

## *Modelo logístico causa-efeito da temperatura sobre dinâmica populacional de bioindicador*

A inata capacidade para aumentar em número ( $r_m$ ) é definida como a máxima razão de aumento obtido por uma população de distribuição de idade fixa, em qualquer combinação dos fatores físicos do tempo, em condições ótimas de espaço, alimentação e influência intra-específica, excluindo a influência inter-específica. Nesse trabalho a hipótese é de que há um limiar térmico  $i$ . e. temperatura base ( $T_b$ ) para que se processe o desenvolvimento da *Atherigona Orientalis* o aumento e/ou diminuição da população é função de sua sobrevivência, fertilidade, razão sexual e fecundidade, com limiares influenciados pelas isotermas. A partir destas equações determinou-se o número de gerações por ano do bioindicador *Atherigona Orientalis*, para as isotermas de 21oC a 27oC. Através do número de indivíduos do último compartimento (fêmeas em pré-oviposição), obtidos através das simulações, em função do tempo, para cada isoterma, pôde-se estimar o número de gerações anuais condicionado a um sistema sem ganhos e sem perdas. Em função da temperatura, *Atherigona Orientalis* pode apresentar de 4,19 a 8,23 e de 4,74 a 8,55 gerações por ano, quando obtidas através das equações de desenvolvimento e através das simulações, respectivamente, sendo que quanto mais alta a temperatura maior o número de gerações.

**Palavras-chave:** Dinâmica populacional; limiar do desenvolvimento; resistência aerodinâmica.

## *The temperature on bioindicator population dynamics logistic cause-effect model*

The innate capacity to increase in number is defined as the maximum rate ( $m_r$ ) of increase obtained by a population of fixed age distribution, in any combination of the physical factors of time, under optimal conditions of space, feeding, and intra-specific influence, excluding inter-specific influence. In this work, the hypothesis is that there is a thermal threshold, this is the base temperature ( $T_b$ ) for the development of *Atherigona Orientalis*, and the increase and/or decrease of the population is a function of its survival, fertility, sex ratio, and fecundity, with thresholds influenced by isotherms. These equations determined the number of generations per year of the bioindicator *Atherigona Orientalis* for isotherms from 21 C to 27 C. Through the number of individuals of the last compartment (females in pre-oviposition), obtained through the simulations, as a function of time, for each isotherm, it was possible to estimate the number of annual generations conditioned to a system without gains or losses. Depending on the temperature, *Atherigona Orientalis* can present from 4,19 to 8,23 and 4,74 to 8,55 generations per year when obtained through the development equations and simulations, respectively, and the higher the temperature higher the number of generations.

**Keywords:** Population dynamics; threshold of development; air resistance.

Topic: **Planejamento, Gestão e Políticas Públicas Ambientais**

Received: **15/12/2022**

Approved: **12/04/2023**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Felipe Affonso Dantas dos Santos**   
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/029933582422745>  
<https://orcid.org/0000-0001-6995-9496>  
[felipeaffonsodantas@gmail.com](mailto:felipeaffonsodantas@gmail.com)

**Evandro Lima**   
Associação Brasileira de Perícia e Gestão Ambiental, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7057930279111732>  
<https://orcid.org/0000-0003-4213-9652>  
[evandroabpga2@gmail.com](mailto:evandroabpga2@gmail.com)

**Helena Marquini Zuntini Pinto**   
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5535379942996938>  
<https://orcid.org/0000-0001-5537-2053>  
[helenazuntini@gmail.com](mailto:helenazuntini@gmail.com)

**Raphael do Couto Pereira**   
Troy University, Estados Unidos  
<http://lattes.cnpq.br/2232319377341816>  
<https://orcid.org/0000-0002-2864-0005>  
[rcoutopereira1@gmail.com](mailto:rcoutopereira1@gmail.com)

**Patricia dos Santos Matta**   
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2141772484348823>  
<https://orcid.org/0000-0002-0768-9213>  
[patricia.matta@uerj.br](mailto:patricia.matta@uerj.br)

**Allana Oliveira Lima**   
Universidade Federal Fluminense, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7543225206279084>  
<https://orcid.org/0000-0001-6591-8718>  
[allanaolima@gmail.com](mailto:allanaolima@gmail.com)

**Tatiana Santos da Cunha**  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1206792034001854>  
<https://orcid.org/0000-0003-1415-5380>  
[tatiana.cunha@uerj.br](mailto:tatiana.cunha@uerj.br)

**Tetyana Gurova**   
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8505053140543339>  
<https://orcid.org/0000-0002-4309-4866>  
[gurova@lts.coppe.ufrj.br](mailto:gurova@lts.coppe.ufrj.br)

**Josimar Ribeiro de Almeida**   
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3215586187698472>  
<https://orcid.org/0000-0001-5993-0665>  
[almeida@poli.ufrj.br](mailto:almeida@poli.ufrj.br)



DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2023.001.0004

### Referencing this:

SANTOS, F. A. D.; LIMA, E.; PINTO, H. M. Z.; PEREIRA, R. C.; MATTa, P. S.; LIMA, A. O.; CUNHA, T. S.; GUROVA, T.; ALMEIDA, J. R.. Modelo logístico causa-efeito da temperatura sobre dinâmica populacional de bioindicador. **Nature and Conservation**, v.16, n.1, p.38-46, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2023.001.0004>

## INTRODUÇÃO

A constante térmica é uma equação da hipérbole retangular que relaciona temperatura com o tempo de desenvolvimento biológico, onde  $K = y(t - a)$ . Sendo  $K$  a constante térmica expressa em graus dia (GD),  $y$  o tempo requerido para completar o desenvolvimento (dias),  $t$  a temperatura ambiente (°C),  $a$  corresponde a temperatura do limiar do desenvolvimento (°C) e  $t - a$  é a temperatura efetiva. A velocidade do desenvolvimento pode ser calculada pela sua recíproca ( $v = 1/y$ ), sendo  $y = k/t - a$ . Portanto  $1/y = t - a/k$ , e logo se fazendo  $1/k = b$  constante, fica:  $1/y = bt - ab = bt - k$ , onde  $k$  é uma constante. Então  $1/y = bt + k$ , representa uma equação de reta. No entanto, a velocidade de desenvolvimento é uma reta apenas numa estreita faixa de temperatura, em torno do ótimo, pois atingindo os extremos adquire uma forma sigmoide (CARVALHO et al., 1984).

Por outro lado, a equação logística que é mais realista permite uma compreensão melhor desses fenômenos. Esta equação, (fórmula de Pearl-Verhulst), é expressa por  $1/y = k / (1 + e^{(a - bt)})$  ou  $100 / y = k / (1 + e^{(a - bt)})$  quando se coloca nas ordenadas a percentagem média do desenvolvimento em vez da duração do desenvolvimento. A curva de duração de desenvolvimento é dada por  $y = (1 + e^{(a - bt)}) / k$ . Para estudos desta natureza, as técnicas de análise de sistemas e modelagem matemática são particularmente úteis. Dentre os modelos utilizados os mais versáteis e de melhor operacionalidade no tratamento matemático são os determinísticos compartimentais (ALMEIDA et al., 2000).

A inata capacidade para aumentar em número ( $r_m$ ) é definida como a máxima razão de aumento obtido por uma população de distribuição de idade fixa, em qualquer combinação dos fatores físicos do tempo, em condições ótimas de espaço, alimentação e influência intra-específica, excluindo a influência inter-específica (ALMEIDA et al., 2000).

Nesse trabalho a hipótese é de que há um limiar térmico  $i$ . e. temperatura base ( $T_b$ ) para que se processe o desenvolvimento do bioindicador *Atherigona Orientalis* o aumento e/ou diminuição da população é função de sua sobrevivência, fertilidade, razão sexual e fecundidade, com limiares influenciados pelas isotermas (ALMEIDA et al., 2011).

## METODOLOGIA

Foi montada uma estação meteorológica automática, cujo sistema de aquisição de dados por sensores em períodos determinados armazena as informações obtidas em fitas magnéticas, que posteriormente são analisadas por um sistema de microcomputação. Resulta num registro final de valores médios de temperatura e umidade do ar, radiação solar, radiação líquida, precipitação, velocidade do vento. Esses dados são utilizados para determinação dos valores de evaporação potencial através do entendimento que o balanço de energia para uma coluna que se estenda desde o solo até uma altura de referência acima da vegetação. Onde são feitas as observações pode ser descrito pela expressão:  $R_n - L_e - H - G = \rho A / \rho t$ . Em que  $R_n$  = radiação líquida (Watt/m<sup>2</sup>);  $L_e$  = calor latente de vaporização (Joule/Kg);  $E$  = fluxo de vapor d'água

(Kg / m<sup>2</sup>s)); H = fluxo de calor sensível (Watt/m<sup>2</sup>); G = fluxo de calor no solo (Watt/m<sup>2</sup>); A = Armazenamento do calor na coluna (Joule/m<sup>2</sup>).

A equação que descreve a evapotranspiração de uma superfície não saturada, segundo a formulação Penman - Monteith, é  $LeE = (DR + rC_p (e_s - e) / r_a) / (D + g(1 + r_c / r_a))$ . Os símbolos que aparecem nas equações  $\frac{\partial A}{\partial t}$  e LeE representam:  $r$  = densidade do ar (Kg / m<sup>3</sup>);  $r_v$  = densidade da vegetação (Kg / m<sup>3</sup>);  $C_p$  = calor específico do ar a pressão constante (Joule / (Kg °K));  $C_{vg}$  = calor específico da vegetação (Joule / (Kg °K));  $T$  = temperatura do ar (°K);  $T_v$  = temperatura da vegetação (°K);  $e_s$  = pressão de saturação de vapor d'água no ar (Newton / m<sup>2</sup>);  $e$  = pressão de vapor d'água no ar (Newton / m<sup>2</sup>);  $D = -de/dT$  (Newton / (m<sup>2</sup> °K));  $R$  = energia disponível na superfície (Watt / m<sup>2</sup>);  $g$  = constante psicométrica (Newton / (m<sup>2</sup> °K));  $r_a$  = resistência aerodinâmica ao fluxo d'água (s / m);  $r_c$  = resistência de superfície ao fluxo de calor (s / m).

O armazenamento de calor na coluna deve ser constituído por termos que representem o armazenamento de calor latente e sensível no interior da mesma e pelo armazenamento de calor na massa da vegetação. A variação no tempo desses armazenamentos, é dada por:  $\frac{\partial A}{\partial t} = -\int_0^{Z_r} r_c p (T / \frac{\partial T}{\partial z}) dz + \int_0^{Z_r} (r_c p / g) (e / \frac{\partial e}{\partial z}) dz + \int_0^{Z_r} r_v C_{vg} (T_v / t) dz$ . A resistência aerodinâmica ao fluxo de vapor d'água (fluxo de calor latente), é descrita pela equação,  $r_a = \{ \ln ((Z_r - d) / Z_0) - \gamma_M \} \{ \ln ((Z_r - d) / Z_v) - \gamma_V \} / k u$  onde,  $Z_r$  = altura de referência onde são feitas as medidas (m);  $d$  = altura de deslocamento do plano zero (m);  $Z_0$  = comprimento de rugosidade da vegetação para momentum (m);  $Z_v$  = comprimento de rugosidade da vegetação para o fluxo de vapor (m);  $k$  = constante de von Karman@0,41 (adimensional);  $\gamma_M, \gamma_V$  = correções que devem sofrer os fluxos segundo as condições de estabilidade atmosférica em que eles ocorrem.

A energia disponível na superfície é utilizada para manter os fluxos de calor sensível e de calor latente,  $H + LeE$ , sendo dada, portanto, como a soma dos termos  $R_n - G - \frac{\partial A}{\partial t}$ . Quando a superfície está saturada, a resistência  $r_c$  torna-se nula, e o fluxo de vapor d'água ocorre a partir da superfície em seu valor máximo, para as condições existentes, denominado de evaporação potencial. Um dos critérios para o estabelecimento de medidas de estabilidade atmosférica está apoiado na definição do tempo do "comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov",  $L$ , cuja expressão é:  $L = u^* 3 r C_p T / k g (H + 0,07 LeE)$ , sendo  $u^*$  a velocidade de fricção em m/s;  $T$  a temperatura do ar em °K e  $g$  a aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>. Admite-se que equação diferencial que expressa a variação da velocidade do vento com relação a altura, acima de um plano coberto por vegetação ou não, tenha a forma,  $F_m = (u^* / k (z - d)) f_M$ , onde  $f_M$  é uma função adimensional de estabilidade para momentum, que assume valores  $> 1$  quando a atmosfera é estável;  $< 1$  quando é instável e  $= 1$  quando é neutra.

A integração da equação  $\frac{\partial u}{\partial z}$  é dependente do conhecimento da vinculação entre a função de estabilidade  $f_M$  e a altura  $z$ . Tem sido estabelecido experimentalmente, para diferentes condições de estabilidade, expressões que relacionam essa função à altura  $z$  e ao comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov. A equação que expressa essa relação para a atmosfera instável é dada por  $f_M = \{ 1 - 16 (Z - d) / L \} - 1 / 4$ . Se é verdadeira e universal essa relação, a equação  $\frac{\partial u}{\partial z}$  pode ser integrada entre os níveis  $(d + Z_0) - Z_r$ , e a sua solução designando  $x_0 = \{ 1 - 16 (Z_0 / L) \} - 1 / 4$  e  $x = \{ 1 - 16 (Z_r - d) / L \} - 1 / 4$ , resulta na equação:  $u = u^* / k \{ \ln ((Z_r - d) / Z_0) - \gamma_M \}$ , na qual,  $\gamma_M = \ln \{ (1 + x^2) (1 + x) / (1 + x_0^2) (1 + x_0) \} - 2 \arctg x + 2 \arctg x_0$ .

Procedimento análogo com relação aos perfis de pressão de vapor e temperatura, nas suas formas diferenciais, assumindo  $fM = fV = (1 - 16 (Z - d) / L) - 1 / 2$ , para atmosfera instável, e integrando entre os níveis  $(d + Z_v)$  e  $Z_r$ , produz a função integral de estabilidade,  $yV1 = 2 \ln \{(1 + x2) / (1 + x02)\}$ . Para atmosfera estável essas funções têm forma como mostram as equações:  $yM2 = 5 (Z - d - Z_o) / L$  e  $yV2 = 5 (Z - d - Z_v) / L$ , nas quais é assumido  $quefH = fV1 = fM2 = (1 + 5 (Z - d) / L)$ . Naturalmente às condições de neutralidade na atmosfera correspondem  $yH = yV1 = yM2 = 0$ .

O procedimento para a determinação da evaporação potencial, adequada a um conjunto de observações meteorológicas, deve executar em cada interação os seguintes cálculos: 1) um valor para o comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov  $L$  (na primeira interação  $L = \infty$ ); 2) as funções de estabilidade  $yM$ ,  $yV$  dadas pelas equações  $yM1$ ,  $yV1$  ou  $yM2$ ,  $yV2$ , conforme condições de estabilidade indicadas pelo último valor de  $L$  que está sendo utilizado; 3) a velocidade de fricção  $u^*$  através da equação  $U$ ; 4) a resistência aerodinâmica  $r_a$  através da equação  $r_a$ ; 5) a evaporação potencial através da equação  $LeE (rc = 0)$ ; 6) o fluxo de calor sensível  $H$ , como termo desconhecido na equação  $R_n - LeE - H - G = \rho A / \rho t$ ; 7) um novo comprimento de estabilidade  $L$  com a utilização da equação correspondente; 8) verificar as correções sofridas pelas variáveis  $E$ ,  $u^*$ ,  $H$  e  $L$ ; se forem pequenas o processo está encerrado; em caso contrário uma nova iteração deve ser realizada. Após a conclusão de duas iterações já se tem condições de definir os limites inferior e superior,  $L_i$  e  $L_s$ , entre os quais deve estar a solução procurada.

Nas próximas iterações, objetivando um aceleração do processo, o valor de  $L$  assumido no primeiro não corresponde mais ao último valor encontrado no sétimo item e sim ao ponto central do intervalo  $L_i - L_s$ , designado por  $L_o$ ; subsequentemente à determinação de um novo valor para  $L$ , a partir de  $L_o$ , é possível reduzir-se o intervalo  $L_i - L_s$ . Fazendo-se com que um dos limites assuma agora o valor de  $L_o$ , em correspondência a uma das seguintes situações: quando o novo valor de  $L > L_o$  então  $L_i = L_o$ ; quando  $L < L_o$  então  $L_s = L_o$ ; após essa redução calcula-se o novo ponto central e executam-se as outras operações do procedimento.

A taxa de evaporação  $LeE$ , o fluxo de calor sensível  $H$ , e a velocidade de fricção  $u^*$ , determinam uma medida das condições atmosféricas através do comprimento de estabilidade de Monin-Obukhov  $L$ , dado pela equação  $L = V^3 \rho c_p T / (kg (H + 0,07 L + E))$ . A equação  $LeE$  pode ser utilizada para o cálculo da evaporação potencial ao assumir-se  $rc = 0$ . Entretanto, a resistência aerodinâmica  $r_a$  que ocorreria quando a evaporação alcançasse sua taxa máxima, não é conhecida, pois ela é dependente das condições atmosféricas, e essas condições são alteradas sempre que algum fluxo sofra alteração. Se for tomada por simplicidade a igualdade  $r_a = r_{an}$  (onde  $r_{an}$  é a resistência aerodinâmica para condições neutras) ficam em verdade estabelecidos valores para a resistência e para os fluxos, independentes das condições atmosféricas que possam ocorrer, que não mantêm mais a concordância com o comprimento de estabilidade que deles resulta. Em definitivo seriam perdidas as relações funcionais existentes entre as variáveis.

Quanto aos organismos bioindicadores (moscas), foram capturadas com um tipo de armadilha para dípteros construída com armação de metal pintado de preto, medindo 22 cm de diâmetro por 40 cm de altura com duas aberturas - tipo veneziana - de 3 cm de largura na parte inferior, a fim de permitir a entrada

das moscas. No interior das armadilhas era colocado um funil de "nylon" com a base voltada para baixo, para direcionar os dípteros para a parte superior da armadilha. As armadilhas foram colocadas a uma altura de um metro do solo, distanciando 2 m umas das outras. Foram colocadas cinco armadilhas, uma para cada isca, em cada local de coleta (região urbana do município do Rio de Janeiro). Foi utilizado este tipo de armadilha por atender melhor à necessidade proposta. Foram utilizados cinco tipos de iscas (100 g) em cada local de coletas: carcaça de camundongo, vísceras de galinha, vísceras de peixe, cebola e fezes humanas. As iscas foram expostas frescas e observadas durante sua decomposição avaliando-se sua capacidade de atrair as moscas nos diferentes graus de putrefação, em condições naturais.

Após a emergência as moscas adultas foram imediatamente acondicionadas em gaiolas. (30 x 30 cm), revestidas com tela de nylon e alimentadas com fígado cru fresco, uma mistura de açúcar refinado com leite em pó (proteínas - 26,4 g lactose - 38,6 g gorduras - 26 g sais minerais (cinzas) - 5,8 g e vitaminas e água "ad libitum" trocadas diariamente.

À medida que os parâmetros que regulam o aumento e/ou diminuição da população dos bioindicadores (*Atherigona Orientalis*) foram introduzidos no modelo efetuaram-se as simulações pertinentes para verificar se as equações matemáticas empregadas representavam corretamente a situação estudada. Adotou-se o diagrama de FORRESTER (1976) para se esquematizar o modelo usado na dinâmica populacional do bioindicador. Neste caso: X1, X2, X3, X4, correspondem aos compartimentos de ovo, larva, pupa e adultos (fêmea), respectivamente; S (i) a sobrevivência de cada compartimento; Tb (i) foi a temperatura base (OC) para cada compartimento; K (i) correspondeu a constante térmica (graus - dias = GD) para cada compartimento; RS a razão sexual da espécie (número de fêmea).(número de fêmea + número de macho = 0,5); FE representou a fecundidade da espécie (nº ovos / fêmea); FF a fertilidade da espécie (% de eclosão de larvas).

Os valores da temperatura base (Tb) e da constante térmica (K) foram determinados a partir dos dados de duração (D) de cada fase em função da temperatura (T), uma vez que  $K = D \cdot (T - Tb)$  onde T - Tb = temperatura efetiva do bioindicador. Escrevendo essa equação  $K = D \cdot (T - Tb)$  na sua forma linear tem-se  $1/D = - Tb / K + 1 / K \cdot T$ . precipitação. Os totais de energia disponível são mostrados na Tabela 2, em equivalente de mm d'água. Nesses valores estão embutidas as variações do armazenamento de energia interior da floresta, conforme as parcelas explicitadas na equação  $\frac{dA}{dt}$ , na determinação dessas parcelas foi assumido que as variações temporais de temperatura e pressão de vapor d'água, observadas acima da floresta, representam o padrão de variação ao longo da coluna que se estende desde o solo até a altura de referência Zr (THOM, 1977).

Tal consideração permite uma imediata solução para as duas primeiras integrais da equação  $\frac{dA}{dt}$ , com relação a terceira integral, dessa mesma equação, que representa a variação do armazenamento de energia na massa da vegetação, no reconhecimento da importância de sua magnitude, mas na falta de estudos finalizados sobre essa parcela, foi assumido simplesmente que esse termo acompanhava o padrão de variação de armazenamento de energia no ar, na forma de calor sensível. Com relação ao fluxo de calor no solo, tendo em vista os baixos níveis de radiação que atingem o solo, em torno de 3% da radiação que

alcança o topo da floresta a sua contribuição foi desprezada. A queda nos valores de radiação líquida para os dias chuvosos e como regra geral em todo o período de observações, é contrabalanceada pelos fluxos de calor sensível, e pelas taxas negativas da variação no armazenamento de energia no interior da floresta.

## DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os valores médios mensais de temperatura, umidade específica do ar, Déficit Médio de Saturação, velocidade do vento, radiação média solar e radiação média líquida. Na tabela 2, são apresentados valores mensais de Evaporação Real Média, Evaporação Potencial Média e Energia Média Disponível.

**Tabela 1:** Valores médios mensais dos parâmetros meteorológicos.

Meses	Temperatura média (T °C)	Umidade Média Específica (g/Kg)	Déficit Médio de Saturação (g/Kg)	Velocidade Média do vento (m/s)	Radiação Média Líquida (W/m <sup>2</sup> )	Radiação Média Solar (W/m <sup>2</sup> )	Precipitação Média (mm)
1	26,9	16,6	5,6	1,3	124	203	156
2	25,8	17,8	3,1	1,2	101	153	197
3	26,3	17,7	4,6	1,2	101	163	78
4	24,8	16,9	2,4	1,3	97	132	385
5	24,7	16,6	2,2	1,3	110	161	321
6	23,8	16,5	2,3	1,3	96	137	425
7	24,8	16,7	2,7	1,4	108	167	228
8	24,9	16,9	3,1	1,3	91	158	267
9	24,8	16,1	3,2	1,7	98	167	331
10	25,6	16,1	4,7	1,4	123	181	67
11	25,4	15,7	4,7	1,4	128	179	128
12	25,4	16,9	4,5	1,4	125	171	157

**Tabela 2:** Taxas de evaporação real e potencial.

Meses	Evaporação Real Média E (mm/dia)	Evaporação Potencial Média E <sub>p</sub> (mm/dia)	Evaporação Média Thom/Oliver E <sub>T</sub> (mm/dia)	Energia Média Disponível equivalente de mm d'água
1	4,19	7,34	6,58	3,67
2	4,26	7,98	6,56	3,87
3	4,74	7,34	5,58	3,76
4	4,21	6,56	5,48	4,34
5	3,66	6,13	5,26	4,44
6	3,58	5,54	4,14	4,85
7	3,75	6,19	4,74	4,61
8	5,21	7,64	5,91	4,53
9	5,69	8,26	6,39	3,93
10	5,33	7,91	6,38	4,18
11	5,38	6,74	5,94	3,82
12	3,45	6,63	4,82	4,68

As equações obtidas para as diversas fases, em sua forma linear foram para Ovo:  $1/D = -0,18 + 0,02.T$ ; para Larva:  $1/D = -0,028 + 0,01.T$ ; para Pupa:  $1/D = -0,069 + 0,01.T$ ; e para Fase adulta  $1/D = -0,4178 + 0,02.T$ . Para que ocorra uma nova geração, considerou-se apenas o período de pre-oviposição das fêmeas obtidas. A partir dos dados, determinou-se a equação de desenvolvimento do bioindicador cujo período pré-oviposição foi  $1/D = -0,042 + 0,008.T$ .

## CONCLUSÃO

A partir destas equações determinaram-se o número de gerações por ano do bioindicador para as isotermas de 21 °C a 27 °C. Através do número de indivíduos do último compartimento (fêmeas em pré-ovoposição), obtidos através das simulações, em função do tempo, para cada isoterma, pôde-se estimar o número de gerações anuais condicionado a um sistema sem ganhos e sem perdas. Em função da temperatura, o bioindicador pode apresentar de 3,93 a 7,73 e de 4,45 a 8,04 gerações por ano, quando obtidas através das equações de desenvolvimento e através das simulações, respectivamente. Sendo que quanto mais alta a temperatura maior o número de gerações. O quadro 1 indica o número de gerações / ano do bioindicador, para cada isoterma, determinado através das equações de desenvolvimento e das simulações.

**Tabela 3:** Número de gerações por ano do bioindicador, por isotermas (0 °C).

Isotermas (°C)	Número de gerações / ano	
	Ng (a)	Ng (b)
21	3,93	4,45
22	4,07	4,96
23	5,08	5,48
24	5,79	6,35
25	6,31	6,43
26	7,37	7,51
27	7,73	8,04

No quadro 1, Ng (a) é calculado a partir das equações; Ng (b) é a área sob a curva do número de indivíduos do último compartimento (período pré-oviposição) em função do tempo, obtida através de simulações de um sistema fechado. Através de análise de variância verificou-se a significância (0,1%) para as equações de regressão relativas ao número de gerações anuais do bioindicador (*Atherigona Orientalis*) em função das isotermas, para as duas situações estudadas. As equações de regressão obtidas para estas situações foram (a)  $Ng / \text{ano} = - 5,19 q + 0,59. T$  e (b)  $Ng / \text{ano} = - 5,1 q + 0,48. T$ . Não há diferença significativa entre os coeficientes angulares das equações de regressão relativas ao número de gerações anuais em função das isotermas (teste “t”), obtidas a partir das simulações e através das equações de desenvolvimento (Quadro 2).

Pode-se, portanto, afirmar que os parâmetros utilizados nas equações matemáticas do modelo determinístico compartimental estão ajustados, retratando a dinâmica populacional de *Atherigona Orientalis*.

**Tabela 4:** Teste de hipótese para os coeficientes angulares das retas (a) e (b).

	(a)	(b)
(a)	--	-0,48 ns
(b)	-0,48 ns	--

Na avaliação do modelo acrescentou-se uma sobrevivência de 50% para cada fase além de uma fecundidade média de ovos / fêmea. Devido a grande variabilidade nos dados de fertilidade do bioindicador (*Atherigona Orientalis*), estimou-se este parâmetro de maneira a se obter um aumento médio de 5 vezes na

população das fêmeas em pré-oviposição. Através das simulações, o valor encontrado para a fertilidade foi de 80%.

**Tabela 5:** Razão populacional entre gerações de *Atherigona Orientalis*.

Razão	1ª GERAÇÃO	2ª GERAÇÃO	3ª GERAÇÃO
N2 / N1	2,92	3,32	3,38
N3 / N2	4,48	3,09	3,71
N4 / N3	4,56	3,99	3,49
N5 / N4	5,67	4,17	4,31

No quadro 3,  $N_i$  representa  $i$ -ésima geração completa do bioindicador (*Atherigona Orientalis*) ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ). O número de gerações do bioindicador varia linearmente com as isothermas. O quadro 3 demonstra as razões ( $N_2 / N_1$ ,  $N_3 / N_2$ ,  $N_4 / N_3$  e  $N_5 / N_4$ ) ao longo de 3 gerações. O número de gerações anuais para cada isoterma não difere estatisticamente quando calculadas através das equações de desenvolvimento ou através das simulações.

A hipótese foi de que há um limiar térmico  $i$  e temperatura base ( $T_b$ ) para que ocorra o desenvolvimento do bioindicador estudado. Assim como a dinâmica populacional (aumento ou diminuição da densidade) é função da sobrevivência, fertilidade, razão sexual e fecundidade com limiares influenciados pelas isothermas. Portanto corroborada e com as análises indicando a adequação do Modelo logístico causa-efeito da temperatura sobre dinâmica populacional do bioindicador.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R.; XEREZ, R.; CALDAS, A.. Dinâmica populacional de quatro espécies de *Dysdercus* (Hemiptera, Pyrrhocoridae) e a fenologia das plantas hospedeiras. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v.10, n.2, p.197-214, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81751993000200002>

ALMEIDA, M. D.; CALDAS, A.; ALMEIDA, J. R.. Variação morfométrica e demográfica em *Phaleriatestacea* Say (Coleoptera, Tenebrionidae) de duas praias do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v.10, n.1, p.173-178, 1993(a). DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81751993000100005>

ALMEIDA, C. E.; VINHAES, M. C.; ALMEIDA, J. R.; SILVEIRA, A. C.; COSTA, J.. Monitoring the domiciliar and peri domiciliar invasion process of *Triatoma rubrovaria* in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 95, p. 36-42, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0074-0276200000600003>

ALMEIDA, C. E.; MARCHON-SILVA, V.; RIBEIRO, R.; SERPA-FILHO, A.; DE ALMEIDA, J. R.; COSTA, J.. Entomological fauna from Reserva Biológica do Atol das Rocas, RN, Brazil: I. Morphospecies composition. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, p.291-298, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000200013>

ALMEIDA, J. R.; VITORIA, F. C.; RODRIGUES, M. G.. Estimativa de Esperança de Vida e Sobrevivência de *Atherigona Orientalis*. **Revista Internacional de Ciências**, v.2, p.44-49, 2012. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2012.4127>

ALMEIDA, J. R.; ALMEIDA, C. A. S.; ARAUJO, F. S.; BURLAMAQUI, C. C. B.; LUCENA JR. J. J. G.. Avaliação de Impacto Ambiental em uma Mata Ciliar na Cidade de Man. **Revista Internacional de Ciências**, v.1, p 3-18, 2012 (a) DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2011.3625>

ALMEIDA, J. R.; OLIVEIRA, S. G.; BORGES, I. L.; D'ALMEIDA, J. M.. Application of deterministic model of isothermals for population dynamics of *Synthesiom yianudiseta* (Diptera, Muscidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, p. 141-145, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-71082001000100018>

ALMEIDA, J. R., CARVALHO, C.. Dípteros sinantrópicos de Curitiba e arredores **Revista Brasileira de Entomologia** v.28, n.4, p.551-560, 1984.

ALMEIDA, J. R.; CARVALHO, C. J. B. & MALKOWSKI, S. R.. Dípteros sinantrópicos de Curitiba e arredores (Paraná, Brasil). II: Fanniidae e Anthomyiidae. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.14, n.2, p.277-288, 1985.

ALMEIDA, J. M.; ALMEIDA, J. R.. Longevidade e curva de sobrevivência de dípteros calíptros (Calliphoridae, Muscidae e Sarcophagidae) em condições de laboratório. **Revista Brasileira de Biologia**, v.56, n.3, p.497-505, 1996.

ALMEIDA, J. R.; QUEIROZ, S. P. M.; DUDAS, L.. Bionomia de *Sarconesiachlorogaster* (Diptera, Caliphoridae) em Curitiba, Paraná. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.14, n.1, p.105-110, 1985.

FORRESTER, J. W.. **Principles of systems**. Wright Allen Press, Cambridge p.320, 1976.

THOM, A. S.; OLIVER, H. R.. On Penaman's equation for estimating regional evaporation. **Quarterly Journal Royal Metereological Society**, v.103, p.345-357, 1977.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – **Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03)** detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.