



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS V – JOÃO PESSOA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS - CCBSA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

IDALIO DO AMARANTO COSTA

**RELAÇÃO ENTRE MASSA CORPORAL E TAXA RESPIRATÓRIA EM
ARTHROPODA DE FLORESTA ATLÂNTICA (PARAÍBA, BRASIL)**

**JOÃO PESSOA
2017**

IDALIO DO AMARANTO COSTA

**RELAÇÃO ENTRE MASSA CORPORAL E TAXA RESPIRATÓRIA EM
ARTHROPODA DE FLORESTA ATLÂNTICA (PARAÍBA, BRASIL)**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade Estadual
da Paraíba, em cumprimento à exigência para
obtenção do título de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Área de concentração: **Zoologia.**

Orientador: Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho
Coorientador: Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon

JOÃO PESSOA
2017

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

C837r Costa, Idalio do Amaranto
Relação entre massa corporal e taxa respiratória em
arthropoda de floresta atlântica (Paraíba, Brasil) [manuscrito] /
Idalio do Amaranto Costa. - 2017.
32 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho,
Departamento de Ciências Biológicas".

"Co-Orientação: Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon,
Departamento de Ciências Biológicas".

1. Dióxido de carbono. 2. Respirometria animal. 3.
Analisador de gás por infravermelho. I. Título.

21. ed. CDD 595

IDALIO DO AMARANTO COSTA

RELAÇÃO ENTRE MASSA CORPORAL E TAXA RESPIRATÓRIA EM ARTHROPODA
DE FLORESTA ATALÂNTICA (PARAÍBA, BRASIL)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade Estadual
da Paraíba, em cumprimento à exigência para
obtenção do título de Bacharel em Ciências
Biológicas.


Área de concentração: **Zoologia**

Aprovado em: 26/05/2017.

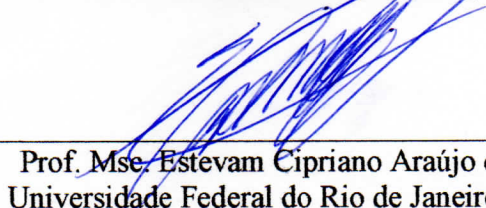
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon (Coorientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Enelise Marcelle Amado
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Msc. Estevam Cipriano Araújo de Lima
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

À Deus, o criador de tudo e o conhecedor da sabedoria que envolve todos os mistérios da humanidade.

À minha família, que me educou para o bem e para a justiça, torcendo pela minha felicidade.

Aos meus amigos, que me apoiam e me alegram nos momentos mais difíceis.

Aos meus professores, que me trouxeram o desejo de descobrir e a arte de questionar, as condições iniciais para um futuro cientista.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, meu guia para todos os momentos seja de alegrias ou dificuldades sempre apontando o melhor caminho e as melhores pessoas, proporcionando a conquista de grandes objetivos e realização de incontáveis sonhos.

Agradeço imensamente à Universidade Estadual da Paraíba, campos João Pessoa e a todos os profissionais que fazem parte da rede UEPB. Um obrigado especial ao CNPq pelos auxílios financeiros durante a graduação. Aos melhores orientadores ao qual eu tive orgulho de estar junto: Douglas Zeppelini e Cleber Salimon, vocês são ótimas pessoas e ótimos profissionais, pacientes e cheios de ideias, tenham certeza que um pouco de cada um ficou gravado na minha vida, obrigado por tudo!

À minha mãe Fátima e meu pai João, que me proporcionaram os maiores ensinamentos da vida, amo vocês. Aos meus irmãos, cunhadas, sobrinhos, tios e primos que contribuíram para a caminhada ser mais proveitosa, além das muitas ajudas cedidas durante estes mais de quatro anos de curso. Desculpem as incontáveis ausências e tempo corrido, realmente perdi alguns momentos que não voltam, porém, cada minuto perdido foi transformado em conhecimento adquirido. Obrigado família pelo apoio!

Aos professores, que desde o ensino médio me mostraram a beleza que existe por traz do conhecimento. Aos professores da graduação, os mestres e doutores que além de servirem como inspiração e mostrarem as mais diversas faces da Biologia, cada um com sua personalidade, seus ditados e suas manias, com toda certeza, ajudou no meu crescimento como aluno, profissional e um cidadão protetor da natureza. Obrigado grandes mestres!

Aos meus grandes amigos que sempre estiveram comigo, desde o ensino fundamental, médio e agora aturam este amigo ambientalista, que reclama se arrancam uma folha ou chamam um animalzinho de feio, que fala ‘poucas e boas’ quando alguém joga lixo no chão, e que inicia aquelas conversas chatas de horas e horas sobre a vida ou sobre a importância dos colêmbolos (rsrsrs). Ter vocês comigo fez toda a diferença, amo vocês!

Aos amigos que a Biologia uniu, que o tempo fez questão de levar para diferentes áreas, mas que isto não abalou a amizade, e hoje podemos ter a certeza que a turma de 2013.1 terão ótimos profissionais nas mais diversas áreas do curso. Foram muitas adaptações, más sempre sobrevivíamos, literalmente, como em algumas aulas de campo não muito agradáveis (Picuí do Inferninho), a outras, bastante agradáveis (os golfinhos de

Pipa e os mergulhos em Jacarapé). Começamos com quase 60 alunos, e a cada período o número reduzia, ganhávamos novos integrantes e hoje somos esta família que ‘entre tapas e beijos’ se ama. Obrigado também àqueles amigos que o destino fez questão de unir, os de laboratórios, os monitores ‘tops’, os alunos de monitorias e aos colegas de congressos por todo o Brasil. Guardarei cada gargalhada, reunião de projetos, coletas, horas de estudo, e até mesmo as horas no corredor dos laboratórios conversando sobre tudo e todos ao mesmo tempo e marcando todas as possíveis viagens e imaginando o futuro, pois é o futuro surge a cada dia, e aqui estou para agradecer por cada momento, os alegres, os tristes, os estressantes, é devido a vocês que sentirei saudades da graduação.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”

(Mahatma Gandhi)

SUMÁRIO

RESUMO	7
1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Taxa Respiratória e Respirometria.....	8
1.2 Artrópodes Terrestres de Floresta Atlântica.....	10
1.3 Relação Massa Corporal e Taxa Respiratória.....	12
2 METODOLOGIA	13
2.1 Área de Coleta.....	13
2.2 Coleta e Aclimação.....	15
2.3 Respirometria e Medição de Massa Corporal.....	16
2.4 Análise Estatística.....	16
3 RESULTADOS	17
3.1 Taxa Respiratória por Emissão de CO ₂	17
3.2 Relação Taxa Respiratória por Emissão de CO ₂ e Massa Corporal	20
4 DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	25

RELAÇÃO ENTRE MASSA CORPORAL E TAXA RESPIRATÓRIA EM ARTHROPODA DE FLORESTA ATLÂNTICA (PARAÍBA, BRASIL)

Idalio do Amaranto Costa*

RESUMO

Entende-se por respirometria a medida de troca gasosa realizada por um animal, no qual utiliza-se a variação da concentração dos gases respiratórios para cálculo da taxa de respiração. Estudos de taxa respiratória em artrópodes remetem a dados eco fisiológicos importantes, uma vez que estes animais realizam importantes funções ecossistêmicas e por serem a maior diversidade e abundância de animais presentes na Terra. Esta pesquisa mede e descreve taxas respiratórias, através da emissão de CO₂, e as relaciona com a massa corporal de artrópodes. Este estudo foi realizado em fragmentos remanescentes de Floresta Atlântica litorânea da Paraíba, Brasil. a pesquisa abrange todos os subfilos viventes de artrópodes (Crustácea, Chelicerata, Myriapoda e Hexapoda) representado por 705 espécimes coletados ativamente e experimentados através de respirometria fechada pelo Analisador de Gás por Infravermelho (IRGA). Como resultado foi visto que dentre os artrópodes avaliados os Hexapoda e Chelicerata apresentaram maiores taxas de emissão de dióxido de carbono enquanto que os Crustácea e Myriapoda as menores. Sobre a relação com a massa corporal, os Hexapoda e Crustácea apresentaram maior respiração por massa específica de artrópode, e em geral, todos os Arthropoda seguiram o padrão descrito pela fisiologia animal, onde a massa corporal e a taxa respiratória animal encontram-se correlacionadas inversamente.

Palavras-Chave: Dióxido de Carbono. Respirometria Animal. Analisador de Gás por Infravermelho

1. INTRODUÇÃO

Para Brown e colaboradores (2004) a taxa metabólica é a taxa biológica mais relevante, e dentre os organismos heterótrofos, como os animais, incluindo os artrópodes, esta taxa remete-se à taxa respiratória. A vida é criticamente dependente do consumo de energia do ambiente, essa quantidade de energia necessária, e a forma como é utilizada pode ser considerada uma das questões fundamentais na biologia (MAKARIEVA *et al.* 2008). Metabolismo é conhecido como a soma total das reações químicas que ocorrem em um organismo, assim a sua taxa metabólica seria um valor predeterminado condizente a soma de suas reações químicas, no qual varia de acordo com fatores intrínsecos do indivíduo, compreendendo as mais complexas demandas de recursos ambientais necessários para a

* Aluno de Graduação em Ciências Biológicas na Universidade Estadual da Paraíba – Campus V.
Email: idalio.amaranto@gmail.com

sobrevivência, definindo assim o ritmo de vida de um organismo (BERTALANFFY 1957; BROWN *et al.* 2004; RANDALL, BURGGREN, & FRENCH 2011).

1.1. Taxa Respiratória e Respirimetria

Nem sempre houve oxigênio abundante na atmosfera da Terra, outros compostos como o nitrato (NO_3^-), ferro férrico (Fe^{3+}), sulfatos (SO_4^{2-}) e carbonatos (CO_3^{2-}) faziam parte das primeiras vias de reações bioquímicas da respiração celular. Com a expansão de organismos fotossintetizantes (cianobactérias e outras algas) a atmosfera foi se modificando dando vez à explosão dos aeróbicos, organismos que exploraram o poder oxidativo do oxigênio gasoso (CASTRESANA AND SARASTE 1995).

A respiração aeróbica consiste em uma série de reações químicas de produção de energia que ocorre em seres vivos, no qual a partir de reações de oxidação-redução, sendo armazenada nas células sob a forma de trifosfato de adenosina, ATP. Na natureza esta energia pode ser obtida através de compostos químicos orgânicos, inorgânicos e através da luz. Via de regra heterotróficos são aqueles que obtêm energia dos compostos orgânicos realizando a respiração aeróbica, em que através da ventilação, geralmente ocorre a troca de Oxigênio Molecular (O_2) proveniente do ambiente, por gás Carbônico (CO_2) proveniente das reações metabólicas do animal (DIETRICH, TICE, & NEWMAN 2006; MADIGAN *et al.* 2010; HSIA *et al.* 2013). Em outras linhas, podemos definir taxa respiratória como uma taxa de troca gasosa possível de ser quantificada na qual um animal necessita atender às demandas impostas pelo ambiente (PETERS 1983).

Taxa metabólica é determinada a partir do consumo de moléculas de gás oxigênio ou da produção de moléculas de gás carbônico, portanto trata-se de uma forma quantitativa, precisa e prática de avaliar o desempenho fisiológico de um organismo (HARVEY & BROWN 1951; SUSTR & SIMEK 1994; BROWN *et al.* 2004). Ao realizar atividades básicas como locomoção, introduz-se a noção de taxa metabólica padrão, no qual é mais utilizada para comparações em estudos com animais (PETERS 1983; MCNAB 1997).

Podemos observar a influência ambiental sobre a taxa respiratória evidenciada em animais ectotérmicos, onde a diminuição de sua respiração interfere obrigatoriamente na redução de sua temperatura corporal, se expostos a um ambiente hipóxico (PÖRTNER 2001; KLOK, SINCLAIR, & CHOWN 2004). A redução do fluxo respiratório, com finalidade de conservar água dentro do corpo, é um exemplo de controle metabólico interno observado em certos animais ao reduzir ou aumentar sua taxa metabólica (GIBBS, FUKUZATO, &

MATZKIN 2003). Artrópodes toleram baixas concentrações de oxigênio (<5%) (GREENLEE & HARRISON 2004).

O estudo da taxa metabólica de animais remete, também, a sua biologia geral, por exemplo, animais que apresentam taxa respiratória mais baixa, tendem a ter maior porte, apresentando uma potência respiratória por massa específica menor. Já animais que apresentam taxa respiratória mais alta, geralmente caracterizam-se como animais de porte menor, com potência respiratória por massa específica maior (HSIA *et al.* 2013).

Entende-se por respirometria como um método de medição de troca gasosa realizada por um animal, no qual utiliza-se a diferença de concentrações entre os gases respiratórios (O₂ e CO₂) para calcular sua taxa de respiração (HILL, WYSE, & ANDERSON 2012). Hill e colaboradores (2012) descrevem também a existência de dois métodos de estudo por respirometria, o método aberto e fechado. O primeiro consiste em um fluxo contínuo de ar através de uma câmara de respiração, por unidade de tempo, permitindo o monitoramento da troca gasosa do animal. Já o segundo consiste em um circuito fechado (câmara de respiração e aparelho absorvedor) onde verifica-se a diminuição da concentração de oxigênio e/ou o aumento da concentração de dióxido de carbono na câmara de respiração.

Estudos com o Analisador de Gás por Infravermelho - IRGA aplicado a respirometria animal já foram realizados, avaliando a emissão de dióxido de carbono (LIGHTON 1990; CHOWN 2001; WITHERS 2001) para cálculo de taxa respiratória.

Uma vez que a respiração é um aspecto básico do metabolismo animal, estudos com respirometria aplicada a condições atípicas por exemplo, traz informações importantes para avaliar metabolicamente o animal exposto a determinada condição alterada (MIYASHITA 1969), como as mais variadas formas de estresse, jejum, estado de luta e fuga. A taxa respiratória, por ser uma resposta imediata a um determinado fator exposto ao animal, pode ser empregada na previsão de alterações fisiológicas em espécies animais (MACIEIRA & PRONI 2005).

Há fatores ambientais que influenciam diretamente o fluxo respiratório de animais, como é o exemplo da temperatura, na qual o seu aumento eleva a taxa de respiração em abelhas (*Trigona spinipes*) e em colêmbolos (*Tetrodontophora bielanensis*) (ZINKLER 1966; COSSINS & BOWLER 1987; V. 1996; BROWN *et al.* 2004; MACIEIRA & PRONI 2005). Outros fatores, como o estado alimentado de animais ou o período de crescimento sazonal afetam diretamente a atividade respiratória no qual animais em jejum, ou em fase de repouso (geada ou seca) tendem a apresentar taxas de respiração mais baixas (ZETTEL 1982; WOUDE & JOOSSE 1988). Em espécies que realizam mudas periódicas, os intervalos entre

as mudas apresentam elevada taxa metabólica, uma vez que não ocorre o aumento no tamanho das estruturas esclerotizadas de seu sistema de troca gasosa (GREENLEE & HARRISON 2004). Além de determinados fatores intrínsecos da espécie, como sua ontogenia, afetam diretamente o padrão das taxas respiratórias, no qual colêmbolos juvenis tendem a apresentar maiores taxas de consumo de O₂ do que adultos da mesma espécie (HOPKIN 1997).

1.2. Artrópodes Terrestres de Floresta Atlântica

Grandes artrópodes surgiram, em registro fóssil, em épocas que coincidem com a elevação dos níveis de oxigênio atmosférico, por volta de 35% de concentração do gás (BERNER & LANDIS 1988; GRAHAM *et al.* 1995; DUDLEY 1998). Surgindo no período Pré-Cambriano (+ 600 m.a.), os artrópodes passaram por grandes irradiações evolutivas. Sendo a maior diversidade e abundância de animais presentes na Terra, os artrópodes ultrapassam, em números de biodiversidade, até mesmo as espécies de vertebrados, cerca de 85% de todas as espécies descritas, sendo assim considerados os maiores colonizadores do planeta. São encontrados em ambientes terrestres, aquáticos, aéreos, endossimbiontes e nos ambientes considerados extremos, aqueles com altas variações de pH, temperatura e pressão. Representando a maior diversidade e abundância no planeta, os artrópodes oferecem amplos serviços ecossistêmicos abrangendo vários nichos em seus habitats, portanto são fundamentais nos estudos de avaliação da situação ambiental (GASTON 1991; BRUSCA & BRUSCA 2007).

O sistema respiratório foi se moldando evolutivamente de acordo com a pressão imposta pelo ambiente em que estes animais eram inseridos. Para animais respiradores aéreos existem órgãos essenciais que realizam as trocas gasosas, são eles as brânquias, pulmões e traqueias (SCHMIDT-NIELSEN 2002). Contudo, estudos iniciais relatam a importância da difusão direta entre o ar e os tecidos corpóreos, como o mecanismo primordial de trocas gasosas em pequenos organismos, dentre eles os artrópodes com menores dimensões (KROGH 1941). A quantidade de gás transportada no sistema respiratório dos artrópodes é diretamente proporcional à área da seção transversal de suas estruturas respiratórias e, também, à diferença da pressão parcial do gás transportado (KAISER *et al.* 2007).

Em crustáceos terrestres, como os Isopoda (tatuzinho-de-jardim) encontra-se como órgão respiratório as pseudotraqueias que são estruturas ramificadas revestidas por uma fina cutícula que apresentam poros com conexão para o meio exterior, também localizadas próximo aos apêndices abdominais (pleópodes); apresentam também os pulmões de difusão no qual são

completamente internalizados na região ventral composto por túbulos e rugas (HENRY 1994; SCHMIDT & WÄGELE 2001; BRUSCA & BRUSCA 2007; HSIA *et al.* 2013).

Os aracnídeos (aranhas e escorpiões) apresentam pulmões foliáceos, também chamados de filotraquéias, que são invaginações da parede do corpo no qual forma uma camada de finas lamelas em contato com a hemolinfa (fluido que preenche os vasos corpóreos dos artrópodes, contendo hemocianina com a função de transportar o oxigênio), estes pulmões podem apresentar variação de um a quatro pares, e contém poros ventrais com controle de abertura para o meio exterior (HILL, WYSE, & ANDERSON 2012; HSIA *et al.* 2013). Aracnídeos (carrapatos, ácaros, solfúgídeos, pseudoescorpiões) apresentam uma composição traqueal análoga aos insetos e miriápodes (LIGHTON, FIELDEN, & REHAV 1993; LIGHTON & FIELDEN 1996).

O terceiro grupo de órgãos respiratórios, conhecido como as traqueias, presente mais abrangente nos insetos e miriápodes, consistem em um sistema de tubos internos de ar no qual se comunica com o exterior através de espiráculos, orifícios com controle de abertura. Este sistema se subdivide em traqueíolas no qual formam um sistema de tubos menores, aumentando a área superficial, favorecendo a difusão (KROGH 1941; BUCK 1962; BRIDGES & SCHEID 1982; HILKEN 1998; KLOK, SINCLAIR, & CHOWN 2004).

Atualmente se reconhece quatro grandes grupos vivos de artrópodes, o subfilo Crustacea (com a ordem terrestre dos Isopoda, os tatuzinho-de-jardim); o subfilo dos Cheliceriformes (sendo os mais conhecidos os Chelicerata: Aracnida, as aranhas e os escorpiões); o subfilo Myriapoda (abrangendo por exemplo os Diplopoda, milípedes. Chilopoda, as centopeias); e por fim o subfilo Hexapoda (como por exemplo os Entognatha, os colêmbolos. Ectognata: Isoptera, os cupins. Hymenoptera, as formigas, abelhas e vespas. Coleoptera, os besouros. Orthopeta, os grilos e gafanhotos. Diptera, as moscas e mosquitos) (BRUSCA & BRUSCA 2007).

A capacidade dos artrópodes traqueados no controle de abertura dos espiráculos originou diferentes padrões de troca gasosa, bastante estudado em gafanhoto-do-deserto (*Schistocerca gregaria*), alguns miriápodes (*Cormocephalus morsitans* e *Comantenna brevicornis*), e até alguns animais não-insetos, como os carrapatos (Cheliceriformes: Acari) e solífugos (Cheliceriformes: Solpugida) apresentam um ciclo descontínuo de troca gasosa (DCG – do inglês *discontinuous gas-exchange cycles*) onde é visto três fases da respiração traqueal: a fase fechada, onde há troca insignificante ou nenhuma entre o ambiente e o interior do corpo; a fase de vibração, onde os espiráculos abrem e fecham rapidamente, mantendo pequeno fluxo de O₂, CO₂ e vapor de água difundindo-se no sistema respiratório animal; e a fase aberta,

onde ocorre captação de O₂ do ambiente e o escape de CO₂ e vapor de água do metabolismo animal (LIGHTON, FIELDEN, & RECHAV 1993; LIGHTON & FIELDEN 1995; LIGHTON & FIELDEN 1996; LIGHTON 1998; CHAPPELL & ROGOWITZ 2000; LEHMANN 2001; SHELTON & APPEL 2001; KLOK, MERCER, & CHOWN 2002; HUANG, SENDER, & GEFEN 2014). A diferença de concentração dos gases respiratórios (principalmente o O₂) movimenta a abertura e fechamento espiracular destes animais, onde a baixa pressão intratraqueal de O₂ resulta na abertura dos espiráculos e a alta pressão intratraqueal de O₂ em seu fechamento (LIGHTON, SCHILMAN, & HOLWAY 2004; FÖRSTER & HETZ 2010; MATTHEWS *et al.* 2012).

Os organismos terrestres, os solos e as florestas estão entre os maiores reservatórios de carbono do planeta, junto com os oceanos, ainda assim praticamente a mesma parcela do carbono assimilado pelas florestas é rapidamente devolvido à atmosfera através das atividades respiratórias e das ações antrópicas que alteram o balanço global na concentração de carbono, desta forma torna-se claro a importância ecológica dos organismos terrestres no ciclo do carbono em escala global e seu papel fundamental na decomposição biológica, uma vez que ácaros, milípedes, cupins são alguns exemplos de artrópodes decompositores presentes nos solos enquanto que formigas e alguns macroartrópodes atuam como bioturbadores do solo, criando e modificando a estrutura dos solos (DIXON *et al.* 1994; BRUSSAARD 1997; MALHI, BALDOCCHI, & JARVIS 1999; HÖGBERG, NORDGREN, & ÅGREN 2002).

1.3. Relação Massa Corporal e Taxa Respiratória

Do ponto de vista evolutivo os artrópodes sofreram importantes adaptações fisiológicas e morfológicas para suprir as barreiras impostas pela difusão de substâncias de interesse fisiológico ao longo do tempo, principalmente para a obtenção de oxigênio a partir do ar atmosférico (SCHMIDT-NIELSEN 2002). Portanto, alterações fisiológicas interferem consideravelmente no metabolismo animal, como alterações na massa corporal, uma vez que animais pequenos respiram em taxas metabólicas mais elevadas por unidade de massa corporal, do que grandes animais, observado em estudos com relação biomassa e taxa respiratória em gafanhoto (*Locusta migratória*), ou seja os dados apresentaram uma relação alométrica negativa com a massa corporal do inseto (BERTALANFFY 1957; GREENLEE, NEBEKER, & HARRISON 2007; RANDALL, BURGGREN, & FRENCH 2011; FORSTER, HIRST, & ATKINSON 2012).

Insetos representam os animais com as maiores taxas metabólicas aeróbicas de massa específica, devido as suas aptidões tanto de voo quanto de locomoção terrestre (E R WEIBEL, TAYLOR, & HOPPELER 1991; EWALD R. WEIBEL, TAYLOR, & BOLIS 1998). Contudo, nos insetos, devido aos mais variados comportamentos com gasto energético, o sistema respiratório apresenta-se mais desenvolvido no quesito de capacidade aeróbica, em comparação com outros artrópodes. Porém, ainda encontram-se em falta as pesquisas acerca da capacidade aeróbica dos insetos, apresentando como possíveis causas a dificuldade na obtenção de níveis máximos de atividade metabólica desses animais (SNELLING 2011).

Algumas pesquisas na comparação intraespecífica na taxa de respiração em artrópodes já foram publicadas, com estudos com Coleoptera (NYLUND 1991), por exemplo. Visto também que existem variações na taxa metabólica por massa específica durante a ontogenia da espécie (CLARKE 1957; JACOBI & ANGER 1985; ANGER *et al.* 1989; CARVALHO & PHAN 1998). Desta forma, como as taxas respiratórias apresentam padrões diversos, devido tanto a variações ambientais como intrínsecas dos organismos, estudos voltados para respiração animal são capazes de produzir informações acerca de sua fisiologia e eco fisiologia, podendo fornecer uma medida de custo energético entre animal e ecossistema (PETERS 1983).

A compreensão mais abrangente dos processos metabólicos animais é necessária para elucidar as relações entre estruturas e a função de organismos, individualmente (BROWN *et al.* 2004). Contudo, o estudo descritivo da respiração por massa específica de artrópode permite o desenvolvimento de uma condição mais ampla à ciência deste filo de importância ecológica e econômica (KLEIN &. 2007; RICHARDSON 2008).

Esta pesquisa pretende determinar a taxa respiratória, através da emissão de CO₂ e correlacioná-la com a massa corporal de representantes dos maiores grupos de artrópodes, uma vez que apresentam modo de vida diferentes, mecanismos respiratórios diferentes, porém estudos de ciência básica difundido dentre este grupo animal encontra-se em falta na literatura científica.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Coleta

Esta pesquisa foi realizada em três áreas de Mata Atlântica no estado da Paraíba e a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). O primeiro ponto de coleta ocorreu em pequenas

áreas verdes urbanas contidas no Campus João Pessoa da UEPB, situada na mesma cidade, no qual apresenta aproximadamente 2 hectares de área. O segundo ponto ocorreu no fragmento Mata do Buraquinho que contém cerca de 515 hectares de área (SEMAN, 2012), considerado o maior fragmento de Mata Atlântica da cidade de João Pessoa. O terceiro ponto de coleta ocorreu em um fragmento da Área de Proteção Ambiental (APA) de Tambaba, situado na cidade de Conde – Paraíba, com área de 11.320 hectares (SUDEMA, 2012).

Atualmente a maior parte da Mata Atlântica remanesce em pequenos fragmentos isolados e, em sua maior parte, compostos por florestas secundárias em estágios iniciais de sucessão ecológica (VIANA, TABANEZ, & BATISTA 1997; RANTA *et al.* 1998; METZGER *et al.* 2009). Sua extensão atual é de 16.301.505 hectares e está presente em 17 estados brasileiros. Na Paraíba (**Figura 1**) encontra-se 54.995 hectares de Mata Atlântica (SOSMA & INPE 2016).

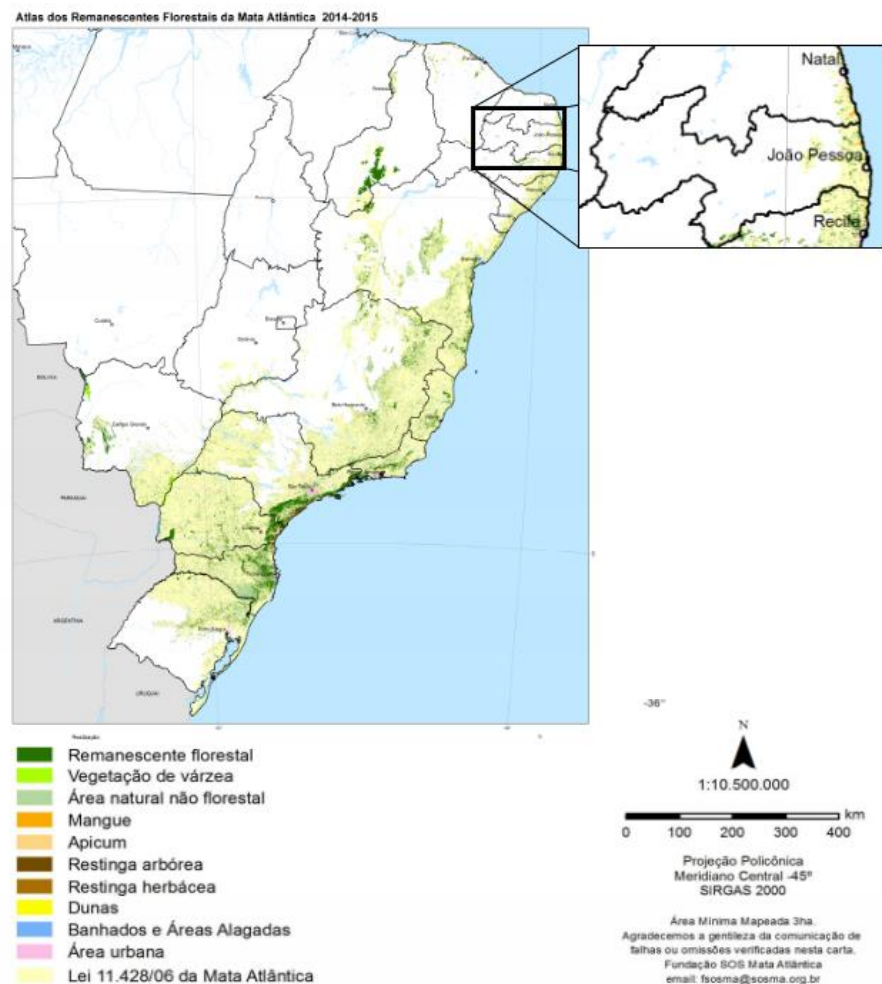


Figura 1. Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no Brasil e na Paraíba

Fonte: SOSMA – INPE, 2016

2.2. Coleta e Aclimação

Foram coletados, de forma aleatória, 705 espécimes fisicamente sadios representantes dos quatro subfilos de Arthropoda, como mostra na **Tabela 1** durante o último trimestre de 2016. Onde a temperatura oscilou de 22,1 – 32° C durante o período de coleta segundo os dados encontrados na plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, referente ao mesmo período.

Para ampliar a diversidade e leitura da taxa respiratória, foi aumentada a amostragem de alguns subfilos, como observado no táxon Miryapoda onde abrangemos tantos o grupo dos milípedes (Diplopoda) quanto o das centopeias (Chilopoda). No subfilo dos quelicerados foram realizados experimentos com aranha, escorpião e carrapato (Aracnida). Já para abranger os hexápodes foram coletadas formigas e vespa (Hymenoptera), mosca (Diptera), grilo (Orthoptera), besouro (Coleptera) e parte de uma colônia de cupins (Isoptera). E como representante de crustáceos terrestres, foram experimentados os tatuzinhos-de-jardim (Isopoda).

Tabela 1. Amostragem dos Artrópodes Terrestres de Mata Atlântica Utilizados no Estudo de Respirometria.

<i>Táxon de Arthropoda</i>	<i>Localização de Coleta</i>	<i>Coordenada de Coleta</i>	<i>Precipitação (mm)</i>	<i>Massa Corporal (gramas)</i>	<i>Indivíduos</i>
<i>Isopoda</i>	Áreas verdes da UEPB-V	7.158834S e 34.873401W	1327,65	0,320	10
<i>Coleoptera</i>	APA de Tambaba	7.193302S e 34.48539W	783,3	0,160	1
<i>Isoptera</i>	Mata do Buraquinho	7.142905S e 34.845957W	1327,65	1,200	677
<i>Orthoptera</i>	Áreas verdes da UEPB-V	7.158834S e 34.873401W	1327,65	0,940	1
<i>Hymenoptera (formicidae)</i>	Mata do Buraquinho	7.142905S e 34.845957W	1327,65	0,560	2
<i>Hymenoptera (vespidae)</i>	APA de Tambaba	7.193988S e 34.483650W	783,3	0,720	1
<i>Diptera</i>	APA de Tambaba	7.193988S e 34.483650W	783,3	0,130	1
<i>Aracnida (carrapato)</i>	Mata do Buraquinho	7.142905S e 34.845957W	1327,65	3,230	1
<i>Aracnida (escorpião)</i>	Áreas verdes da UEPB-V	7.158834S e 34.873401W	1327,65	0,310	1
<i>Aracnida (aranha)</i>	APA de Tambaba	7.193302S e 34.48539W	783,3	0,288	1
<i>Diplopoda</i>	Áreas verdes da UEPB-V	7.158834S e 34.873401W	1327,65	1,940	7
<i>Chilopoda</i>	APA de Tambaba	7.193302S e 34.48539W	783,3	0,220	2

Após coleta os espécimes foram acondicionados em recipientes aerados, posteriormente encaminhados ao Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação –

LSCC do campus João Pessoa da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Aclimatados por cerca de 60 minutos à 29° Celsius e umidade em torno de 85%.

2.3. Respirometria e Medição de Massa Corporal

Os espécimes foram colocados em uma câmara de respiração totalmente vedada, com 4 cm de diâmetro e 5,55 cm de altura com 0,09 l de volume. Todos os representantes de cada táxon foram analisados juntos, para a realização da respirometria do grupo, no qual totalizou-se 12 experimentos de respirometria animal. Os ensaios de respirometria foram realizados com concentrações normais de gases atmosféricos. O controle do tempo experimental teve como finalidade evitar a diminuição de oxigênio na câmara (hipoxia) e, conseqüentemente, aumento da concentração de gás carbônico (hipercapnia) evitando assim efeitos fisiológicos adversos sobre o animal (WITHERS 2001).

A câmara foi interligada diretamente ao analisador de gás por infravermelho (IRGA) LI-840 Gas Analyzer[®]. O experimento resultava-se de um sistema fechado entre o analisador de gás e a câmara de respiração. O analisador foi conectado a um *laptop* para gerar os dados da respirometria animal em planilha eletrônica. O IRGA foi calibrado antes de cada respirometria através de sistema de filtro de cal sodada, um agente absorvente de dióxido de carbono (SALIMON 2003).

Após medições com durações de 5 a 10 minutos, sendo uma única sessão de respirometria por grupo os espécimes foram retirados da câmara e, posteriormente a respirometria, através de uma balança de precisão de três dígitos, foram medidas suas massas corporais dos grupos (SCHIMPF *et al.* 2009).

2.4. Análise Estatística

Durante o metabolismo respiratório do animal o analisador de gás mede a concentração de dióxido de carbono – CO₂ contido na câmara de respiração, onde os valores foram coletados em arquivo “txt” a cada segundo e plotados em planilhas eletrônicas. Através das planilhas de dados de respirometria foram calculados os valores da taxa respiratória para os 12 táxons de artrópodes experimentados, segundo a **Equação 1** (DAVIDSON & TRUMBORE 1995).

$$\text{Fluxo de CO}_2 = (\text{mg de CO}_2/1000000) \times (\text{mg de ar}) \times (3600\text{s}) \quad (1)$$

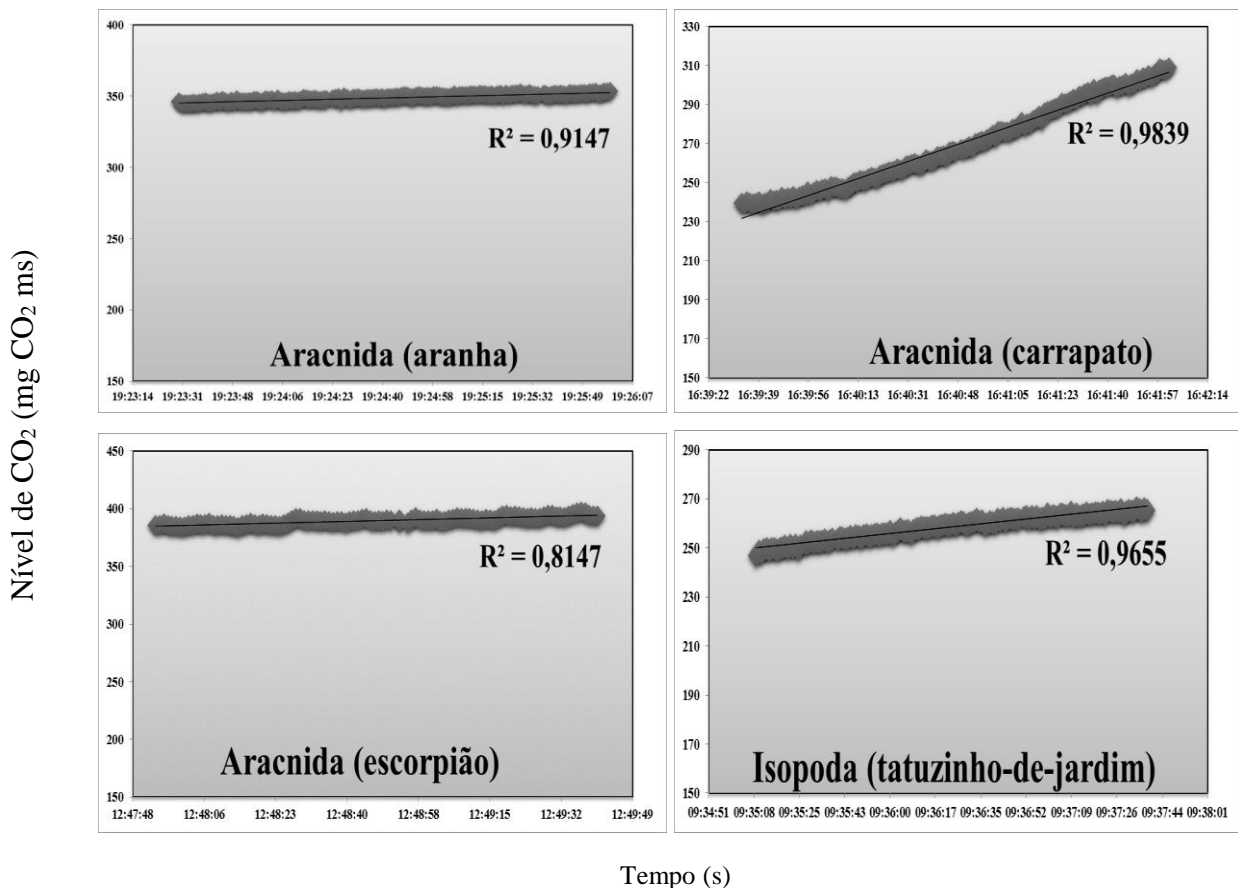
Foram feitas curvas de regressão linear para cada táxon, baseando-se no período de acúmulo de CO₂. O nível de significância (*p*) foi calculado para todas as taxas respiratórias medidas.

Para a relação entre massa corporal e taxa respiratória, por emissão de CO₂, foi feito um ajuste de curva na regressão, no software Bioestatic[®]5.3, para determinar a forma e a significância da relação, utilizando-se dos dados dos doze ensaios de respirometria realizado no Excell[®] 2016. A partir dos dados dos ensaios de respirometria e medições de massas corporais, foi analisada uma estatística descritiva no Excell[®] 2016.

3. RESULTADOS

3.1. Taxa Respiratória por Emissão de CO₂

Abaixo, na **Figura 2**, apresenta-se o acúmulo de CO₂ no decorrer do tempo de experimento de respirometria para cada táxon de Arthropoda. As curvas de regressões a seguir apresentam nível de significância $p < 0,05$ e seus valores de determinação (R^2) explícitos em cada gráfico.



Tempo (s)

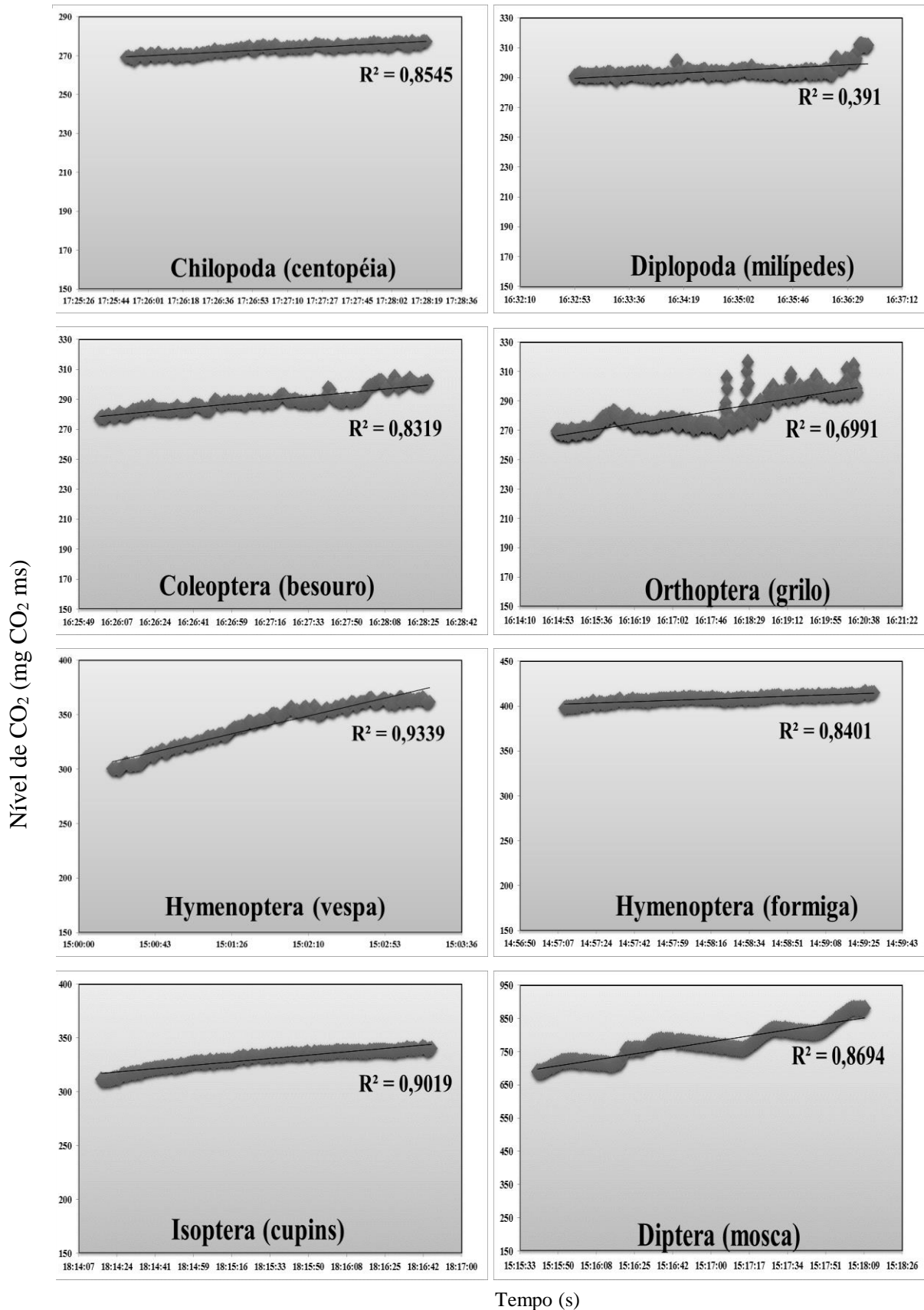


Figura 2. Variação da concentração de CO₂ ao longo de tempo para diferentes Arthropoda de Mata Atlântica

Na **Tabela 2** é visto o resumo dos resultados obtidos para os experimentos de respirometria realizado nos 12 táxons de Arthropoda.

Tabela 2. Taxa de Respiração através de Fluxo de CO₂ em Artrópodes Terrestres de Mata Atlântica

	<i>Taxa Respiratória (mg.CO₂.m³.h)</i>	<i>Massa Corporal (g)</i>	<i>Razão Fluxo de CO₂ e Massa Corporal</i>	<i>Número de Indivíduos</i>
CRUSTACEA				
<i>Isopoda</i>	1527,3	0.32	4772,81	10
HEXAPODA				
<i>Coleoptera</i>	1905,7	0.16	11910,63	1
<i>Isoptera</i>	2412,8	1.2	2010,67	677
<i>Othoptera</i>	1299,2	0.94	1382,13	1
<i>Hymenoptera (formicidae)</i>	1141,7	0.56	2038,75	2
<i>Hymenoptera (vespidae)</i>	5063,5	0.72	7032,64	1
<i>Diptera</i>	13903,0	0.13	106946,15	1
CHELICERIFORMES				
<i>Aracnida (carrapato)</i>	6751,3	3.23	2090,19	1
<i>Aracnida (escorpião)</i>	1202,3	0.31	3878,39	1
<i>Aracnida (aranha)</i>	658,1	0.288	2285,07	1
MYRIAPODA				
<i>Diplopoda</i>	545,9	1.94	281,39	7
<i>Chilopoda</i>	698,1	0.22	3173,18	2

Os artrópodes analisados obtiveram taxas distintas de respiração, onde a menor taxa respiratória foi de Diplopoda (545,9 mg.CO₂.m³.h), representante do subfilo Miryapoda; a maior foi de Diptera (13903,0 mg.CO₂.m³.h), representante do subfilo Hexapoda; enquanto a média de respiração por emissão de CO₂ dos artrópodes terrestres ficou em torno de 3092,41 mg.CO₂.m³.h. A **Figura 3** apresenta, de forma mais clara, as taxas respiratórias por emissão de dióxido de carbono.

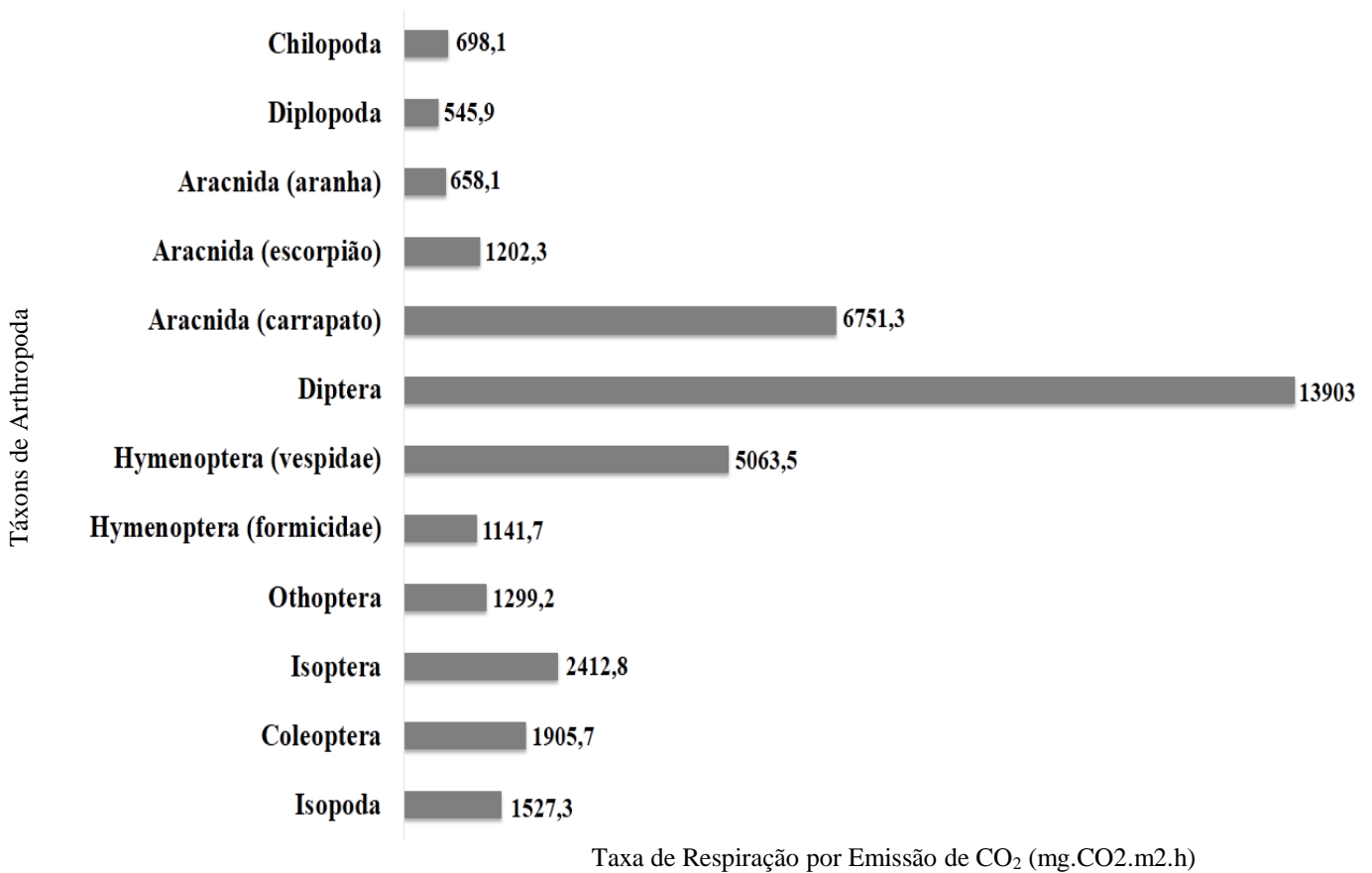


Figura 3. Taxa Respiratórias Através de Emissão de CO₂ em Arthropoda Terrestre de Mata Atlântica

3.2. Relação Taxa Respiratória por Emissão de CO₂ e Massa Corporal

Como visto na **Tabela 2** todos os espécimes apresentaram diferentes Massas Corporais, onde o táxon de maior massa foi do Cheliceriforme – Aracnida (3,230 gramas) representado por um carrapato fêmea; o táxon de menor massa corporal foi do Hexapoda – Diptera (0,130 gramas); e a massa corporal média de 0,835 gramas.

Na **Figura 4** observamos a normalização da emissão de CO₂ por massa específica de artrópodes, ajuste necessário para correlacionar a taxa de respiração com a massa corporal.

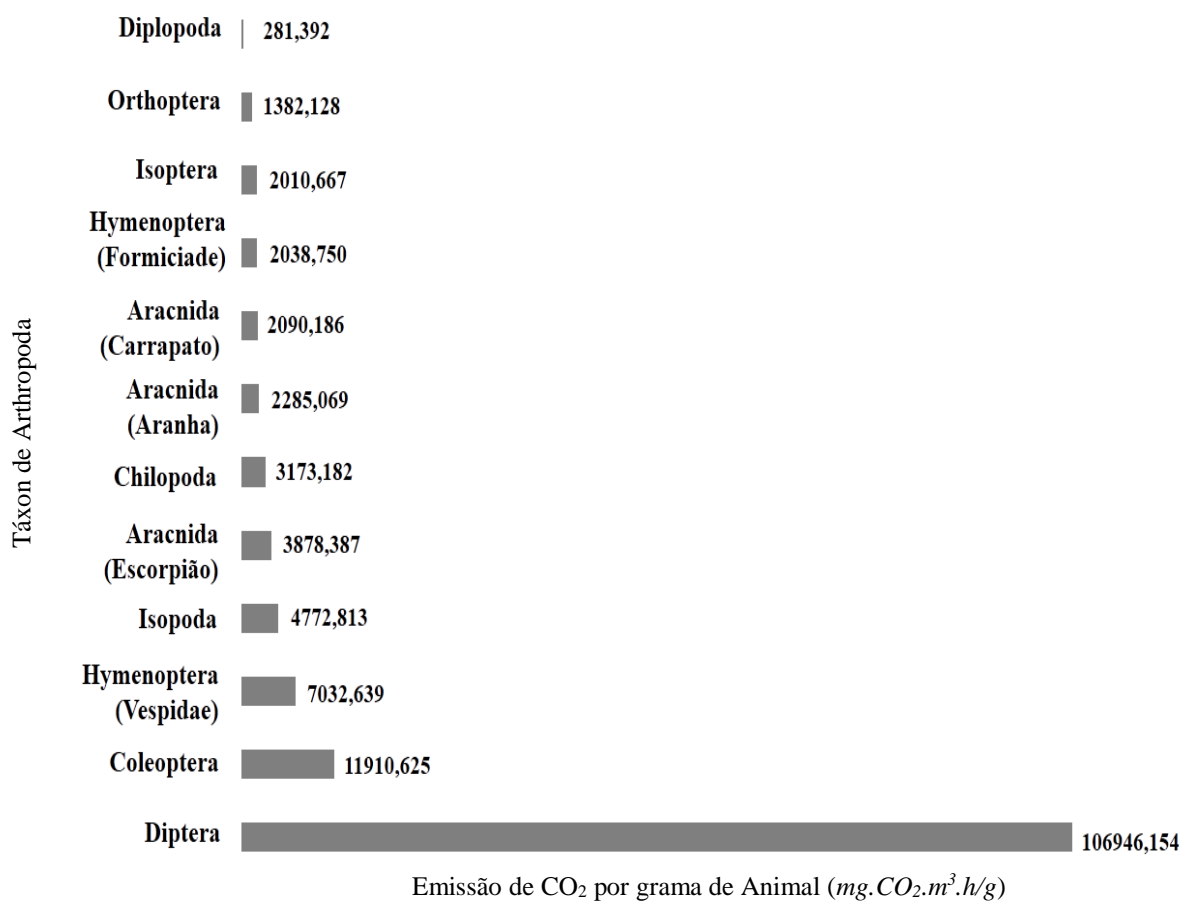


Figura 4. Normalização da taxa respiratória, Razão: Emissão de CO₂/grama de Animal

A regressão geométrica da taxa de emissão de CO₂ normalizada por unidade de Massa Corporal de Arthropoda com $r^2 = 0,5051$ e $p = 0,0095$ é vista na **Figura 5**, na qual foi encontrada uma relação inversa entre a Respiração por emissão de CO₂ e a Massa Corporal dos artrópodes, onde o Aracnida – Carrapato por apresentar maior massa corporal dentre os outros táxons correspondeu a uma taxa respiratória por massa específica bastante reduzida, porém maior do que o Myriapoda – Diplopoda no qual apresentou a segunda maior massa corporal analisada, refletindo assim no mais reduzido metabolismo respiratório. Já o Hexapoda – Diptera por apresentar a menor massa corporal segue o padrão da fisiologia animal apresentando, assim, a maior taxa respiratória por grama de animal.

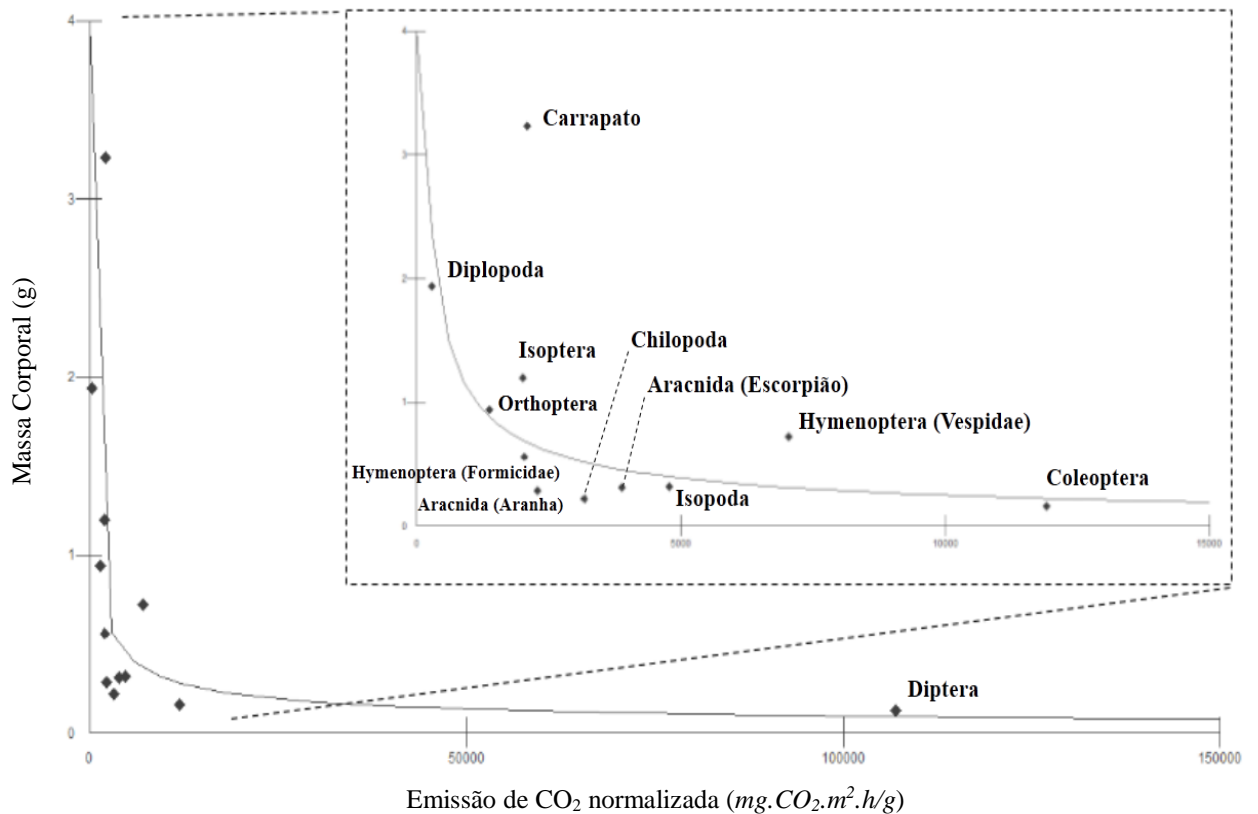


Figura 5. Taxa de Respiração por unidade de Massa Corporal de Arthropoda Terrestre de Mata Atlântica, com ampliação detalhada para a curva.

4. DISCUSSÃO

Devido a vasta diversidade de abordagens e metodologias, já foram empregadas muitas tentativas de compreender a vida através de um ponto de vista metabólico, seja para animais ou não (HEMMINGSSEN 1960; ROBINSON, PETERS, & ZIMMERMANN 1983; BROWN *et al.* 2004). As taxas respiratórias por emissão de CO₂ e as massas corporais de artrópodes apresentaram-se inversamente relacionadas (SEHNAL 1985; MAKARIEVA *et al.* 2008; RANDALL, BURGGREN, & FRENCH 2011), uma vez que os táxons de menores massas apresentaram maiores taxas metabólicas de emissão de CO₂ e o inverso foi visto nos exemplares dos táxons com maiores massas corporais. Uma vez que o tamanho do corpo dos artrópodes aumenta, a sua taxa metabólica absoluta segue o mesmo padrão, já que quanto maior o animal, maior também a sua demanda energética total (SCHMIDT-NIELSEN 1984), porém a sua taxa metabólica específica de massa diminui.

A massa corporal é um dos principais atributos que se relaciona com a aptidão individual provocando adaptações comportamentais e fisiológicas, como alterações na respiração animal (HILDREW, RAFFAELLI, & EDMONDS-BROWN 2007). Assim, uma forma de compensar

o tamanho aumentado do corpo de certos artrópodes é alterando os mecanismos ventilatórios, como o volume de ar respiratório captado pelo animal ou a sua frequência de captação (GREENLEE, NEBEKER, & HARRISON 2007).

Embora o número de táxons amostrados e de réplicas tenha sido pequeno, o estudo forneceu a primeira descrição de taxas respiratórias de grupos de artrópodes de Floresta Atlântica e expôs a existência de uma relação entre a respiração e massa corporal, no qual serve como base para estudos específicos de metabolismo de artrópodes, estudos de ecologia de fauna de solo ou até explanações acerca da emissão de CO₂ por artrópodes terrestres, além de estudos de Ecofisiologia animal.

É considerado como desafiante a busca por indicadores ecológicos que tragam informações reais sobre a situação ambiental a partir do estudo de taxas metabólicas intrínsecas de espécies animais, principalmente no estudo de grupos taxonômicos amplamente abundantes como os artrópodes (MAKARIEVA *et al.* 2008). Podemos apenas ressaltar que a compreensão da dinâmica de carbono em florestas é imprescindível pois remete às condições ambientais voltadas ao clima, atividades humanas e uso da terra, questões de importância ambiental de nível local e global (KEITH, MACKEY, & LINDENMAYER 2009; FAO 2010) e que impactos nas comunidades de meso e macrofauna terrestres são importantes de serem avaliados pois a fauna de solo regula e promove as funções ambientais vitais, uma vez que muitas espécies de artrópodes são conhecidas como engenheiros de ecossistema e espécies-chave para a estrutura do ecossistema, no qual podem desequilibrar os fluxos de recursos no ambiente por serem sensíveis às alterações ambientais (WALLWORK 1970; BRUSSAARD 1997; WOLTERS *et al.* 2000; SMITH *et al.* 2009).

5. CONCLUSÃO

A taxa respiratória por massa específica de artrópode corrobora a tendência geral da fisiologia animal, onde os maiores artrópodes apresentam baixa respiração por grama de biomassa, como visto no aracnídeo – carrapato, no miriápoda – diplópode e no inseto – grilo, no qual apresentavam maiores massas e assim, baixos valores de fluxo de CO₂. Diferente do Inseto – díptero e coleóptero que apresentaram menores massas corporais e altas taxas de respiração por grama de animal.

RELATION BETWEEN BODY MASS AND RESPIRATORY RATE IN ARTHROPOD OF
ATLANTIC FOREST (PARAÍBA, BRAZIL)

ABSTRACT

Respirometry is understood as the gas exchange measure performed by an animal, in which the variation of respiratory gas concentration is used to calculate the respiration rate. Respiratory rate studies in arthropods refer to important physiological data, since these animals perform important ecosystem functions and because they are the greatest diversity and abundance of animals present on Earth. This study measures and describes respiratory rates through the emission of CO₂, and relates them to the body mass of arthropods. The study was carried out in remnant fragments of coastal Atlantic Forest of Paraíba, Brazil. The research encompasses all living subphyla of arthropods (Crustacea, Chelicerata, Myriapoda and Hexapoda) represented by 705 specimens actively collected and tested through respirometry and measured by an Infrared Gas Analyzer (IRGA). As a result, we observed that among the studied arthropods, Hexapoda and Chelicerata showed higher rates of carbon dioxide emission, while Crustacea and Myriapoda had the lowest. Regarding its relationship with body mass, Hexapoda and Crustacea showed higher respiration by specific mass, and in general, all Arthropoda corroborated the pattern described by animal physiology, where body mass and animal respiratory rate are inversely correlated.

Keywords: Carbon Dioxide. Animal Respirometry. Infrared Gas Analyzer

REFERÊNCIAS

ANGER, K. et al. **Growth and respiration during the larval development of a tropical spider crab, *Libinia ferreirae* (Decapoda: Majidae).** MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES, v. 54, p. 43–50, 1989.

BERNER, R. A.; LANDIS, G. P. **Gas Bubbles in Fossil Amber as Possible Indicators of the Major Gas Composition of Ancient Air.** Science, v. 239, n. 4846, p. 1406–14099, 1988.

BERTALANFFY, L. VON. **QUANTITATIVE LAWS IN METABOLISM AND GROWTH.** THE QUARTERLY REVIEW of Biology, v. 32, n. 3, p. 217–231, 1957.

BRIDGES, C. R.; SCHEID, P. **Buffering and CO₂ dissociation of body fluids in the pupa of the silkworm moth, *Hyalophora cecropia*.** Respiration Physiology, v. 48, n. 2, p. 183–197, 1982.

BROWN, J. H. et al. **Toward a metabolic theory of ecology.** Ecology, v. 85, n. 7, p. 1771–1789, 2004.

BRUSCA, G. J.; BRUSCA, R. C. **Invertebrados**. 2^a ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

BRUSSAARD, L. **Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil**. *Ambio*, v. 26, n. 8, p. 563–570, 1997.

BUCK, J. **Some Physical Aspects of Insect Respiration**. *Annual Review of Entomology*, v. 7, p. 27–56, 1962.

CARVALHO, P. S. .; PHAN, V. . **Oxygen Consumption and Ammonia Excretion During the Moulting Cycle in the Shrimp *Xiphopenaeus kroyeri***. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v. 119, n. 3, p. 839–844, 1998.

CASTRESANA, J.; SARASTE, M. **Evolution of energetic metabolism: the respiration-early hypothesis**. *Trends in Biochemical Sciences*, v. 20, n. 11, p. 443–448, 1995.

CHAPPELL, M. A; ROGOWITZ, G. L. **Mass , Temperature and Metabolic Effects on Discontinuous Gas Exchange Cycles in Eucalyptus-Boring Beetles (Coleoptera : Cerambycidae)**. *The Journal of Experimental Biology*, v. 203, p. 3809–3820, 2000.

CHOWN, S. L. **Physiological variation in insects: hierarchical levels and implications**. *Journal of Insect Physiology*, v. 47, n. 7, p. 649–660, 2001.

CLARKE, K. U. **The Relationship of Oxygen Consumption to Age and Weight During the Post-Embryonic Growth of *Locusta Migratoria L.*** *Journal of Experimental Biology*, v. 34, p. 29–41, 1957.

COSSINS, A. R.; BOWLER, K. **Temperature Biology of Animals**. New York: [s.n.].

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S. E. **Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon**. *Tellus*, v. 47, p. 550–565, 1995.

DIETRICH, L. E. P.; TICE, M. M.; NEWMAN, D. K. **The co-evolution of life and Earth**. *Current Biology*, v. 16, n. 11, p. 395–400, 2006.

DIXON, R. K. et al. **Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems**. *Science*, v. 263, p. 185–190, 1994.

DUDLEY, R. **Atmospheric oxygen, giant Paleozoic insects and the evolution of aerial locomotor performance.** *The Journal of experimental biology*, v. 201, n. 8, p. 1043–1050, 1998.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2010 America**, 2010.

FORSTER, J.; HIRST, A. G.; ATKINSON, D. **Warming-induced reductions in body size are greater in aquatic than terrestrial species.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 109, n. 47, p. 19310–4, 2012.

FÖRSTER, T. D.; HETZ, S. K. **Spiracle activity in moth pupae —The role of oxygen and carbon dioxide revisited.** *Journal of Insect Physiology*, v. 56, n. 5, p. 492–501, 2010.

GASTON, K. J. **The Magnitude of Global Insect Species Richness.** *Conservation Biology*, v. 5, n. 3, p. 283–296, 1991.

GIBBS, A. G.; FUKUZATO, F.; MATZKIN, L. M. **Evolution of water conservation mechanisms in *Drosophila*.** *The Journal of Experimental Biology*, v. 206, p. 1183–1192, 2003.

GRAHAM, J. B. et al. **Implications of the late Palaeozoic oxygen pulse for physiology and evolution.** *Nature*, v. 375, p. 117–120, 1995.

GREENLEE, K. J.; HARRISON, J. F. **Development of respiratory function in the American locust *Schistocerca americana* I. Across-instar effects.** *Journal of Experimental Biology*, v. 207, n. 3, p. 497–508, 2004.

GREENLEE, K. J.; NEBEKER, C.; HARRISON, J. F. **Body size-independent safety margins for gas exchange across grasshopper species.** *The Journal of experimental biology*, v. 210, n. Pt 7, p. 1288–1296, 2007.

HARVEY, G. T.; BROWN, A. W. A. **The effect of insecticides on the rate of oxygen consumption in blattella.** *Canadian Journal of Zoology*, 1951.

HEMMINGSSEN, A. M. **Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces, and its evolution**, 1960.

HENRY, R. P. **Morphological, behavioral, and physiological characterization of bimodal breathing crustaceans.** *Integrative and Comparative Biology*, v. 34, n. 2, p. 205–215, 1994.

HILDREW, A. G.; RAFFAELLI, D. G.; EDMONDS-BROWN, R. **Body Size: The Structure and Function of Aquatic Ecosystems**. Cambridge, 2007.

HILKEN, G. **Vergleich von Tracheensystemen unter phylogenetischen Aspekten**. Verh NaturwissVer Hamburg, v. 37, p. 5–94, 1998.

HILL, R. W.; WYSE, G. A.; ANDERSON, M. **Fisiologia Animal**. 2^a ed. Porto Alegre, 2012.

HÖGBERG, P.; NORDGREN, A.; ÅGREN, G. I. **Carbon Allocation between Tree Root Growth and Root Respiration in Boreal Pine Forest**. *Oecologia*, v. 132, n. 4, p. 579–581, 2002.

HOPKIN, S. P. **Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)**. [s.l.] Oxford University Press, 1997.

HSIA, C. C. W. et al. **Evolution of Air Breathing: Oxygen Homeostasis and the Transitions from Water to Land and Sky**. *National Institutes o Health*, v. 3, n. 2, p. 849–915, 2013.

HUANG, S.-P.; SENDER, R.; GEFEN, E. **Oxygen diffusion limitation triggers ventilatory movements during spiracle closure when insects breathe discontinuously**. *The Journal of experimental biology*, p. 2229–2231, 2014.

JACOBI, C. C.; ANGER, K. **Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus* (Decapoda: Majidae)**. *Marine Biology*, v. 87, n. 2, p. 173–180, 1985.

KAISER, A. et al. **Increase in tracheal investment with beetle size supports hypothesis of oxygen limitation on insect gigantism**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 104, n. 32, p. 13198–13203, 2007.

KEITH, H.; MACKEY, B. G.; LINDENMAYER, D. B. **Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 106, n. 28, p. 11635–11640, 2009.

KLEIN, A.-M. et al. **Importance of pollinators in changing landscapes for world crops**. *Proceedings of the Royal Society B*, v. 274, p. 303–313, 2007.

KLOK, C. J.; MERCER, R. D.; CHOWN, S. L. **Discontinuous gas-exchange in centipedes and its convergent evolution in tracheated arthropods.** The Journal of experimental biology, v. 205, n. Pt 7, p. 1019–1029, 2002.

KLOK, C. J.; SINCLAIR, B. J.; CHOWN, S. L. **Upper thermal tolerance and oxygen limitation in terrestrial arthropods.** The Journal of Experimental Biology, v. 207, p. 2361–2370, 2004.

KROGH, A. **The comparative physiology of respiratory organs.** Experientia, n. 11, p. 431–438, 1941.

LEHMANN, F. O. **Matching spiracle opening to metabolic need during flight in *Drosophila*.** Science, v. 294, n. 5548, p. 1926–1929, 2001.

LIGHTON, J. R. B. **Slow discontinuous ventilation in the Namib dune-sea ant *Camponotus detritus* (Hymenoptera, Formicidae).** Journal of Experimental Biology, v. 151, p. 71–82, 1990.

LIGHTON, J. R. B. **Notes from Underground: Towards Ultimate Hypotheses of Cyclic, Discontinuous Gas-Exchange in Tracheate Arthropods.** American Zoologist, v. 38, n. 3, p. 483–491, 1998.

LIGHTON, J. R. B.; FIELDEN, L. J. **Mass Scaling of Standard Metabolism in Ticks: A Valid Case of Low Metabolic Rates in Sit-and-Wait Strategist.** Physiological Zoology, v. 68, n. 1, p. 43–62, 1995.

LIGHTON, J. R. B.; FIELDEN, L. J. **Gas exchange in wind spiders (Arachnida, Solpugidae): independent evolution of convergent control strategies in solpugids and insects.** Journal of Insect Physiology, v. 42, p. 347–357, 1996.

LIGHTON, J. R. B.; FIELDEN, L. J.; REHAV, Y. **Discontinuous Ventilation in a Non-Insect, the Tick *Amblyomma Marmoratum* (Acari, Ixodidae): Characterization and Metabolic Modulation.** Journal of Experimental Biology, v. 180, n. 1, p. 229–245, 1993.

LIGHTON, J. R. B.; SCHILMAN, P. E.; HOLWAY, D. A. **The hyperoxic switch: assessing respiratory water loss rates in tracheate arthropods with continuous gas exchange.** The Journal of experimental biology, v. 207, n. 2001, p. 4463–4471, 2004.

MACIEIRA, O. J. D.; PRONI, E. A. **Influência da temperatura na taxa respiratória de**

abelhas forrageiras *Trigona spinipes* (Fabricius) (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) durante períodos de verão e inverno. Revista Brasileira de Zoologia, v. 22, n. 1968, p. 1159–1163, 2005.

MADIGAN, M. et al. **Microbiologia de Brock.** 12^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

MAKARIEVA, A. M. et al. **Mean mass-specific metabolic rates are strikingly similar across life's major domains: Evidence for life's metabolic optimum.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 105, n. 44, p. 16994–16999, 2008.

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. **The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests.** Plant, Cell and Environment, v. 22, n. 6, p. 715–740, 1999.

MATTHEWS, P. G. D. et al. **A test of the oxidative damage hypothesis for discontinuous gas exchange in the locust *Locusta migratoria*.** Biology Letters, v. 8, n. April, p. 682–684, 2012.

MCNAB, B. K. **On the Utility of Uniformity in the Definition of Basal Rate of Metabolism.** Physiological Zoology, v. 70, n. 6, p. 718–720, 1997.

METZGER, J. P. et al. **Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region.** Biological Conservation, v. 142, n. 6, p. 1166–1177, 2009.

MIYASHITA, K. **Effects of Locomotory Activity, Temperature and Hunger on the Respiratory Rate of *Lycosa T-insignita* BOES. et STR (Araneae: Lycosidae).** Appl. Ent. Zool., v. 4, n. 3, p. 105–113, 1969.

NYLUND, L. **Metabolic rates of *Calathus melanocephalus* (L.) (coleoptera, carabidae) from alpine and lowland habitats (jeløy and finse, norway and drenthe, the netherlands).** Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, v. 100, n. 4, p. 853–862, 1991.

PETERS, R. H. **The ecological implications of body size** Cambridge University Press, 1983.

PÖRTNER, H. O. **Climate change and temperature-dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals.** Naturwissenschaften, v. 88, n. 4, p. 137–146, 2001.

RANDALL, D.; BURGGREN, W.; FRENCH, K. **Fisiologia Animal: Mecanismos e Adaptações**. 4^a ed. 2011.

RANTA, P. et al. **The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments**. *Biodiversity & Conservation*, v. 7, n. 3, p. 385–403, 1998.

RICHARDSON, A. J. **In hot water: zooplankton and climate change**. *ICES Journal of Marine Science*, v. 65, n. 3, p. 279–295, 2008.

ROBINSON, W. R.; PETERS, R. H.; ZIMMERMANN, J. **The effects of body size and temperature on metabolic rate of organisms**. *Canadian Journal of Zoology*, v. 61, n. 2, p. 281–288, 1983.

SALIMON, C. I. **Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental, Acre**. 2003..

SCHIMPF, N. G. et al. **Cockroaches breathe discontinuously to reduce respiratory water loss**. *The Journal of experimental biology*, v. 212, n. 17, p. 2773–2780, 2009.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Scaling: Why is Animal Size so Important?** 1. ed. New York, 1984.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal: Adaptação e Meio Ambiente**. 2002.

SCHMIDT, C.; WÄGELE, J. W. **Morphology and evolution of respiratory structures in the pleopod exopodites of terrestrial Isopoda (Crustacea, Isopoda, Oniscidea)**. *Acta Zoologica*, v. 82, n. 4, p. 315–330, 2001.

SEHNAL, F. **Growth and life cycles**. In: *Comprehensive Insect Physiology Biochemistry and Pharmacology*. 2^a ed. p. 1–86, 1985.

SEMAN, S. M. DO M. A. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica** João Pessoa, 2012.

SHELTON, T. G.; APPEL, A. G. **Cyclic CO₂ release in *Cryptotermes cavifrons* Banks, *Incisitermes tabogae* (Snyder) and *I. minor* (Hagen) (Isoptera: Kalotermitidae)**. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 129, n. 2–3, p. 681–693, 2001.

SMITH, J. J. et al. **Transient dwarfism of soil fauna during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 106, n. 42, p. 17655–60, 2009.

SNELLING, E. P. **Design of the insect respiratory system: a test case for symmorphosis.** University of Adelaide, School of Earth and Environmental Sciences, 2011.

SOSMA E INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2014-2015.** Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto de Pesquisas Espaciais, 2016.

SUDEMA, S. DE A. DO M. A. **Área de Proteção Ambiental (APA) de Tambaba,** 2012.

SUSTR, V.; SIMEK, M. **Environmental factors influencing respiration of the stenothermic collembolan *Tetrodontophora bielanensis* (Entognatha, Collembola).** Pedobiologia, v. 38, p. 63–71, 1994.

V., SUSTR. **Influence of temperature acclimation on respiration-temperature relationship in *Tetrodontophora bielanensis* (Collembola: Onychiuridae).** European journal of entomology, v. 93, n. 3, p. 435–442, 1996.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; BATISTA, J. L. **Dynamic and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest.** In: Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities. p. 351–365, 1997.

WALLWORK, J. A. **Ecology of soil animals.** 1970.

WEIBEL, E. R.; TAYLOR, C. R.; BOLIS, L. **Principles of Animal Design: The Optimization and Symmorphosis Debate.** Cambridge University Press, 1998.

WEIBEL, E. R.; TAYLOR, C. R.; HOPPELER, H. **The concept of symmorphosis: a testable hypothesis of structure-function relationship.** Proc Natl Acad Sci U S A, v. 88, n. 22, p. 10357–10361, 1991.

WITHERS, P. C. **Design, calibration and calculation for flow-through respirometry systems.** Australian Journal of Zoology, v. 49, n. 4, p. 445–461, 2001.

WOLTERS, V. et al. **Effects of global changes on above- and belowground biodiversity in**

terrestrial ecosystems: Implications for ecosystem functioning. *BioScience*, v. 50, n. 12, p. 1089–1098, 2000.

WOUDE, H. A. VAN DER; JOOSSE, E. N. G. **The seasonality of respiration in two temperate collembola as related to starvation, temperature and photoperiod.** *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, v. 91, n. 1, p. 147–151, 1988.

ZETTEL, J. **Dietary influence on the biology and metabolism of *Isotoma viridis* (Collembola).** *Journal of Insect Physiology*, v. 28, n. 5, p. 453–458, 1982.

ZINKLER, D. **Vergleichende Untersuchungen zur Atmungsphysiologie von Collembolen (Apterygota) und anderen Bodenkleinarthropoden.** *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, v. 52, n. 2, p. 99–144, 1966.