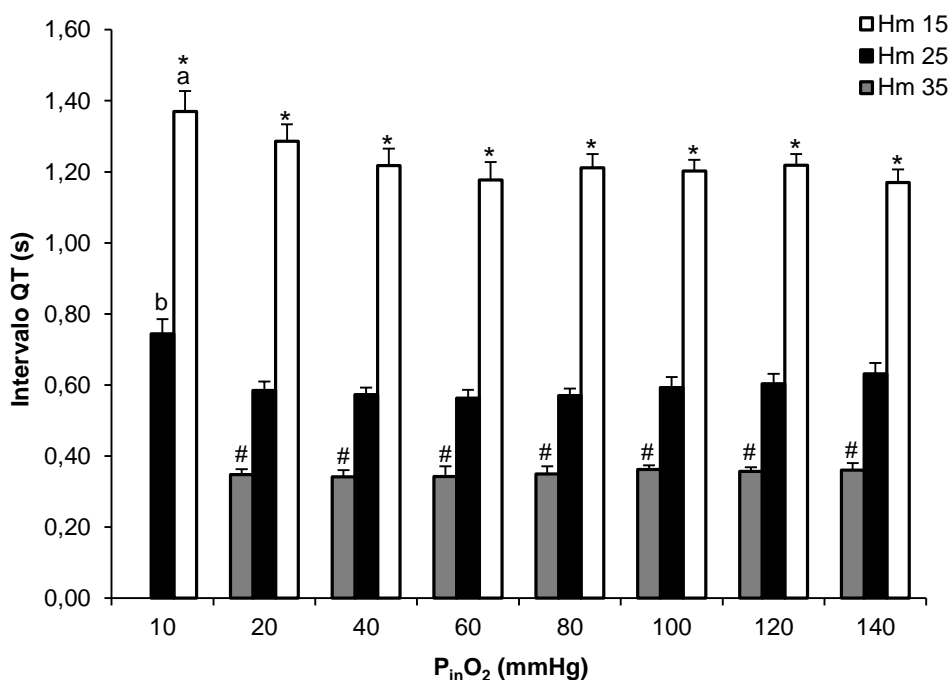
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração do intervalo QT em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 85. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 32.

Em 10 mmHg, a onda T a 35 °C (Hm35) apresentou-se isoeétrica, motivo pelo qual não foram obtidos os dados do intervalo QT nesta tensão.

A redução do  $O_2$  experimental aumentou significativamente os valores deste parâmetro na tensão de 10 mmHg nos grupos Hm15 (~ 1,369 s) e Hm25 (~ 0,744 s), enquanto o grupo Hm35 não sofreu alteração dos valores da duração do intervalo QT durante todo o protocolo experimental (~ 0,205 s). Assim, comparado com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg), estes aumentos observados em Hm15 e Hm25 foram de, aproximadamente, 17%.

Em todas as tensões de  $O_2$ , os valores médios da duração do intervalo QT foram significativamente maiores no grupo Hm15 (~ 1,231 s) quando comparado com o grupo Hm25 (~ 0,608 s), enquanto os valores do grupo Hm35 (~ 0,351 s) foram significativamente menores que os encontrados em Hm25.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C mantiveram-se constantes durante todo o protocolo experimental.



**Figura 85.** Duração do intervalo QT (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.

**Tabela 32.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a duração do intervalo QT (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,6
118,5 ± 0,5	0,6
101,2 ± 0,5	0,6
81,2 ± 0,4	0,6
61,7 ± 0,4	0,6
41,6 ± 0,3	0,6
22,0 ± 0,3	0,6

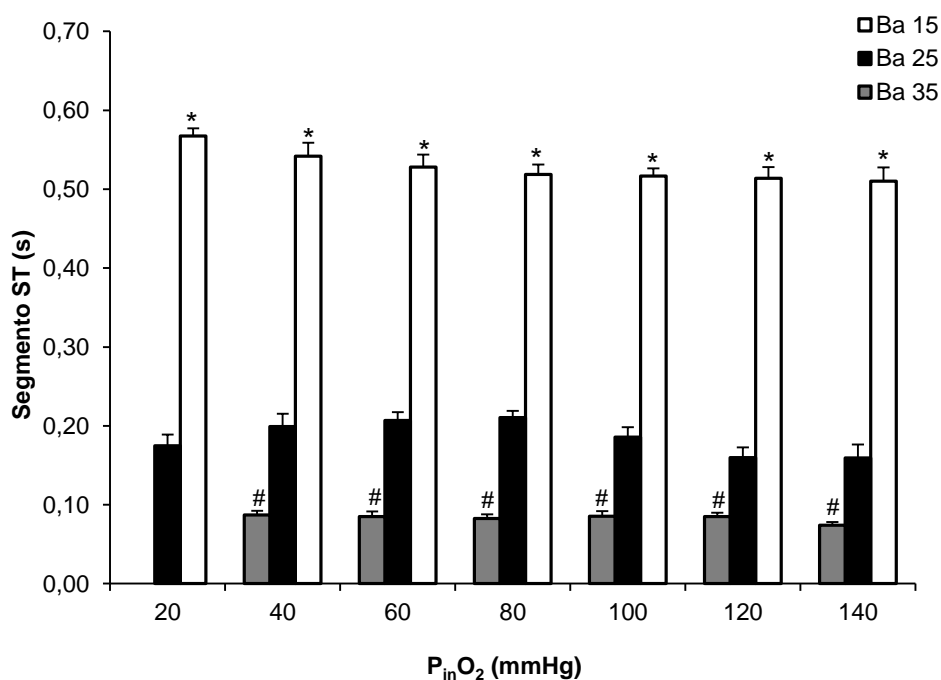
#### 4.3.2.9.8 Duração do segmento ST

Os valores médios da duração do segmento ST de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 86. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 35.

Nos três grupos estudados, a redução gradual do  $O_2$  experimental não alterou significativamente os valores deste parâmetro durante todo o protocolo experimental (~ 0,528 s em Ba15, ~ 0,185 s em Ba25 e ~ 0,083 s em Ba35).

Ao observar as médias gerais do segmento ST em cada grupo experimental, foi observado que, os grupos Ba15 e Ba35, apresentaram valores significativamente diferentes daqueles encontrados em Ba25 em todas as tensões experimentais, sendo maiores em Ba15 e menores em Ba35.

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram uma discreta redução a partir da tensão de 80 mmHg.



**Figura 86.** Duração do segmento ST (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 33.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a duração do segmento ST (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	0,5
118,2 ± 0,4	0,5
99,8 ± 0,5	0,5
81,4 ± 0,3	0,4
60,5 ± 0,3	0,4
40,8 ± 0,3	0,4

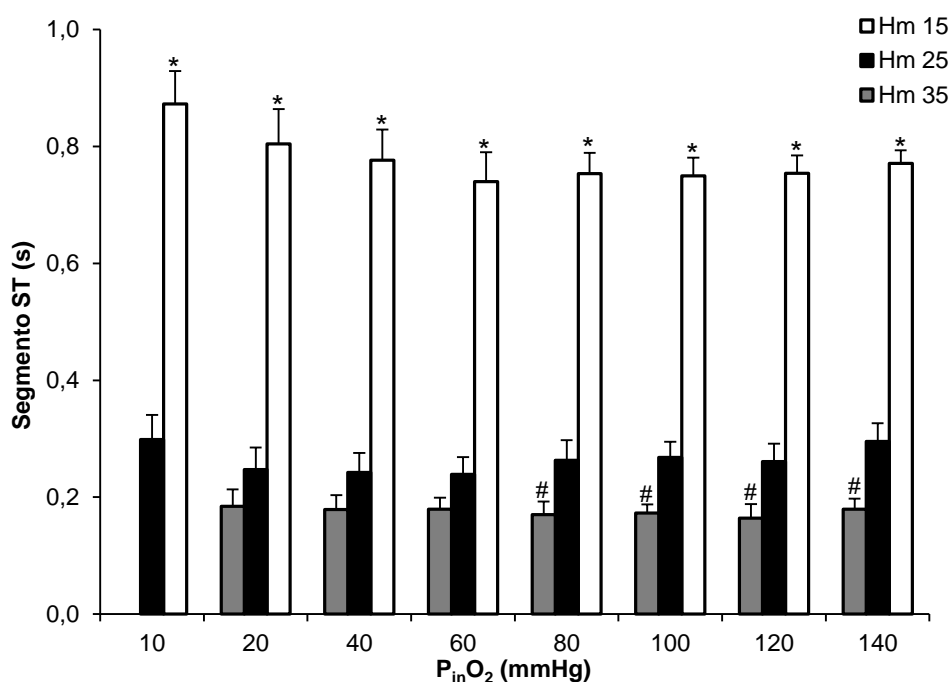
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração do segmento ST em diferentes tensões de oxigênio à 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 87. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 36.

Em 10 mmHg, a onda T a 35 °C (Hm35) apresentou-se isométrica, motivo pelo qual não foram obtidos os dados do intervalo QT nesta tensão.

Nos três grupos estudados, a redução gradual do O<sub>2</sub> experimental não alterou significativamente os valores deste parâmetro durante todo o protocolo experimental (~ 0,778 s em Hm15, ~ 0,264 s em Hm25 e ~ 0,176 s em Hm35).

Em todas as tensões de O<sub>2</sub>, os valores médios da duração do segmento ST foram significativamente maiores no grupo Hm15 (~ 0,778 s) quando comparado com o grupo Hm25 (~ 0,264 s). Porém em Hm35 os valores deste parâmetro foram significativamente menores que os encontrados em Hm25 entre as tensões de 140 a 80 mmHg (~ 0,272 s em Hm25 e ~ 0,172 s em Hm35).

Os valores de Q<sub>10</sub> entre 25 e 35 °C apresentaram um leve aumento a partir da tensão de 60 mmHg.



**Figura 87.** Duração do segmento ST (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; d: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 34.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a duração do segmento ST (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,6
118,5 ± 0,5	0,6
101,2 ± 0,5	0,6
81,2 ± 0,4	0,6
61,7 ± 0,4	0,8
41,6 ± 0,3	0,7
22,0 ± 0,3	0,7

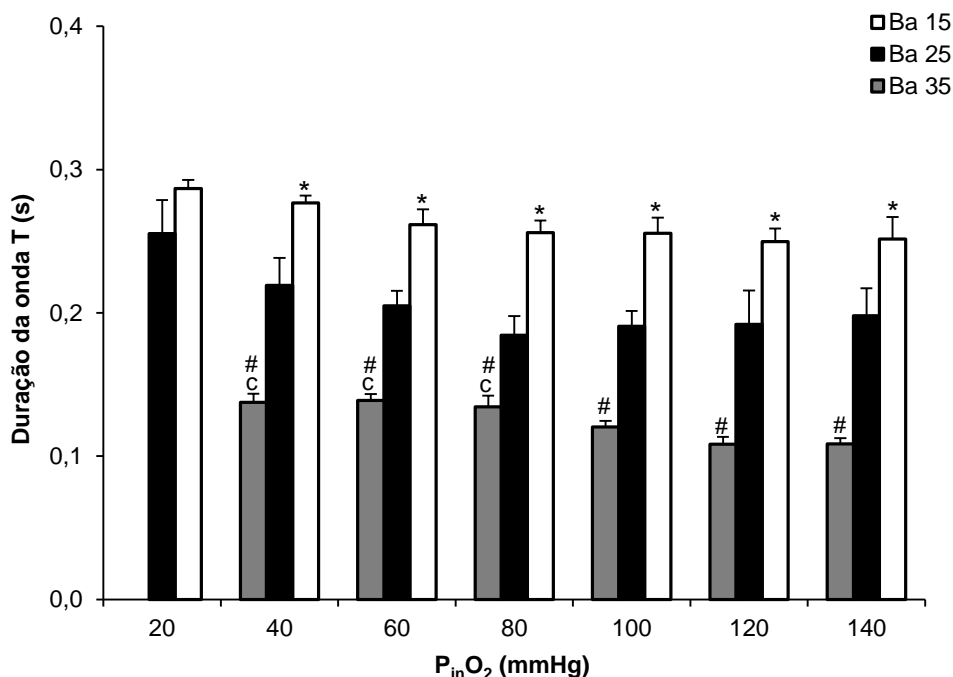
#### 4.3.2.9.9 Duração da onda T

Os valores médios da duração da onda T de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 88. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 37.

A redução gradual do  $O_2$  experimental não alterou os valores deste parâmetro em Ba15 e Ba25, os quais mantiveram seus dados constantes durante todo o protocolo experimental (~ 0,263 e ~ 0,206 s respectivamente). Entretanto, o grupo Ba35 apresentou aumento significativo deste parâmetro nas tensões de 80 a 40 mmHg (~ 0,137 s), correspondendo a um aumento de 26% na duração da onda T.

Ao comparar os grupos Ba15 e Ba25, a duração da onda T em 15 °C foi significativamente maior que em 25 °C (~ 0,258 e 0,198 s, respectivamente) entre as tensões de 140 a 20 mmHg. Enquanto os valores encontrados em Ba35 foram significativamente menores que os de Ba25 em todas as tensões analisadas (~ 0,198 s em Ba25 e ~0,125 s em Ba35).

O  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentou um discreto aumento, seguido de uma leve redução de seus valores, com a redução do  $O_2$  aquático.



**Figura 88.** Duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 35.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a duração da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	0,5
118,2 ± 0,4	0,6
99,8 ± 0,5	0,6
81,4 ± 0,3	0,7
60,5 ± 0,3	0,7
40,8 ± 0,3	0,6

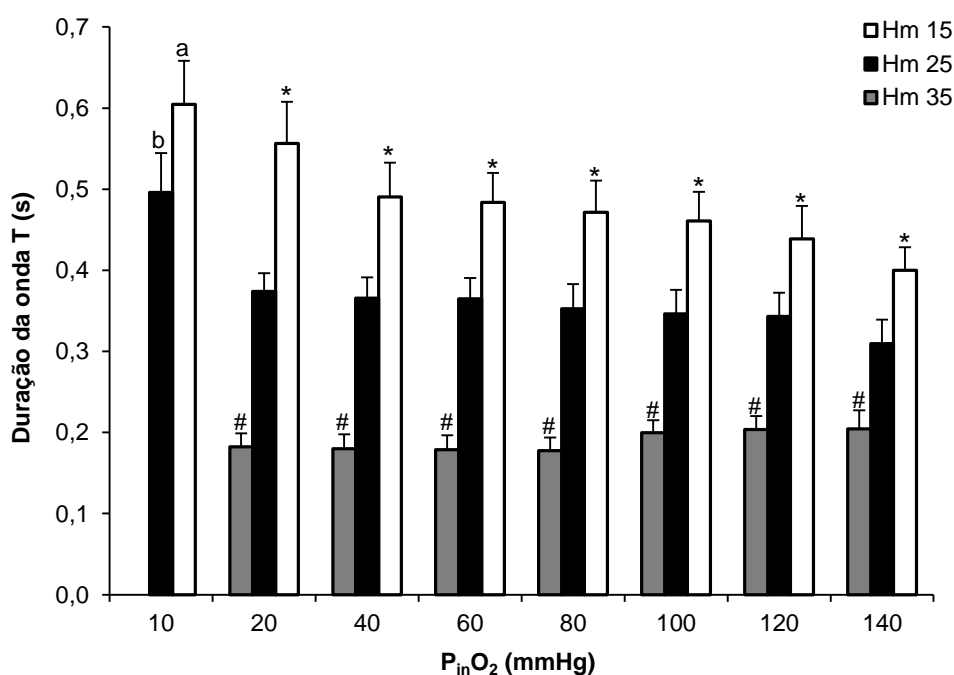
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da duração da onda T em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 89. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 38.

Em 10 mmHg, a onda T a 35 °C (Hm35) apresentou-se isométrica, motivo pelo qual não foram obtidos os dados do intervalo QT nesta tensão.

A redução gradual do  $O_2$  aumentou significativamente os valores da duração da onda T na tensão de 10 mmHg nos grupos Hm15 e Hm25 (~ 0,605 s e ~ 0,496 s, respectivamente), correspondendo a aumentos de 51 e 60%, quando comparados com os valores encontrados em normóxia (140 mmHg). Entretanto, o grupo Hm35 não apresentou alteração dos valores da amplitude da onda P durante todo o protocolo experimental (~ 0,189 s).

Ao comparar os grupos Hm15 e Hm25, os valores da duração da onda T a 15 °C foram significativamente maiores que os obtidos em 25 °C nas tensões de 140 a 20 mmHg (~ 0,472 s em Hm15 e ~ 0,351 s em Hm25). No entanto, os valores encontrados em Hm35 foram significativamente menores que os de Hm25 em todas as tensões analisadas (~ 0,351 em Hm25 e ~ 0,189 s em Hm35).

Os valores de  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentaram uma redução com a diminuição do oxigênio aquático.



**Figura 89.** Duração da onda T (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. ( $P < 0,05$ ). Valores médios  $\pm$  E.P.M.



**Tabela 36.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a duração da onda T (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	0,7
118,5 ± 0,5	0,6
101,2 ± 0,5	0,6
81,2 ± 0,4	0,5
61,7 ± 0,4	0,5
41,6 ± 0,3	0,5
22,0 ± 0,3	0,5

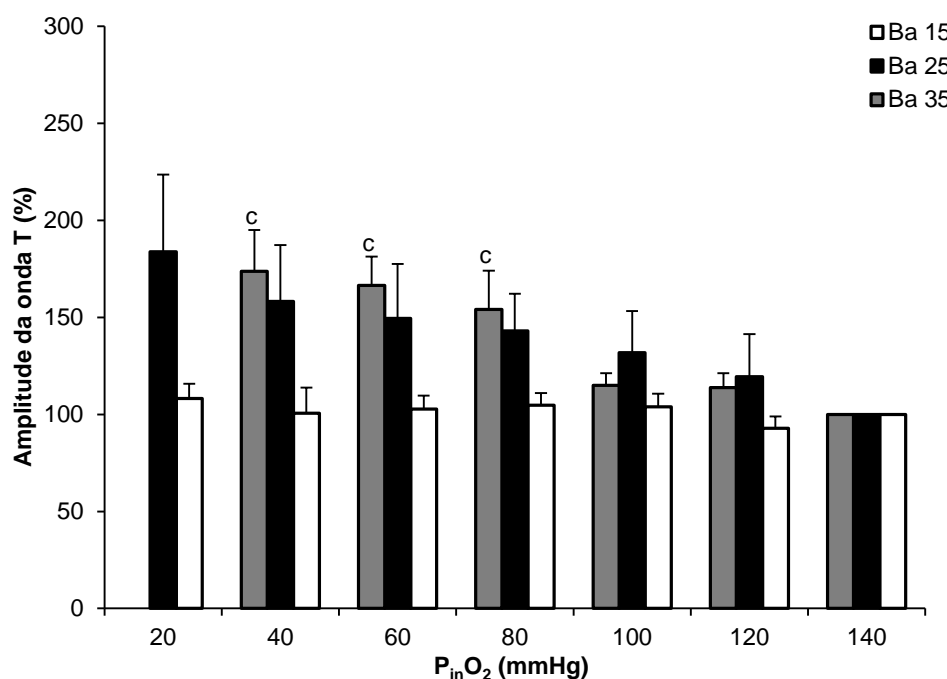
#### 4.3.2.9.10 Amplitude da onda T

Os valores médios da amplitude da onda T de matrinxã, *B. amazonicus*, frente a diferentes tensões experimentais de oxigênio a 15 °C (Ba15), 25 °C (Ba25) e 35 °C (Ba35) estão representados graficamente na figura 90. Os valores de  $Q_{10}$  da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 39.

A redução gradual do  $O_2$  experimental não alterou os valores deste parâmetro em Ba15 e Ba25, os quais se mantiveram constantes durante todo o protocolo experimental (~ 101,87% e ~ 140,84%, respectivamente). Entretanto, o grupo Ba35 apresentou aumento significativo deste parâmetro entre as tensões de 80 a 40 mmHg (~ 164,85%), correspondendo a um aumento de 1,6 vezes na amplitude da onda T, em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg).

Ao comparar os três grupos experimentais, não foram encontradas diferenças significativas entre os valores encontrados durante a redução do  $O_2$ .

O  $Q_{10}$  entre 25 e 35 °C apresentou maiores valores nas últimas tensões de  $O_2$  analisadas.



**Figura 90.** Amplitude da onda T (s) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido à hipóxia gradual à 15 °C (Ba15, n=10), 25 °C (Ba25, n=10) e 35 °C (Ba35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Ba15; b: Ba25; c: Ba35). \* indica diferença significativa entre os grupos Ba15 e Ba25. # indica diferença significativa entre os grupos Ba25 e Ba35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 37.** Valores médios de Q<sub>10</sub> para a amplitude da onda T (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de O<sub>2</sub> analisadas.

P <sub>in</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	Q <sub>10</sub>
141,5 ± 0,2	1,0
118,2 ± 0,4	1,0
99,8 ± 0,5	0,9
81,4 ± 0,3	1,1
60,5 ± 0,3	1,1
40,8 ± 0,3	1,1

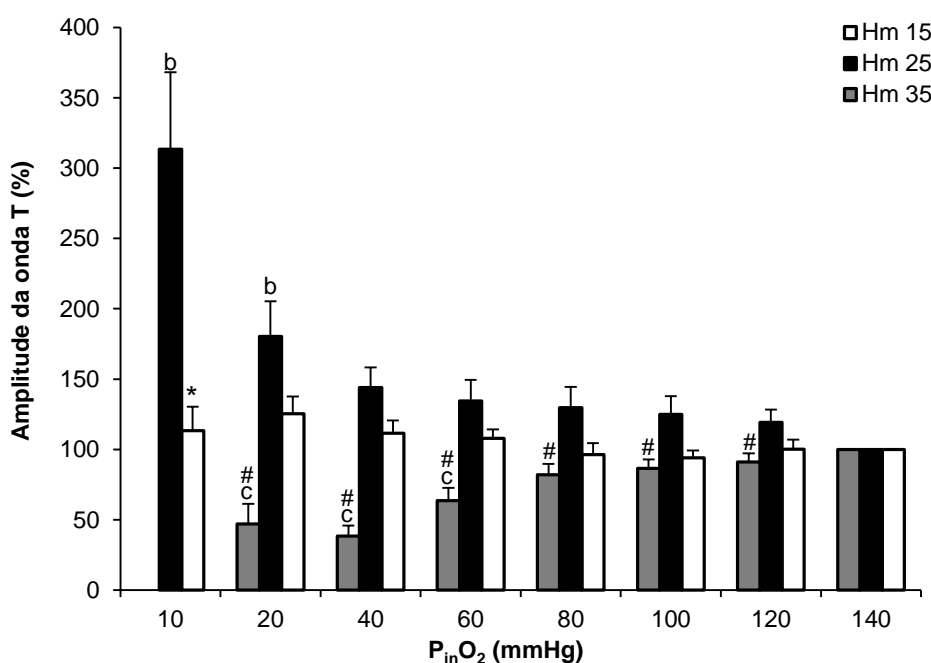
Em traíra, *H. malabaricus*, os valores médios da amplitude da onda T em diferentes tensões de oxigênio a 15 °C (Hm15), 25 °C (Hm25) e 35 °C (Hm35) estão representados graficamente na figura 91. Os valores de Q<sub>10</sub> da taxa metabólica entre 25 e 35 °C estão apresentados na tabela 40.

Em 10 mmHg, a onda T a 35 °C (Hm35) apresentou-se isométrica, motivo pelo qual não foram obtidos os dados do intervalo QT nesta tensão.

A redução gradual do O<sub>2</sub> experimental não alterou os valores deste parâmetro no grupo Hm15 (~ 106,06%), mas aumentou os valores da amplitude da onda T nas tensões de 20 e 10 mmHg no grupo Hm25 (~ 246,94%) e diminuiu os valores deste parâmetro nas tensões de 60 a 20 mmHg no grupo Hm35 (~ 49,62%). Com isso, comparado com os valores obtidos em normóxia (140 mmHg), estas alterações correspondem a um aumento de 2,9 vezes em Hm25 e uma redução de 2 vezes em Hm35.

Comparando os grupos Hm15 e Hm35 com o grupo Hm25, foi observado que tanto a 15 °C, quanto a 35°C houve uma redução nos valores da amplitude da onda T, sendo estas reduções significativas na tensão de 10 mmHg no grupo Hm15 (~ 113,22% em Hm15 e ~ 313,48% em Hm25) e nas tensões de 120 a 20 mmHg no grupo Hm 35 (~ 138,77 % em Hm 25 e ~ 68,05% em Hm35).

Os valores de Q<sub>10</sub> entre 25 e 35 °C apresentaram uma redução com a diminuição do O<sub>2</sub> experimental, sendo observados os menores valores nas últimas tensões de O<sub>2</sub> (40 e 20 mmHg).



**Figura 91.** Amplitude da onda T (s) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida à hipóxia gradual à 15 °C (Hm15, n=10), 25 °C (Hm25, n=10) e 35 °C (Hm35, n=10). Letras indicam diferença significativa em relação aos valores obtidos em normóxia (140 mmHg) nos diferentes grupos (a: Hm15; b: Hm25; c: Hm35). \* indica diferença significativa entre os grupos Hm15 e Hm25. # indica diferença significativa entre os grupos Hm25 e Hm35. (P < 0,05). Valores médios ± E.P.M.

**Tabela 38.** Valores médios de  $Q_{10}$  para a amplitude da onda T (%) de traíra, *Hoplias malabaricus*, entre 25 e 35 °C, nas diferentes tensões de  $O_2$  analisadas.

$P_{in}O_2$ (mmHg)	$Q_{10}$
141,7 ± 0,3	1,0
118,5 ± 0,5	0,8
101,2 ± 0,5	0,7
81,2 ± 0,4	0,6
61,7 ± 0,4	0,5
41,6 ± 0,3	0,3
22,0 ± 0,3	0,3

#### 4.3.2 Efeito da interação das diferentes temperaturas e das diferentes concentrações de $O_2$

Os resultados obtidos quando os dois fatores (temperatura e concentração de  $O_2$ ) foram analisados conjuntamente através da análise estatística ANOVA *two-way*, para verificar a existência de uma possível interação entre as diferentes temperaturas e as diferentes tensões de  $O_2$  estão apresentados nas tabelas 39 a 42, sendo considerados controles os valores normóxicos (140 mmHg) e a temperatura de 25 °C.

##### 4.3.2.1 Efeitos da interação em matrinxã, *Brycon amazonicus*

Houve interação significativa das tensões de  $O_2$  aquáticas e das temperaturas de exposição na taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) na ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ), na frequência respiratória ( $f_R$ ), no volume ventilatório ( $V_T$ ), na pressão intrabucal (PIB) e na frequência cardíaca ( $f_H$ ). Entretanto a pressão intraopercular (PIO), a necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ), a extração de  $O_2$  ( $EO_2$ ) e os parâmetros do registro eletrocardiográfico não foram influenciados pela interação entre os níveis de  $O_2$  e a temperatura do meio.

Com a redução do  $O_2$  foi observada a interação tanto deste fator, quanto da temperatura para reduzir os valores da  $\dot{V}O_2$  em Ba15 e elevar os valores em Ba35, quando comparados com o grupo controle (Ba25), indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  dependem da temperatura da água. No

entanto, a análise das tensões, independente da temperatura da água, avaliou que as tensões de  $O_2$  sofreram redução significativa dos seus valores entre 80 a 40 mmHg e, ao isolar o fator tensão de  $O_2$ , as diferentes temperaturas levaram a valores da  $\dot{V}O_2$  significativamente menores em 15 °C e maiores em 35 °C.

Em normóxia, as diferenças observadas na  $\dot{V}_G$  foram resultantes da ação da temperatura nos grupos Ba15 e Ba35, no entanto, a redução do  $O_2$  levou a interação dos fatores analisados em Ba15 apenas nas tensões de oxigênio mais baixas (40 e 20 mmHg), enquanto em Ba35 essa interação foi observada entre as tensões de 120 a 40 mmHg, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  dependem da temperatura da água. Assim, esses resultados mostraram que, embora os valores em Ba15 tenham sido significativamente diferentes dos encontrados em Ba25 em todas as tensões de  $O_2$  analisadas, apenas nas tensões mais baixas foram observadas interações de ambos os fatores (tensão de  $O_2$  x temperatura), enquanto em Ba35 todos os aumentos significativos encontrados neste parâmetro foram resultados da interação da tensão de  $O_2$  e da temperatura.

A análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água, revelou aumentos significativos entre as tensões de 120 a 40 mmHg, enquanto a análise das diferentes temperaturas, isolando o fator tensão de  $O_2$ , apresentou valores significativamente menores em Ba15 e maiores em Ba35.

Houve interação entre a tensão de  $O_2$  e a temperatura reduzindo os valores da  $f_R$  em Ba15 e elevando em Ba35, quando comparados com o grupo controle (Ba25), indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  dependem da temperatura da água. No entanto, a análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água, avaliou que a  $f_R$  sofreu redução significativa dos seus valores entre 120 a 40 mmHg e, isolando o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas levaram a valores da  $f_R$  significativamente menores em Ba15 e maiores em Ba35.

Em normóxia, as diferenças observadas no  $V_T$  foram resultantes da ação da temperatura nos grupos Ba15 e Ba35. Entretanto, a redução do  $O_2$  levou a interação dos fatores analisados em Ba15 e Ba35 em todas as tensões de  $O_2$  que diferiram significativamente do grupo Ba25, ou seja, a 15 °C a tensão de 40 mmHg apresentou menor valor do  $V_T$  e a 35 °C foram observados maiores valores entre 120 e 60 mmHg. Assim, esses dados indicam que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  sobre o  $V_T$  dependem da temperatura da água.

A análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura, revelou aumentos significativos do  $V_T$  entre 80 e 40 mmHg, enquanto a análise das diferentes temperaturas, isolando o fator tensão de  $O_2$ , apresentou valores significativamente menores em Ba15 e maiores em Ba35, quando comparados com Ba25.

A PIB em normóxia sofreu a ação da temperatura nos grupos Ba15 e Ba35, reduzindo os valores desse parâmetro em ambos os grupos. A redução do  $O_2$  levou a interação tanto deste fator, quanto da temperatura para reduzir os valores em Ba15 e em Ba35, quando comparados com o grupo controle (Ba25), indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  sobre a PIB dependem da temperatura da água. No entanto, a análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água, revelou que a redução do  $O_2$  do meio não alterou os valores deste parâmetro. Porém, isolando-se o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas levaram a valores da PIB significativamente menores em Ba15 e em Ba35.

Em normóxia, a PIO sofreu ação da temperatura no grupo Ba35, reduzindo os valores desse parâmetro. Porém, não foram observadas interações dos fatores analisados em Ba15 e Ba35, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  não dependem da temperatura da água. Além disso, não foram observadas alterações nos valores desse parâmetro com a redução da concentração de  $O_2$ , independente da temperatura da água. Porém, ao isolar as diferentes temperaturas, independente do fator tensão de  $O_2$ , foram encontrados maiores valores da PIO em Ba15 e menores valores em Ba35, quando comparados com Ba25.

A análise da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  revelou que não ocorreu interação dos fatores analisados em Ba15 e Ba35, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  não dependem da temperatura da água. Porém, a análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água, mostrou que a redução do  $O_2$  do meio elevou os valores de  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  entre 100 e 40 mmHg. No entanto, ao isolar-se o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas não apresentaram diferenças nos valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ .

Assim como observado na análise da necessidade ventilatória, a  $EO_2$  também não sofreu interação dos fatores analisados em Ba15 e Ba35, indicando

que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  não dependem da temperatura da água. Contudo, a análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água, revelou que a redução do oxigênio do meio reduziu os valores de  $EO_2$  em 40 mmHg e, ao isolar-se as diferentes temperaturas, independente do fator tensão de  $O_2$ , foram encontrados menores valores em Ba15, quando comparados com Ba25.

A  $f_H$  em normóxia teve seus valores reduzidos em Ba15 e aumentados em Ba35. No entanto, a redução do  $O_2$  levou a interação tanto deste fator, quanto da temperatura para reduzir os valores da  $f_H$  em Ba15 e elevá-los em Ba35, quando comparados com o grupo controle (Ba25), indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  dependem da temperatura da água. Adicionalmente, ao isolar-se o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas levaram a valores de  $f_H$  significativamente menores em Ba15 e maiores em Ba35.

Os parâmetros dos registros eletrocardiográficos tanto em Ba15, quanto em Ba35 não apresentaram interações dos fatores analisados, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  não dependem da temperatura da água.

**Tabela 39.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da  $\dot{V}O_2$  ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\dot{V}_G$  ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $f_R$  ( $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $V_T$  ( $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) e PIB (mmHg) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido a diferentes tensões de  $O_2$  (mmHg) e a diferentes temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ). Análise *two-way*.

TENSÃO	TEMPERATURA	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}_G$	$f_R$	$V_T$	PIB
140	15	48,28 $\pm$ 8,48 <sup>a</sup>	365,88 $\pm$ 302,66 <sup>a</sup>	57,45 $\pm$ 3,73 <sup>a</sup>	6,26 $\pm$ 2,20 <sup>a</sup>	0,13 $\pm$ 0,022 <sup>a</sup>
	25	117,65 $\pm$ 11,48	1050,37 $\pm$ 349,49	82,44 $\pm$ 4,12	13,18 $\pm$ 2,54	0,45 $\pm$ 0,026
	35	293,52 $\pm$ 8,48 <sup>b</sup>	2764,03 $\pm$ 302,6	122,62 $\pm$ 4,37 <sup>b</sup>	22,58 $\pm$ 2,54 <sup>b</sup>	0,17 $\pm$ 0,026 <sup>b</sup>
120	15	45,10 $\pm$ 8,48 <sup>a,*</sup>	543,27 $\pm$ 302,66 <sup>a</sup>	60,73 $\pm$ 3,73 <sup>a,*</sup>	8,61 $\pm$ 2,20	0,13 $\pm$ 0,021 <sup>a,*</sup>
	25	115,45 $\pm$ 10,63	958,79 $\pm$ 349,49	83,89 $\pm$ 4,12	11,28 $\pm$ 2,54	0,41 $\pm$ 0,022
	35	296,97 $\pm$ 8,89 <sup>b,*</sup>	5031,62 $\pm$ 331,55 <sup>b,*</sup>	136,71 $\pm$ 4,67 <sup>b,*</sup>	36,86 $\pm$ 2,88 <sup>b,*</sup>	0,15 $\pm$ 0,021 <sup>b,*</sup>
100	15	40,64 $\pm$ 8,12 <sup>a,*</sup>	595,72 $\pm$ 316,12	61,55 $\pm$ 3,73 <sup>a,*</sup>	9,97 $\pm$ 2,30	0,16 $\pm$ 0,022 <sup>*</sup>
	25	102,26 $\pm$ 1,48	1023,21 $\pm$ 370,69	90,00 $\pm$ 4,12	11,57 $\pm$ 2,54	0,37 $\pm$ 0,022
	35	271,22 $\pm$ 8,48 <sup>b,*</sup>	5168,44 $\pm$ 331,55 <sup>b,*</sup>	137,43 $\pm$ 4,67 <sup>b,*</sup>	35,86 $\pm$ 2,70 <sup>b,*</sup>	0,14 $\pm$ 0,022 <sup>b,*</sup>
80	15	38,35 $\pm$ 8,48 <sup>a,*</sup>	823,02 $\pm$ 302,66 <sup>a</sup>	63,55 $\pm$ 3,73 <sup>a,*</sup>	13,06 $\pm$ 2,20	0,17 $\pm$ 0,021 <sup>*</sup>
	25	101,25 $\pm$ 10,63	1485,80 $\pm$ 349,49	92,33 $\pm$ 4,12	15,90 $\pm$ 2,70	0,37 $\pm$ 0,026
	35	236,33 $\pm$ 8,48 <sup>b,*</sup>	4791,93 $\pm$ 349,49 <sup>b,*</sup>	148,17 $\pm$ 5,05 <sup>b,*</sup>	32,97 $\pm$ 3,12 <sup>b,*</sup>	0,12 $\pm$ 0,026 <sup>b,*</sup>
60	15	37,30 $\pm$ 8,12 <sup>a,*</sup>	915,64 $\pm$ 316,12 <sup>a,*</sup>	66,09 $\pm$ 3,73 <sup>a,*</sup>	14,18 $\pm$ 2,30	0,19 $\pm$ 0,020 <sup>*</sup>
	25	90,60 $\pm$ 10,63	2031,04 $\pm$ 370,69	105,11 $\pm$ 4,12	19,81 $\pm$ 2,70	0,37 $\pm$ 0,024
	35	187,53 $\pm$ 8,48 <sup>b,*</sup>	5040,12 $\pm$ 349,49 <sup>b,*</sup>	157,78 $\pm$ 4,12 <sup>b,*</sup>	33,31 $\pm$ 2,88 <sup>b,*</sup>	0,10 $\pm$ 0,026 <sup>b,*</sup>
40	15	28,94 $\pm$ 8,12 <sup>a,*</sup>	1183,62 $\pm$ 316,12 <sup>a,*</sup>	70,73 $\pm$ 3,73 <sup>a,*</sup>	16,87 $\pm$ 2,30 <sup>a,*</sup>	0,21 $\pm$ 0,019 <sup>a,*</sup>
	25	79,80 $\pm$ 10,63	3540,01 $\pm$ 349,49	122,00 $\pm$ 4,12	30,35 $\pm$ 2,88	0,38 $\pm$ 0,021
	35	118,68 $\pm$ 8,89 <sup>b,*</sup>	4044,23 $\pm$ 331,55 <sup>b</sup>	156,00 $\pm$ 5,05 <sup>b,*</sup>	25,18 $\pm$ 3,12	0,10 $\pm$ 0,028 <sup>*</sup>
TENSÃO		P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P=0,759
140		153,15 $\pm$ 5,53	1393,43 $\pm$ 184,20	87,51 $\pm$ 2,36	14,01 $\pm$ 1,41	0,25 $\pm$ 0,014
120		152,50 $\pm$ 5,42	2177,89 $\pm$ 189,64 <sup>A</sup>	93,78 $\pm$ 2,42 <sup>A</sup>	18,92 $\pm$ 1,48	0,23 $\pm$ 0,012
100		138,04 $\pm$ 5,47	2262,46 $\pm$ 196,43 <sup>A</sup>	96,32 $\pm$ 2,42 <sup>A</sup>	19,13 $\pm$ 1,45	0,22 $\pm$ 0,013
80		125,31 $\pm$ 5,34 <sup>A</sup>	2366,92 $\pm$ 193,19 <sup>A</sup>	101,35 $\pm$ 2,50 <sup>A</sup>	20,64 $\pm$ 1,56 <sup>A</sup>	0,22 $\pm$ 0,014
60		105,14 $\pm$ 5,28 <sup>A</sup>	2662,26 $\pm$ 199,86 <sup>A</sup>	109,66 $\pm$ 2,31 <sup>A</sup>	22,43 $\pm$ 1,52 <sup>A</sup>	0,22 $\pm$ 0,013
40		75,81 $\pm$ 5,35 <sup>A</sup>	2922,62 $\pm$ 192,07 <sup>A</sup>	116,24 $\pm$ 2,50 <sup>A</sup>	24,13 $\pm$ 1,61 <sup>A</sup>	0,23 $\pm$ 0,013
	TEMPERATURA	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001
	15	39,77 $\pm$ 3,39 <sup>B</sup>	737,86 $\pm$ 126,34 <sup>B</sup>	63,35 $\pm$ 1,52 <sup>B</sup>	11,49 $\pm$ 0,92 <sup>B</sup>	0,16 $\pm$ 0,0085 <sup>B</sup>
	25	101,17 $\pm$ 4,46	1681,54 $\pm$ 145,62	95,96 $\pm$ 1,68	17,02 $\pm$ 1,08	0,39 $\pm$ 0,0096
	35	234,04 $\pm$ 3,52 <sup>B</sup>	4473,39 $\pm$ 135,98 <sup>B</sup>	143,12 $\pm$ 1,90 <sup>B</sup>	31,13 $\pm$ 1,18 <sup>B</sup>	0,13 $\pm$ 0,010 <sup>B</sup>
TENSÃO X TEMPERATURA		P<0,001	P<0,001	P=0,003	P<0,001	P=0,013

<sup>A</sup> indica diferenças significativas entre as tensões de  $O_2$ , independentes da temperatura. Diferença em relação aos valores normóxicos (140 mmHg). (Teste Dunnett;  $P < 0,05$ )

<sup>B</sup> indica diferenças significativas entre as diferentes temperaturas, independente da concentração de  $O_2$ . Diferença em relação à 25 $^{\circ}\text{C}$ . (Teste Dunnett;  $P < 0,05$ )

\* indica diferenças significativas entre as temperaturas experimentais, em uma mesma tensão de  $O_2$ , quando há interação entre os dois fatores (temperatura x concentração  $O_2$ ).

Diferenças significativas entre uma mesma tensão, em diferentes temperaturas: <sup>a</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 15 e 25 $^{\circ}\text{C}$ ; <sup>b</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 25 e 35  $^{\circ}\text{C}$ .



**Tabela 40.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da PIO (mmHg),  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - (mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>), EO<sub>2</sub> (%) e f<sub>H</sub> (bpm) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetido a diferentes tensões de O<sub>2</sub> (mmHg) e a diferentes temperaturas (°C). Análise two-way.

TENSÃO	TEMPERATURA	PIO	$\dot{V}_G/\dot{V}O_2$	EO <sub>2</sub>	f <sub>H</sub>
140	15	0,48 $\pm$ 0,033	460,35 $\pm$ 163,16	35,95 $\pm$ 3,99 <sup>a</sup>	20,18 $\pm$ 3,16 <sup>a</sup>
	25	0,45 $\pm$ 0,044	462,49 $\pm$ 199,82	51,62 $\pm$ 4,52	64,74 $\pm$ 4,47
	35	0,22 $\pm$ 0,036 <sup>b</sup>	573,34 $\pm$ 188,40	49,40 $\pm$ 3,61	160,94 $\pm$ 3,65 <sup>b</sup>
120	15	0,48 $\pm$ 0,033	803,12 $\pm$ 163,16	32,43 $\pm$ 3,99 <sup>a</sup>	19,23 $\pm$ 3,16 <sup>a,*</sup>
	25	0,41 $\pm$ 0,038	502,64 $\pm$ 199,82	47,92 $\pm$ 4,52	59,81 $\pm$ 3,87
	35	0,19 $\pm$ 0,036 <sup>b</sup>	1021,46 $\pm$ 178,73 <sup>b</sup>	48,39 $\pm$ 4,88	155,77 $\pm$ 3,46 <sup>b,*</sup>
100	15	0,47 $\pm$ 0,036 <sup>a</sup>	898,93 $\pm$ 170,41	27,98 $\pm$ 3,78 <sup>a</sup>	18,05 $\pm$ 3,16 <sup>a,*</sup>
	25	0,37 $\pm$ 0,038	653,92 $\pm$ 213,62	46,39 $\pm$ 4,52	57,01 $\pm$ 3,87
	35	0,17 $\pm$ 0,038 <sup>b</sup>	1153,24 $\pm$ 188,40 <sup>b</sup>	49,03 $\pm$ 3,78	142,54 $\pm$ 4,14 <sup>b,*</sup>
80	15	0,48 $\pm$ 0,038 <sup>a</sup>	1265,30 $\pm$ 163,16	26,63 $\pm$ 3,78 <sup>a</sup>	18,05 $\pm$ 3,16 <sup>a,*</sup>
	25	0,37 $\pm$ 0,044	852,62 $\pm$ 213,62	43,41 $\pm$ 4,52	52,71 $\pm$ 3,87
	35	0,15 $\pm$ 0,038 <sup>b</sup>	1283,25 $\pm$ 163,16 <sup>b</sup>	47,74 $\pm$ 3,99	111,35 $\pm$ 4,47 <sup>b,*</sup>
60	15	0,51 $\pm$ 0,048	1325,49 $\pm$ 170,41	27,07 $\pm$ 3,78	18,16 $\pm$ 3,16 <sup>a,*</sup>
	25	0,37 $\pm$ 0,041	1369,70 $\pm$ 199,82	38,70 $\pm$ 4,52	49,60 $\pm$ 4,47
	35	0,15 $\pm$ 0,041 <sup>b</sup>	1607,22 $\pm$ 178,73	48,01 $\pm$ 4,52	68,85 $\pm$ 3,46 <sup>b,*</sup>
40	15	0,46 $\pm$ 0,041	2327,09 $\pm$ 188,40	25,40 $\pm$ 3,78	17,05 $\pm$ 3,16 <sup>a,*</sup>
	25	0,38 $\pm$ 0,036	2367,92 $\pm$ 199,82	33,72 $\pm$ 4,88	40,71 $\pm$ 3,87
	35	0,13 $\pm$ 0,041 <sup>b</sup>	2094,40 $\pm$ 188,40 <sup>b</sup>	49,18 $\pm$ 4,88 <sup>b</sup>	58,75 $\pm$ 3,30 <sup>b,*</sup>
<b>TENSÃO</b>		<b>P=0,426</b>	<b>P&lt;0,001</b>	<b>P=0,085</b>	<b>P&lt;0,001</b>
140		0,38 $\pm$ 0,022	498,73 $\pm$ 106,48	45,66 $\pm$ 2,34	81,95 $\pm$ 2,19
120		0,36 $\pm$ 0,021	775,74 $\pm$ 104,61	42,91 $\pm$ 2,59	78,27 $\pm$ 2,03
100		0,34 $\pm$ 0,022	902,03 $\pm$ 110,64 <sup>A</sup>	41,13 $\pm$ 2,34	72,53 $\pm$ 2,16 <sup>A</sup>
80		0,33 $\pm$ 0,023	1133,73 $\pm$ 104,81 <sup>A</sup>	39,26 $\pm$ 2,37	60,70 $\pm$ 2,24 <sup>A</sup>
60		0,34 $\pm$ 0,025	1434,14 $\pm$ 105,89 <sup>A</sup>	37,93 $\pm$ 2,48	45,54 $\pm$ 2,16 <sup>A</sup>
40		0,32 $\pm$ 0,023	2263,14 $\pm$ 111,01 <sup>A</sup>	36,10 $\pm$ 2,63 <sup>A</sup>	38,84 $\pm$ 2,00 <sup>A</sup>
	<b>TEMPERATURA</b>	<b>P&lt;0,001</b>	<b>P=0,078</b>	<b>P&lt;0,001</b>	<b>P&lt;0,001</b>
	15	0,48 $\pm$ 0,016 <sup>B</sup>	1180,05 $\pm$ 69,41	29,24 $\pm$ 1,57 <sup>B</sup>	18,45 $\pm$ 1,29 <sup>B</sup>
	25	0,39 $\pm$ 0,017	1034,88 $\pm$ 83,50	43,63 $\pm$ 1,87	54,10 $\pm$ 1,67
	35	0,17 $\pm$ 0,016 <sup>B</sup>	1288,82 $\pm$ 73,97	48,62 $\pm$ 1,76	116,37 $\pm$ 1,54 <sup>B</sup>
<b>TENSÃO X TEMPERATURA</b>		<b>P=0,973</b>	<b>P=0,660</b>	<b>P=0,822</b>	

<sup>A</sup> indica diferenças significativas entre as tensões de O<sub>2</sub>, independentes da temperatura. Diferença em relação aos valores normóxicos (140 mmHg). (Teste Dunnett; P<0,05)

<sup>B</sup> indica diferenças significativas entre as diferentes temperaturas, independente da concentração de O<sub>2</sub>. Diferença em relação à 25°C. (Teste Dunnett; P<0,05)

\* indica diferenças significativas entre as temperaturas experimentais, em uma mesma tensão de O<sub>2</sub>, quando há interação entre os dois fatores (temperatura x concentração O<sub>2</sub>).

Diferenças significativas entre uma mesma tensão, em diferentes temperaturas: <sup>a</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 15 e 25°C; <sup>b</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 25 e 35 °C.

#### 4.3.2.2 Efeitos da interação em traíra, *Hoplias malabaricus*

Houve interação significativa das tensões de O<sub>2</sub> aquáticas e das temperaturas de exposição na taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ), na ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ), na frequência respiratória ( $f_R$ ), no volume ventilatório ( $V_T$ ), na pressão intrabucal (PIB), na pressão intraopercular (PIO), na necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ) e na extração de oxigênio (EO<sub>2</sub>). Entretanto a frequência cardíaca ( $f_H$ ) e os parâmetros dos registros eletrocardiográficos não foram influenciados pela interação entre os níveis de O<sub>2</sub> e a temperatura da água.

A  $\dot{V}O_2$  em normóxia teve seus valores reduzidos em Hm15 e aumentados em Hm35. No entanto, a redução do O<sub>2</sub> levou a interação tanto deste fator, quanto da temperatura para reduzir os valores da  $\dot{V}O_2$  em Hm15 entre 120 a 20 mmHg, e elevar os valores em Hm35 entre 120 a 60 mmHg, quando comparados com o grupo controle (Hm25), indicando que os efeitos das diferentes concentrações de O<sub>2</sub> dependem da temperatura da água. No entanto, a análise das tensões de O<sub>2</sub>, independente da temperatura da água, revelou que as tensões de O<sub>2</sub> sofreram redução significativa dos seus valores entre 60 a 40 mmHg e, isolando-se o fator tensão de O<sub>2</sub>, as diferentes temperaturas levaram a valores da  $\dot{V}O_2$  significativamente menores em 15 °C e maiores em 35 °C.

Em normóxia, a  $\dot{V}_G$  teve seus valores diminuídos à 15 °C e elevados à 35 °C. No entanto, a redução do O<sub>2</sub> levou a interação dos fatores analisados em Hm15 e Hm35 apenas nas tensões de 40 a 10 mmHg, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de O<sub>2</sub> sobre a  $\dot{V}_G$  dependem da temperatura da água nesta tensões de O<sub>2</sub>. Assim, esses resultados mostram que embora os valores em Hm15 e Hm35 tenham sido estatisticamente diferentes dos encontrados em Hm25 em todas as tensões de O<sub>2</sub> analisadas, apenas nas tensões mais baixas foram observadas interações de ambos os fatores.

A análise das tensões de O<sub>2</sub>, independente da temperatura da água, revelou aumentos significativos da  $\dot{V}_G$  entre as tensões de 60 a 10 mmHg, enquanto a análise das diferentes temperaturas, isolando o fator tensão de O<sub>2</sub>, apresentou valores significativamente menores em Ba15 e maiores em Ba35.

A  $f_R$  em normóxia sofreu apenas a ação da temperatura nos grupos Ba15 e Ba35, reduzindo os valores desse parâmetro à 15 °C e elevando à 35 °C.

Entretanto, a redução do  $O_2$  levou a interação dos fatores analisados em Hm15 e Hm35, diferindo significativamente dos valores do grupo Hm25, ou seja, à 15 °C as tensões de 120 a 10 mmHg apresentaram menores valores de  $f_R$  e à 35 °C foram observados maiores valores entre 120 e 80 mmHg. Assim esses dados indicam que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  sobre a  $f_R$  dependem da temperatura da água. No entanto, a análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água mostrou que a  $f_R$  apresentou aumento significativo dos seus valores entre 60 a 10 mmHg e, isolando o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas levaram a valores da  $f_R$  significativamente menores em Hm,15 e maiores em Hm35.

Em normóxia, o  $V_T$  apresentou aumento de seus valores no grupo Hm35, enquanto o grupo Hm15 não diferiu significativamente do controle. Porém, a redução do  $O_2$  levou a interação dos fatores analisados em Hm15 nas tensões de 40 a 10 mmHg e em Hm35 nas tensões de 80 a 10 mmHg. Assim, estes resultados indicam que, embora os valores de  $V_T$  em Hm15 e Hm35 tenham apresentado diferenças em todas as tensões de  $O_2$ , os valores deste parâmetro apenas sofreram interação nas tensões mais baixas, indicando que os efeitos destas diferentes concentrações de  $O_2$  dependem da temperatura da água.

A análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura, revelou aumentos significativos do  $V_T$  entre as tensões de 60 a 10 mmHg, enquanto a análise das diferentes temperaturas, isolando o fator tensão de  $O_2$ , apresentou valores significativamente menores em Ba15 e maiores em Hm35, quando comparados com Hm25.

A PIB em normóxia sofreu apenas a ação da temperatura no grupo Hm35, elevando os valores desse parâmetro. No entanto, a redução do  $O_2$  levou à interação tanto deste fator, quanto da temperatura, para reduzir os valores em Hm15 (10 mmHg) e elevar os valores em Hm35 entre 120 a 40 mmHg e reduzir os valores em 10 mmHg, quando comparados com o grupo controle (Hm25), indicando que os efeitos das diferentes concentrações de  $O_2$  dependem da temperatura da água. No entanto, a análise das tensões, independente da temperatura da água, avaliou que a redução do  $O_2$  do meio elevou os valores deste parâmetro entre 60 e 10 mmHg. Porém, isolando o fator tensão de oxigênio, apenas a 15 °C foram encontrados valores da PIB significativamente menores que em 25 °C.

Em normóxia, a PIO apresentou menores valores em Hm15 e maiores valores em Hm35. Entretanto, a redução do  $O_2$  levou à interação dos fatores

analisados em Hm 15 e Hm 35 em todas as tensões que diferiram significativamente do grupo Hm 25, ou seja, a 15 °C as tensões de 120 a 10 mmHg apresentaram menores valores da PIO e a 35 °C foram observados maiores valores entre 120 e 40 mmHg e menores valores em 10 mmHg. Assim, esses dados indicam que os efeitos das diferentes concentrações de O<sub>2</sub> dependem da temperatura da água. No entanto, a análise das tensões, independente da temperatura da água, avaliou que a PIO apresentou aumento significativo dos seus valores entre 80 a 10 mmHg e, isolando o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas levaram a valores da PIO significativamente menores em Hm 15 e maiores em Hm 35.

A análise da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  revelou que, em normóxia, este parâmetro sofreu a ação da temperatura no grupo Hm 35, elevando os valores desse parâmetro. No entanto, a redução do O<sub>2</sub> levou à interação dos fatores analisados apenas na tensão de 10 mmHg em Hm15 e nas tensões de 20 e 10 mmHg em Hm35. Assim esses resultados mostram que embora os valores em Hm15 e Hm35 tenham sido significativamente diferentes dos encontrados em Hm25 em todas as tensões, apenas nas tensões mais baixas foram observadas interações de ambos os fatores. Da mesma forma que o resultado da interação, a análise das tensões de O<sub>2</sub>, independente da temperatura da água, revelou que, apenas em 20 e 10 mmHg, ocorreram aumentos significativos dos valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  e, ao isolar o fator tensão de oxigênio, as diferentes temperaturas levaram a valores da deste parâmetro significativamente menores em Hm15 e maiores em Hm35, quando comparados com Hm25.

Assim como observado na análise da necessidade ventilatória, a EO<sub>2</sub>, em normóxia, apresentou redução significativa de seus valores em Hm35, no entanto a redução do O<sub>2</sub> levou a interação dos fatores analisados apenas nas tensões de 20 e 10 mmHg em Hm15 e nas tensões de 120 e 10 mmHg em Ba35. Contudo, a análise das tensões de oxigênio, independente da temperatura da água, revelou que a redução do oxigênio do meio reduziu os valores da EO<sub>2</sub> entre 60 e 10 mmHg e, ao isolar as diferentes temperaturas, independente do fator tensão de O<sub>2</sub>, foram encontrados valores significativamente menores em Hm35, quando comparados com Hm25.

A  $f_H$  em normóxia sofreu a ação da temperatura nos grupos Hm15 e Hm35. Entretanto, este parâmetro não sofreu interação dos fatores analisados em Hm15 e Hm35, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de O<sub>2</sub> não

dependem da temperatura da água. Contudo, a análise das tensões de  $O_2$ , independente da temperatura da água, revelou que a redução do oxigênio do meio reduziu os valores da  $f_H$  em 20 e 10 mmHg e, ao isolar as diferentes temperaturas, independente do fator tensão de  $O_2$ , foram encontrados menores valores em Hm15 e maiores valores em Hm35, quando comparados com Hm25.

**Tabela 41.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da  $\dot{V}O_2$  ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\dot{V}_G$  ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $f_R$  ( $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $V_T$  ( $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) e PIB (mmHg) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida a diferentes tensões de  $O_2$  (mmHg) e a diferentes temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ). Análise two-way.

TENSÃO	TEMPERATURA	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}_G$	$f_R$	$V_T$	PIB
140	15	33,56 $\pm$ 4,14 <sup>a</sup>	114,62 $\pm$ 241,27 <sup>a</sup>	24,50 $\pm$ 3,23 <sup>a</sup>	4,48 $\pm$ 3,17	0,12 $\pm$ 0,028
	25	62,21 $\pm$ 3,87	237,98 $\pm$ 208,95	42,09 $\pm$ 3,08	5,62 $\pm$ 3,17	0,14 $\pm$ 0,021
	35	100,68 $\pm$ 3,65 <sup>b</sup>	559,81 $\pm$ 255,91 <sup>b</sup>	54,00 $\pm$ 3,62 <sup>b</sup>	10,38 $\pm$ 3,39 <sup>b</sup>	0,25 $\pm$ 0,021 <sup>b</sup>
120	15	31,48 $\pm$ 3,87 <sup>a,*</sup>	121,27 $\pm$ 241,27 <sup>a</sup>	26,50 $\pm$ 3,23 <sup>a,*</sup>	4,59 $\pm$ 3,17 <sup>a</sup>	0,12 $\pm$ 0,023
	25	62,94 $\pm$ 3,46	292,01 $\pm$ 218,24	42,00 $\pm$ 3,23	6,82 $\pm$ 3,39	0,16 $\pm$ 0,021
	35	97,28 $\pm$ 3,87 <sup>b,*</sup>	805,54 $\pm$ 255,91 <sup>b</sup>	57,12 $\pm$ 3,62 <sup>b,*</sup>	14,54 $\pm$ 3,17 <sup>b</sup>	0,29 $\pm$ 0,026 <sup>b,*</sup>
100	15	25,41 $\pm$ 3,46 <sup>a,*</sup>	123,38 $\pm$ 228,89 <sup>a</sup>	26,90 $\pm$ 3,23 <sup>a,*</sup>	4,61 $\pm$ 2,83 <sup>a</sup>	0,14 $\pm$ 0,023
	25	62,25 $\pm$ 3,65	339,50 $\pm$ 208,95	44,60 $\pm$ 3,23	7,72 $\pm$ 2,70	0,19 $\pm$ 0,021
	35	99,80 $\pm$ 4,14 <sup>b,*</sup>	880,21 $\pm$ 273,57 <sup>b</sup>	57,67 $\pm$ 3,41 <sup>b,*</sup>	15,94 $\pm$ 3,39 <sup>b</sup>	0,28 $\pm$ 0,026 <sup>b,*</sup>
80	15	21,88 $\pm$ 3,65 <sup>a,*</sup>	156,74 $\pm$ 228,89 <sup>a</sup>	28,60 $\pm$ 3,23 <sup>a,*</sup>	5,49 $\pm$ 2,83 <sup>a</sup>	0,15 $\pm$ 0,023 <sup>a,*</sup>
	25	61,07 $\pm$ 3,65	510,98 $\pm$ 208,95	48,55 $\pm$ 3,08	10,45 $\pm$ 2,99	0,20 $\pm$ 0,021
	35	97,74 $\pm$ 3,65 <sup>b,*</sup>	1311,19 $\pm$ 273,57 <sup>b</sup>	62,11 $\pm$ 3,41 <sup>b,*</sup>	21,01 $\pm$ 3,17 <sup>b,*</sup>	0,29 $\pm$ 0,026 <sup>b</sup>
60	15	19,84 $\pm$ 3,87 <sup>a,*</sup>	195,30 $\pm$ 241,27 <sup>a</sup>	30,20 $\pm$ 3,23 <sup>a,*</sup>	6,57 $\pm$ 2,83 <sup>a</sup>	0,17 $\pm$ 0,023 <sup>a,*</sup>
	25	63,68 $\pm$ 3,87	847,21 $\pm$ 218,24	60,82 $\pm$ 3,08	13,22 $\pm$ 3,17	0,28 $\pm$ 0,024
	35	84,29 $\pm$ 4,14 <sup>*</sup>	1621,05 $\pm$ 295,49 <sup>b</sup>	65,57 $\pm$ 3,86	24,10 $\pm$ 3,66 <sup>b,*</sup>	0,30 $\pm$ 0,026
40	15	14,48 $\pm$ 3,30 <sup>a,*</sup>	242,58 $\pm$ 228,89 <sup>a,*</sup>	32,10 $\pm$ 3,23 <sup>a,*</sup>	8,00 $\pm$ 3,17 <sup>a,*</sup>	0,20 $\pm$ 0,026 <sup>a,*</sup>
	25	62,00 $\pm$ 4,14	1449,93 $\pm$ 218,24	69,62 $\pm$ 3,62	20,38 $\pm$ 2,83	0,32 $\pm$ 0,023
	35	57,09 $\pm$ 4,47	2799,46 $\pm$ 273,57 <sup>b,*</sup>	79,30 $\pm$ 3,23	35,44 $\pm$ 3,39 <sup>b,*</sup>	0,31 $\pm$ 0,023
20	15	12,86 $\pm$ 3,65 <sup>a,*</sup>	423,28 $\pm$ 273,57 <sup>a,*</sup>	40,45 $\pm$ 3,08 <sup>a,*</sup>	10,98 $\pm$ 3,17 <sup>a,*</sup>	0,29 $\pm$ 0,024
	25	38,20 $\pm$ 3,65	2253,92 $\pm$ 228,89	77,42 $\pm$ 2,95	28,41 $\pm$ 2,99	0,34 $\pm$ 0,024
	35	31,00 $\pm$ 3,65	9995,01 $\pm$ 295,49 <sup>b,*</sup>	81,27 $\pm$ 3,08	124,57 $\pm$ 3,66 <sup>b,*</sup>	0,28 $\pm$ 0,023
10	15	7,25 $\pm$ 3,87 <sup>a</sup>	515,94 $\pm$ 295,49 <sup>a,*</sup>	44,40 $\pm$ 3,23 <sup>a,*</sup>	12,20 $\pm$ 3,66 <sup>a,*</sup>	0,35 $\pm$ 0,023 <sup>a,*</sup>
	25	12,57 $\pm$ 4,14	1993,80 $\pm$ 295,49	66,25 $\pm$ 2,95	33,97 $\pm$ 3,66	0,43 $\pm$ 0,024
	35	7,00 $\pm$ 4,14 <sup>b</sup>	3963,82 $\pm$ 295,49 <sup>*</sup>	76,29 $\pm$ 3,86	51,11 $\pm$ 4,48 <sup>*</sup>	0,26 $\pm$ 0,024 <sup>b,*</sup>
TENSÃO		P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001
140		65,48 $\pm$ 2,25	304,14 $\pm$ 136,36	40,20 $\pm$ 1,92	6,83 $\pm$ 1,87	0,17 $\pm$ 0,013
120		63,90 $\pm$ 2,16	406,27 $\pm$ 137,97	41,87 $\pm$ 1,94	8,65 $\pm$ 1,87	0,19 $\pm$ 0,013
100		62,49 $\pm$ 2,17	447,70 $\pm$ 137,80	43,06 $\pm$ 1,90	9,42 $\pm$ 1,72	0,20 $\pm$ 0,013
80		60,23 $\pm$ 2,11	659,64 $\pm$ 137,80	46,42 $\pm$ 1,87	12,32 $\pm$ 1,73	0,21 $\pm$ 0,013
60		55,94 $\pm$ 2,29 <sup>A</sup>	887,85 $\pm$ 146,50 <sup>A</sup>	52,20 $\pm$ 1,97 <sup>A</sup>	14,63 $\pm$ 1,87 <sup>A</sup>	0,25 $\pm$ 0,014 <sup>A</sup>
40		44,53 $\pm$ 2,31 <sup>A</sup>	1497,32 $\pm$ 139,39 <sup>A</sup>	60,34 $\pm$ 1,94 <sup>A</sup>	21,27 $\pm$ 1,81 <sup>A</sup>	0,27 $\pm$ 0,014 <sup>A</sup>
20		27,35 $\pm$ 2,11 <sup>A</sup>	4224,07 $\pm$ 154,40 <sup>A</sup>	66,38 $\pm$ 1,76 <sup>A</sup>	54,65 $\pm$ 1,89 <sup>A</sup>	0,31 $\pm$ 0,014 <sup>A</sup>
10		8,94 $\pm$ 2,34 <sup>A</sup>	2157,85 $\pm$ 170,60 <sup>A</sup>	62,31 $\pm$ 1,95 <sup>A</sup>	32,43 $\pm$ 2,28 <sup>A</sup>	0,35 $\pm$ 0,014 <sup>A</sup>
	TEMPERATURA	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001
	15	20,84 $\pm$ 1,32 <sup>B</sup>	236,64 $\pm$ 87,85 <sup>B</sup>	31,71 $\pm$ 1,14 <sup>B</sup>	7,11 $\pm$ 1,10 <sup>B</sup>	0,19 $\pm$ 0,0085 <sup>B</sup>
	25	53,11 $\pm$ 1,35	990,67 $\pm$ 80,39	56,42 $\pm$ 1,12	15,82 $\pm$ 1,10	0,26 $\pm$ 0,0079
	35	71,86 $\pm$ 1,41 <sup>B</sup>	2742,01 $\pm$ 98,22 <sup>B</sup>	66,67 $\pm$ 1,25 <sup>B</sup>	37,14 $\pm$ 1,26 <sup>B</sup>	0,28 $\pm$ 0,0086
TENSÃO X TEMPERATURA		P<0,001	P<0,001	P=0,009	P<0,001	P<0,001

<sup>A</sup> indica diferenças significativas entre as tensões de  $O_2$ , independentes da temperatura. Diferença em relação aos valores normóxicos (140 mmHg). (Teste Dunnett;  $P<0,05$ )

<sup>B</sup> indica diferenças significativas entre as diferentes temperaturas, independente da concentração de  $O_2$ . Diferença em relação à 25 $^{\circ}\text{C}$ . (Teste Dunnett;  $P<0,05$ )

\* indica diferenças significativas entre as temperaturas experimentais, em uma mesma tensão de  $O_2$ , quando há interação entre os dois fatores (temperatura x concentração  $O_2$ ).

Diferenças significativas entre uma mesma tensão, em diferentes temperaturas: <sup>a</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 15 e 25 $^{\circ}\text{C}$ ; <sup>b</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 25 e 35  $^{\circ}\text{C}$ .

**Tabela 42.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da PIO (mmHg),  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  - (mLH<sub>2</sub>O.mLO<sub>2</sub><sup>-1</sup>), EO<sub>2</sub> (%) e f<sub>H</sub> (bpm) de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetida a diferentes tensões de O<sub>2</sub> (mmHg) e a diferentes temperaturas (°C). Análise two-way.

TENSÃO	TEMPERATURA	PIO	$\dot{V}_G/\dot{V}O_2$	EO <sub>2</sub>	f <sub>H</sub>
140	15	0,092 $\pm$ 0,027 <sup>a</sup>	203,01 $\pm$ 696,55	83,69 $\pm$ 3,66	20,98 $\pm$ 4,49 <sup>a</sup>
	25	0,16 $\pm$ 0,021	229,78 $\pm$ 696,55	82,39 $\pm$ 3,12	51,87 $\pm$ 3,96
	35	0,36 $\pm$ 0,021 <sup>b</sup>	337,18 $\pm$ 778,77 <sup>b</sup>	74,19 $\pm$ 3,28 <sup>b</sup>	72,06 $\pm$ 3,58 <sup>b</sup>
120	15	0,089 $\pm$ 0,025 <sup>a,*</sup>	240,34 $\pm$ 832,54 <sup>a</sup>	76,39 $\pm$ 3,92 <sup>a</sup>	18,97 $\pm$ 4,20 <sup>a</sup>
	25	0,17 $\pm$ 0,020	278,43 $\pm$ 778,77	85,91 $\pm$ 3,12	50,03 $\pm$ 3,76
	35	0,40 $\pm$ 0,025 <sup>b,*</sup>	497,32 $\pm$ 696,55 <sup>b</sup>	70,83 $\pm$ 3,66 <sup>b,*</sup>	70,63 $\pm$ 3,96 <sup>b</sup>
100	15	0,091 $\pm$ 0,025 <sup>a,*</sup>	295,24 $\pm$ 734,23 <sup>a</sup>	77,00 $\pm$ 3,92	18,43 $\pm$ 4,49 <sup>a</sup>
	25	0,19 $\pm$ 0,020	330,13 $\pm$ 664,13	83,09 $\pm$ 2,99	50,97 $\pm$ 3,58
	35	0,45 $\pm$ 0,025 <sup>b,*</sup>	524,94 $\pm$ 832,54 <sup>b</sup>	68,41 $\pm$ 3,45 <sup>b,*</sup>	68,20 $\pm$ 3,58 <sup>b</sup>
80	15	0,099 $\pm$ 0,023 <sup>a,*</sup>	418,36 $\pm$ 778,77	75,44 $\pm$ 3,66	17,93 $\pm$ 4,85 <sup>a</sup>
	25	0,21 $\pm$ 0,020	498,44 $\pm$ 696,55	78,75 $\pm$ 3,12	51,24 $\pm$ 3,96
	35	0,46 $\pm$ 0,023 <sup>b,*</sup>	815,14 $\pm$ 832,54 <sup>b</sup>	65,61 $\pm$ 3,92 <sup>b,*</sup>	66,63 $\pm$ 3,58 <sup>b</sup>
60	15	0,14 $\pm$ 0,027 <sup>a,*</sup>	566,73 $\pm$ 696,55 <sup>a</sup>	75,90 $\pm$ 3,66	17,27 $\pm$ 5,32 <sup>a</sup>
	25	0,25 $\pm$ 0,022	789,03 $\pm$ 734,23	76,58 $\pm$ 3,28	51,01 $\pm$ 4,20
	35	0,45 $\pm$ 0,025 <sup>b,*</sup>	1145,94 $\pm$ 832,54 <sup>b</sup>	57,84 $\pm$ 3,92 <sup>b,*</sup>	66,16 $\pm$ 3,58 <sup>b</sup>
40	15	0,21 $\pm$ 0,022 <sup>a,*</sup>	1057,28 $\pm$ 832,54	73,84 $\pm$ 3,92	16,62 $\pm$ 5,32 <sup>a</sup>
	25	0,31 $\pm$ 0,021	1396,82 $\pm$ 635,86	71,19 $\pm$ 3,28	47,77 $\pm$ 3,96
	35	0,46 $\pm$ 0,027 <sup>b,*</sup>	2759,90 $\pm$ 899,24 <sup>b</sup>	35,04 $\pm$ 3,92 <sup>b,*</sup>	65,41 $\pm$ 3,76 <sup>b</sup>
20	15	0,26 $\pm$ 0,025 <sup>a,*</sup>	1722,91 $\pm$ 985,07 <sup>a</sup>	62,86 $\pm$ 3,92 <sup>a,*</sup>	14,13 $\pm$ 4,49 <sup>a</sup>
	25	0,38 $\pm$ 0,022	3587,39 $\pm$ 734,23	46,19 $\pm$ 2,99	30,48 $\pm$ 4,20
	35	0,39 $\pm$ 0,025	18679,12 $\pm$ 985,07 <sup>b,*</sup>	20,36 $\pm$ 3,66 <sup>b,*</sup>	52,88 $\pm$ 3,96 <sup>b</sup>
10	15	0,34 $\pm$ 0,025 <sup>a,*</sup>	4067,95 $\pm$ 899,24 <sup>a,*</sup>	46,06 $\pm$ 4,23 <sup>*</sup>	11,39 $\pm$ 4,85 <sup>a</sup>
	25	0,48 $\pm$ 0,025	9612,25 $\pm$ 778,77	33,64 $\pm$ 2,99	20,68 $\pm$ 3,58
	35	0,38 $\pm$ 0,027 <sup>b,*</sup>	32899,57 $\pm$ 899,24 <sup>b,*</sup>	9,76 $\pm$ 3,66 <sup>b,*</sup>	39,27 $\pm$ 3,96 <sup>b</sup>
TENSÃO		P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001
140		0,20 $\pm$ 0,013	256,66 $\pm$ 418,57	80,09 $\pm$ 1,94	48,31 $\pm$ 2,33
120		0,22 $\pm$ 0,013	338,70 $\pm$ 445,32	77,71 $\pm$ 2,07	46,54 $\pm$ 2,30
100		0,25 $\pm$ 0,013	383,44 $\pm$ 431,18	76,17 $\pm$ 2,01	45,87 $\pm$ 2,26
80		0,25 $\pm$ 0,013 <sup>A</sup>	577,31 $\pm$ 445,32	73,27 $\pm$ 2,07	45,27 $\pm$ 2,41
60		0,28 $\pm$ 0,014 <sup>A</sup>	833,90 $\pm$ 436,83	70,11 $\pm$ 2,09 <sup>A</sup>	44,81 $\pm$ 2,56
40		0,33 $\pm$ 0,013 <sup>A</sup>	1738,00 $\pm$ 460,20	60,02 $\pm$ 2,14 <sup>A</sup>	43,27 $\pm$ 2,54
20		0,35 $\pm$ 0,014 <sup>A</sup>	7996,48 $\pm$ 524,91 <sup>A</sup>	43,14 $\pm$ 2,05 <sup>A</sup>	32,49 $\pm$ 2,44 <sup>A</sup>
10		0,40 $\pm$ 0,015 <sup>A</sup>	15526,59 $\pm$ 497,07 <sup>A</sup>	29,82 $\pm$ 2,11 <sup>A</sup>	23,78 $\pm$ 2,41 <sup>A</sup>
	TEMPERATURA	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001
	15	0,17 $\pm$ 0,0088 <sup>B</sup>	1071,48 $\pm$ 287,26 <sup>B</sup>	71,40 $\pm$ 1,37	16,96 $\pm$ 1,69 <sup>B</sup>
	25	0,27 $\pm$ 0,0075	2090,29 $\pm$ 253,32	69,72 $\pm$ 1,10	44,26 $\pm$ 1,38
	35	0,42 $\pm$ 0,0087 <sup>B</sup>	7207,39 $\pm$ 299,96 <sup>B</sup>	50,25 $\pm$ 1,30 <sup>B</sup>	62,66 $\pm$ 1,33 <sup>B</sup>
TENSÃO X TEMPERATURA		P<0,001	P<0,001	P<0,001	P=0,187

<sup>A</sup> indica diferenças significativas entre as tensões de O<sub>2</sub>, independentes da temperatura. Diferença em relação aos valores normóxicos (140 mmHg). (Teste Dunnett; P<0,05)

<sup>B</sup> indica diferenças significativas entre as diferentes temperaturas, independente da concentração de O<sub>2</sub>. Diferença em relação à 25°C. (Teste Dunnett; P<0,05)

\* indica diferenças significativas entre as temperaturas experimentais, em uma mesma tensão de O<sub>2</sub>, quando há interação entre os dois fatores (temperatura x concentração O<sub>2</sub>).

Diferenças significativas entre uma mesma tensão, em diferentes temperaturas: <sup>a</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 15 e 25°C; <sup>b</sup> indica diferença em uma mesma tensão, entre 25 e 35 °C.

### 4.3.3 Parâmetros cardiorrespiratórios entre as diferentes espécies estudadas

Ao relacionar os diferentes hábitos e habitats das diferentes espécies estudadas (matrinxã, *Brycon amazonicus*, e traíra, *Hoplias malabaricus*), os dados dos parâmetros cardiorrespiratórios, já descritos anteriormente, foram analisados isoladamente, objetivando a comparação das diferentes espécies em uma mesma temperatura (25 °C).

Os valores médios dos parâmetros ventilatórios estão apresentados nas tabelas 43 e 44 e os parâmetros eletrocardiográficos, nas tabelas 45 e 46.

Ao analisar a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) das diferentes espécies de peixes mantidos a uma mesma temperatura, foi possível observar que o matrinxã apresentou valores significativamente maiores entre as tensões de 140 a 40 mmHg ( $\sim 101,17 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), quando comparados com a traíra ( $\sim 62,36 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

A ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) e a frequência respiratória ( $f_R$ ) de matrinxã apresentaram valores significativamente maiores em todas as tensões de  $O_2$  ( $\sim 2173,43 \text{ mL}H_2O \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $\sim 100 \text{ ciclo} \cdot \text{min}^{-1}$ , respectivamente), quando comparados com traíra ( $\sim 847,36 \text{ mL}H_2O \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $\sim 55 \text{ ciclo} \cdot \text{min}^{-1}$ , respectivamente).

Comparando-se o volume ventilatório ( $V_T$ ) das diferentes espécies estudadas, foi possível observar diferença significativa entre as tensões de 140 a 80 mmHg, nas quais o matrinxã apresentou maiores valores para esse parâmetro, quando comparado com a traíra ( $\sim 12,98 \text{ mL}H_2O \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ;  $\sim 7,65 \text{ mL}H_2O \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ , respectivamente).

Em matrinxã, a pressão intrabucal (PIB) foi significativamente maior que em traíra na tensão de 140 mmHg ( $\sim 0,23 \text{ mmHg}$  em matrinxã e  $\sim 0,14 \text{ mmHg}$  em traíra) e significativamente menor entre as tensões de 60 a 20 mmHg ( $\sim 0,14 \text{ mmHg}$  em matrinxã e  $\sim 0,31 \text{ mmHg}$  em traíra).

A pressão intraopercular (PIO) em matrinxã foi significativamente maior que em traíra nas tensões de 140 a 40 mmHg ( $\sim 0,39 \text{ mmHg}$  em matrinxã e  $\sim 0,21 \text{ mmHg}$  em traíra).

A necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ) de matrinxã apresentou valores significativamente maiores que os de traíra entre 140 e 40 mmHg, sendo de  $\sim 1034,88 \text{ mL}H_2O \cdot \text{mL}O_2^{-1}$  em matrinxã e de  $\sim 587,11 \text{ mL}H_2O \cdot \text{mL}O_2^{-1}$  em traíra. Enquanto que a extração de oxigênio ( $EO_2$ ) foi menor em matrinxã ( $\sim 40,30 \%$ ), quando comparado com traíra ( $\sim 74,87\%$ ) em todas as tensões de  $O_2$ .



Comparando-se a  $f_H$  das diferentes espécies, foi possível observar que o matrinxã apresentou valores significativamente maiores apenas na tensão de 140 mmHg, quando comparados com traíra (~ 65 bpm e 52 bpm, respectivamente). Já o intervalo RR apresentou diferença significativa entre as espécies nas tensões de 140 e 120 mmHg, nas quais a traíra apresentou maiores valores deste parâmetro (~ 0,88 s em matrinxã e ~ 1,28 s em traíra).

Tanto os dados do intervalo PR quanto os da duração da onda P foram significativamente maiores em traíras, quando comparados com matrinxã, sendo observados os valores de ~ 0,072 s e ~ 0,162 s no intervalo PR de matrinxã e traíra e os valores de ~ 0,037 s e ~ 0,089 s na duração da onda P de matrinxã e traíra. Já a amplitude da onda P apresentou diferença significativa entre 120 e 40 mmHg, apresentando menores valores no matrinxã, quando comparado com a traíra (~ 92,13% e ~ 110,81%, respectivamente).

Comparando-se a duração do complexo QRS de matrinxã e traíra, não foi possível observar diferença significativa entre essas espécies em nenhuma das tensões de  $O_2$ . No entanto, os valores do intervalo QT foram significativamente maiores nas traíras, em todas as tensões experimentais (~ 0,398 s em matrinxã e ~ 0,588 s em traíra). O segmento ST também seguiu esse padrão de resposta entre as tensões de 140 a 100 mmHg (~ 0,168 s em matrinxã e ~ 0,275 s em traíra).

A duração da onda T em matrinxã foi significativamente menor que a de traíra em todas as tensões de  $O_2$  (~ 0,206 s em matrinxã e ~ 0,369 s em traíra). No entanto a amplitude da onda T de matrinxã e traíra não apresentou diferença significativa em seus valores em todas as tensões de  $O_2$  analisadas.

**Tabela 43.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da  $\dot{V}O_2$  ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\dot{V}_G$  - ( $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $f_R$  ( $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e  $V_T$  ( $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ ) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetidos a diferentes tensões de  $O_2$  ( $P_{in}O_2$  - mmHg) à 25 °C.

$P_{in}O_2$	$\dot{V}O_2$		$\dot{V}_G$		$f_R$		$V_T$	
	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra
<b>140</b>	117,65 $\pm$ 5,24	62,21 $\pm$ 4,53*	1050,37 $\pm$ 230,67	237,98 $\pm$ 25,47*	82 $\pm$ 4	42 $\pm$ 3*	6,26 $\pm$ 0,71	5,62 $\pm$ 0,65*
<b>120</b>	115,45 $\pm$ 6,27	62,94 $\pm$ 4,16*	958,79 $\pm$ 69,81	292,01 $\pm$ 28,47*	84 $\pm$ 4	42 $\pm$ 4*	8,61 $\pm$ 1,99	6,82 $\pm$ 0,48*
<b>100</b>	102,26 $\pm$ 2,49	62,25 $\pm$ 4,82*	1023,21 $\pm$ 122,23	339,50 $\pm$ 43,43*	90 $\pm$ 5	45 $\pm$ 4*	10,99 $\pm$ 2,12	7,72 $\pm$ 0,82*
<b>80</b>	101,25 $\pm$ 6,94	61,07 $\pm$ 4,66*	1485,80 $\pm$ 193,37	510,98 $\pm$ 64,03*	92 $\pm$ 4	49 $\pm$ 4*	13,06 $\pm$ 1,85	10,45 $\pm$ 1,11*
<b>60</b>	90,60 $\pm$ 8,06	63,68 $\pm$ 4,67*	2031,04 $\pm$ 245,18	847,21 $\pm$ 140,22*	105 $\pm$ 5	61 $\pm$ 5*	14,18 $\pm$ 2,80	13,22 $\pm$ 1,84
<b>40</b>	79,80 $\pm$ 8,84	62,00 $\pm$ 4,80*	3540,01 $\pm$ 658,25	1449,93 $\pm$ 163,83*	122 $\pm$ 6	70 $\pm$ 6*	16,87 $\pm$ 2,99	20,38 $\pm$ 1,97
<b>20</b>	<b>44,39 <math>\pm</math> 7,67</b>	<b>38,20 <math>\pm</math> 5,70</b>	<b>5124,80 <math>\pm</math> 1056,18</b>	<b>2253,92 <math>\pm</math> 224,62*</b>	<b>126 <math>\pm</math> 3</b>	<b>77 <math>\pm</math> 3*</b>	<b>23,59 <math>\pm</math> 3,69</b>	<b>28,41 <math>\pm</math> 2,62</b>

Valores em negrito indicam diferença significativa em relação aos obtidos em normóxia. ( $P < 0,05$ )

\* indica diferença significativa entre valores obtidos para as diferentes espécies. ( $P < 0,05$ )

**Tabela 44.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da PIB (mmHg), PIO (mmHg),  $\dot{V}_G / \dot{V}O_2$  ( $\text{mLH}_2\text{O} \cdot \text{mLO}_2^{-1}$ ),  $EO_2$  (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetidos a diferentes tensões de  $O_2$  ( $P_{in}O_2$  - mmHg) à 25 °C.

$P_{in}O_2$	PIB		PIO		$\dot{V}_G / \dot{V}O_2$		$EO_2$	
	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra
<b>140</b>	0,23 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,02*	0,45 $\pm$ 0,04	0,16 $\pm$ 0,02*	462,49 $\pm$ 53,24	229,78 $\pm$ 6,06*	51,62 $\pm$ 4,46	82,39 $\pm$ 2,59*
<b>120</b>	0,22 $\pm$ 0,02	0,16 $\pm$ 0,03	0,41 $\pm$ 0,04	0,17 $\pm$ 0,02*	502,64 $\pm$ 39,74	278,43 $\pm$ 5,52*	47,92 $\pm$ 4,29	85,91 $\pm$ 2,07*
<b>100</b>	0,20 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,03	0,37 $\pm$ 0,03	0,19 $\pm$ 0,02*	653,92 $\pm$ 69,35	330,13 $\pm$ 8,58*	46,39 $\pm$ 2,91	83,09 $\pm$ 2,36*
<b>80</b>	0,16 $\pm$ 0,01	0,20 $\pm$ 0,03	0,37 $\pm$ 0,02	0,21 $\pm$ 0,01*	852,62 $\pm$ 93,98	498,44 $\pm$ 29,79*	43,41 $\pm$ 3,42	78,75 $\pm$ 2,95*
<b>60</b>	0,16 $\pm$ 0,02	<b>0,28 <math>\pm</math> 0,03*</b>	0,37 $\pm$ 0,03	<b>0,25 <math>\pm</math> 0,02*</b>	1369,70 $\pm$ 198,39	789,03 $\pm$ 62,05*	38,70 $\pm$ 4,00	76,58 $\pm$ 2,81*
<b>40</b>	<b>0,14 <math>\pm</math> 0,02</b>	<b>0,32 <math>\pm</math> 0,02*</b>	0,38 $\pm$ 0,03	<b>0,31 <math>\pm</math> 0,02*</b>	2367,92 $\pm$ 350,62	1396,82 $\pm$ 249,64*	33,72 $\pm$ 4,20	71,19 $\pm$ 2,47*
<b>20</b>	<b>0,13 <math>\pm</math> 0,01</b>	<b>0,34 <math>\pm</math> 0,02*</b>	0,38 $\pm$ 0,01	<b>0,38 <math>\pm</math> 0,04</b>	<b>5618,39 <math>\pm</math> 1174,11</b>	<b>3587,39 <math>\pm</math> 453,31</b>	<b>20,34 <math>\pm</math> 3,96</b>	<b>46,19 <math>\pm</math> 4,23*</b>

Valores em negrito indicam diferença significativa em relação aos obtidos em normóxia. ( $P < 0,05$ )

\* indica diferença significativa entre valores obtidos para as diferentes espécies. ( $P < 0,05$ )

**Tabela 45.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. da fH (bpm), intervalo RR (s), intervalo PR (s), duração da onda P (s) e amplitude da onda P (%) de de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetidos a diferentes tensões de O<sub>2</sub> (P<sub>in</sub>O<sub>2</sub> - mmHg) à 25 °C.

PinO <sub>2</sub>	f <sub>H</sub>		Intervalo RR		Intervalo PR		Duração da onda P		Amplitude da onda P	
	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra
140	64,74 $\pm$ 2,21	51,87 $\pm$ 4,51*	0,88 $\pm$ 0,03	1,25 $\pm$ 0,12*	0,079 $\pm$ 0,003	0,190 $\pm$ 0,006*	0,038 $\pm$ 0,002	0,097 $\pm$ 0,004*	100,00 $\pm$ 0,00	100,00 $\pm$ 0,00
120	59,81 $\pm$ 3,80	50,03 $\pm$ 5,11	0,98 $\pm$ 0,04	1,32 $\pm$ 0,12*	0,076 $\pm$ 0,003	0,173 $\pm$ 0,006*	0,037 $\pm$ 0,001	0,092 $\pm$ 0,004*	93,50 $\pm$ 2,34	110,60 $\pm$ 3,95*
100	57,01 $\pm$ 3,95	50,97 $\pm$ 5,72	1,04 $\pm$ 0,03	1,32 $\pm$ 0,13	0,076 $\pm$ 0,003	0,169 $\pm$ 0,006*	0,037 $\pm$ 0,003	0,089 $\pm$ 0,005*	93,51 $\pm$ 3,53	113,11 $\pm$ 2,83*
80	52,71 $\pm$ 3,99	51,24 $\pm$ 3,91	1,20 $\pm$ 0,07	1,39 $\pm$ 0,12	0,07 $\pm$ 0,003	0,161 $\pm$ 0,006*	0,038 $\pm$ 0,001	0,085 $\pm$ 0,004*	93,38 $\pm$ 3,25	110,51 $\pm$ 3,05*
60	<b>49,60 <math>\pm</math> 3,09</b>	51,01 $\pm$ 4,20	<b>1,42 <math>\pm</math> 0,10</b>	1,36 $\pm$ 0,15	0,070 $\pm$ 0,002	0,156 $\pm$ 0,006*	0,037 $\pm$ 0,002	0,086 $\pm$ 0,005*	89,09 $\pm$ 3,48	111,11 $\pm$ 4,31*
40	<b>40,71 <math>\pm</math> 2,97</b>	47,77 $\pm$ 4,12	<b>1,62 <math>\pm</math> 0,12</b>	1,41 $\pm$ 0,11	<b>0,066 <math>\pm</math> 0,003</b>	0,153 $\pm$ 0,010*	0,034 $\pm$ 0,003	0,089 $\pm$ 0,006*	91,16 $\pm$ 4,77	108,72 $\pm$ 6,03*
20	<b>30,12 <math>\pm</math> 3,18</b>	<b>30,48 <math>\pm</math> 3,17</b>	<b>2,05 <math>\pm</math> 0,25</b>	<b>2,05 <math>\pm</math> 0,20</b>	<b>0,065 <math>\pm</math> 0,002</b>	0,148 $\pm$ 0,005*	0,034 $\pm$ 0,003	0,086 $\pm$ 0,004*	93,88 $\pm$ 8,73	104,03 $\pm$ 5,26

Valores em negrito indicam diferença significativa em relação aos obtidos em normóxia. (P<0,05)

\* indica diferença significativa entre valores obtidos para as diferentes espécies. (P<0,05)

**Tabela 46.** Valores médios  $\pm$  E.P.M. do complexo QRS (s), intervalo QT (s), segmento ST (s), duração da onda T (s) e amplitude da onda T (%) de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e de traíra, *Hoplias malabaricus*, submetidos a diferentes tensões de O<sub>2</sub> (P<sub>in</sub>O<sub>2</sub> - mmHg) à 25 °C

PinO <sub>2</sub>	Complexo QRS		Intervalo QT		Segmento ST		Duração da onda T		Amplitude da onda T	
	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra	Matrinxã	Traíra
140	0,065 $\pm$ 0,006	0,087 $\pm$ 0,012	0,388 $\pm$ 0,009	0,631 $\pm$ 0,030*	0,159 $\pm$ 0,017	0,295 $\pm$ 0,031*	0,198 $\pm$ 0,019	0,309 $\pm$ 0,030*	100,00 $\pm$ 0,00	100,00 $\pm$ 0,00
120	0,067 $\pm$ 0,006	0,083 $\pm$ 0,011	0,379 $\pm$ 0,009	0,604 $\pm$ 0,028*	0,160 $\pm$ 0,013	0,261 $\pm$ 0,031*	0,192 $\pm$ 0,024	0,343 $\pm$ 0,029*	119,46 $\pm$ 21,87	119,31 $\pm$ 8,99
100	0,062 $\pm$ 0,007	0,079 $\pm$ 0,010	0,392 $\pm$ 0,011	0,593 $\pm$ 0,029*	0,186 $\pm$ 0,013	0,268 $\pm$ 0,027*	0,191 $\pm$ 0,011	0,346 $\pm$ 0,030*	131,81 $\pm$ 21,40	124,83 $\pm$ 12,93
80	0,061 $\pm$ 0,004	0,079 $\pm$ 0,010	0,397 $\pm$ 0,010	0,570 $\pm$ 0,020*	0,211 $\pm$ 0,009	0,263 $\pm$ 0,034	0,184 $\pm$ 0,014	0,352 $\pm$ 0,030*	143,12 $\pm$ 19,07	129,57 $\pm$ 14,89
60	0,056 $\pm$ 0,004	0,080 $\pm$ 0,011	0,412 $\pm$ 0,013	0,563 $\pm$ 0,024*	0,207 $\pm$ 0,011	0,239 $\pm$ 0,030	0,205 $\pm$ 0,011	0,365 $\pm$ 0,025*	149,42 $\pm$ 28,09	134,53 $\pm$ 15,00
40	0,060 $\pm$ 0,004	0,080 $\pm$ 0,010	0,406 $\pm$ 0,014	0,572 $\pm$ 0,020*	0,199 $\pm$ 0,016	0,242 $\pm$ 0,033	0,219 $\pm$ 0,019	0,365 $\pm$ 0,026*	158,27 $\pm$ 29,08	144,00 $\pm$ 14,36
20	0,058 $\pm$ 0,003	0,076 $\pm$ 0,009	0,412 $\pm$ 0,018	0,585 $\pm$ 0,025*	0,175 $\pm$ 0,014	0,247 $\pm$ 0,038	0,255 $\pm$ 0,023	0,374 $\pm$ 0,023*	183,81 $\pm$ 39,83	<b>180,40 <math>\pm</math> 24,95</b>

Valores em negrito indicam diferença significativa em relação aos obtidos em normóxia. (P<0,05)

\* indica diferença significativa entre valores obtidos para as diferentes espécies. (P<0,05)

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Análise morfológica

As análises macroscópicas dos corações de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e traíra, *Hoplias malabaricus*, revelaram que, assim como nos demais teleosteos, este órgão é envolto pelo saco pericárdico e composto por quatro câmaras em série: seio venoso, átrio, ventrículo e bulbo arterioso (FARREL & JONES, 1992).

De acordo com Santer (1985), o ventrículo de peixes pode ser classificado em sacular, tubular e piramidal. Em ambas as espécies estudadas o ventrículo tem formato piramidal e, de acordo com Farrel & Jones (1992), este formato é vantajoso no desenvolvimento de pressão, uma vez que o ápice apresenta pequeno raio de curvatura e por esse motivo é característico de peixes ativos. Porém, a traíra, peixe de hábito sedentário, também apresentou este formato ventricular.

Microscopicamente foi possível analisar detalhadamente todas as câmaras cardíacas, assim, seguindo o sentido da circulação sanguínea, a primeira câmara é o seio venoso, que se estende do septo transversal até a junção sinoatrial. Em espécies endotérmicas, o seio venoso é uma estrutura embrionária transitória que contribui para a formação do coração adulto em várias regiões, como o nodo sinoatrial e o seio coronário. Entretanto, em peixes, o seio venoso mantém-se como uma câmara durante toda a vida (RAMOS & MACÍAS, 1998) e sua principal função está relacionada à inicialização e controle da frequência cardíaca devido à presença do tecido marca-passo (FARREL & JONES, 1992).

Segundo Olson & Farrell (2006), o seio venoso apresenta uma parede fina, amplamente composta de tecido conjuntivo, cardiomiócitos, e células marca-passos e, assim como descrito por esses autores, em ambas as espécies estudadas, o seio venoso foi descrito como uma câmara com parede delgada de tecido conjuntivo reticular e com alguns granulócitos (células do sistema imune).

Granulócitos também foram encontrados no tecido conjuntivo do intestino, brânquias, pseudobrânquias e coração em *swordtail* (*Xiphophorus helleri* L.) e *platy* (*Xiphophorus maculatus* L.) (AMIN & TRASTI, 1989; REITE, 1998) e na parede e no lúmen do bulbo arterioso e no intestino de truta arco-íris (*Oncorhynchus*.

*mykiss*) (EZEASOR & STOKOE, 1980; LEKNES, 2001). Segundo Reite (1998), esses achados indicam que os granulócitos estão intimamente associados às células do tecido conjuntivo e são muitas vezes encontrados próximos a elementos vasculares. De acordo com Reite & Evensen (2006), essas células apresentam função semelhante aos mastócitos de mamíferos, uma vez que, em casos de lesão tecidual aguda, sofrem degranulação, liberando mediadores da inflamação e, em casos crônicos, é observado um aumento no número destas células.

Osion & Farrell (2006) afirmam que, em peixes, as células marca-passo, responsáveis pelo início da contração dos cardiomiócitos estão situadas no seio venoso e, de acordo com Ramos & Macías (1998) e Yamauchi et al. (1973), o tecido miocárdico encontrado na região entre o seio venoso e o átrio de peixes é denominado miocárdio sino-auricular ou sinoatrial, caracterizado pela presença de inervação autonômica. Assim, topograficamente, esse tecido é concentrado na base da valva sinoatrial e forma uma camada de tecido muscular diferenciado, caracterizando o tecido nodal, região também encontrada em matrinxã e traíra, cujo tecido apresentou grande semelhança morfológica com o encontrado no coração de *loach* (*Misgurnus anguillicaudatus*), descrito por Yamauchi et al. (1973).

O tecido nodal de ambas as espécies estudadas também apresentou semelhança morfológica com o de alguns mamíferos como o porquinho-da-índia, *Cavia porcellus* (ANDERSON, 1972), o coelho, *Oryctolagus cuniculus* (BELEEKER et al., 1979, VERHEIJCK et al., 1997) e o porco, *Sus domesticus* (CRICK et al., 1999). Porém esta semelhança não foi observada ao analisar o tecido nodal de truta arco-íris, *O. mykiss*, uma vez que nesta espécie o tecido encontrado na base da valva sinoatrial apresentou-se em uma região circular isolada, com miócitos marca-passos envoltos por um anel de elementos teciduais e neurais (HAVERINEN & VORNANEN, 2007).

Na região do tecido nodal, tanto em matrinxã quanto em traíra, foi observada a presença de tecido nervoso, corroborando os achados de Zaccone et al. (2009, 2010), uma vez que estes autores afirmam que a principal localização do tecido nervoso intracardíaco é no plexo sinoatrial, correspondente à região do marca-passo. Este plexo consiste de uma rede de fibras nervosas e corpos celulares pós-ganglionares que estão localizados na região sinoatrial, bem como na atrioventricular.

Tanto o átrio de matrinxã quanto o de traíra apresentaram formato irregular com parede delgada e trabeculada, assim como descrito por Santer (1985) e Farrel & Jones (1992) e encontrado em peixes da ordem dos bacalhaus como o *roughnose grenadier* (*Trachyrhynchus murrayi*) e o peixe rato (*Nematonurus armatus*) (GREER WALKER et al., 1985). Segundo Olson & Farrell, 2006, este arranjo dos miócitos atriais em redes trabeculadas aumentam a área de superfície de contato, favorecendo a difusão do oxigênio e permitindo uma eficiente oxigenação tissular, principalmente devido ao fato que, na grande maioria das espécies de peixes, o átrio não é irrigado por coronárias.

A conexão do átrio com o ventrículo em ambas as espécies estudadas foi observada pela presença da valva atrioventricular, que segundo Laurent et al. (1983), apresenta formato de funil e corresponde à porção invaginada do canal sinoatrial dentro da abertura do ventrículo.

Assim como descrito anteriormente, o ventrículo de peixes pode ser classificado em sacular, tubular e piramidal. Estas formas ventriculares se associam a dois tipos de miocárdio: misto e trabeculado. A primeira classificação é caracterizada pela presença de uma camada externa, a compacta e uma camada interna, denominada esponjosa, já o miocárdio trabeculado é formado inteiramente por músculo esponjoso (FARREL & JONES, 1992; SANTER, 1985).

Os ventrículos de matrinxã e traíra apresentaram formato piramidal e miocárdio misto, sendo formado de duas camadas distintas: a compacta (externa) e a esponjosa (interna), assim como em tambaqui (*Colossoma macropomun*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) (SIMÕES et al., 2002) e no paulistinha (*Danio rerio*) (HU et al., 2001), De acordo com a classificação de Tota et al. (1983), o coração de ambas as espécies foi considerado como do tipo II, apresentando miocárdio misto, com camadas esponjosa e compacta, sendo esta última suprida por coronárias.

Segundo Agnisola et al. (2003), Farrell et al. (2007) e Gamperl et al. (1994), a circulação coronária é essencial em condições de exercício e hipóxia, uma vez que, em tais condições espera-se que o fluxo coronariano aumente para que aumente o suprimento cardíaco de oxigênio.

De acordo com Santer et al. (1983), Santer & Greer Walker (1980) e Tota et al. (1983), peixes ativos apresentam ventrículo piramidal com miocárdio misto e artérias coronarianas bem desenvolvidas, enquanto espécies sedentárias

apresentam ventrículo sacular ou tubular e miocárdio esponjoso, sendo irrigado por circuitos venoso lacunares, funcionando como bombas de baixa pressão.

Os peixes do presente estudo, assim como observado por Simões et al. (1999, 2002) em bagre africano (*Clarias gariepinus*), também não seguiram o padrão descrito acima, uma vez que tanto o matrinxã, espécie ativa, quanto a traíra, espécie sedentária, apresentaram ventrículo piramidal com miocárdio misto, dito como característica apenas de peixes ativos. No entanto, ao analisar a espessura da camada compacta, essa relação passa a existir e ter um sentido uma vez que em matrinxã a espessura foi significativamente maior, com vasos coronarianos bem desenvolvidos e em grande quantidade, fato que possivelmente está associado ao hábito desse peixe. Já na traíra, peixe sedentário, a quantidade de camada compacta é menor, fato que está possivelmente associado às afirmações de Sánchez-Quintana et al. (1996), cujo coração de peixes, assim como os de mamíferos, apresentam a camada compacta com os mesmos padrões de arquitetura das fibras, sugerindo uma relação com a eficiência de bombeamento do coração.

Adicionalmente, Santer & Greer Walker (1980) sugerem uma relação entre a camada esponjosa e o metabolismo do excesso de lactato em espécies de natação constante, enquanto a camada compacta, irrigada pelo sangue arterial, está relacionada ao aumento do fluxo sanguíneo para os tecidos.

Desta forma, os resultados observados em matrinxã e traíra corroboram as afirmações de Sánchez-Quintana et al. (1996) e de Santer & Greer Walker (1980) uma vez que, segundo esses autores, a quantidade da camada compacta no ventrículo cardíaco de peixes apresenta maior relação com hábitos ecofisiológicos do que com a classificação filogenética e esta relação está associada, principalmente, à adaptação exigida por espécies que necessitam de uma maior quantidade de energia metabólica periodicamente ou que passam todas as suas vidas em atividades como longas migrações ou natação rápida e constante.

Segundo Sánchez-Quintana et al. (1996), a camada compacta do ventrículo cardíaco de teleósteos constitui-se de fascículos de músculo cardíaco com um arranjo predominantemente longitudinal. Já em elasmobrânquios, as miofibras estão arranjadas transversalmente. Em teleósteos, estes arranjos musculares representariam diferentes padrões de disposição das fibras cardíacas, visando uma redução do diâmetro cardíaco longitudinal. Assim, tais disposições de miofibras cardíacas favoreceriam a sístole ventricular.

Em tambaqui (*C. macropomum*), Simões et al. (2002) verificaram que a orientação das fibras cardíacas é predominantemente longitudinal o que, de acordo com o acima exposto, favoreceria a geração de pressão, de forma a prover uma hemodinâmica adequada ao hábito natatório ativo do tambaqui, assim como observado no presente estudo, cuja maior proporção de camada compacta longitudinal foi encontrada em matrinxã, espécie mais ativa.

A última câmara cardíaca no sentido da circulação sanguínea é o bulbo arterioso que, segundo Yu et al. (2010), é análogo ao arco aórtico humano e, de acordo com Braun et al. (2003), esta câmara pode apresentar forma e morfologia interna diversas, de acordo com as diferentes espécies. Além disso, diferente das outras câmaras cardíacas, o bulbo não apresenta músculo cardíaco, não sendo uma câmara contrátil. No entanto, esta região contém um grande número de fibras elásticas e está relacionada com a regulação da velocidade do fluxo sanguíneo, uma vez que é responsável por reduzir a força imposta pelo fluxo sanguíneo na vasculatura branquial, a qual é muito delicada, bem como manter um fluxo constante nas brânquias, fundamental para as trocas gasosas (FARREL & JONES, 1992, ICARDO et al., 2000; NAKABA et al., 2006).

Em ambas as espécies estudadas no presente trabalho, o bulbo arterioso apresentou várias camadas, assim como descrito por Jones et al. (1993) e Braun et al. (2003), uma vez que, assim como as artérias, a parede bulbar é composta de três camadas: a camada íntima ou interna, composta de uma única camada de células endoteliais; a camada média, responsável pela propriedade elástica, composta de elastina e músculo liso; e a adventícia, ou externa, que está relacionada com a limitação da distensibilidade.

Os peixes do presente estudo apresentaram as camadas bulbares descritas acima, sendo observada uma camada interna, uma camada média com fibras elásticas e uma camada externa. Na camada média foram encontradas as fibras elásticas, porém em pequena quantidade quando comparada com o yellowtail, *Seriola quinqueradiata* (NAKABA et al., 2006) e a carpa comum, *Cyprinus carpio* (LICHT & HARRIS, 1973), cuja camada média apresentou grande quantidade de fibras elásticas. No entanto, segundo Priede (1976), mesmo na ausência de fibras elásticas, o bulbo arterioso ainda mantém a sua função de reservatório elástico, possivelmente devido à camada externa, responsável por limitar a distensibilidade dessa câmara.



Segundo Pope et al. (2003), a morfologia cardíaca em uma determinada espécie de peixe pode apresentar grande plasticidade, levando a alterações durante o ciclo de vida como uma resposta às demandas ambientais e físicas.

## 5.2 Experimentos cardiorrespiratórios

### 5.2.1 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias em diferentes temperaturas

#### 5.2.1.1 Parâmetros ventilatórios

Alterações bruscas nas temperaturas, tanto de origem natural como as próprias variações diárias na temperatura da água, quanto às de origem antropogênica, como as descargas térmicas, representam uma ameaça comum para os peixes (TANCK et al., 2000; WAGNER et al., 1997), uma vez que a alteração na temperatura ambiental pode levar a alterações nos processos fisiológicos, como o crescimento, o metabolismo, o consumo de alimentos e o sucesso reprodutivo (FICKE et al., 2007, GILMAN et al., 2006; PETRY et al., 2007). Desta forma, a taxa metabólica ( $\dot{V}O_2$ ) de todos os organismos ectotérmicos é fortemente dependente da temperatura (CLARKE & JOHNSTON, 1999), assim como observado no matrinxã e na traíra, cujos valores da  $\dot{V}O_2$  foram alterados com a redução e com o aumento da temperatura aquática.

Essa dependência da  $\dot{V}O_2$  em relação à temperatura tanto em alterações agudas, como nas aclimações térmicas, resultando em reduções da taxa metabólica com a exposição/aclimação em baixas temperaturas e em aumentos neste parâmetro com a exposição/aclimação em altas temperaturas também foram descritas em algumas espécies de peixes como no *dogfish*, *Scyliorhinus canícula* (BUTLER & TAYLOR, 1975), no robalo, *Dicentrarchus labrax* (CLAIREAUX & LAGARDÈRE, 1999), no linguado, *Paralichthys lethostigma* (VAN MAAREN et al., 1999), na tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus* (COSTA et al., 2000; FERNANDES & RANTIN, 1989), no pacu, *P. mesopotamicus* (AGUIAR et al., 2002), no bacalhau-do-Atlântico, *Gadus morhua* (GOLLOCK et al., 2006), no salmão real, *Oncorhynchus tshawytscha* (CLARK et al., 2008) e na carpa comum, *C. carpio* (MOFFITT & CRAWSHAW, 1983; RANTIN, 2008).

Considerando os efeitos da temperatura sobre o metabolismo, Dalla Via et al. (1998) afirmam que há a necessidade de distinguir as mudanças agudas e crônicas causadas pela temperatura, já que a resposta metabólica após uma alteração aguda na temperatura leva, geralmente, a um aumento da  $\dot{V}O_2$  anteriormente à estabilização a essa nova condição, a qual ocorre após a exposição prolongada. Além disso, as mudanças agudas na temperatura representam uma situação mais realista na aquicultura, já que a temperatura pode atuar como um estressor, principalmente devido aos ciclos diários de oscilação em lagoas ou tanques. Diante dessas considerações, vale ressaltar que a aclimatação está relacionada a alterações nos mecanismos compensatórios, os quais ocorrem após poucas horas e terminam após um período de uma a duas semanas após a exposição (GOLOVANOV, 2006).

Segundo Schmidt-Nielsen (1997), a relação entre a temperatura ambiental e a taxa metabólica é quantificada pela resposta do quociente de temperatura, ou  $Q_{10}$ . Assim, de acordo com Clarke & Johnson (1999), peixes expostos a alterações térmicas geralmente apresentam valores de  $Q_{10}$  próximos a 2,0, revelando que a  $\dot{V}O_2$  dobra a cada aumento de 10 °C na temperatura, exatamente como observado na traíra, uma vez que o  $Q_{10}$  foi próximo de 2,0, correspondendo a essa duplicação no valor da taxa metabólica devido ao aumento da temperatura. No entanto, no matrinxã, o  $Q_{10}$  foi de 3,0, indicando que os valores da  $\dot{V}O_2$  triplicaram, sugerindo que esta espécie necessita de um suprimento de  $O_2$  maior que a traíra, confirmando as afirmações de Val & Honczarik (1995) a respeito do habitat de matrinxãs (ambiente lótico, de correnteza e bem aerado).

Embora tenham sido observadas as alterações descritas acima tanto com a redução, quanto com o aumento da temperatura, pôde-se notar que as alterações foram mais intensas com a redução da temperatura, uma vez que mesmo nas temperaturas iniciais (a partir de 22,5 °C), houve redução significativa da  $\dot{V}O_2$  em ambas as espécies, enquanto no protocolo do aumento da temperatura, os valores deste parâmetro somente foram significativos em temperaturas mais elevadas (32,5 e 35 °C). Com isso, esses dados corroboram os de Aguiar et al. (2002), Beitinger et al. (2000) e Fernandes & Rantin (1986) os quais afirmam que algumas espécies de peixes são mais tolerantes ao aumento da temperatura do que à redução da mesma, principalmente pelo fato de apresentarem uma alta capacidade para aclimatação em

temperaturas elevadas do que a temperaturas mais baixas, além de apresentarem uma maior atividade quando em elevadas temperaturas, auxiliando a evadir-se dessa situação, enquanto a exposição a baixas temperaturas leva à letargia, impedindo os peixes de evitarem dessa condição (termorregulação comportamental).

Ainda que os padrões de diminuição e elevação da  $\dot{V}O_2$  tenham sido semelhantes em ambas as espécies, os valores deste parâmetro em todas as temperaturas analisadas de ambos os protocolos (de 25 a 15 °C e de 25 a 35 °C) foram significativamente maiores no matrinxã e, segundo Lowek-McConnel (1987), Oliveira (2003) e Rantin et al. (1992), as diferenças nos valores da taxa metabólica estão, muitas vezes, relacionadas com o hábito de determinadas espécies, uma vez que espécies mais ativas apresentam uma maior demanda metabólica para a manutenção dos seus padrões ventilatórios.

Além das alterações na  $\dot{V}O_2$ , mudanças na temperatura são frequentemente acompanhadas por mudanças na resposta respiratória, tais como frequência respiratória ( $f_R$ ), volume ventilatório ( $V_T$ ) e na ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) (AGUIAR et al., 2002; CAMERON, 1989; MARICONDI-MASSARI et al., 1998; RANDALL & CAMERON, 1973) e, assim como descrito por esses autores, as alterações observadas na  $\dot{V}O_2$ , com a redução e o aumento da temperatura, foram acompanhadas de alterações na  $\dot{V}_G$ , na  $f_R$  e no  $V_T$  tanto no matrinxã quanto na traíra.

Ao comparar as alterações nos valores da  $\dot{V}O_2$  de ambas as espécies estudadas, pode-se notar uma relação com os valores da  $\dot{V}_G$ , assim como observado na tilápia-do-nylo, *O. niloticus* (FERNANDES & RANTIN, 1989), na carpa comum, *C. carpio* (GLASS et al., 1990) e no pacu, *P. mesopotamicus* (AGUIAR et al., 2002). Desta forma, as reduções observadas na  $\dot{V}_G$  devido à diminuição da temperatura aquática foram acompanhadas de reduções na  $f_R$  e no  $V_T$  de ambas as espécies, enquanto o aumento da temperatura levou a efeitos opostos nos mesmos parâmetros os tanto em matrinxã quanto em traíra.

De acordo com Clarke & Johnston (1999), a redução da temperatura aquática leva a uma diminuição da frequência respiratória de peixes e, segundo Schurman et al. (1991), em baixas temperaturas há uma diminuição da taxa metabólica de peixes uma vez que as reações bioquímicas são mais lentas nessas situações, fato que está diretamente relacionado aos dados encontrados no presente trabalho, com a redução da temperatura aquática.

O aumento significativo na  $\dot{V}O_2$  está associado ao aumento nos valores da  $\dot{V}_G$ , uma vez que quantidades superiores de água precisam ser ventiladas para que o  $O_2$  extraído seja suficiente ao requerido pelas espécies em temperaturas altas. Assim o aumento na  $\dot{V}_G$  apresentou valores de  $Q_{10}$  elevados em nas espécies estudadas, correspondendo a um aumento de seus valores de 5,7 vezes no matrinxã e de 4,6 vezes na traíra, sendo este aumento também observado por Rantin (2008) na carpa comum (*C. carpio*).

Considerando o  $Q_{10}$  para a  $f_R$  de 1,7 no matrinxã e de 1,4 na traíra e o  $Q_{10}$  para o  $V_T$  de 3,4 no matrinxã e 3,2 na traíra, o aumento da  $\dot{V}_G$ , em ambas as espécies, ocorreu devido a maiores aumentos no volume ventilatório do que na frequência respiratória.

Este padrão de resposta apresentado por ambas às espécies, também foi observado em tilápia-do-nilo (*O. niloticus*) aclimatada em diferentes temperaturas, na qual a  $\dot{V}_G$  aumentou significativamente com o aumento da temperatura de aclimação, sendo esta alteração principalmente relacionada a aumentos expressivos no  $V_T$ , enquanto a  $f_R$  manteve-se constante (FERNANDES & RANTIN, 1989; MARICONDI-MASSARI et al., 1998).

Desta forma, este mecanismo, do ponto de vista metabólico, é a forma mais eficaz de aumentar a  $\dot{V}_G$ , uma vez que, segundo Rantin et al. (1992), a utilização desta estratégia baseia-se no baixo custo para a manutenção da velocidade e da constância da contração muscular, enquanto que uma alta frequência de contração dos músculos ventilatórios é limitada pelo trabalho muscular contra uma alta viscosidade da água ventilada.

Assim como descrito para a  $\dot{V}O_2$ , os valores da  $\dot{V}_G$ , da  $f_R$  e do  $V_T$  em todas as temperaturas analisadas de ambos os protocolos experimentais (de 25 a 15 °C e de 25 a 35 °C) foram significativamente maiores no matrinxã, sugerindo uma relação entre o hábito desses peixes assim como descrito anteriormente (LOWEK-McCONNEL, 1987; OLIVEIRA, 2003; RANTIN et al., 1992).

A pressão intrabucal (PIB) e a pressão intraopercular (PIO) também sofreram alterações com a redução e a elevação da temperatura aquática assim como descrito por Hughes & Roberts (1970) em truta arco-íris (*O. mykiss*) e por Crawshaw & Hammell (1973) em *California scorpionfish* (*Scorpaena guttata*), nos quais as alterações na temperatura afetaram a tanto a  $f_R$ , quanto a PIB e a PIO.

No matrinxã, tanto a redução quanto o aumento da temperatura levaram a reduções na PIB e na PIO. Já na traíra a redução da temperatura levou à diminuição da PIB e da PIO, enquanto o aumento da temperatura levou ao aumento da PIB e da PIO. Assim, pôde-se notar que, com exceção do matrinxã exposto a elevadas temperaturas, esses parâmetros sofreram alterações correspondentes às observadas com a modificação da temperatura aquática, corroborando os achados de Aguiar et al. (2002), Cameron, (1989), Maricondi-Massari et al. (1998) e Randall & Cameron (1973).

As reduções observadas na PIB e na PIO nos matrinxãs expostos à elevação da temperatura estão, possivelmente, associadas ao desenvolvimento de alternativas de baixo custo energético visando uma melhor ventilação, como a *ram ventilation*, que consiste na passagem forçada de água pelas brânquias quando o peixe se posiciona contra a corrente, ou nada com a boca parcialmente aberta, mecanismo conhecido em espécies ativas, como o matrinxã (RANDAL, 1982; ROBERTS, 1975; WEGNER & GRAHAM, 2010). Além disso, em um estudo realizado por Brown & Muir (1970), com bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*), foi observado que, mesmo nadando em velocidade fixa (como em um respirômetro de fluxo constante), reduções na pressão parcial de O<sub>2</sub> da água podem levar a aumentos graduais na abertura bucal, reduzindo a pressão na mesma, fato que possivelmente aconteceu com o matrinxã exposto a 35 °C.

Cabe ressaltar que, assim como descrito por Monteiro (2011), os matrinxãs se encontravam dentro de um respirômetro e, portanto, não utilizaram a natação para sustentar a ventilação *ram*. Assim, apenas abriram a boca, mantendo os batimentos operculares e, conseqüentemente a PIO. Além disso, considerando que o respirômetro de fluxo constante é uma câmara com duas aberturas, uma de entrada de água para onde fica voltada a boca do animal e a outra de saída conectada ao controlador de fluxo, cria-se uma corrente de água na direção da cavidade bucal do peixe e, em espécies que realizam a *ram ventilation*, o fluxo de água pode favorecer esse tipo de modalidade ventilatória, já que, mesmo não podendo nadar, o peixe pode utilizar dessa correnteza para ventilar as próprias brânquias em situações de hipóxia severa economizando energia dessa forma.

De acordo com Dejours (1981), a eficiência da troca gasosa pode ser analisada pela razão  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ , denominada necessidade ventilatória, onde um aumento na demanda de O<sub>2</sub> pode ocorrer devido a um aumento na  $\dot{V}_G$  ou,

alternativamente, na extração de oxigênio ( $EO_2$ ). Assim, de acordo com Glass et al. (1990), considerando que a pressão parcial de oxigênio em águas saturadas alterem com a mudança da temperatura, uma vez que o coeficiente de solubilidade do  $O_2$  é inversamente proporcional à temperatura, são necessárias alterações tanto na  $\dot{V}_G$  quanto na  $\dot{V}O_2$  para que a  $EO_2$  mantenha-se relativamente constante com a alteração da temperatura.

Da mesma forma como citado pelos autores acima, a redução da temperatura aquática não levou a alterações na  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ , nem na  $EO_2$  de ambas as espécies estudadas. Porém, o aumento da temperatura levou a aumentos na  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  e a reduções na  $EO_2$  tanto no matrinxã quanto na traíra e estes dados corroboram os achados de Steffensen et al. (1982) nos linguados *Platichthys flesu* e *Pleuronectes platessa*, os quais apresentaram um aumento na ventilação enquanto a  $EO_2$  mante-se constante ou mesmo reduzida.

Segundo Nikinmaa (2011) e Rombough (2011), adicionalmente ao fato da disponibilidade do  $O_2$  estar relacionada à temperatura, a afinidade da hemoglobina ao  $O_2$  também sofre ação desse fator (menor afinidade em temperaturas altas e vice-versa), afetando assim a transferência desse gás para os tecidos e também a captação do mesmo nas lamelas secundárias.

Os valores da  $EO_2$  em traíra foram significativamente maiores que os encontrados em matrinxã em ambos os protocolos experimentais (redução e elevação da temperatura) e estes resultados estão, possivelmente, relacionados à morfologia das estruturas respiratórias da traíra, assim como afirmado por Kalinin et al. (1996), uma vez que essa espécie apresenta grande superfície lamelar e, de acordo com Fernandes et al. (1994), grande área da superfície branquial pode estar envolvido na habilidade do peixe em viver em ambientes com oscilações de  $O_2$ , como é o caso da traíra.

### 5.2.1.2 Frequência cardíaca e registros eletrocardiográficos

Em peixes, o  $O_2$  proveniente das brânquias e transportado aos tecidos é determinado pelo débito cardíaco ( $\dot{Q}$ , quantidade de sangue bombeado pelo coração por unidade de tempo) e pela quantidade de  $O_2$  transportada no sangue arterial. Considerando que o  $\dot{Q}$  pode sofrer amplas variações nos peixes, alterações

neste parâmetro podem afetar na quantidade de O<sub>2</sub> transportado para os tecidos. Desta forma, alterações ambientais que afetem o consumo de oxigênio, geralmente envolvem a alteração do  $\dot{Q}$ , enquanto alterações na quantidade de oxigênio arterial não são significativas nos casos de alterações térmicas. Assim, para avaliar os efeitos da temperatura sobre a função cardíaca de peixes a análise da frequência cardíaca ( $f_H$ ) é o parâmetro mais utilizado (GAMPERL, 2011).

Segundo Farrell (1984), a frequência cardíaca em teleósteos é determinada pelo ritmo intrínseco das células marca-passos sinoatriais e seu controle é realizado pelo sistema nervoso autônomo ou por fatores humorais. Adicionalmente, de acordo com Vornanen (2011), o potencial de ação cardíaco é fortemente modificado pela temperatura, acarretando alterações tanto na  $f_H$ , quanto na duração da contração de cada miócito cardíaco.

A análise da  $f_H$  revelou que a exposição a baixas temperaturas induziu a redução deste parâmetro tanto no matrinxã quanto na traíra, enquanto a elevação da temperatura levou a respostas opostas, assim como observado no pacu, *P. mesopotamicus*, (AGUIAR, et al., 2002; ANELLI JR et al., 2004), na tilápia-do-nylo, *O. niloticus*, (COSTA et al., 2000), no bacalhau-do-Atlântico, *G. morhua* (GOLLOCK et al., 2006) e no salmão vermelho, *Oncorhynchus nerka* (STEINHAUSEN et al., 2008).

Gamperl (2011) afirma que o aumento da frequência cardíaca devido à exposição a elevadas temperaturas apresenta um  $Q_{10}$  que varia de 1,3 a 3,0, dependendo da faixa de temperatura e da espécie analisada e, assim como afirmado por este autor, o matrinxã apresentou um  $Q_{10}$  de 2,4 e a traíra de 1,5, refletindo os aumentos da  $f_H$  entre 25 e 35 °C.

Os valores da frequência cardíaca de matrinxã em ambos os protocolos experimentais (redução e aumento da temperatura) foram significativamente superiores aos de traíra em todas as temperaturas analisadas, fato possivelmente relacionado ao nível de atividade das espécies estudadas, uma vez que o matrinxã, espécie mais ativa, apresentou valores mais elevados da  $f_H$ , assim como observado nos parâmetros ventilatórios discutidos anteriormente.

A análise do eletrocardiograma (ECG) em ambas as espécies permitiu o registro das atividades elétricas em cada batimento cardíaco e, segundo Farrell (2011), Farrell & Jones (1992) e Satchell (1991), em algumas espécies de peixes como a enguia (*Anguilla anguilla*) e o hagfish (*Eptatretus cirrhatius*), o registro eletrocardiográfico se inicia (região entre as ondas T e P) com uma pequena onda

denominada onda V, a qual representa a contração dos feixes musculares do seio venoso, sendo esta onda ausente nos ECGs de mamíferos e também no matrinxã e na traíra, possivelmente devido às características morfológicas do seio venoso dessas espécies (ausência de tecido muscular), descritos no item 5.1.

O intervalo PR (entre o início da onda P e o início do complexo QRS), relativo à despolarização atrial e condução do estímulo através do miocárdio atrial, apresentou aumento na sua duração em matrinxã e em traíra expostos à redução da temperatura ambiental, enquanto o aumento da temperatura levou a reduções na duração deste intervalo também em ambas as espécies. Estas alterações também foram observadas por Aguiar et al. (2002) em pacu (*P. mesopotamicus*) exposto à redução e ao aumento da temperatura aquática e por Liu & Li (2005), em sapo (*Bufo raddei*) e lagarto (*Eremias multiocella*). No entanto, nesses casos, os animais foram aclimatados a diferentes temperaturas.

Considerando que a duração do intervalo PR varia de acordo com a  $f_H$ , é esperado que este intervalo seja maior na bradicardia e menor na taquicardia (FELDMAN & GOLDWASSER, 2004), assim como observado nos peixes do presente estudo e, segundo Guerra (1997) um intervalo PR prolongado indica uma grande distância (possivelmente associada a um aumento de volume atrial) e uma baixa velocidade de condução do átrio ao ventrículo podendo caracterizar um bloqueio atrioventricular de primeiro grau.

Em humanos, de acordo com Abedin & Conner (2008), o bloqueio atrioventricular refere-se a uma lentidão ou mesmo ausência da condução entre os átrios e os ventrículos, sendo determinada sua existência através de valores previamente determinados. Assim, em adultos, a duração do intervalo PR varia entre 0,12 a 0,20 s e intervalos maiores que estes são considerados como bloqueio atrioventricular de primeiro grau. No entanto, em peixes, devido à grande diversidade de espécies e às várias particularidades morfológicas, não existe um valor padrão para os intervalos de ondas do ECG.

As diferenças nos valores da duração do intervalo PR entre as espécies estudadas está possivelmente relacionada à diferença nos valores de  $f_H$ , os quais estão relacionados ao estilo de vida de cada espécie.

A avaliação da despolarização atrial é determinada pela análise da onda P, sendo que a redução da temperatura aquática levou a um aumento na duração desta onda e uma diminuição de sua amplitude tanto no matrinxã quanto na



traíra. Já o aumento da temperatura levou a uma diminuição da duração desta onda e um aumento de sua amplitude em ambas as espécies. Assim, esses dados sugerem que, da mesma forma como observado no intervalo PR, a temperatura afetou de maneira inversa o tempo e a direção da despolarização atrial, corroborando as afirmações de Bayés de Luna (2007) sobre a suscetibilidade da onda P à temperatura aquática. Adicionalmente, segundo Khan (2003), alterações na duração e/ou na amplitude da onda P estão possivelmente associadas a anormalidades atriais como hipertrofia, aumento de volume ou pressão. No entanto, estes parâmetros não foram analisados no presente estudo.

A duração do intervalo QRS é referente à duração da despolarização ventricular e, assim como a onda P, este intervalo de onda apresentou valores inversamente proporcionais à temperatura em ambas as espécies estudadas, ou seja, a redução da temperatura levou o aumento na duração deste intervalo, refletindo uma condução prolongada dos impulsos pelo ventrículo, enquanto a elevação da temperatura levou à redução da duração do intervalo QRS. Da mesma forma como descrito nos peixes do presente trabalho, Aguiar et al. (2002) observaram as mesmas alterações em pacu, *P. mesopotamicus*, expostos à alteração na temperatura aquática.

De acordo com Feldman & Goldwasser (2004), o intervalo QT correspondente ao início da despolarização do ventrículo até a total repolarização do mesmo, ou seja, à sístole elétrica ventricular e varia inversamente em relação à  $f_H$ . Este intervalo é também conhecido como duração do potencial de ação ventricular (*ventricular action potential duration* -  $V_{APD}$ ).

Chapovetsky & Katz (2003), afirmam que o intervalo QT depende da temperatura corpórea de forma semelhante ao intervalo QRS, ou seja, apresenta longa duração em baixas temperaturas e curta duração em temperaturas elevadas, assim como observado nos peixes do presente estudo e também em pacu, *P. mesopotamicus* (AGUIAR et al., 2002), sendo inferido por estes autores que as alterações observadas na duração dos intervalos PR e QT podem estar relacionadas a um efeito da temperatura na difusão iônica das membranas musculares e, portanto, no processo final de repolarização.

O segmento ST é corresponde à região entre o final do complexo QRS e o início da onda T, representando o momento em que todo o ventrículo é

despolarizado, correspondendo à fase de platô do potencial de ação ventricular (FELDMAN & GOLDWASSER, 2004).

Segundo Kalinin et al. (2009), as alterações na temperatura apresentam efeito notável no segmento ST de peixes, fenômeno observado tanto em matrinxã quanto em traíra expostos a alterações da temperatura aquática, apresentando maiores valores com a redução da temperatura e menores valores com a elevação da mesma.

A avaliação da repolarização ventricular é determinada pela análise da onda T. A redução da temperatura aquática levou a um aumento na duração desta onda e uma diminuição de sua amplitude tanto no matrinxã quanto na traíra, enquanto o aumento da temperatura levou a uma diminuição da duração e um aumento na amplitude desta onda em ambas as espécies.

Aguiar et al. (2002) também observaram alterações na duração da onda T em pacu (*P. mesopotamicus*) exposto à redução e à elevação da temperatura aquática e, segundo estes autores, alterações na duração do QRS e da onda T devido a modificações na temperatura sugerem uma interferência na velocidade de difusão iônica na sarcolema e, portanto, afetam a despolarização e a repolarização ventricular. Além disso, considerando que tanto o matrinxã, quanto a traíra apresentam retículo sarcoplasmático (RS) funcional (OLLE, 2003; 2007; RIVAROLI et al., 2006), deve-se considerar a ação da temperatura também na difusão iônica do RS.

De acordo com Guerra (1997), alterações na amplitude da onda T estão relacionadas às alterações na direção da repolarização ventricular, sugerindo um sofrimento do miocárdio. Adicionalmente, segundo Bayés de Luna (2007), alterações na onda T como uma maior amplitude, uma onda isoelétrica ou uma onda invertida, estão associadas à isquemia.

Assim, ao analisar os resultados eletrocardiográficos de matrinxã e de traíra, pôde-se notar que ambas as espécies apresentaram o mesmo padrão de resposta com a redução e o aumento da temperatura, sugerindo que, neste caso em específico (alteração gradual da temperatura e retorno posterior), as diferenças observadas na morfologia cardíaca de matrinxã e traíra não foram suficientemente significativas para alterar a atividade elétrica de ambas as espécies.

## 5.2.2 Avaliação das respostas cardiorrespiratórias à hipóxia em diferentes temperaturas

As respostas cardiorrespiratórias nas diferentes tensões de oxigênio (140, 120, 100, 80, 60, 40, 20 e 10 mmHg) em diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C) estão discutidas nos itens a seguir, comparando as diferentes tensões e as diferentes temperaturas, bem como as diferenças entre as ambas as espécies (matrinxã e traíra).

### 5.2.2.1 Parâmetros ventilatórios

O ambiente aquático está constantemente sujeito a diversas alterações ambientais como na temperatura, na salinidade, na concentração de oxigênio dissolvido, entre outros (BARRIONUEVO & BURGGREN, 1999; PERRY & LAURENT, 1993). A concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água sofre variações diárias e sazonais, sendo vital para os peixes o desenvolvimento de estratégias para sobreviverem a estas condições por meio de ajustes bioquímicos, fisiológicos e comportamentais (SLOMAN, 2011).

Segundo Goulding (1980), a bacia Amazônica (local onde são encontradas ambas as espécies estudadas) é caracterizada por pulsos periódicos de inundação nos quais extensas áreas de terra são alagadas. Nesses locais ocorrem profundas variações na quantidade de oxigênio dissolvido na água ao longo do dia, resultante das altas temperaturas e da respiração da abundante vegetação aquática.

Assim, de modo geral, a baixa concentração de O<sub>2</sub> no ambiente dificulta a tomada das moléculas deste gás pelas brânquias, o que prejudica a transferência de O<sub>2</sub> até os tecidos, comprometendo o metabolismo aeróbico. (ULTSCH et al., 1980). Considerando que a homeostase respiratória de teleósteos depende do controle da ventilação branquial e este parâmetro está relacionado com a concentração de O<sub>2</sub> aquático, em casos de hipóxia ambiental é observado um aumento deste parâmetro (HUGHES & SAUNDERS, 1970; KALININ et al., 1996, 2000; STEFFENSEN et al., 1982)

Segundo Satchell (1991), esta resposta ventilatória à alteração do oxigênio é quase que imediata e reflete a ação dos quimiorreceptores de O<sub>2</sub>, os quais têm sido alvos de diferentes estudos e, embora não existam dados sobre os quimiorreceptores de O<sub>2</sub> em matrinxã, Sundin et al. (1999) constataram que, na

traíra, os quimiorreceptores estão distribuídos por todos os arcos branquiais, detectando diminuições na disponibilidade do O<sub>2</sub> do meio e produzindo um aumento na frequência respiratória ( $f_R$ ). Além disso, essa espécie também apresenta receptores branquiais orientados interna (monitorando a PO<sub>2</sub> do sangue arterial) e externamente (monitorando a PO<sub>2</sub> da água inspirada), participando da modulação do volume ventilatório ( $V_T$ ).

De acordo com Steffensen et al. (1982), dentre os vários mecanismos desenvolvidos pelos peixes para compensar as alterações na disponibilidade do O<sub>2</sub> aquático, a maioria dos teleósteos mantém o consumo de oxigênio constante até determinada concentração do O<sub>2</sub> no ambiente, abaixo da qual, o peixe perde a capacidade de manter esse consumo, passando a depender da tensão de oxigênio aquática. Assim como descrito por esses autores, mesmo com amplas reduções no oxigênio durante os experimentos, as taxas metabólicas ( $\dot{V}O_2$ ) de matrinxã e de traíra, nas três temperaturas analisadas, apresentaram-se constantes até diferentes tensões hipóxicas, a partir das quais estas espécies não foram capazes de manter a  $\dot{V}O_2$  constante, tornando-se dependentes da concentração de O<sub>2</sub> na água.

De acordo com Davis (1975) e Steffensen (2006), quando o consumo de oxigênio é medido em função da redução da pressão parcial de oxigênio da água (PO<sub>2</sub>), os peixes podem ser: (i) oxiconformistas - a  $\dot{V}O_2$  reduz de maneira uniforme com a diminuição do oxigênio ambiental, ou (ii) oxireguladores - a  $\dot{V}O_2$  permanece relativamente constante mesmo com a redução do oxigênio ambiental desde o valor de saturação até a tensão crítica de oxigênio (PcO<sub>2</sub>), abaixo da qual a  $\dot{V}O_2$  reduz com a diminuição da pressão de oxigênio ambiental, provavelmente devido à redução gradual na eficiência dos mecanismos homeostáticos envolvidos na tomada de O<sub>2</sub> pelas brânquias e na difusão do gás para os tecidos. Assim, tanto o matrinxã quanto a traíra podem ser classificados como oxirreguladores, reforçando os achados de estudos anteriores com essas mesmas espécies, realizados por Kalinin et al. (1993), Olle (2007) e Rantin et al. (1992, 1993).

Segundo Gehrke & Fielder (1988), a tensão crítica de O<sub>2</sub> pode aumentar com a elevação da temperatura, devido ao aumento no metabolismo e à redução da afinidade sanguínea ao oxigênio. Assim como descrito por esses autores, a PcO<sub>2</sub> em Ba25 foi 37 mmHg e em Hm25 foi 21 mmHg, apresentando um aumento em seu valores em 35 °C (Ba35: 61 mmHg; Hm35: 44 mmHg). Aumentos

semelhantes também foram observados em experimentos realizados com tilápia-do-nylo, *O. niloticus* (FERNANDES & RANTIN, 1989) e jeju, *Hoplerythrinus unitaeniatus* (OLIVEIRA, 2003), nos quais a elevação da temperatura levou a aumentos na  $PcO_2$  desses animais.

Em baixa temperatura, tanto o matrinxã quanto a traíra apresentaram aumentos em suas  $PcO_2$ , sendo de 53 mmHg em Ba15 e 105 mmHg em Hm15. Desta forma, esses dados mostram um maior prejuízo nos mecanismos compensatórios de matrinxã quando em temperatura elevada (Ba35), diferente de traíra, cujo prejuízo maior ocorre em temperatura baixa (Hm15).

De acordo com Pörtner & Knust (2007), nos animais aquáticos, a redução na capacidade em responder aerobicamente caracteriza o início da limitação térmica, a qual é causada pela reduzida capacidade dos sistemas circulatório e ventilatório adaptarem-se à elevada demanda de oxigênio.

Assim, nos animais ectotérmicos, a elevação da temperatura da água leva a um aumento no consumo de  $O_2$ , uma vez que a concentração desse gás na água controla a atividade ventilatória em animais aquáticos e esta concentração é menor em águas com temperaturas mais elevadas (BRIDGES et al., 1984; DEJOURS et al., 1977; WILKES et al., 1981). Deste modo, um aumento no consumo de  $O_2$  e, portanto, na taxa metabólica é esperado de acordo com a elevação da temperatura, assim como documentado para uma variedade de espécies de teleósteos, como a carpa, *C. carpio* (MOFFIT & CRASHAW, 1983), o curimatá, *Prochilodus scrofa* (FERNANDES et al., 1995) a tilápia-do-nylo, *O. niloticus* (MARICONDI-MASSARI et al., 1998) e o pacu, *P. mesopotamicus* (AGUIAR et al., 2002).

Da mesma forma como descrito para essas espécies, tanto o matrinxã quanto a traíra expostos a 35 °C (Ba35 e Hm35) apresentaram um aumento nos valores da  $\dot{V}O_2$ . No entanto, os matrinxãs deste grupo (Ba35) não sobreviveram à tensão de 20 mmHg, fato possivelmente associado à contenção no respirômetro durante o experimento, impossibilitando o peixe de subir à superfície aquática e promover a protrusão labial com o objetivo de obter uma maior quantidade de  $O_2$ , mecanismo conhecido como *ASR* (respiração na superfície aquática).

Segundo Graham (1997) e Val et al. (2006), quando expostas à hipóxia, algumas espécies de peixes como serrasalmídeos (*Colossoma* e *Mylossoma*), briconídeos (*Brycon* e *Hyphessobrycon*) e alguns ciclídeos

(*Astronotus* e *Herus*), deslocam-se para a região superficial da água, próximo da interface ar-água, na qual há uma maior disponibilidade de O<sub>2</sub>, havendo um aumento do lábio inferior, aumentando assim a área de troca gasosa.

Aguiar (1996) e Oliveira (2003) afirmaram que, enquanto o aumento da temperatura leva a um aumento na taxa metabólica, o contrário ocorre em baixas temperaturas, ocorrendo uma redução na  $\dot{V}O_2$ , alterações relacionadas a uma redução na função ventilatória, resposta também observada em ambas as espécies estudadas à 15 °C (Ba15 e Hm15).

Ao analisar a  $\dot{V}O_2$  de pacu (*P. mesopotamicus*), Aguiar (1996) observou que a diminuição da temperatura levou a uma redução na taxa metabólica, uma vez que essa alteração na temperatura possivelmente levou a um aumento na solubilidade e, conseqüentemente, na concentração de O<sub>2</sub> disponível na água. Segundo Black et al. (1991), apesar do aumento na concentração de oxigênio ser um fator determinante na redução dos parâmetros respiratórios dos peixes, esse aumento isoladamente não explica a redução no consumo de O<sub>2</sub> e na ventilação dos animais quando há redução da temperatura. Assim, estes autores afirmam que esta resposta deve estar associada ao efeito da temperatura nas reações bioquímicas e fisiológicas envolvidas.

A análise do Q<sub>10</sub> em matrinxã revelou valores de 2,5 em normóxia, corroborando as afirmações de Clarke & Johnson (1999), onde peixes expostos a alterações térmicas apresentam valores de Q<sub>10</sub> próximos a 2,0, revelando que a  $\dot{V}O_2$  dobra a cada aumento de 10 °C. No entanto, em 40 mmHg o Q<sub>10</sub> foi de 1,5 e em traíra também foram observados baixos valores de Q<sub>10</sub> (1,6 em normóxia e 0,6 em 10 mmHg na traíra) e, segundo Schmidt-Nielsen (1997), valores de Q<sub>10</sub> próximos a 1,0 estão relacionados a uma incapacidade de compensação quando em temperatura elevada. Assim, nessas condições (15 °C e 40 mmHg) os matrinxãs não foram capazes de disponibilizar mecanismos para compensar essa hipóxia severa em elevada temperatura, não sobrevivendo em tensões mais baixas (10 mmHg).

Em traíra, ao observar as alterações dos valores da  $\dot{V}O_2$ , frente à exposição a diferentes temperaturas pôde-se notar que, comparando com os valores a 25 °C, a redução deste parâmetro a 15 °C (85%) foi muito mais expressiva que o aumento a 35 °C (61%), enquanto em matrinxã a redução da  $\dot{V}O_2$  a 15 °C (59%) foi muito menos expressiva que o aumento a 35 °C (149%). Assim esses dados,

juntamente com os dados da  $PcO_2$  em diferentes temperaturas, sugerem uma maior sensibilidade da traíra a baixas temperaturas e do matrinxã a altas temperaturas.

O aumento da temperatura levou a aumentos nas  $PcO_2$  tanto no matrinxã quanto na traíra, corroborando as afirmações de Butler & Taylor (1975) cuja  $PcO_2$  de teleósteos aumenta com o aumento da temperatura.

Assim como observado no matrinxã, Crawshaw & Podrabsky (2011) afirmam que muitas espécies de peixes, como o achigã (*Micropterus salmoides*), a perca (*Leiopotherapon unicolor*), a truta arco-íris (*O. mikiss*), entre outras, têm a capacidade de sobreviver em hipóxia severa, selecionando ambientes com temperaturas baixas e, embora nesses casos os peixes estejam expostos a situações estressantes, a temperatura baixa está relacionada ao aumento da afinidade da hemoglobina ao  $O_2$ , aumentando a eficiência de extração deste gás e reduzindo o metabolismo. No entanto, a traíra apresentou uma maior sensibilidade à temperatura de 15 °C, fato que está possivelmente associado às afirmações de Claireaux & Lagardère (1999), uma vez que a exposição a temperaturas baixas pode resultar em uma taxa metabólica bastante reduzida, aumentando o risco de mortalidade.

Ao comparar as diferentes espécies, nota-se que espécies sedentárias que vivem no fundo de lagos ou rios, geralmente pobres em oxigênio, como é o caso da carpa (*C. carpio*), apresentaram uma  $PcO_2$  em torno de 19 mmHg (OTT et al., 1980), assim como observado em traíra. Tais valores são nitidamente mais baixos do que os observados para as espécies mais ativas e de hábitos migratórios, como o matrinxã, cuja  $PcO_2$  foi de 37 mmHg, semelhante à de outras espécies com hábitos similares como o *black-bass*, *Micropterus salmoides* (40 mmHg; CECH et al., 1979), o tambaqui, *C. macropomum* (24 mmHg; CORRÊA, 1996) e o pacu, *P. mesopotamicus* (30 mmHg; GUERRA, 1992).

Ainda comparando as diferentes espécies, os valores da  $\dot{V}O_2$  em normóxia e a 25 °C (Ba25:  $\sim 118 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e Hm25:  $\sim 62 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) corroboram os encontrados para espécies com diferentes hábitos. Em espécies consideradas ativas e/ou migratórias, como o matrinxã, os elevados valores de  $\dot{V}O_2$  evidenciam o modo de vida que a espécie apresenta em seu habitat, como observado em dourado, *Salminus maxillosus* (70  $\text{mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; SOUZA et al., 2001), pacu, *P. mesopotamicus* (72  $\text{mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; GUERRA, 1992), tambaqui, *C. macropomum* (78  $\text{mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; CORRÊA, 1996) e curimatá, *Prochilodus scrofa* (90

$\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; FERNANDES *et al.*, 1995). Enquanto a carpa comum, *C. carpio* ( $48 \text{ mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; OTT *et al.*, 1980; MOFFITT & CRAWSHAW, 1983) e os cascudos *Hypostomus regani* ( $31 \text{ mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; MATTIAS *et al.*, 1998) e *Rhinilepis strigosa* ( $23 \text{ mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; TAKASUSUKI *et al.*, 1998), de hábitos semelhantes ao da traíra, apresentam baixos valores de  $\dot{V}O_2$ . Adicionalmente aos diferentes hábitos, deve-se considerar o ambiente que as diferentes espécies estudadas habitam, uma vez que a traíra habita águas com baixa concentração de  $\text{O}_2$ , sendo mais tolerante às alterações deste gás na água (RANTIN *et al.*, 1992).

A manutenção da homeostasia respiratória depende da capacidade de mobilizar mecanismos compensatórios, como o aumento na ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) para manter o gradiente de oxigênio entre a água e o sangue o mais elevado possível, assegurando assim a eficiência nas trocas gasosas (FERNANDES & RANTIN, 1989). De acordo com Rantin *et al.* (2007), um aumento da temperatura aquática leva um aumento na ventilação e na perfusão branquial de teleósteos com objetivo de manter uma adequada transferência do oxigênio para os tecidos.

Adicionalmente, sabe-se que a temperatura, além de um efeito global e direto no metabolismo dos peixes, tem um efeito notável nas características da água, alterando a viscosidade e a densidade da mesma. Além disso, a temperatura também afeta a solubilidade e a taxa de difusão do  $\text{O}_2$  na água (HUGHES & ROBERTS, 1970). Desta forma, estas características são de fundamental importância para a respiração dos peixes.

As alterações na ventilação branquial associadas à diminuição ou ao aumento da temperatura no matrinxã e na traíra, corroboraram as encontradas em tilápia-do-Nilo, *O niloticus* (FERNANDES & RANTIN, 1989), carpa comum, *C. carpio* (GLASS *et al.*, 1990), trairão, *H. lacerdae* (RANTIN *et al.*, 1992), pacu, *P. mesopotamicus* (KALININ *et al.*, 2000), e jeju, *H. unitaeniatus* (OLIVEIRA *et al.*, 2004), cujos valores da  $\dot{V}_G$  aumentaram ou diminuíram em razão direta às alterações da temperatura (FERNANDES & RANTIN, 1989).

Do ponto de vista metabólico, um maior aumento no  $V_T$  em relação à  $f_R$  é, aparentemente, a forma mais eficaz de aumentar a  $\dot{V}_G$ , uma vez que o custo energético deste processo é, geralmente, muito dispendioso em teleósteos (JOHANSEN *et al.*, 1967). Segundo Rantin *et al.* (1992), a utilização desta estratégia baseia-se no baixo custo para a manutenção da velocidade e constância da



contração muscular, diferente do que ocorre no caso de uma alta frequência de contração, a qual é limitada pelo trabalho muscular contra uma alta viscosidade da água ventilada.

Em temperatura baixa (Ba15 e Hm15) os padrões de respostas foram semelhantes em ambas as espécies, nas quais houve um maior aumento do  $V_T$  (~ 3,9 vezes) quando comparado com a  $f_R$  (~ 1,5 vezes), assim como observado em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) em baixas temperaturas (HUGHES & ROBERTS, 1970). A exposição à 35 °C levou ao mesmo padrão de resposta já que o  $Q_{10}$  para a  $f_R$  foi de ~ 1,5 no matrinxã e de ~ 1,2 na traíra enquanto o  $Q_{10}$  para o  $V_T$  foi de ~ 2,4 no matrinxã e ~ 2,2 na traíra. Segundo Perry & Wood (1989) e Randall (1982), a hiperventilação é estimulada pelos níveis de  $O_2$ ,  $CO_2$  ou pH externos e internos e tende a assegurar a manutenção da chegada de  $O_2$  na superfície branquial.

No presente trabalho, a exposição a tensões de  $O_2$  mais baixas (40 mmHg no matrinxã e 10 mmHg na traíra) resultou em uma redução nos valores da  $\dot{V}_G$  a 35 °C, estando esta redução possivelmente associada a uma redução no  $V_T$ , provavelmente devido a um prejuízo nos mecanismos compensatórios que mantêm o  $V_T$  elevado frente à redução na tensão de oxigênio do meio em temperaturas elevada.

Ao comparar as diferentes espécies, a  $\dot{V}_G$  do grupo Ba25, em condições normóxicas foi de ~ 1050 mL $H_2O$ .kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, valor aproximadamente 4,4 vezes maior que o de Hm25, dado também encontrado por Rantin et al. (1992) em trairão, *Hoplias lacerdae*, cuja  $\dot{V}_G$  foi inferior a 150 mL $H_2O$ .kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. No entanto, frente à redução da concentração de  $O_2$  do meio, o matrinxã aumentou os valores da  $\dot{V}_G$  em ~ 388%, enquanto a traíra aumento ~ 847%. Assim, o matrinxã parece ter uma reduzida capacidade de elevação da  $\dot{V}_G$ , diferente de traíra, espécie considerada resistente à hipóxia e que apresenta maior capacidade de aumento da  $\dot{V}_G$ .

Assim como os parâmetros ventilatórios discutidos anteriormente, a pressão intrabucal (PIB) e a pressão intraopercular (PIO) também foram alteradas de forma semelhante, tanto pela redução do oxigênio quanto pela temperatura aquática. No entanto, com a redução do  $O_2$ , os grupos Ba15, Hm15, Hm25 e Hm35 apresentaram aumento nos valores da PIB, possivelmente relacionados ao aumento

tanto da  $f_R$ , quanto do  $V_T$ . No entanto em Ba25 e Ba35 houve uma redução da PIB, fato que provavelmente está associado ao desenvolvimento da *ram ventilation* no matrinxã, estratégia que parece ser comum nessa espécie frente a redução da  $\dot{V}O_2$  a 25 °C e que foi mantida a 35 °C, uma vez que essa temperatura compromete de forma mais acentuada as respostas ventilatórias no matrinxã. A PIO seguiu os padrões apresentados pela PIB.

Vale considerar que, em seu ambiente natural, o matrinxã pode lançar mão da chamada *ram ventilation*, que consiste da passagem forçada de água pelas brânquias posicionando-se contra a corrente, ou nadando com a boca parcialmente aberta, o que melhora a eficiência da ventilação a um menor custo energético (RANDALL, 1982), assim como descrito no item 5.2.1.1.

Como já afirmado anteriormente, a necessidade ventilatória ( $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ) é uma ferramenta útil para analisar as trocas gasosas e um aumento na demanda de  $O_2$  pode ser atribuído a um aumento na  $\dot{V}_G$  ou na extração de oxigênio (DEJOURS, 1981). Aumentos na  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  durante a redução na disponibilidade de  $O_2$  são indicativos de uma reduzida eficiência na extração do oxigênio ( $EO_2$ ) da corrente ventilatória ou, em outras palavras, uma maior quantidade de água deve passar pela superfície funcional respiratória para que seja obtida a mesma quantidade de oxigênio.

A exposição à baixa temperatura (15 °C) alterou apenas os valores da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  em traíra, reduzindo os mesmos, enquanto a exposição a 35 °C revelou valores de  $Q_{10}$  de ~ 1,4 no matrinxã e 2,3 na traíra. Considerando que a  $PO_2$  de águas saturadas de  $O_2$  sofre redução com o aumento da temperatura ( $\alpha_{O_2}$  é inversamente proporcional à temperatura), alterações na  $\dot{V}_G$  e na  $\dot{V}O_2$  devido ao aumento na temperatura, são necessárias para manter a extração de  $O_2$  (GLASS et al., 1990). Desta forma, estes resultados mostram uma diminuição significativa da eficiência das brânquias na troca de  $O_2$  em temperatura elevada. Assim, os peixes a 35 °C necessitaram ventilar uma quantidade muito maior de água para obter uma mesma quantidade de  $O_2$  que os peixes a 25 °C. Desta forma, pode-se inferir que, além dos efeitos discutidos acima, a elevação da temperatura implica em um maior gasto energético para a troca gasosa.

A  $EO_2$  frente à exposição a diferentes temperaturas revelou que este parâmetro manteve-se constante em todos os grupos, alterando seus valores

apenas nas tensões de O<sub>2</sub> mais baixas e, ao comparar com os valores a 25 °C, tanto o matrinxã os grupos Ba15 e Hm35 apresentaram reduções nos seus valores.

Ao comparar a EO<sub>2</sub> nas diferentes espécies foi possível notar que os valores em matrinxã foram significativamente inferiores aos de traíra (Ba25 x Hm25). Além disso, os valores da EO<sub>2</sub> de matrinxã mostraram-se inferiores aos de outras espécies de peixes como o pacu, *P. mesopotamicus* (GUERRA, 1992), o curimatá, *P. scrofa* (FERNANDES et al., 1995), o tambaqui, *C. macropomum* (CORRÊA, 1996), a tilápia-do-nilo, *O. niloticus* (KALININ, 1996; THOMAZ et al., 2009) e a carpa comum, *C. carpio* (RANTIN, 2008). Assim, esses resultados podem estar relacionados às diferentes áreas de superfície de trocas gasosas entre as espécies de peixes.

### 5.2.2.2 Frequência cardíaca e registros eletrocardiográficos

Quando comparado com outros músculos, o músculo cardíaco é particularmente sensível à falta de O<sub>2</sub>. Adicionalmente, a temperatura afeta o coração em sua eficiência energética (GRAHAM & FARRELL, 1990), na contração e no balanço celular de Ca<sup>2+</sup> (BAILEY & DRIEDZICK, 1990).

No presente estudo, a frequência cardíaca ( $f_H$ ) em matrinxã e traíra apresentou maiores valores a 35 °C e menores valores a 15 °C. Segundo Lillywhite et al. (1999), múltiplos fatores contribuem para a variação da frequência cardíaca em vertebrados, incluindo massa corpórea, temperatura, hipóxia, entre outros.

Assim como nos mamíferos, a relativa influência da modulação colinérgica e adrenérgica varia nas diferentes espécies e determina o controle da  $f_H$  em várias situações. Desta forma, o aumento da  $f_H$  pode resultar de uma diminuição da inibição colinérgica, bem como aumento da excitação adrenérgica e a temperatura é capaz de alterar a sensibilidade e a relativa influência da modulação colinérgica e adrenérgica da  $f_H$  (AXELSSON et al., 1992).

Em normóxia, a  $f_H$  em Ba25 foi de ~ 64 bpm, valor significativamente superior ao encontrado em Hm25. Ao estudar o desempenho de tiras cardíacas isoladas, expostas à hipóxia, Gesser (1977) sugeriu que a função cardíaca está relacionada aos diferentes ambientes que as diversas espécies habitam, fator que pode estar relacionado a estas diferentes respostas.

Todos os grupos estudados apresentaram redução da  $f_H$  (bradicardia) nas tensões de  $O_2$  mais baixas. De acordo com Farrell (2007), o reflexo bradicárdico produzido pela hipóxia é fundamental para assegurar o desempenho do coração durante a hipóxia do miocárdio, aumentando o tempo de residência do sangue dentro do ventrículo e permitindo uma maior extração de  $O_2$  pelo próprio miocárdio esponjoso, uma vez que o suprimento sanguíneo no miocárdio esponjoso (coronárias) ocorre apenas em algumas poucas espécies.

Segundo Farrell & Jones (1992), a variação da temperatura exerce efeito direto na permeabilidade das membranas da fibra do marca-passo, sendo um fator importante no controle da  $f_H$  e, assim como descrito por esse autor, tanto a redução quanto o aumento da temperatura aquática levou a uma alteração direta nos valores da  $f_H$  em todas as tensões de  $O_2$  tanto no matrinxã quanto na traíra.

Na maioria dos peixes de ambiente temperado, alterações agudas na temperatura geralmente aumentam a  $f_H$  com uma média de  $Q_{10}$  próximo de 2,0 (BLANK et al., 2002; BUTLER & TAYLOR, 1975; CECH et al., 1979; GRAHAM & FARRELL, 1985; PRIEDE, 1974; TIITU & VORNANEN 2002). Adicionalmente Rantin et al. (1998) sugeriram que esses valores de  $Q_{10}$  também são aplicados às espécies tropicais, porém, em algumas espécies o valor de  $Q_{10}$  para a  $f_H$  apresenta-se próximo de 3,0 durante transições agudas de temperatura. No entanto, com o aumento da temperatura o matrinxã apresentou um  $Q_{10}$  de 1,4 e a traíra de 2,5, estando esses valores dentro da faixa de  $Q_{10}$  (1,3 a 3,0) descrita por Gamperl (2011) para teleósteos.

A análise dos eletrocardiogramas de matrinxã e de traíra revelou que a temperatura afetou inversamente as durações dos intervalos e segmentos das ondas eletrocardiográficas, alterando de forma significativa os intervalos RR, PR, QRS, QT, o segmento ST e a duração da onda T, assim como descrito por Aguiar (1996) em pacus (*P. mesopotamicus*), os quais apresentaram uma redução na  $f_H$  em baixas temperaturas, bem como aumentos significativos na duração dos intervalos e segmentos eletrocardiográficos.

No presente estudo, ao comparar as diferentes temperaturas experimentais em matrinxã e traíra, foi possível observar que à 15 °C houve um aumento da duração do intervalo RR de ~ 50 % em ambas as espécies. No entanto, a 35 °C houve uma diminuição neste intervalo, sendo mais acentuada em matrinxãs do que em traíras. De acordo com Hamilton et al. (2004), a elevação da temperatura

resulta em intervalos mais curtos entre os batimentos (intervalo RR), onde o ramo simpático atua acelerando a  $f_H$ , assim como descrito no item 5.2.1.2.

A  $f_H$  de Ba25 no presente estudo foi maior que a encontrada em Hm25 e, conseqüentemente, a duração do intervalo RR em Ba25 foi significativamente menor que a observada em Hm25.

O intervalo PR, relativo à despolarização atrial e condução do estímulo através do miocárdio atrial, apresentou maiores valores em Ba15 e Hm15 e menores valores em Ba35 e Hm35. Resultados semelhantes foram encontrados por Massari (1993) em tilápia-do-nilo (*O. niloticus*) aclimatada em diferentes temperaturas e, segundo este autor, ao considerar que o intervalo PR corresponde, provavelmente, ao período refratário absoluto das fibras atriais, foi proposto que em temperaturas mais elevadas há um efeito acelerador também na difusão iônica das membranas musculares e, portanto, no processo final de repolarização, enquanto que temperaturas mais baixas exerçam um efeito retardador.

A análise da onda P avalia a despolarização atrial e em ambas as espécies estudadas a duração da onda P não sofreu alteração com a redução da tensão de  $O_2$  em nenhum dos grupos estudados, porém a redução da temperatura levou a um aumento na duração desta onda em ambas as espécies, enquanto o aumento da temperatura reduziu a duração da onda P entre 140 e 80 mmHg.

Assim como em matrinxã e traíra, Guerra (1997) não observou diferenças na duração da onda P em pacu (*P. mesopotamicus*) em resposta à hipóxia ambiental, sugerindo que, mesmo com a redução na concentração de  $O_2$  da água, a duração da despolarização atrial não foi afetada. Porém a exposição a 15 °C aumentou o tempo da despolarização tanto em matrinxã quanto em traíra e, segundo Foster (2007) e Bayés de Luna (2007), em ECG de humanos, alterações tanto na duração quanto na amplitude da onda P podem, muitas vezes, indicar aumento dos átrios, porém este parâmetro não foi analisado nos peixes do presente estudo.

Considerando que o intervalo QRS corresponde ao tempo de despolarização das fibras ventriculares, a duração desse intervalo aumentou em Ba15 e reduziu em Ba35 e Hm35. Ao observar os valores da duração do intervalo QRS com a redução da tensão de  $O_2$  do meio, não foi observada diferença significativa em nenhum dos grupos analisados, assim como observado por RANTIN et al. (1995) em pacu (*P. mesopotamicus*) e em carpa (*C. carpio*). Segundo esses

autores, tais resultados indicam uma conservação na direção de despolarização ventricular, mesmo com a redução na disponibilidade de  $O_2$ .

O intervalo QT, também conhecido como potencial de ação ventricular ( $V_{APD}$ ), corresponde ao início da despolarização ventricular até a total repolarização do mesmo e varia inversamente em relação à  $f_H$  (FELDMAN & GOLDWASSER, 2004). Em matrinxã e em traíra, a exposição a 15 e a 35 °C alterou a duração do intervalo QT, assim como descrito por Chapovetsky & Katz (2003), apresentando longa duração em baixas temperaturas e curta duração em temperaturas elevadas.

De acordo com Aguiar et al. (2002), as alterações observadas na duração dos intervalos PR e QT podem estar relacionadas a um efeito da temperatura na difusão iônica das membranas musculares e, portanto, no processo final de repolarização.

O segmento ST representa o tempo no qual o todo o ventrículo é despolarizado e corresponde à fase de platô do potencial de ação ventricular (RANTIN et al., 2007). Esse segmento é importante no diagnóstico de isquemia ou hipóxia ventricular, pois nessas condições podem ser observadas alterações na sua morfologia (KLABUNDE, 2004). Porém, a redução na tensão de  $O_2$  experimental não induziu a alterações na duração deste segmento em nenhuma espécie do presente estudo. No entanto, em Ba15 e Hm15 os valores da duração do segmento ST foram maiores que os encontrados a 25 °C, enquanto em Ba35 e Hm35 a duração do segmento foi menor corroborando as afirmações de Kalinin et al. (2009) nas quais as alterações da temperatura aquática afetam a duração do intervalo ST, afetando assim a duração da despolarização ventricular.

Alterações significativas na onda T foram observadas em pacu (*P. mesopotamicus*) e em carpa (*C. carpio*) quando a tensão de oxigênio do meio foi reduzida, diminuindo assim o suprimento de  $O_2$  para o miocárdio (RANTIN et al., 1995). Resultados semelhantes foram observados no presente estudo, cuja redução do  $O_2$  experimental alterou a duração (Ba35, Hm15 e Hm25) e a amplitude da onda T (Ba35, Hm25, Hm35) em matrinxã e traíra, sugerindo uma isquemia do miocárdio, assim como discutido no item 5.2.1.2.

Liu & Li (2005) compararam as respostas eletrocardiográficas em três espécies de vertebrados com de diferentes morfologias ventriculares: sapo (*B. raddei*), lagarto (*E. multiocellata*) e perdiz (*Alectoris magna*). Enquanto os anfíbios possuem apenas miocárdio esponjoso, nos répteis, o miocárdio esponjoso perfaz 20

a 40% da massa ventricular. Nas aves adultas este tecido está presente em apenas 5% da massa ventricular. Com o aumento gradativo da temperatura (5 a 35 °C), houve uma diminuição de cada intervalo de onda em sapo e lagarto, causados principalmente pela alteração na permeabilidade de membrana. Durante as elevações da temperatura, as ondas T de sapo alteraram sua morfologia de uma inscrição positiva a isoeletrica e negativa, enquanto que em lagarto e perdiz não houve alteração na direção da onda T com o aumento da temperatura. Segundo esses autores, estas diferenças na direção da repolarização ventricular podem estar associadas a diferenças na arquitetura do coração, bem como à fonte de  $Ca^{2+}$  (intra ou extracelular) para a contração. Assim, as diferenças apresentadas a 35 °C entre matrinxã e traíra, podem estar associadas também a essa diferença morfológica, uma vez que no matrinxã o tecido compacto é encontrado em maior proporção, quando comparado com o de traíra, além de apresentar uma maior irrigação coronariana.

Segundo Guerra (1997), as mudanças na morfologia e na área da onda T podem ser interpretadas como sendo uma alteração no padrão de repolarização ventricular, indicando sofrimento miocárdico. Segundo este autor, esses registros podem ser decorrentes da falta de um suprimento adequado de  $O_2$  para o miocárdio, devido à redução no consumo de oxigênio apresentado pelo peixe durante hipóxia severa.

Em matrinxã e traíra, o aumento da temperatura levou a uma redução na duração de cada intervalo de onda do ECG, dado também observado por Liu & Li (2005) em sapo e lagarto. Segundo esses autores, a temperatura influencia fortemente o desempenho contrátil dos músculos cardíacos e também a frequência de descarga das células marca-passo. Desta forma, essa redução nos intervalos das ondas está principalmente associada com a alteração na permeabilidade da membrana.

### 5.2.3 Efeito da interação das diferentes temperaturas e das diferentes concentrações de O<sub>2</sub>

#### 5.2.3.1 Efeitos da interação em matrinxã, *Brycon amazonicus*

Os resultados da interação entre as tensões de O<sub>2</sub> e as temperaturas aquáticas mostraram que a taxa metabólica de matrinxã ( $\dot{V}O_2$ ) sofreu alterações devido à existência da interação tensão de O<sub>2</sub> x temperatura. Desta forma, todos os valores encontrados em ambas as temperaturas (15 e 35 °C) estão associados às influências da redução de O<sub>2</sub> do meio aquático. Assim, comparando com os valores obtidos a 25 °C nota-se que, adicionalmente à redução do O<sub>2</sub>, a alteração da temperatura aquática afetou a disponibilidade de O<sub>2</sub> para o peixe, uma vez que, segundo Nikinmaa (2011) e Rombough (2011), a solubilidade do O<sub>2</sub> no ambiente aquático é inversamente influenciada pela temperatura e, adicionalmente, a afinidade da hemoglobina ao O<sub>2</sub> também sofre ação da desta variável (menor afinidade em temperaturas altas e vice-versa), afetando a transferência desse gás para os tecidos e também a captação do mesmo nas lamelas secundárias.

Ao analisar a ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ), foi observada a interação dos fatores temperatura e tensão de O<sub>2</sub> à 35 °C, resultando em um aumento nos valores da  $\dot{V}_G$  em todas as tensões de O<sub>2</sub>, exceto na última tensão de O<sub>2</sub> analisada (40 mmHg) uma vez que esta não diferiu significativamente da  $\dot{V}_G$  a 25 °C. Já a exposição a 15 °C apenas apresentou uma interação com a tensão de O<sub>2</sub> em 60 e 40 mmHg.

Como já afirmado anteriormente, adicionalmente às alterações na  $\dot{V}O_2$ , as alterações na temperatura aquática também estão associadas a modificações na  $\dot{V}_G$ , na frequência respiratória ( $f_R$ ), e no volume ventilatório ( $V_T$ ) (AGUIAR et al., 2002; CAMERON, 1989; MARICONDI-MASSARI et al., 1998; RANDALL & CAMERON, 1973). Assim, a redução do O<sub>2</sub> levou a interação deste fator com a temperatura da água para reduzir os valores da  $f_R$  a 15 °C e elevar os valores a 35 °C, indicando que os efeitos das diferentes concentrações de O<sub>2</sub> dependem da temperatura da água.

A análise do  $V_T$  revelou que, de forma semelhante à  $\dot{V}_G$ , houve interação dos fatores analisados em 15 °C e 40 mmHg, reduzindo os valores do volume ventilatório, e em 35 °C entre 120 a 60 mmHg, aumentando os valores do  $V_T$



Ao analisar a pressão intrabucal (PIB) foi observado que tanto a redução quanto o aumento nos valores desse parâmetro ocorreram devido à interação entre a tensão de O<sub>2</sub> e a temperatura da água, enquanto a pressão intraopercular (PIO) não sofreu interação dos fatores analisados, sendo as diferenças encontradas relacionadas apenas à elevação da temperatura.

De acordo com Dejourns (1981) a eficiência da troca gasosa pode ser dada pela razão  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  e a análise deste parâmetro revelou que não ocorreu interação dos fatores analisados em nenhum dos grupos experimentais, assim como observado na extração do oxigênio (EO<sub>2</sub>), indicando que as diferenças observadas entre Ba25 e Ba35 estão associadas apenas à redução da tensão de O<sub>2</sub> aquática.

A frequência cardíaca ( $f_H$ ) apresentou alteração em seus valores devido à interação entre a tensão de O<sub>2</sub> e a temperatura da água, sendo encontrados maiores valores em Ba35 e menores valores em Ba15, estando esses dados de acordo com Bailey & Driedzick (1990) e Graham & Farrell (1990), os quais afirmam que o coração é suscetível à alteração do O<sub>2</sub> e da temperatura, os quais afetam a eficiência energética, a contração e o balanço celular de Ca<sup>2+</sup>.

### **5.2.3.2 Efeitos da interação em traíra, *Hoplias malabaricus***

Os resultados da interação entre as tensões de O<sub>2</sub> e as temperaturas aquáticas mostraram que a taxa metabólica de traíra ( $\dot{V}O_2$ ) sofreu alterações devido à existência da interação tensão de O<sub>2</sub> x temperatura. Ao analisar o grupo exposto a 15 °C, exceto na tensão de 10 mmHg, todos os valores da  $\dot{V}O_2$  sofreram interação dos dois fatores e esta resposta está possivelmente associada às afirmações de Nikinmaa (2011) e Rombough (2011), já descritas anteriormente no tópico 5.2.3.1. No entanto, a ausência de interação na última tensão de O<sub>2</sub> está provavelmente associada à reduzida concentração de O<sub>2</sub> disponível nesta tensão e, assim, a temperatura passa a não ter efeito direto nessa resposta.

A exposição a 35 °C levou a valores da  $\dot{V}O_2$  significativamente maiores que em 25 °C entre 120 a 60 mmHg e em 10 mmHg. Porém, assim como à 15 °C, na tensão de 10 mmHg não foi observada interação dos fatores tensão de O<sub>2</sub> e temperatura.

A interação da temperatura frente à redução do O<sub>2</sub> levou a um aumento na ventilação branquial ( $\dot{V}_G$ ) nos peixes mantidos a 35 °C, entre 40 e 10 mmHg,

enquanto a exposição à 15 °C, frente à diminuição no O<sub>2</sub>, reduziu a  $\dot{V}_G$  entre 40 e 10 mmHg. Assim esses dados estão, possivelmente, associados ao fato que em tensões de O<sub>2</sub> muito reduzidas, a temperatura da água passa a ter uma interferência na resposta do peixe, normalmente aumentando a resposta quando em temperatura elevada e diminuindo em temperatura baixa, assim como descrito por Nikinmaa (2011) e Rombough (2011).

A análise da frequência respiratória ( $f_R$ ) revelou a interação tensão de O<sub>2</sub> x temperatura presente em 15 °C em todas as tensões de O<sub>2</sub>, reduzindo os valores da  $f_R$  e em 35 °C nas tensões de 120 a 80 mmHg, elevando os valores desse parâmetro e, segundo Randall (1982) e Perry & Wood (1989), a alteração na ventilação é estimulada pelos níveis de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ou pH externos e internos e tende a assegurar a manutenção da chegada de O<sub>2</sub> na superfície branquial.

Ao analisar o  $V_T$ , observou-se a existência da interação tensão de O<sub>2</sub> x temperatura, reduzindo os valores desse parâmetro a 15 °C nas tensões de 40 a 10 mmHg, bem como aumentando os valores do  $V_T$  a 35 °C entre 80 e 10 mmHg.

Tanto a pressão intrabucal (PIB) quanto a pressão intraopercular (PIO) apresentaram valores que foram maiores ou menores devido às interações observadas entre as tensões de O<sub>2</sub> e as temperaturas aquáticas.

A análise da  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$  revelou que os valores encontrados em 10 mmHg a 15 °C e em 20 e 10 mmHg a 35 °C são resultantes da interação entre a tensão de O<sub>2</sub> e a temperatura aquática e, assim como observado na  $\dot{V}O_2$ , esses resultados podem estar relacionados ao fato que em tensões muito reduzidas, a temperatura da água passa a ter uma interferência na resposta do peixe, normalmente aumentando a resposta quando em temperatura elevada e diminuindo em temperatura baixa, assim como descrito por Nikinmaa (2011) e Rombough (2011).

Ao analisar a interação entre os fatores tensão de O<sub>2</sub> x temperatura na EO<sub>2</sub>, foi observada a existência dessa interação à 15 °C nas tensões de 10 e 20 mmHg e à 35 °C em todas as tensões de O<sub>2</sub>, apresentando maiores valores a 15 °C e menores valores a 35 °C.

Diferente das respostas respiratórias, a frequência cardíaca não sofreu interação dos fatores analisados, sendo as diferenças encontradas relacionadas, possivelmente, às alterações na temperatura da água, assim como descrito por Farrell (1991), uma vez que a variação da temperatura exerce efeito direto na

permeabilidade das membranas da fibra do marca-passo, sendo um fator importante no controle da  $f_H$ . Além disso, a ausência de interação nesse parâmetro está possivelmente associada às características dessa espécie, sendo considerada uma espécie com alta capacidade anaeróbica, possibilitando-a viver em condições hipóxicas e até mesmo, anóxicas (RANTIN et al., 1985).

## 6 CONCLUSÕES

No presente trabalho, o estudo da morfologia cardíaca e da exposição a diferentes temperaturas e diferentes concentrações de oxigênio aquática, em espécies de peixes de diferentes hábitos e habitats (matrinxã, *Brycon amazonicus* e traíra, *Hoplias malabaricus*) permitiram as seguintes conclusões:

- a) A análise da morfologia cardíaca do matrinxã (espécie ativa) e da traíra (espécie sedentária) revelou que ambas as espécies possuem o mesmo tipo de coração (tipo II), apresentando apenas diferença com relação à espessura da camada compacta ventricular e sua vascularização, sendo mais espessa e ricamente vascularizada no matrinxã, indicando uma relação entre a morfologia ventricular e os hábitos e habitats dos peixes;
- b) As alterações eletrocardiográficas frente a redução da temperatura aquática, de 25 °C para 15 °C e seu retorno para 25 °C e a elevação da temperatura aquática de 25 °C para 35 °C e seu retorno para 25 °C, tanto no matrinxã quanto na traíra apresentaram o mesmo padrão de resposta, sugerindo que as diferenças observadas na morfologia cardíaca de matrinxã e traíra não foram suficientemente significativas para alterar a atividade elétrica de ambas as espécies, neste experimento, em específico.
- c) As alterações eletrocardiográficas frente a redução da concentração do O<sub>2</sub> aquático em diferentes temperaturas (15, 25 e 35 °C) apresentaram-se diferentes entre as espécies, especialmente com relação à duração e amplitude da onda T (repolarização ventricular) e, estes dados podem estar associados à morfologia cardíaca, uma vez que no matrinxã o tecido compacto é encontrado em maior proporção, quando comparado com o de traíra.
- d) A redução da temperatura aquática, de 25 °C para 15 °C e seu retorno para 25 °C levou a padrões de respostas cardiorrespiratórias semelhantes em ambas as espécies, diminuindo os parâmetros (taxa metabólica -  $\dot{V}O_2$ ; ventilação branquial -  $\dot{V}_G$  volume ventilatório -  $V_T$ ; frequência respiratória -  $f_R$ ; pressão intrabucal - PIB; pressão intraopercular (PIO), necessidade ventilatória -  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ; extração de oxigênio -  $EO_2$  e frequência cardíaca -  $f_H$ ). Porém, os parâmetros analisados em matrinxã apresentaram valores superiores aos encontrados para traíra, sendo que tais

diferenças estão possivelmente associadas aos diferentes hábitos e habitats destas espécies;

e) Da mesma forma que a redução da temperatura, a elevação de 25 °C para 35 °C e retorno para 25 °C levou a padrões de respostas cardiorrespiratórias semelhantes em ambas as espécies ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_G$ ,  $V_T$ ,  $f_R$ ,  $\dot{V}_G/\dot{V}O_2$ ,  $EO_2$ ,  $f_H$ ). Assim como nos experimentos de redução da temperatura, os parâmetros analisados em matrinxã apresentaram valores superiores aos encontrados para traíra, também possivelmente associados aos hábitos e habitats destas espécies.

f) A redução da concentração do  $O_2$  aquático associada à alteração da temperatura causou uma redução na maioria dos parâmetros cardiorrespiratórios ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_G$ ,  $V_T$ ,  $f_R$ , e  $f_H$ ). quando em baixa temperatura e um aumento dos mesmos quando em temperatura elevada, havendo interação desses fatores.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDIN, Z.; CONNER, R. **ECG Interpretation The Self-Assessment Approach**. 2.ed. Texas: Blackwell Publishing, 2008. 233 p.

ADAD, J.M.T. **Controle químico de qualidade**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 204p.

AGNISOLA, .C.; PETERSEN, L.; MUSTAFA, T. Effect of coronary perfusion on the basal performance, volume loading and oxygen consumption in the isolated resistance-headed heart of the trout *Oncorhynchus mykiss*. **J. Exp. Biol.**, v. 206, p. 4003-4010, 2003.

AGUIAR, L.H. **Respostas cardio-respiratórias de pacus, *Piaractus mesopotamicus*, aclimatados a 35 °C e a 15 °C frente às alterações agudas da temperatura do meio e a recuperação subsequente**. 1996. (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Departamento de Ciências Fisiológicas, Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, São Carlos-SP, 1996.

AGUIAR, L.H.; KALININ, A.L.; RANTIN, F.T. The effects of temperature on the cardio-respiratory function of the neotropical fish *Piaractus mesopotamicus*. **J. Therm. Biol.**, v. 27, p. 299-308, 2002.

ALEXANDER, R. B.; SMITH, R. A.; SCHWARZ, G. E. Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. **Nature**, v. 403, p. 758-761, 2000.

ALTIMIRAS, J.; AISSAOUI, A.; TORT, L. Is the short-term modulation of heart rate in teleost fish physiologically significance? Assessment by spectral analysis techniques. **Braz. J. Med. Biol. Res.**, n. 28, p. 1197-1206, 1995

AMIN, A. B.; TRASTI, G. Eosinophilic granular cells in heart of Atlantic salmon. **Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.**, v. 9, p.69-70, 1989.

ANDERSON, R.H. The disposition, morphology and innervation of cardiac specialized tissue in the guinea-pig. **J. Anat.**, v.111, n. 3, p. 453-468, 1972.

ANELLI JR, L.C.; et al. Effects of temperature and calcium availability on ventricular myocardium from the neotropical teleost *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887-Teleostei, Serrasalminae). **J. Therm. Biol.**, v. 29, p. 103-113, 2004.

AXELSSON, M.; et al. Cardiovascular responses of the red-blooded Antarctic fishes, *Pagothemia bernacchii* and *P. borchgreinki*. **J. Exp. Biol.**, v.167, p. 179-201, 1992.

BAILEY, J.R.; DRIEDZIC, W.R. Enhanced maximum frequency and force development of fish hearts following temperature acclimation. **J. Anat.**, v. 111, n. 3, p. 453-468, 1990.

- BARRIONUEVO, W.R.; BURGGREN, W.W. O<sub>2</sub> consumption and heart rate in developing zebrafish (*Danio rerio*): influence of temperature and ambient O<sub>2</sub>. **Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.**, n. 276, p. R505-R513, 1999.
- BARROS, L.A.; MORAES FILHO, J.; OLIVEIRA, R.L. Larvas de nematóides de importância zoonótica encontradas em traíras (*Hoplias malabaricus* bloch, 1794) no município de Santo Antonio do Leverger, MT. **Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.**, v.59, n.2, p.533-535, 2007.
- BAYÉS DE LUNA, A. Basic Electrocardiography: Normal and Abnormal ECG Patterns. Massachusetts: Blackwell Publishing, 2007. 174 p.
- BEITINGER, T.L.; BENNETT, W.A.; MCCAULEY, T.W. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. **Environ. Biol. Fishes**, n. 58, p. 237-275, 2000.
- BELEEKER, W.K.; et al. Functional and morphological organization of the rabbit sinus node. **Circ. Res.**; n. 46, p. 11-22, 1979.
- BÍCEGO, K.C., BARROS, R. C.H.; BRANCO, L.G.S. Physiology of temperature regulation: comparative aspects. **Comp. Biochem. Physiol. A**, n. 147, p. 616-639, 2007.
- BLACK, M.C.; MILLSAP, D.S.; MCCARTHY, J.F. Effects of acute temperature change on respiration and toxicant uptake by Rainbow trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). **Physiol. Zool.**, v. 64, n. 1, p. 145-168, 1991.
- BLANK, J.M.; JEFFERY, M.M.; PETER, M.D.; Block, B.A. Effects of temperature, epinephrine and Ca<sup>2+</sup> on the hearts of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). **J. Exp. Biol.**, n. 205, p 1881-1888, 2002.
- BOULANT, J.A. Role of the preoptic-anterior hypothalamus in thermoregulation and fever. **Clin. Infect. Dis.**, v. 31, p. S157-S161, 2000.
- BRAUN, M.V.; et al. Form and function of the bulbus arteriosus in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*): static properties. **J. Exp. Biol.**, v. 206, p. 3326-3326. 2003.
- BRIDGES, C.R.; et al. Ecophysiological adaptation in *Blennius pholis* (L.) blood to intertidal rockpool environments. **J. Exp. Biol. Ecol.**, v. 77, p. 151-167, 1984.
- BRIO, P.A. Staying cool: behavioral thermoregulation during summer by young-of-year brook trout in a lake. **Trans. Am. Fisher. Soc.**, n. 127, p. 212-222, 1998.
- BRITSKI, H.A. Peixes de água doce do Estado de São Paulo: sistemática. In: BRANCO, S. M. (Ed). **Poluição e Piscicultura**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública e Instituto de Pesca da USP, 1972. p. 79-108.

BRITSKI, H.A.; SATO, Y.; ROSA, A.B.S. **Manual de identificação de peixes da região das Três Marias**. 2 ed. Brasília. Câmara dos Deputados/CODEVASF, 143 p. 1988.

BROWN, C.E.; MUIR, B.S. Analysis of Ram Ventilation of Fish Gills with Application to Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*). **J. Fish. Res.**, n. 27, v.9, p. 1637-1652, 1970.

BUTLER, P.J.; TAYLOR, E.W. The effect of progressive hypoxia on respiration in the dogfish (*Scyliorhinus canicula*) at different seasonal temperatures. **J. Exp. Biol.**, n. 63, p. 117-130, 1975.

CAMERON JS. Autonomic nervous tone and regulation of heart rate in the goldfish, *Carassius auratus*. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 63C, p. 341-349, 1979.

CAMERON, J.N. **The Respiratory Physiology of Animal**. New York: Oxford University Press, 1989. 353 p.

CECH, J. J. Jr.; CAMPAGNA, C. G.; MITCHELL, S. J. Respiratory responses of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) to environmental changes in temperature and dissolved oxygen. **Trans. Amer. Fish. Soc.**, v. 108, p. 166-171, 1979.

CHAPOVESTKY, V.; KATZ, U. Effects of season and temperature acclimation on electrocardiogram and heart rate of toads. **Comp. Bioch. Phys. A**, n 134, p. 77-83, 2003.

CLAIREAUX, G.; LAGARDÉRE, J. P. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. **J. Sea Res.**, n. 42, p.157-168, 1999.

CLARK, T.D.; et al. Circulatory limits to oxygen supply during an acute temperature increase in the Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). **Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.**, n. 295, p. R1631-R1639, 2008.

CLARKE, A.; JOHNSTON, N. M. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. **J. Anim. Ecol.**, v. 68, p. 893-905, 1999.

CORRÊA, C. F. **Efeitos das reduções graduais do oxigênio ambiental sobre a função cardio-respiratória de tambaqui, *Colossa macropomum* (Cuvier, 1818) (Teleostei, Serrasalminidae)**. 1996. 109 f. Dissertação. Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 1996.

COSTA, M.J.; et al. Cardiac tissue function of the teleost fish *Oreochromis niloticus* under different thermal conditions. **J. Therm. Biol.**, n. 25, p. 373-379, 2000.

CRAWSHAW, L.I.; HAMMEL, H.T. Behavioral temperature regulation in the California hom shark, *Heterodontus francisci*. **Brain Behav. Evol.**, n. 7, p. 447-52, 1973.



CRAWSHAW, L.I.; PODRABSKY, J.E. P.J. Temperature Preference: Behavioral Responses to Temperature in Fishes. In: FARRELL, A.P. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 758-764.

CRICK, S.J.; SHEPPARD, M.N., HO, S.Y.; ANDERSON, R.H. Localisation and quantitation of autonomic innervation in the porcine heart I: conduction system. **J. Anat.**, n. 195, v.3, p. 341-57, 1999.

DALLA VIA, J.; et al. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. **Aquaculture**, v. 169, p. 303-313, 1998.

DAVIS, J.C. Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. **J. Fish. Res. Board Can.**, v. 32, n. 12, p. 2295-2332, 1975.

DEJOURS, P. **Principles of comparative respiratory physiology**. New York: Elsevier, 265 p., 1981.

DEJOURS, P.; TOULMOND, A.; TRUCHOT, J.P. The effect of hyperoxia on the breathing of marine fishes. **Comp. Biochem. Physiol.**, 58A, p. 409-411, 1977.

EZEASOR, D.N.; STOKOE, W.M. A cytochemical, light and electron microscopic study of the eosinophilic granule cells in the gut of the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. **J. Fish Biol.**, v.17, p. 619-634, 1980.

FARRELL, A.P. From hagfish to tuna: a perspective on cardiac function in fish. **Physiol. Zool.**, v. 64, p.1137-1164, 1991.

FARRELL, A. P. A review of cardiac performance in the teleost heart: intrinsic and humoral regulation. **Can. J. Zool.**, v. 62, p. 523-536, 1984.

FARRELL, A. P. Cardiorespiratory performance in salmonids during exercise at high temperature: insights into cardiovascular design limitations in fishes. **Comp. Biochem. Physiol.**, n. 132A, p. 797-810, 2002.

FARRELL, A.P. Physiology of Cardiac Pumping. In: \_\_\_\_\_. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 1030-1037.

FARRELL, A.P. Tribute to P. L. Lutz: a message from the heart - why hypoxic bradycardia in fishes? **J. Exp. Biol.**, v. 210, p. 1715-1725, 2007.

FARRELL, A.P., JONES, D.R., The heart. In: HOAR, W.S., RANDALL, D.J., FARRELL, A.J. **Fish Physiology: The Cardiovascular System**, San Diego: Academic Press, 1992. p. 1-88.

FARRELL, A.P.; et al. A novel technique for estimating the compact myocardium in fishes reveals surprising results for an athletic air-breathing fish, the Pacific tarpon. **J. Fish Biol.**, v.71, p. 389-398, 2007.

FARRELL, A.P.; et al. Maximum cardiac performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at temperatures approaching their upper lethal limit. **J. Exp. Biol.**, v. 199, p.663-672, 1996.

FELDMAN, J.; GOLDWASSER, G.P. Eletrocardiograma: recomendações para a sua interpretação. **Rev. SOCERJ**, n. 17, v. 4, p. 251-256, 2004.

FERNANDES, M. N. et al. Comparative study of gill dimension of three erythrinid

FERNANDES, M.N.; BARRINUEVO, W.R.; RANTIN, F.T. Effects of thermal stress on respiratory responses to hypoxia of South American prochilodontidae fish, *Prochilodus scrofa*. **J. Fish Biol.**, v. 46, p. 123-133, 1995.

FERNANDES, M.N.; RANTIN, F.T. Respiratory responses of *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae) to environmental hypoxia under different thermal conditions. **J. Fish. Biol.**, v. 35, p. 509-519, 1989.

FERNANDES, M.N.; RANTIN, F.T. Thermal acclimation of *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae). **Rev. Hydrobiol. Trop.**, v. 19, n. 3-4, p. 163-168, 1986.

FERREIRA, E.J.G.; ZUANON, J.A.S.; SANTOS, G.M. **Peixes comerciais do médio Amazonas: região de Santarém**, Pará. Brasília: Edições IBAMA, 1998. p. 93.

FICKE, A.D.; MYRICK, C. A.; HANSEN, L.J. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. **Rev. Fish Biol. Fish.**, v.17, p. 581-613, 2007.

FOSTER, D.B. **Twelve-lead electrocardiography: theory and interpretation**. 2 ed. London: Springer, 2007. p. 168.

FRASCÁ-SCORVO, C.M.; CARNEIRO, D.J.; MALHEIROS, E.B. Comportamento alimentar do matrinxã (*Brycon cephalus*) no período de temperaturas mais baixas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.27, n. 1, p.1-5, 2001.

GAMPERL, A.K. Integrated Responses of the Circulatory System to hypoxia. In: FARRELL, A.P. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 1221-1228.

GAMPERL, A.K.; PINDER, A.W.; GRANT, R.R. Influence of hypoxia and adrenaline administration on coronary blood flow and cardiac performance in seawater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **J. Exp. Biol.**, v.193, p.209-232, 1994.

GEALTH-ESCOBAR, A.M.N. Aspectos da biologia e da estrutura da comunidade de peixes da represa Alagados, Ponta Grossa, PR. Curitiba. 1991. 195 p. Dissertação (Mestrado em Zoologia). Universidade Federal do Paraná. 1991.

GEHRKE, P.C.; FIELDER, D.R. Effects of temperature and dissolved oxygen on the heart rate, ventilation rate and oxygen consumption of splangled perch, *Leiopotherapon unicolor* (Gunter, 1959). (percoidei, Teraponidae). **J. Comp. Physiol.** v. 157, p 771-782, 1988.

GESSER, H. The effects of hypoxia and reoxygenation on force development in myocardial of carp and rainbow trout: protective effects of CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub>. **J. Exp. Biol.**, v.69, p. 199-206, 1977.

GILMAN, S.E.; WETHEY, D.S.; HELMTH, B. Variation in the sensitivity of organismal body temperature to climate change over local and geographic scales. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 103, p. 9560-9565, 2006.

GLASS, M.L.; et al. Cardio-respiratory synchronization and myocardial function in hypoxia carp, *Cyprinus carpio* L. **J. Fish. Biol.**, n.39, p. 143-149, 1991.

GLASS, M.L.; et al. Combined effects of environmental PO<sub>2</sub> and temperature on the ventilation and blood gases in the carp, *Cyprinus carpio* L. **J. Exp. Biol.**, v. 148, p. 1-17, 1990.

GOLLOCK, M. J., et al. Cardiovascular and haematological responses of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to acute temperature increase. **J. Exp. Biol.**, v. 209, p. 2961-2970, 2006.

GOLOVANOV, V.K. The Ecological and Evolutionary Aspects of Thermoregulation Behavior on Fish. **J. Ichthyol.**, v. 46, n. 2, p. S180-S187, 2006.

GOLTERMAN, H.L.; CLIMO, R.S. **Methods for chemical analysis of freshwater.** IBP Handbook 8. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1969, 171p.

GOULDING, M. **The fishes and the forest. Explorations in Amazonian Natural History.** University of California Press. Berkeley, USA. 1980. 280p.

GRAHAM, J.B. Air-breathing Fishes - Evolution, Diversity and Adaptation. Academic Press, San Diego. 299 p. 1997.

GRAHAM, M.S.; FARRELL, A.P. Myocardial oxygen consumption in trout acclimated to 5°C and 15°C. **Physiol. Zool.**, v. 63, p. 536-554. 1990.

GRAHAM, M.S.; FARRELL, A.P. The seasonal intrinsic cardiac performance of a marine teleost. **J. Exp. Biol.**, v. 118, p. 173-183, 1985.

GREER WALKER, M.; et al. Heart structure of some deep-sea fish (Teleostei: *Macrouridae*). **J. Zool.**, v. 205, p. 75-89, 1985.

GRIMES, A.C.; KIRBY, M.L. The outflow tract of the heart in fishes: anatomy, genes and evolution. **J. Fish Biol.**, v.74, p. 983-1036, 2009.

GUERRA, C.D.R. **Caracterização eletrocardiográfica e controle nervoso da função cardio-respiratória de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887 - Teleostei, Serrasalmidae) durante hipóxia ambiental e na recuperação subsequente à normóxia.** 1997. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, São Carlos, 169 p. 1997.

GUERRA, C.D.R. **Respostas cardio-respiratórias de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), às variações de oxigênio no ambiente e durante a recuperação subsequente.** 1992. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, 114 p. São Carlos, SP, 1992.

HAMILTON, R.M.; MCKECHNIE, P.S.; MACFARLANE, P.W. Can cardiac vagal tone be estimated from the 10-second ECG?. **Inter. J. Cardiol.**, n. 95, p. 109-115, 2004.

HAVERINEN, J.; VORNANEN, M. Temperature acclimation modifies sinoatrial pacemaker mechanism of the rainbow trout heart. **Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.**, n. 292, p. 1023-1032, 2007.

HERBERT, N. A.; STEFFENSEN, J. F. The response of Atlantic cod, *Gadus morhua*, to progressive hypoxia: fish swimming speed and physiological stress. **Mar. Biol.**, n.147, p.1403-1412, 2005.

HONCZARYK, A. Efeito da densidade de estocagem sobre a performance de matrinxã *Brycon sp.* In: VIII Simpósio Brasileiro de Aquicultura. III Encontro Brasileiro de Patologia dos Organismos Aquáticos. **Resumo.** Piracicaba. 1994.

HONCZARYK, A. O potencial do Matrinxã, *Brycon cephalus*, na piscicultura da Amazônica. In: Conferência Internacional Amazônia no Terceiro Milênio: atitudes Desejáveis, 1999, Manaus. **Anais.** Manaus: p.24-27, 1999.

HU, N.; YOST, H.J.; CLARK, E.B. Cardiac morphology and blood pressure in the adult zebrafish. **Anat. Rec.**, v. 264, p. 1-12, 2001.

HUGHES, G. M.; et al. Respiration of the carp, *Cyprinus carpio* L., at 10 and 20 °C and the effects of hypoxia. **J. Fish Biol.**, v. 22, p. 613-628, 1983.

HUGHES, G. M.; ROBERTS, J. L. A study of the effect of temperature changes on the respiratory pumps of the rainbow trout. **J. Exp. Biol.**, v. 52, p. 177-192, 1970.

HUGHES, G.M.; SAUNDERS, R.L. Responses of respiratory pumps to hypoxia in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. **J. Exp. Biol.**, v. 53, 529-545, 1970.

ICARDO, J.M.; et al. The bulbus arteriosus of stenothermal and temperate teleosts: a morphological approach. **J. Fish Biol.**, v. 57, p. 121-135, 2000.

ISHIBASHI Y.; et al. Stress response and energy metabolism in various tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to hypoxic conditions. **Fish. Sci.**, v. 68, p. 1374-1383, 2002.

JACKSON, D. C. Temperature and hypoxia in ectothermic tetrapods. **J. Thermal. Bio.**, v. 32, p. 125-133, 2007.

JANSEN, W.; HESSLEIN, R.H. Potential effects of climate warming on fish habitats in temperate zone lakes with special reference to Lake 239 of the experimental lakes area (ELA), north-western Ontario. **Environm. Biol. Fishes**, v.70, p.1-22, 2004.

JANZEN, J.G.; SCHULZ, H.E.; LAMON, A.W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.13, n.3, p. 278-283, 2008.

JENSEN, F.B.; NIKINMAA, M.; WEBER, R.E. Environmental perturbations of oxygen transport in teleost fishes: causes, consequences and compensations. In: RANKIN, J. C.; JENSEN, F. B. **Fish Ecophysiology**. London: Chapman & Hall. 1993. p. 161-179.

JOHANSEN, K.; LENFANT, C.; GRIGG, G. C. Respiratory control in lungfish. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 20A, p. 835-854, 1967.

JONES, D. R.; BRILL, R. W.; BUSHNELL, P. G. Ventricular and arterial dynamics of anaesthetised and swimming tuna. **J. Exp. Biol.**, v. 182, p. 97-112, 1993.

KALININ, A. L.; RANTIN, F.T.; GLASS, M L. Dependence on body size of respiratory function in *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae) during hypoxia. **Fish Physiol. Biochem.**, v. 12, p. 47-51, 1993.

KALININ, A.L. et al. Ventilatory flow relative to intrabuccal and intraopercular volumes in the serrasalmid fish *Piaractus mesopotamicus* during normoxia and exposed to graded hypoxia. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 60, n. 2, p. 249-254, 2000.

KALININ, A.L. **Função respiratória de tilápia do nilo, *Oreochromis niloticus*, em diferentes condições de O<sub>2</sub> ambiental: tomada de O<sub>2</sub> branquial e cutânea, medidas diretas e determinações indiretas dos parâmetros ventilatórios.** Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, 101p. São Carlos, SP, 1996.

KALININ, A.L. **Função respiratória de traíra, *Hoplias malabaricus* (Bloch), em diferentes fases do crescimento às reduções do oxigênio dissolvido no ambiente: aspectos fisiológicos e adaptativos.** Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais/UFSCar, 133p. São Carlos, SP, 1991.

KALININ, A.L.; et al. Effects of Temperature on Cardiac Function in Teleost Fish. In: GLASS, M.L.; WOOD, S.C. **Cardio-Respiratory Control in Vertebrates: Comparative and Evolutionary Aspects.** Berlin: Springer, 2009. P. 121-160.

KALININ, A.L.; et al. Ventilatory flow relative to intrabuccal and intraopercular volumes in two ecologically distinct erythrinids (*Hoplias malabaricus* and *Hoplias lacerdae*) exposed to normoxia and graded hypoxia. In: Val, A.L., Almeida-Val, V.M.F., Randall, D.J. (eds.). **Physiology and Biochemistry of the Fishes of the Amazon.** Manaus: INPA, 1996.

KELSCH, S.W., NEIL, W.H. Temperature preference versus acclimation in fishes: selection for changing metabolic optima. **Trans. Am. Fish. Soc.**, v.119, p. 601-610, 1990.

KHAN, M.G. Rapid ECG Interpretation. 3 ed. Totowa, New Jersey: Humana Press, 2003. 416 p.

KLABUNDE, R.E. **Cardiovascular Physiology Concepts.** Lippincott Williams & Wilkins. 256p, 2004.

KUMAGAI, M.; ISHIKAWA, K.; ISHIGURO, N. Impacts of global warming on large lakes. **Water Resources Systems- Water Availability and Global Change.** IAHS Publ. no. 280, 2003.

LAURENT, P.; HOLMGREN, S.; NILSSON, S. Review article: Nervous and Humoral control of the fish heart: structure and function. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 76A, p.525-542, 1983.

LEKNES, I.L. Rodlet cells and granulated leucocytes in the bulbus arteriosus of swordtail, *Xiphophorus helleri* L. and platy, *Xiphophorus maculatus* L. (Poeciliidae: Teleostei). **Fish Shellfish Immunol.**, v. 11, p. 433-436, 2001.

LICHT, J.H.; HARRIS, W.S. The structure, composition and elastic properties of the teleost bulbus arteriosus in the carp, *Cyprinus carpio*. **Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.**, 46, 699-670, 1973.

LILLYWHITE, H.A.; ZIPPEL, K.C.; FARRELL, A.P. Resting and maximal heart rates in ectothermic vertebrates. **Comp. Biochem. Physiol.**, v.124A, p.369-382, 1999.

LIU, C; LI, R. Electrocardiogram and heart rate in response to temperature acclimation in three representative vertebrates. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 142A, p. 416-421, 2005.

LOWEK-McCONNELL, R. H. **Ecological studies in tropical fish communities**. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1987. 382 p.

MARICONDI-MASSARI, M.; KALININ, A.L.; GLASS, M.L.; RANTIN, F.T. The effects of temperature on oxygen uptake, gill ventilation and ECG waveforms in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **J. Therm. Biol.**, v. 23, n. 5, p. 283-290, 1998.

MASSARI, M. **Avaliação das respostas cardio-respiratórias de Tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, às variações da temperatura ambiental e recuperação subsequente**. São Carlos, SP. Dissertação (mestrado em ciências). Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 1993.

MATIKAINEN, N.; VORNANEN, M. Effect of season and temperature acclimation on the function of crucian carp (*Carassius carassius*) heart. **J. Exp. Biol.**, n. 167, p. 203-220, 1992.

MATTIAS, A.T.; RANTIN, F.T.; FERNANDES, M.N. Gill respiratory parameters during progressive hypoxia in the facultative air-breathing fish, *Hypostomus regani* (Loricariidae). **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 120A, p. 311-315, 1998.

MAZEAUD, M.M; MAZEAUD, F.; DONALDSON, E.M. Primary and secondary stress effects of stress in fish: some new data with a general review. **Trans. Am. Fish. Soc.**, v. 106, p. 201–212, 1977.

MIJOLJI, I. Aquatic experts. Disponível em: <[http:// www.aquatic-experts.com/Brycon\\_amazonicus.html](http://www.aquatic-experts.com/Brycon_amazonicus.html)>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

MOFFITT, B. P.; CRAWSHAW, L. I. Effect of acute temperature changes on metabolism, heart rate, and ventilation frequency in carp *Cyprinus carpio* L. **Physiol.Zool.**, v. 56, p. 397-403, 1983.

MONTEIRO, D.A. **Impacto de diferentes vias de contaminação por mercúrio inorgânico sobre os biomarcadores de estresse oxidativo, a função cardiorespiratória e o potencial de bioconcentração e biomagnificação em matrinxã, *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829) e em traíra, *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794)**. 2011. 423 p. Tese (Doutorado em Ciências Fisiológicas) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

MORAES, M.F.P.G.; BARBOLA, I.F. Hábito alimentar e morfologia do tubo digestivo de *Hoplias malabaricus* (Osteichthyes, Erythrinidae) da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, Paraná, Brazil. **Acta Biol. Par.**, v. 24, p. 1-23, 1995.

MORGAN, I.J.; MCDONALD, D.G.; WOOD, C.M. The cost of living for freshwater fish in a warmer, more polluted world. **Glob. Chang. Biol.**, n.7, p. 345-355, 2001.

MORTOLA, J.P.; FRAPPELL, P.B. Ventilatory responses to changes in temperature in mammals and other vertebrates. **Annu. Rev. Physiol.**, v. 62, p. 847-874, 2000.

MUUSZE, B.; et al. Hypoxia tolerance of Amazon fish respirometry and energy metabolism of the cichlid *Astronotus ocellatus*. **Comp. Biochem. Physiol.**, n. 120A, p. 151-156, 1998.

NAKABA M, et al. Properties of soluble elastin peptide from bulbus arteriosus in fish species. **Fish. Sci.**, v. 72, p. 1322-1324, 2006.

NIKINMAA, M. Transport and Exchange of Respiratory Gases in the Blood. In: FARRELL, A.P. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 879-886.

OLIVEIRA, R.D. **Efeitos da temperatura nas respostas cardio-respiratórias e na respiração aérea acessória de jeju, *Hoplerythrinus unitaeniatus* (erythrinidae) aclimatados a 15, 20, 25 e 30°C e submetidos a variações de O<sub>2</sub> ambiental**. 76 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

OLIVEIRA, R.D.; et al. Cardiorespiratory responses of the facultative air-breathing fish jeju, HOPLERYTHRINUS UNITAENIATUS (Teleostei, Erythrinidae), exposed to graded ambient hypoxia. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 139A, p. 479-485, 2004.

OLLE, C.D. **Efeito do inseticida organofosforado metilparation (Folisuper 600BR<sup>®</sup>) sobre a função cardio-respiratória do peixe teleósteo matrinxã, *Brycon cephalus***. 2007. 130 p. Tese (Doutorado em Fisiologia) – Departamento de Ciências Fisiológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

OLLE, C.D. **Função cardíaca do teleósteo *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae) submetido a diferentes condições térmicas**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Fisiológicas) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

OLSON, K.R.; FARRELL, A.P. The cardiovascular system. In: Evans, D.H., Claiborne, J.B. (Eds.), *The Physiology of Fishes*, 3 ed. Taylor & Francis Group, USA, pp.119-152, 2006

OTT, M.E.; HEISLER, N.; ULTSCH, G.R. A re-evaluation of the relationship between temperature and the critical oxygen tension in freshwater fishes. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 27, p. 349-355, 1980.



PERRY, S. F.; LAURENT, P. Environmental effects on fish gill structure and function. In: RANKIN, J. C.; JENSEN, F. B. **Fish Ecophysiology**. London: Chapman & Hall. 1993. p. 231-264.

PERRY, S.F.; WOOD, C.M. Control and coordination of gas transfer in fishes. **Can. J. Zool.**, v. 67, p. 2961-2970, 1989.

PETRY, A.C. **A traíra *Hoplias aff. malabaricus* (Bloch, 1794) na planície de inundação do alto rio Paraná: influência sobre as assembleias de peixes e aspectos da auto-ecologia**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá. 2005.

PETRY, A.C.; et al. Effects of temperature on prey consumption and growth in mass of juvenile trahira *Hoplias aff. malabaricus* (Bloch, 1794). **J. Fish Biol.**, v. 70, p.1855-1864, 2007.

POPPE, T.T.; et al. Heart morphology in wild and farmed Atlantic salmon *Salmo salar* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Dis. Aquat. Organ.**, v. 57, p. 103-108, 2003.

PÖRTNER, H.O.; KNUST, R. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. **Science**, v. 315, p. 95-97, 2007

PRIEDE, I.G. Functional morphology of the bulbus arteriosus of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). **J. Fish. Biol.**, v. 9, p. 209-216, 1976.

PRIEDE, I.G. The effects of swimming activity and section of the vagus nerves on heart rate in rainbow trout. **J. Exp. Biol.**, n. 60, p. 305-319, 1974.

QUEROL, M.V.M. Reprodução natural e induzida de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794), em tanques experimentais, na região de Uruguaiana, Pampa Brasileiro. **Biodiversidade Pampeana**, v.1, n.1, p. 46-57, 2003.

RAMOS, C.; MACÍAS, D. Ultrastructural study of the sinus venosus in embryos of the dogfish (*Scyliorhinus canicula*). **Anat. Embryol.**, v.198, p. 523-536, 1998.

RANDALL, D. The control of respiration and circulation in fish during exercise and hypoxia. **J. Exp. Biol.**, v. 100, p. 275-288, 1982.

RANDALL, D.J.; CAMERON, J.N. Respiratory control of arterial pH as temperature changes in rainbow trout *Salmo gairdneri*. **Am. J. Physiol.**, v. 225, p.997-1002, 1973.

RANTIN, D. **Efeito de elevações agudas na temperatura sobre a função cardio-respiratória da carpa comum, *Cyprinus carpio* L.** Universidade Federal de São Carlos/UFSCar: Departamento de Ciências Fisiológicas, 2008. Trabalho de conclusão de curso.

RANTIN, F.T. et al. Respiratory responses to hypoxia in relation to mode of life in two erythrinid species (*Hoplias malabaricus* and *Hoplias lacerdae*). **J. Fish. Biol.**, v. 41, p. 805-812, 1992.

RANTIN, F.T.; et al. Cardio-respiratory responses in two ecologically distinct erythrinids (*Hoplias malabaricus* and *Hoplias lacerdae*) exposed to graded environmental hypoxia. **Environ. Biol. Fish.**, v. 36, p. 93-97, 1993.

RANTIN, F.T.; et al. The influence of aquatic surface respiration (ASR) on cardio-respiratory function of the serrasalmid fish *Piaractus mesopotamicus*. **Comp. Biochem. Physiol. A.**, v. 119, p. 991-997, 1998.

RANTIN, F.T.; et al.. Electrocardiographic characterization of myocardial function in normoxic and hypoxic teleosts. **Braz. J. Med. Biol. Res.**, v. 28, p.1277-1289, 1995.

RANTIN, F.T.; FERNANDES, M.N.; FUREGATO, M.C.H.; SANCHES, J.R. Thermal acclimation in the teleost, *Hoplias malabaricus* (Pisces, Erythrinidae). **Bolm. Fisiol. Anim.**, University of São Paulo, v. 9, p. 103-109, 1985.

RANTIN, F.T.; KALININ, A.L.; GLASS, M.L. The effects of temperature on respiratory and cardiac function of teleosts fish. In: Fish Respiration and Environment. M.N. Fernandes, F.T. Rantin and M.L. Glass, B.G. Kapoor (Eds.) Science Publishers, New Hampshire, USA, pp. 55-82. 2007.

REITE, O. B. Mast cells/eosinophilic granule cells of teleostean fish: a review focusing on staining properties and functional responses. **Fish Shellfish Immunol.**, v.8, 489-513, 1998.

REITE, O.B.; EVENSEN, Ø. Inflammatory cells of teleostean fish: A review focusing on mast cells/eosinophilic granule cells and rodlet cells. **Fish Shellfish Immunol.**, v.20, p.192-208, 2006.

REYNOLDS, W.W., CASTERLIN, M.E. Behavioral thermoregulation and the "final preferendum" paradigm. **Am. Zool.**, v.19, p. 211-224, 1979.

RIVAROLI, L.; RANTIN, F.T.; KALININ, A.L. Cardiac function of two ecologically distinct Neotropical freshwater fish: Curimbata, *Prochilodus lineatus* (Teleostei, Prochilodontidae), and trahira, *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae). **Comp. Biochem. Physiol.**, v.145A, p.322-327, 2006.

ROBERTS, J.L. Active branchial and ram gill ventilation in fishes. **Biol. Bull.**, v. 148, P. 85-105, 1975.

ROUMBOUGH, P.J. Respiratory Gas Exchange During Development: Models and Mechanisms In: FARRELL, A.P. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 829-837.

SAITO, T. Effects of vagal stimulation on the pacemaker action potentials of carp heart. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 44A, p. 191-199, 1973.

SÁNCHEZ-QUINTANA, D.; et al. Myocardial fiber and connective tissue architecture in the fish heart ventricle. **J. Exp. Zool.**, v. 275, n. 2, p. 112-24, 1996.

SANTER, R. M.; et al. On the morphology of the heart ventricle in marine teleost fish (Teleostei). **Comp. Biochem. Physiol.**, v.76A, n. 3, p. 453-457, 1983.

SANTER, R.M. Morphology and innervation of the fish heart. **Adv. Anat. Embryol. Cell Biol.**, v. 89. p. 1-102, 1985.

SANTER, R.M.; GREER WALKER, M. Morphological studies on the ventricle of teleost and elasmobranch heart. **J. Zool.**, v. 190, p. 259-272, 1980.

SATCHELL, G. H. **Physiology and form of fish circulation**. New York: Cambridge University Press, 1991. 235 p.

SAUNDERS, R.L. The irrigation of the gills in fishes. I. Efficiency of oxygen uptake in relation to the respiratory flow activity and concentrations of oxygen and carbon dioxide. **Can J. Zool.**, v. 40, p. 817-862, 1962.

SCHIMITTOU, H.P. High density fish culture in low volume cages. Singapore, American Soybean Association. P. 78, 1993.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Animal Physiology**. Cambridge University Press: New York, NY., 1997.

SCHURMANN, H.; STEFFENSEN, J. F. Lethal oxygen levels at different temperatures and the preferred temperature during hypoxia of the Atlantic cod, *Godus morhua* L. **J. Fish. Biol.**, v. 41, p. 927-934, 1992.

SCHURMANN, H.; STEFFENSEN, J.F.; LOMHOLT, J.P. The influence of hypoxia on the preferred temperature of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **J. Exp. Biol.**, v. 157, p. 75-86. 1991.

SCORVO-FILHO, J.D.; MARTINS, N.B.; AYROSA, L.M.S. Piscicultura em São Paulo: custos e retornos de diferentes sistemas de produção na safra de 1996/1997. **Inform. Econ.**, v. 28, p. 41-60, 1998.

SIMÕES, K.; et al. Myoarchitecture and vasculature of the heart ventricle in some freshwater teleosts. **J. Anat.**, n. 200, p. 467-475, 2002.

SIMÕES, K.; et al. Structure and vascularization of the ventricular myocardium of *Piaractus mesopotamicus* and *Clarias gariepinus* (Teleostei). **Anat. Histol. Embryol.**, n. 28, p. 243-246, 1999.

SLOMAN, K. Behavioral Responses to Hypoxia. In: FARRELL, A.P. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 765-771.

SMITH, F. M.; JONES, D. R. The effects of changes in blood oxygen carrying capacity on ventilation volume in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **J. Exp. Biol.**, v. 97, p. 325-335, 1982.

SOUZA, R.H.S.; et al. Ventilation, gill perfusion and blood gases in dourado, *Salminus maxillosus* Valenciennes (Teleostei, Characidae), exposed to graded hypoxia. **J. Comp. Physiol.**, v. 171B, n. 6, p. 483-489, 2001.

species in relation to their respiratory function. **Can. J. Zool.**, v. 72, p. 160-165, 1994.

STEFFENSEN, J.F. Oxygen consumption of fish exposed to hypoxia: Are they all oxyregulators or are any oxyconformers? **Fish Physiology, Toxicology, and Water Quality**. U.S. Environmental Protection Agency. Proceedings of the Ninth International Symposium, Capri, Italy, p. 239-250, 2006.

STEFFENSEN, J.F.; LOMHOLT, J.P.; JOHANSEN, K. Gill ventilation and O<sub>2</sub> extraction during graded hypoxia in two ecologically distinct species of flatfish, the flounder (*Plutichthys flesus*) and the plaice (*Pleuronectes platessa*). **Env. Biol. Fish.**, v. 7, n. 2, p. 157-163, 1982.

STEINHAUSEN, M.F.; et al. The effect of acute temperature increases on the cardiorespiratory performance of resting and swimming sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). **J. Exp. Biol.**, v. 211, p. 3915-3926, 2008.

SUNDIN, L., et al. Cardiovascular and respiratory reflexes: the tropical fish, traíra (*Hoplias malabaricus*). **Resp. Physiol.**, v. 116, p. 181-119, 1999.

TAKASUSUKI, J.; FERNANDES, M. N.; SEVERI, W. The occurrence of aerial respiration in *Rhinelepis strigosa* during progressive hypoxia. **J. Fish Biol.**, v. 52, p. 369-379, 1998.

TANCK, M.W.T. Cold shocks: a stressor for common carp. **J. Fish Biol.**, v. 57, 881-894, 2000.

TAYLOR, S. E.; EGGINTON, S.; TAYLOR, E. W. Respiratory and morphometric limits to maximal sustainable exercise in the rainbow trout with seasonal temperature acclimatization. **J. Exp. Biol.**, v. 199, p. 835-845, 1996.

THOMAZ, J.M.; et al. Cardio-respiratory function and oxidative stress biomarkers in Nile tilapia exposed to the organophosphate insecticide trichlorfon (Neguvon). **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, v. 72, p. 1413-1424, 2009.

TIBBITS, G.F., MOYES, C.D., HOVE-MADSEN, L. Excitation-contraction coupling in the teleost heart. In: **Fish Physiology: The Cardiovascular System**. New York: Academic Press Inc., v. 12A, p. 267-303, 1992.

TIITU, V.; VORNANEN, M. Regulation of cardiac contractility in a cold stenothermal fish, the burbot *Lota lota* L. **J. EXP. BIOL.**, n. 205, p. 1597-1606, 2002.

TIMM, C.D. Fish Base. Disponível em: <<http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.php?StartRow=2&ID=4757&what=species&TotRec=13>>. Acesso em: 10 Jan. 2010.

TOLOSA, E. M. C.; et al. **Manual de técnicas para histologia normal e patológica**. 2.ed. São Paulo: Manole, 2003. 331 p.

TOTA, B.; et al. Comparative study of the arterial and lacunary systems of the ventricular myocardium of elasmobranchs and teleost fishes. **Am. J. Anat.**, v. 167, p. 15-32, 1983.

ULTSCH, G.R.; OTT, M.; HEISLER, N. Standard metabolic rate, critical oxygen tension and aerobic scope for spontaneous activity of trout (*Salmo gairdneri*) and carp (*Cyprinus carpio*) in acidified water. **Comp. Biochem. Physiol. A**, v. 67, p. 329-335, 1980.

VAL, A.L. Adaptations of fishes to extreme conditions in fresh waters. In: BICUDO, J.E.P.W. **The vertebrate gas transport cascade: adaptations to environment and mode of life**. Florida: CRC Press, 1993. p.43-53.

VAL, A.L. ALMEIDA-VAL, V.M.F.; RANDALL, D.J. **The physiology of tropical fishes**. Academic Press, 2006. v. 21.

VAL, A.L., HONCZARIK, A. **Criando Peixes na Amazônia**. Manaus: Editora do INPA. 1995, p. 160.

VAN DEN BURG, E.H.; et al. Activation of a sensorimotor pathway in response to a water temperature drop in a teleost fish. **J. Exp. Biol.**, v. 209, p. 2015-2024, 2006.

VAN DEN BURG, E.H.; et al. Brain Responses to Ambient Temperature Fluctuations in Fish: Reduction of Blood Volume and Initiation of a Whole-Body Stress Response. **J. Neurophysiol.**, v. 93, p.2849-2855, 2005.

VAN MAAREN, C.C.; KITA, J.; DANIELS, H.V. for juvenile southern flounder *Paralichthys lethostigma* acclimated to five different temperatures. **UJNR Technical Report**, n. 28, 1999.

VERHEIJCK, E.E.; et al. Distribution of atrial and nodal cells within the rabbit sinoatrial node: models of sinoatrial transition. **Circulation**, v. 97, p. 1623-31, 1998.

VORNANEN, K. Temperature and Excitable Membranes. In: FARRELL, A.P. **Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment**. Italy: Elsevier, 2011. p. 1717-1724.

WAGNER, E.J.; BOSAKOWSKI, T.; INTELMAAN, S. Combined effects of temperature and high pH on mortality and the stress response of rainbow trout after tocking. **Trans. Amer Fish. Soc.**, v. 126, p. 985-998, 1997.

WEGNER, N.C.; GRAHAM, J.B. George Hughes and the history of fish ventilation: From Du Verney to the present. **Comp. Bioch. Physiol. A**, v.157, p. 1-6, 2010.

WETZEL, R. G. Oxygen. In: **Limnology**. Philadelphia: Saunders Company. 1975. p. 123-141.

WILKES, P.R.H.; et al. Respiratory, ventilatory acid base and ionoregulatory physiology of the white sucker *Catostomus commerson*: the influence of hyperoxia. **J. Exp. Biol.**, v. 91, p. 239-254, 1981.

WU, R.S.S.; et al. Aquatic hypoxia is an endocrine disruptor and impairs fish reproduction. **Environ. Sci. Technol.**, n. 37, p. 1137-1141, 2003.

YAMAUCHI, A.; FUJIMAKI, Y.; YOKOTA, R. Fine structural studies of the sino-auricular nodal tissue in the heart of a teleost fish, *Misgurnus*, with particular reference to the cardiac internuncial cell. **Am. J. Anat.**, v. 138, p. 407-29, 1973.

YOSHIKAWA, H.; et al. Electrocardiograms in five bipolar leads recorded from the body surface of three fish species (*Cyprinus carpio*, *Oreochromis niloticus* and *Pagrus major*) in fresh or sea-water. **Comp. Biochem. Physiol. A**, v.91, n.4, p. 759-764, 1988.

YU F.; et al. Electrocardiogram signals to assess zebrafish heart regeneration: implication of long QT intervals. **Ann. Biomed. Eng.**, v. 38, p. 2346-57, 2010.

ZACCONE G.; et al. Distribution and neurotransmitter localization in the heart of the ray-finned fish, bichir (*Polypterus bichir bichir* Geoffroy St. Hilaire, 1802). **Acta Histochemn**, v. 111, p. 93-103, 2009.

ZACCONE G.; et al. Postganglionic nerve cell bodies and neurotransmitter localization in the teleost heart. **Acta Histochem.**, v. 112, p. 328-36 2010.

ZANIBONI-FILHO, E.; RESENDE, E.K. Anatomia de gônadas, escala de maturidade e tipo de desova do matrinhã, *Brycon cephalus* (Günther, 1869) (Teleotei: Characidae). *Revista Brasileira de Biologia*. São Carlos, v. 48, n. 4, p. 833-844, 1988.