



Efeito do fotoperíodo sobre parâmetros de esperança de vida e fertilidade de *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera, Braconidae) em larvas de *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera, Pyralidae)

Effect of photoperiod on life expectancy and fertility of Habrobracon hebetor (Hymenoptera, Braconidae) on larvae of Ephestia kuehniella (Lepidoptera, Pyralidae)

Cleder **PEZZINI**^{1,2,3}; Simone Mundstock **JAHNKE**¹; Andreas **KÖHLER**² & Emanuela **SOMAVILLA**²

RESUMO

Fatores abióticos como fotoperíodo podem afetar os processos de interação entre o ectoparasitoide *Habrobracon hebetor* e seu hospedeiro *Ephestia kuehniella*. Sendo assim, objetivou-se avaliar o desenvolvimento e os parâmetros de esperança de vida e de fertilidade de *H. hebetor*, parasitando *E. kuehniella* sob diferentes fotoperíodos. Os parasitoides desenvolveram-se durante a fase pré-imaginal em três diferentes fotoperíodos (claro/escuro) 24:0, 12:12 e 0:24, e os adultos oriundos de cada um dos tratamentos ficaram expostos a 0, 12 e 24 horas de fotofase, perfazendo nove tratamentos. Um casal de parasitoides foi inserido por placa de Petri contendo 10 larvas de quinto instar de *E. kuehniella*, e a cada 24 horas eram retirados e transferidos para uma nova placa com 10 larvas, até a morte da fêmea. A duração do período pré-imaginal em escotofase foi significativamente maior que os períodos com fotofases de 12 e 24 horas. A longevidade das fêmeas e dos machos não diferiu entre os tratamentos. A esperança de vida das fêmeas variou de 7,7 a 10,2 dias. As taxas líquidas de reprodução dos parasitoides criados em fotofase de 12 e 24 horas foram em média de 52,7 a 63,7, maiores que em escotofase (22,9 a 27,9).

Palavras-chaves: controle biológico; fatores abióticos; parasitoide; traça-das-farinhas.

ABSTRACT

Abiotic factors such as photoperiod may affect the interaction processes between the ectoparasitoid *Habrobracon hebetor* and its host *Ephestia kuehniella*. The objective of this study was to evaluate development, life expectancy and fertility parameters of *H. hebetor*, parasitizing *E. kuehniella* under different photoperiods. Parasitoids developed during pre-imaginal stage in three different photoperiods (light/dark) 24:0, 12:12 and 0:24, and then adults from each treatment were exposed to 0, 12 and 24 hours of photophase, totalizing nine treatments. One parasitoid couple was placed in a Petri dish containing 10 fifth instar larvae of *E. kuehniella*, being removed after each 24 hours and transferred to a new dish with 10 larvae, until the death of the female. The duration of pre-imaginal period in scotophase was significantly longer than periods with 12 and 24 hours photophases. The longevity of females and males demonstrated no differences between treatments. The expectation of life ranged from 7.7 to 10.2 days. The net reproductive rates of the parasitoids reared in 12 and 24 hours photophase averaged from 52.7 to 63.7, higher than scotophase (22.9 to 27.9).

Keywords: abiotic factors; biological control; flour moth; parasitoid.

Recebido em: 8 jul. 2019

Aceito em: 7 fev. 2020

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), *Campus do Vale*, Departamento de Fitossanidade, Avenida Bento Gonçalves, 7.712 – CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc), *Campus Central*, Departamento de Biologia e Farmácia, Avenida Independência, 2.293 – CEP 96816-501, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

³ Autor para correspondência: cleder.pezzini@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

As espécies de Pyralidae de maior importância econômica são *Ephestia (Anagasta) kuehniella* (Zeller, 1879) (traça-das-farinhas), *Ephestia elutella* Hübner, 1796 (traça-do-tabaco), *Cadra (Ephestia) cautella* (Walker, 1863) (traça-do-cacau) e *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813) (traça-indiana-da-farinha) (GUEDES & COSTA, 2006; LORINI *et al.*, 2015). Essas espécies causam danos a uma série de produtos armazenados, diminuindo a qualidade e o peso deles (LORINI, 2012).

Uma das espécies que têm potencial como agente de biocontrole das traças de produtos armazenados é *Habrobracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae), ectoparasitoide larval, cosmopolita e que tem como hospedeiro larvas de piralídeos (FARAG *et al.*, 2015).

O controle biológico com o uso de *H. hebetor* apresenta-se como alternativa aos inseticidas, especialmente se associado a outros meios de controle (GRIESHOP *et al.*, 2006), embora sua utilização ainda tenha limitadores que exigem mais estudos. O sucesso na introdução ou no desenvolvimento de programas de controle biológico depende de pesquisas em laboratório para que não ocorra descrença dessa técnica quando aplicada a campo (PINTO & PARRA, 2002). Destaque é dado para estudos sobre o potencial de parasitismo diante do impacto de fatores ambientais que podem influenciar diretamente no seu desempenho (PRATISSOLI *et al.*, 2004; KOŠTÁL, 2011).

Variáveis ambientais como o fotoperíodo podem atuar de forma positiva ou negativa sobre aspectos biológicos dos parasitoides, interferindo nesses processos na fase imatura e/ou adulta (GULLAN & CRANSTON, 2012). Considerando ambientes de armazenamento, em que condições ambientais são controladas ou alteradas artificialmente (JIAN & JAYAS, 2012), esse aspecto torna-se ainda mais importante para o estabelecimento do controle biológico. Conforme Beck (1980), características como metabolismo, comportamento, crescimento, morfologia, biologia estacional, reprodução, fecundidade, distribuição geográfica e mesmo a atividade diária de um inseto são influenciadas de modo direto pelo fotoperíodo.

Especialmente a reprodução dos parasitoides pode ser influenciada pelo fotoperíodo de forma qualitativa (como uma interrupção na reprodução e/ou indução da diapausa) e quantitativa (com influência na duração do período de pré-oviposição, intensidade de oviposição, fecundidade e viabilidade) (TOMMASINI & VAN LENTEREN, 2003; FANTINO *et al.*, 2004). Estudos do desenvolvimento e dos padrões reprodutivos de uma população de parasitoides são componentes importantes para a compreensão da dinâmica populacional desses organismos sob o efeito do fotoperíodo (SOUTHWOOD & HENDERSON, 2000; PRATISSOLI *et al.*, 2003).

A compreensão da relação existente entre as variações do fotoperíodo e os parâmetros biológicos de *H. hebetor* trará informações que poderão servir de base para o desenvolvimento de técnicas de criação massal e o entendimento do comportamento desse parasitoide em ambientes de armazenamento, com pouca luminosidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar o tempo de desenvolvimento, parâmetros de esperança de vida e tabelas de fertilidade de *H. hebetor* relacionadas a diferentes fotoperíodos durante a fase pré-imaginal e adulta.

MATERIAL E MÉTODOS

CRIAÇÕES DE LABORATÓRIO

As criações de manutenção de *H. hebetor* e de *E. kuehniella* foram mantidas em salas climatizadas com temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar (UR) de $50 \pm 20\%$ e fotofase de 12 horas, com intensidade de 2.000 ± 200 lux, situadas no Laboratório de Entomologia da Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc (RS). Larvas de *E. kuehniella* foram desenvolvidas em dieta artificial, constituída de farinha de trigo (97%) e levedura de cerveja (3%), seguindo a metodologia proposta por Parra *et al.* (2014). Os parasitoides receberam como substrato para oviposição larvas de quinto instar de *E. kuehniella*, e os adultos foram mantidos sem alimento ou água (GHIMIRE & PHILLIPS, 2010) no mesmo recipiente contendo as larvas, até seu perecimento.

TEMPO DE DESENVOLVIMENTO

Os parasitoides utilizados neste trabalho desenvolveram-se em diferentes fotoperíodos (fotofase: escotofase): 0:24, 12:12 e 24:0. Foram contabilizados somente os indivíduos que chegaram à fase adulta, até atingir 15 repetições.

Para avaliar o tempo de desenvolvimento das fases pré-imaginais (ovo a adulto), uma fêmea adulta do parasitoide foi individualizada com uma larva de quinto instar de *E. kuehniella* por placa de Petri (9 cm de diâmetro por 2 cm de altura), durante 12 horas. Após, a fêmea foi retirada, permanecendo apenas um ovo sobre o hospedeiro, o qual foi acompanhado até a emergência, sendo os demais retirados. A observação e o registro das fases do desenvolvimento foram realizados a cada 12 horas.

PARÂMETROS DE ESPERANÇA DE VIDA E TABELA DE FERTILIDADE

O experimento foi conduzido em três fotoperíodos para o desenvolvimento do parasitoide (fase pré-imaginal) – 0, 12 e 24 horas de fotofase –, e fez-se a combinação dos mesmos três fotoperíodos durante a fase adulta em um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3 (fotoperíodo fase pré-imaginal x fotoperíodo fase adulta), perfazendo nove tratamentos (T1 a T9). Efetuaram-se 15 repetições por tratamento, sendo cada repetição constituída por um casal (unidade experimental).

Para a construção das tabelas de vida, casulos do parasitoide provindos das diferentes condições experimentais foram individualizados em microtubos plásticos de 1,5 mL e mantidos no mesmo fotoperíodo até a emergência. Os insetos virgens emergidos com no máximo 24 horas de idade tiveram o sexo identificado visualmente, e em seguida foram formados casais, sem haver experiência de parasitismo antes dos bioensaios.

Inseriu-se um casal de parasitoides por placa de Petri, contendo 10 larvas de quinto instar de *E. kuehniella*, e o casal permaneceu na placa de Petri por 24 horas, sem nenhuma fonte alimentar. Diariamente, os parasitoides eram transferidos para novas placas contendo 10 larvas, e assim sucessivamente até ocorrer a morte da fêmea. Realizaram-se observações diárias, sendo avaliados o número diário de ovos por fêmea e a longevidade de machos e fêmeas do parasitoide.

Elaboraram-se as tabelas de vida, adotando as metodologias de Southwood & Henderson (2000) e Kakde *et al.* (2014), as quais estimam características derivadas de dados de natalidade e mortalidade coletados na população. Foram determinados os valores de intervalo de idade em dias (x); número de sobreviventes no início da idade x (L_x); número de indivíduos mortos durante o intervalo etário x (d_x); estrutura etária (E_x), que é o número de indivíduos vivos entre um dia e outro, obtidos pela equação $E_x = [L_x + (L_x + 1)]/2$; número total de indivíduos em cada intervalo de idade x (T_x), que representa o número de insetos vivos além de determinada idade; esperança de vida (e_x) para os indivíduos de idade x , calculada pela equação $e_x = T_x/L_x$, e a porcentagem de risco ($100q_x$), que é a razão de mortalidade por intervalo de idade e indica a probabilidade de ocorrência de morte dos indivíduos antes do prazo estabelecido por e_x , sendo obtida pela equação $100q_x = (d_x/L_x) \cdot 100$.

A tabela de vida de fertilidade foi construída calculando-se estimativas dos valores de intervalos de idade em dias (x), fertilidade específica (m_x), que é o número de ovos que originarão fêmeas – razão sexual para 0,7 fêmea, segundo Pezzini *et al.* (2019) – e probabilidade de sobrevivência (l_x). Calcularam-se: os valores da taxa líquida de reprodução (R_0) pela equação $R_0 = \sum (m_x \cdot l_x)$; intervalo de tempo entre gerações (T): $T = (\sum m_x \cdot l_x \cdot x) / (\sum m_x \cdot l_x)$; a taxa intrínseca de crescimento (r_m): $r_m = \log R_0 / T = \ln R_0 / T$; a taxa finita de aumento (λ): ($\lambda = e^{r_m}$); o tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD): ($TD = \ln(2)/r_m$).

ANÁLISE DOS DADOS

As médias dos dados do período pré-imaginal e da longevidade de fêmeas e machos foram analisadas quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e quanto à homocedasticidade pelo teste de Hartley. Verificou-se que os pressupostos da Anova não foram atendidos e, dessa forma,

optou-se pela utilização do teste não paramétrico Kruskal-Wallis seguido de Dunn ($p < 0,05$). Os dados de longevidade das fêmeas foram comparados entre si, utilizando-se o teste de Log-Rank. Tais análises foram realizadas com o software estatístico SPSS versão 22 (IBM, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TEMPO DE DESENVOLVIMENTO

No intervalo de uma geração, o tempo de desenvolvimento das larvas foi mais acelerado em plena fotofase. O estágio de pré-pupa de *H. hebetor* criado em plena escotofase foi prolongado em comparação àqueles em fotofase de 12 e 24 horas, e os estágios de ovo e pupa não apresentaram diferenças estatísticas em função do fotoperíodo (tabela 1). A duração do período ovo-adulto em plena escotofase foi significativamente maior que a dos períodos com fotofases de 12 e 24 horas (tabela 1).

Um menor tempo de desenvolvimento total em fotoperíodos com maior quantidade de luz (16 horas) também havia sido referido para *H. hebetor* por Chen *et al.* (2012), parasitando, entretanto, larvas de *P. interpunctella*. Esses autores constataram que em 10, 13 e 16 horas de fotofase durante a fase pré-imaginal o tempo de desenvolvimento de *H. hebetor* diminuiu à medida que o fotoperíodo com fotofase aumentou, corroborando os resultados do presente estudo.

Tabela 1 – Tempo médio em dias (\pm desvio padrão) das fases de ovo, larva, pré-pupa, pupa e o ciclo total do desenvolvimento de *Habrobracon hebetor* em larvas de *Ephestia kuehniella* em três fotoperíodos testados ($n = 15$) ($28 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 20\%$ umidade relativa).

	Fotofase		
	0 h	12 h	24 h
Ovo	1,40 \pm 0,338 a	1,35 \pm 0,343 a	1,33 \pm 0,246 a
Larva	3,20 \pm 0,254 a	3,26 \pm 0,400 a	2,96 \pm 0,258 b
Pré-pupa	2,30 \pm 0,316 a	1,97 \pm 0,374 b	1,83 \pm 0,246 b
Pupa	4,73 \pm 0,495 a	4,47 \pm 0,413 a	4,67 \pm 0,326 a
Total	11,63 \pm 0,442 a	11,06 \pm 0,300 b	10,79 \pm 0,257 b

Letras minúsculas, diferentes na linha, diferem significativamente pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Dunn ($p < 0,05$).

Uma fase pré-imaginal mais rápida dos insetos, com mais horas de fotofase, como observado para *H. hebetor*, pode ser explicada. De acordo com Van Lenteren (1999), o sistema endócrino pode receber interferência do fotoperíodo, no qual longos períodos de luz durante o dia favorecem diretamente a ativação dos *corpora allata* e *corpora cardiaca*, liberando importantes hormônios como o juvenil e os ecdisteroides, o que acelera o desenvolvimento. Condições de dia com poucas horas de luz podem levar à inativação das glândulas protorácicas, aumentando o tempo pré-imaginal ou ainda podendo induzir a diapausa nesse estágio, o que parece não ocorrer com *H. hebetor* (SAUNDERS, 2014).

Possivelmente *H. hebetor* entre em diapausa na fase adulta para sincronizar seu desenvolvimento com o desenvolvimento de seu hospedeiro. Na região de São Paulo, Brasil (local que apresenta médias mais baixas de temperatura), *Ephestia kuehniella* passa o período do inverno em diapausa, no último instar larval (COELHO JUNIOR, 2011).

PARÂMETROS DE ESPERANÇA DE VIDA

A longevidade máxima das fêmeas de *H. hebetor* foi de 18 dias de idade no tratamento T8. A média variou entre 9,2 e 11,7 dias de idade para os tratamentos T2 e T7, respectivamente (tabela 2). Não houve diferença significativa entre a média de dias de vida para as fêmeas, entre os diferentes tratamentos ($H = 15,03$; $gl = 8$; $p > 0,05$). Em relação à sobrevivência dos machos, eles foram menos longevos que as fêmeas, apresentando valores entre 3,8 e 5,1 dias de idade nos tratamentos T9 e T1, nessa ordem (tabela 2), e vivendo no máximo por sete dias, sem diferença entre os tratamentos ($H = 19,81$; $gl = 8$; $p > 0,05$). Chen *et al.* (2012), avaliando *H. hebetor* sobre larvas de *P. interpunctella*, também não observaram diferenças na longevidade dos adultos quando os parasitoides foram criados e expostos na fase adulta nos fotoperíodos 10:14, 13:11, 16:8 (fotofase: escotofase). No entanto os mesmos autores também relataram que, apesar de não haver diferença na longevidade, os parasitoides expostos na fase adulta a mais horas de escotofase possuíam um número de indivíduos vivos no estágio inicial (E_x) por período mais prolongado do que aqueles com fotoperíodo de 16 horas de fotofase, situação semelhante à verificada no presente trabalho.

Tabela 2 – Longevidade em dias (\pm desvio padrão) de *Habrobracon hebetor* em nove diferentes combinações de fotoperíodos testados ($n = 15$) ($28 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 20\%$ umidade relativa). Legenda – T: tratamento.

Tratamentos	Fotofase		Fêmeas*	Machos*
	Fase pré-imaginal	Fase adulta		
T1	0 h	0 h	10,20 \pm 2,305 a	5,13 \pm 1,126 b
T2		12 h	09,20 \pm 3,052 a	4,07 \pm 1,033 b
T3		24 h	10,93 \pm 3,035 a	3,87 \pm 0,743 b
T4	12 h	0 h	11,40 \pm 1,724 a	4,87 \pm 1,552 b
T5		12 h	10,07 \pm 2,154 a	4,13 \pm 1,060 b
T6		24 h	10,13 \pm 2,475 a	4,20 \pm 0,862 b
T7	24 h	0 h	11,73 \pm 2,187 a	5,07 \pm 1,438 b
T8		12 h	11,60 \pm 2,613 a	4,93 \pm 1,033 b
T9		24 h	10,67 \pm 2,944 a	4,33 \pm 1,234 b

Letras minúsculas diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Dunn ($p < 0,05$).

* Não se obteve diferença significativa na longevidade de fêmeas e machos entre tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis seguido de Dunn ($p > 0,05$).

Embora trabalhos clássicos como os de Jervis & Copland (1996) afirmem que o aumento das horas de luz durante o dia na fase adulta seja conhecido por encurtar a longevidade dos parasitoides e diminuir a sua fecundidade ao longo da vida, isso não foi registrado no presente experimento. Autores que apoiam essa ideia justificam a diminuição na longevidade pelo fato de que, com mais horas de luz, os parasitoides apresentam maior atividade diária, tal como deslocamento, busca por hospedeiros e fuga de predadores, do que em condições de maior tempo de escuro, diminuindo assim a longevidade e a fecundidade (SAHIN & OZKAN, 2007). Porém, como neste experimento a espécie *H. hebetor* se encontrava em recipientes protegidos junto com os hospedeiros, ela não teve esse gasto energético; assim, ainda será preciso investigar tal aspecto em condições mais próximas às de campo.

A mortalidade (d_x) das fêmeas de *H. hebetor* iniciou-se em diferentes idades dentre os fotoperíodos estudados. Fêmeas provenientes de 0, 12 e 24 horas de fotofase durante o desenvolvimento e

expostas a plena escotofase na fase adulta começaram a morrer aos 6, 7 e 8 dias de idade, respectivamente. Naquelas expostas a fotofase de 12 e 24 horas na fase adulta, independentemente do fotoperíodo de origem, a d_x iniciou-se antes, a partir do 5.º e do 6.º dia (figura 1).

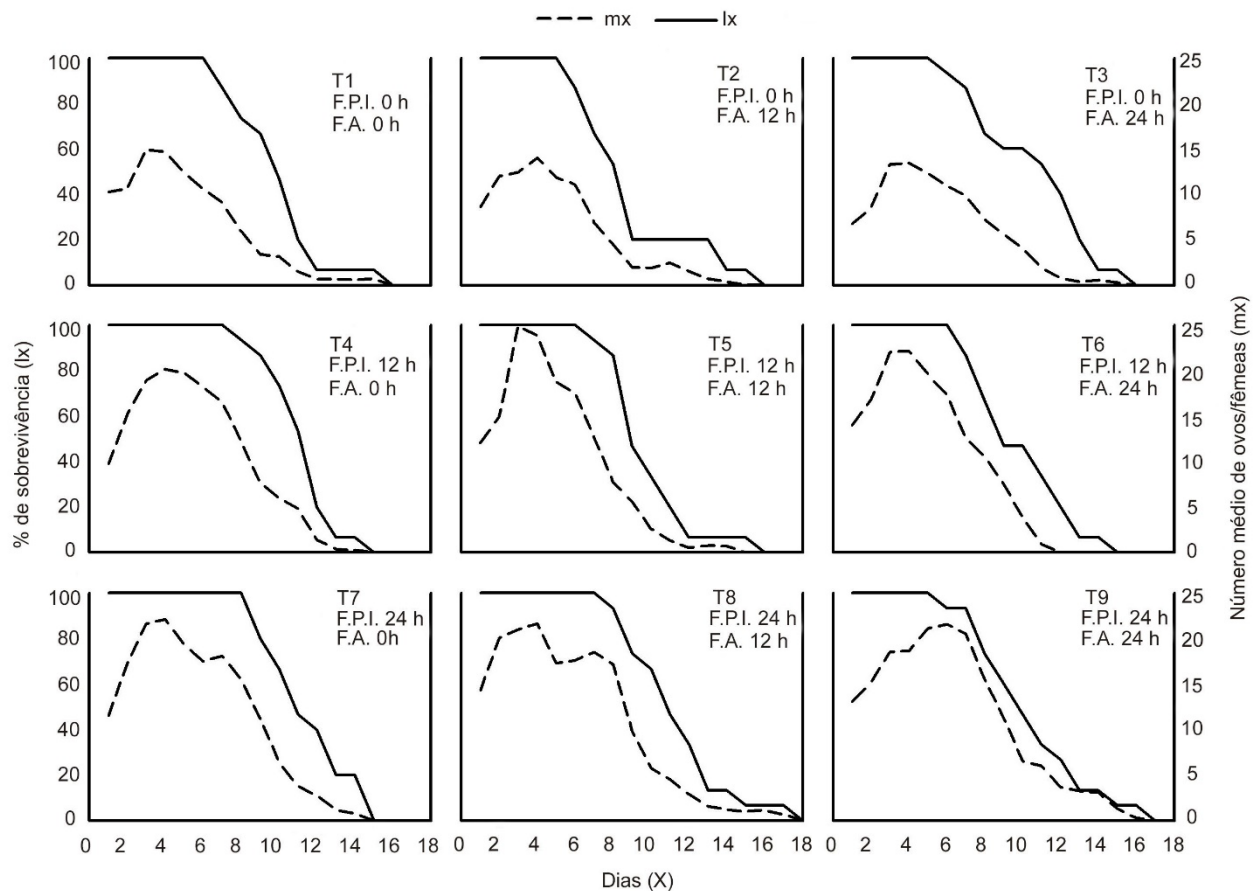


Figura 1 – Número médio estimado de ovos/fêmea (m_x) e porcentagem estimada de sobrevivência (l_x) de fêmeas de *Habrobracon hebetor* em larvas de *Ephestia kuehniella* em nove diferentes combinações de fotoperíodos testados ($n = 15$) ($28 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 20\%$ umidade relativa). Legenda – T: tratamento; F.P.I.: fotofase na fase pré-imaginal; F.A.: fotofase na fase adulta.

O resultado do teste de Log-Rank demonstrou que a mortalidade das fêmeas oriundas de plena escotofase e de 12 e 24 horas de fotofase, e expostas na fase adulta às diferentes combinações (0, 12 e 24 horas), não foi significativamente afetada pelo fotoperíodo ($\chi^2 = 1,668$; $gl = 2$; $p = 0,434$), ($\chi^2 = 1,965$; $gl = 2$; $p = 0,374$) e ($\chi^2 = 1,063$; $gl = 2$; $p = 0,588$) respectivamente.

Apesar de não haver diferença significativa entre a longevidade nos diferentes fotoperíodos testados, conforme proposto por Jervis & Copland (1996) como um comportamento comum de muitos insetos diante desse fator abiótico, o número de fêmeas vivas no estágio inicial (E_x) prolongou-se mais naquelas expostas à escotofase na fase adulta, havendo, após, probabilidade de morte ($100q_x$) mais acentuada entre o 9.º e o 11.º dia. O mesmo foi observado por Chen *et al.* (2012) com *H. hebetor* sob o efeito do fotoperíodo. Nos tratamentos com fotofase de 12 ou 24 horas durante a fase adulta, a probabilidade de morte ($100q_x$) iniciou-se mais cedo (entre o 5.º e o 6.º dia), com uma mortalidade (d_x) distribuída de forma mais homogênea ao longo dos dias.

Outros parasitoides de *E. kuehniella* apresentaram respostas diferentes ao fotoperíodo. *Venturia canescens* (Gravenhorst, 1829) (Hymenoptera: Ichneumonidae), por exemplo, é um ectoparasitoide larval que possui maior longevidade em condição de plena escotofase (SAHIN & OZKAN, 2007). Sahin & Ozkan (2007) acreditam que, nessas condições, as fêmeas usam a energia mais efetivamente do que no período com luz, garantindo assim maior longevidade. No presente trabalho, entretanto, isso

não ocorreu, sugerindo que os mecanismos utilizados por *H. hebetor* sejam diferentes daqueles da espécie citada.

De modo oposto, *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), parasitando ovos de *E. kuehniella*, em diferentes regimes de fotofase:escotofase, apresentaram tendência de crescimento quadrático na longevidade com o aumento do número de horas de luz (CALVIN *et al.*, 1984; ZART *et al.*, 2012). Shirazi (2006) observou a mesma tendência no aumento da longevidade de *Trichogramma chilonis* Ishii, 1941 com mais horas de luz. Dessa forma, infere-se que os parasitoides de ovos de *E. kuehniella* dessa família tendem a viver mais em ambientes com mais luminosidade, diferentemente de parasitoides de larvas.

O fotoperíodo, no entanto, pode influenciar outros parâmetros relacionados ao comportamento dos parasitoides, não apenas a longevidade diretamente. Em relação ao comportamento de voo, por exemplo, Ozkan (2007) observou que, em plena escotofase, *V. canescens* tinha baixa atividade de voo. Sahin e Ozkan (2007) haviam verificado que *V. canescens* não exibia atividades normais durante a escotofase, movendo-se lentamente e raramente voando. Reznik & Vaghina (2006, 2007) já haviam relatado para *Trichogramma principium* Sugonyaev & Sorokina, 1976 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) que o fotoperíodo possui efeito direto na disposição de ovipositar e efeito indireto na fecundidade e sobrevivência, sugerindo que a retenção de ovos influencia na longevidade.

Tais aspectos não foram avaliados no presente trabalho, mas podem ter uma influência indireta sobre a longevidade ou o sucesso da espécie, sendo interessante que sejam analisados em trabalhos posteriores.

A esperança de vida estimada (e_x) de fêmeas de *H. hebetor* no decorrer dos dias decaiu com o aumento da idade dos parasitoides. No início da fase adulta, a e_x das fêmeas com plena escotofase, durante o desenvolvimento e após, na fase adulta, com 0, 12 e 24 horas de fotofase, foi de 8,7, 7,7 e 9,4 dias, respectivamente. Naquelas oriundas de 12 horas de fotofase e expostas a 0, 12 e 24 horas de fotofase na fase adulta, foi de 9,9, 8,5 e 8,6 dias, nessa ordem. Por fim, naquelas expostas a plena fotofase durante o período pré-imaginal, foi de 10,2 dias em plena escotofase na fase adulta, 10,1 e 9,2 dias em 12 e 24 horas de fotofase, respectivamente.

Dessa forma, observa-se que as diferentes combinações de fotoperíodo, tanto na fase imatura como na adulta, não apresentam ampla interferência na e_x de *H. hebetor*. A tendência da contínua diminuição da probabilidade de sobrevivência (L_x) e da e_x com o aumento gradual do risco de mortalidade dentro de cada faixa etária de *H. hebetor* pode ser considerada natural e possivelmente relacionada à idade e ao final do ciclo vital, o que é comum para a maioria dos insetos (SOUTHWOOD & HENDERSON, 2000).

Registrou-se que, considerando os parâmetros avaliados, *H. hebetor* é capaz de sobreviver de modo adequado, independentemente do fotoperíodo estabelecido.

TABELA DE FERTILIDADE

Fêmeas de *H. hebetor* iniciam a cópula no mesmo dia em que ocorreu a sua emergência, possuindo assim um período pré-reprodutivo inferior a 24 horas (figura 1), sem haver diferença em relação ao fotoperíodo, o que corrobora os dados de Chen *et al.* (2012), que registraram oviposição dessa mesma espécie em *P. interpunctella* nas primeiras 24 horas de observação após a emergência.

Parasitoides de ovos de *E. kuehniella*, entretanto, podem apresentar respostas diferenciadas nos parâmetros reprodutivos em relação ao fotoperíodo, como ficou evidenciado no trabalho de Reznik & Vaghina (2007), os quais observaram que, em fotofase de 3 horas, aumentava o período de pré-oviposição de *T. principium*, enquanto, sob fotoperíodo com mais luz, este diminuía e, conseqüentemente, a porcentagem acumulativa de oviposição de fêmeas aumentava. Em outro trabalho, Reznik *et al.* (2003) atribuem isso a um processo de retenção de ovos que pode manifestar-se como um atraso na oviposição ou como uma recusa em ovipositar, em função da ausência de luz, comportamento não observado em *H. hebetor*.

A maior taxa de fecundidade média específica (m_x) ocorreu entre o 3.º e o 4.º dia de idade, exceto no tratamento T9, que foi no 6.º dia (figura 1). A m_x estimada para o pico de oviposição ficou entre $13,4 \pm 5,33$ e $24,9 \pm 6,22$ (ovos/fêmea/dia) para as diferentes combinações de fotoperíodo

avaliadas (figura 1). As m_x estimadas indicam maior fertilidade para aqueles indivíduos desenvolvidos em 12 ou 24 horas de fotofase (superior a 20 ovos/fêmea/dia), já que o número médio da m_x daqueles com origem de 0 h de fotofase foi inferior a 15 (ovos/fêmea/dia). Para Park *et al.* (1999), essa redução do número de ovos pode ser explicada pelo aumento do período de pré-oviposição dos parasitoides criados em poucas horas de luz, o que não foi o caso de *H. hebetor*, que não teve uma interrupção na oviposição, apenas uma redução. Conforme Chen *et al.* (2012), fêmeas de *H. hebetor* criadas em dias curtos com 10 horas de fotofase levaram mais tempo para colocar seus ovos em larvas de *P. interpunctella* e ovipositaram 50% dos ovos em comparação com aquelas criadas em 16 horas de fotofase, mesma tendência observada no presente estudo. Assim, fêmeas criadas durante o estágio imaturo com dias mais curtos parecem entrar em diapausa reprodutiva na fase adulta.

Diferentemente da espécie testada neste trabalho, *Trichogramma dendrolimi* Matsumura, 1926 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), parasitando ovos de *Antheraea pernyi* (Guérin-Méneville, 1855) (Lepidoptera: Saturniidae), teve o pico de oviposição no primeiro dia de contato com o hospedeiro (PARK *et al.*, 1999), talvez por ter longevidade menor que *H. hebetor*. Entretanto os autores também registraram fecundidade menor nas fêmeas providas de escotofases mais longas (16 horas) em relação às que eram expostas a maior período de luz.

Ao comparar os valores da taxa líquida de reprodução (R_0), ou seja, a capacidade da população de aumentar em número a cada geração, os valores estimados foram maiores nos fotoperíodos com fotofase em relação aos períodos em plena escotofase durante o desenvolvimento (tabela 3). Os valores da R_0 chegaram a dobrar nos fotoperíodos com fotofase, podendo o período com mais luz ser considerado o mais adequado para o desenvolvimento populacional de *H. hebetor*. Isso era esperado, tendo em vista que, em outro estudo realizado com essa espécie, Lum & Flaherty (1973) indicaram a possibilidade de o fotoperíodo com luz contínua poder influenciar na produção e na maturação dos oócitos, as quais são controladas por hormônios já citados anteriormente, por influenciarem também no desenvolvimento do parasitoide. Por outro lado, sabe-se que a R_0 é calculada por meio da quantidade e viabilidade de ovos, estando relacionada com a produção de oócitos, e esta depende da ingestão de nutrientes (proteínas), que são normalmente obtidos do hospedeiro (QUICKE, 2015).

Tabela 3 – Parâmetros de tabela de vida de fertilidade estimados segundo Southwood & Henderson (2000) de *Habrobracon hebetor* em larvas de *Ephestia kuehniella* em nove diferentes combinações de fotoperíodos testados ($n = 15$) ($28 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 20\%$ umidade relativa). Legenda – T: tratamento; R_0 : taxa líquida de reprodução; T: tempo entre gerações; r_m : taxa intrínseca de crescimento; TD: tempo de duplicação; λ : taxa finita de aumento.

Tratamentos	Fotofase		R_0	T	r_m	TD	λ
	Fase pré-imaginal	Fase adulta					
T1	0 h	0 h	27,86	14,35	0,23	2,99	1,26
T2		12 h	22,90	14,06	0,22	3,11	1,25
T3		24 h	25,52	14,82	0,22	3,17	1,24
T4	12 h	0 h	57,40	15,06	0,27	2,58	1,31
T5		12 h	56,39	14,35	0,28	2,47	1,32
T6		24 h	52,71	14,35	0,28	2,51	1,32
T7	24 h	0 h	63,73	15,10	0,28	2,52	1,32
T8		12 h	61,24	14,96	0,28	2,52	1,32
T9		24 h	58,83	15,06	0,27	2,56	1,31

Embora o número de oócitos de fêmeas de *H. hebetor* não tenha sido avaliado, tal aspecto pode ter influência direta sobre a oviposição. Chen *et al.* (2012) já haviam observado essa associação quando verificaram que o número de oócitos presentes nos ovários de *H. hebetor* criados com 10 horas de fotofase era menor quando comparado com o daqueles criados em 16 horas de fotofase. Essa mesma relação foi confirmada na oviposição, em que fêmeas de *H. hebetor* criadas com maior fotofase parasitando larvas de *P. interpunctella* colocaram mais ovos do que aquelas criadas com menor fotofase, independentemente do fotoperíodo da fase adulta, o que confirma a ligação do fotoperíodo na fase de desenvolvimento desse parasitoide com a produção dos ovos e a oviposição.

Levando em conta a fase adulta, houve tendência de maior R_0 em plena escotofase, o que já havia sido observado para outro parasitoide de *E. kuehniella*, *V. canescens*, que, apesar de ser um parasitoide diurno, apresentou um aumento na quantidade de ovos em plena escotofase (OZKAN, 2007). Sahin & Ozkan (2007), trabalhando com a mesma espécie anteriormente citada, indicaram que a intensidade da luz também pode afetar o número de ovos colocados: de 2.000 para 5.000 lux de intensidade, o número de ovos diminuiu. A intensidade, entretanto, não foi medida no presente estudo.

Quanto à duração média em dias de uma geração (T), houve pequenas alterações nos fotoperíodos, estando entre 14,1 e 15,9 dias (tabela 3). A taxa intrínseca de crescimento (r_m) apresentou valores positivos em todos os fotoperíodos, evidenciando aumentos populacionais diferenciados para as populações avaliadas em todos os tratamentos, com uma tendência maior das fêmeas oriundas de 12 e 24 horas de fotofase. O tempo de duplicação (TD) também variou entre os fotoperíodos analisados (tabela 3). Nota-se uma amplificação na razão finita de aumento (λ) e/ou taxa de crescimento diário da população naquelas provenientes da fase imatura com fotofase de 12 ou 24 horas, quando comparadas a parasitoides provenientes de escotofase (tabela 3).

Considerando que a r_m e a λ são variáveis ligadas a fecundidade e fertilidade, os seus aumentos nos tratamentos com fotofase na fase pré-imaginal condizem com o aumento da R_0 . Isso confirma também a influência do fotoperíodo na fase de desenvolvimento das fêmeas com o aumento da geração seguinte, pois já se conhecia que as condições de luz na fase pré-imaginal de *H. hebetor* em larvas de *P. interpunctella* eram responsáveis pela produção e maturação dos oócitos (LUM & FLAHERTY, 1973).

CONCLUSÕES

A espécie *H. hebetor*, mantida durante a fase pré-imaginal com 12 e 24 horas de luz, no intervalo de uma geração, desenvolveu-se mais rapidamente do que na plena escotofase, no entanto o fotoperíodo não interferiu na longevidade de machos e fêmeas.

O aumento populacional de *H. hebetor* é potencializado quando os insetos são mantidos em regimes de fotoperíodo durante a fase pré-imaginal acima de 12 horas de luz, independentemente das condições de luz na fase adulta, incrementando a fecundidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a bolsa concedida ao primeiro autor e o auxílio financeiro com verba do projeto MCTI/CT-Agronegócio/CNPq n.º 38/2013. À Japan Tobacco International (JTI) o apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Beck, S. D. Insect photoperiodism. 2. ed. New York: Academic Press; 1980. 387 p.
- Calvin, D. D., Knapp, M. C. & Welch, S. M. Impact of environmental factors on *Trichogramma pretiosum* reared on southwestern corn borer eggs. *Environmental Entomology*. 1984; 13(3): 774-780.
DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/13.3.774>
- Chen, H., Zhang, H., Zhu, K. Y. & Throne, J. E. Induction of reproductive diapause in *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) when reared at different photoperiods at low temperatures. *Environmental Entomology*. 2012; 41(3): 697-705.
DOI: <https://doi.org/10.1603/EN11311>
- Coelho Junior, A. Otimização da criação de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879), hospedeiro alternativo de *Trichogramma* spp., baseando-se na temperatura, densidade larval e concentração de dióxido de carbono [Dissertação de Mestrado]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo; 2011.
- Fantinou, A. A., Perdakis, D. C. H. & Zota, K. F. Reproductive responses to photoperiod and temperature by diapausing and nondiapausing populations of *Seasmia nonagrioides* Lef. (Lepidoptera – Noctuidae). *Physiological Entomology*. 2004; 29(2): 169-175.
- Farag, N. A., Ismail, I. A., Elbehery, H. H. A., Abdel-Rahman, R. S. & Abdel-Raheem, M. A. Life table of *Bracon hebetor* Say. (Hymenoptera: Braconidae) reared on different hosts. *International Journal of ChemTech Research*. 2015; 8(9): 123-130.
- Ghimire, M. N. & Phillips, T. W. Mass rearing of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) on larvae of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): effects of host density, parasitoid density, and rearing containers. *Journal of Stored Products Research*. 2010; 46(4): 214-220.
- Grieshop, M. J., Flinn, P. W. & Nechols, J. R. Biological control of indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) on finished stored products using egg and larval parasitoids. *Journal of Economic Entomology*. 2006; 99(4): 1080-1084.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-99.4.1080>
- Guedes, J. V. C. & Costa, I. F. D. da. Guia de identificação e manejo integrado das pragas e doenças do fumo. Santa Maria: Orium; 2006. 88 p.
- Gullan, P. J. & Cranston, P. S. Os insetos: um resumo de entomologia. 4. ed. São Paulo: Roca; 2012. 496 p.
- IBM Corporation Released. IBM SPSS Statistics for windows, version 22.0. New York: Armonk; 2013. [Acesso em: 10 fev. 2017]. Disponível em: <http://www.ibm.com/contact/us/en>.
- Jervis, M. A. & Copland, M. J. W. The life cycle. In: Jervis, M. A. & Kidd, N. (ed.). *Insect natural enemies – practical approaches to their study and evaluation*. London: Chapman e Hall; 1996. p. 63-161.
- Jian, F. & Jayas, D. S. The ecosystem approach to grain storage. *Agricultural Research*. 2012; 1(2): 148-156.
- Kakde, A. M., Patel, K. G. & Tayade, S. Role of life table in insect pest management – a review. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 2014; 7(1): 40-43.

- Koštál, V. Insect photoperiodic calendar and circadian clock: independence, cooperation, or unity? *Journal of Insect Physiology*. 2011; 57(5): 538-556.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2010.10.006>
- Lorini, I. Insetos que atacam grãos de soja armazenados. In: Hoffmann-Campo, C. B., Corrêa-Ferreira, B. S. & Moscardi, F. (ed.). *Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Brasília: Embrapa; 2012. p. 421-444.
- Lorini, I., Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. de B., Henning, A. A. & Henning, F. A. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. Brasília: Embrapa; 2015. 84 p.
- Lum, P. T. M. & Flaherty, B. R. Influence of continuous light on oöcyte maturation in *Bracon hebetor*. *Annals of the Entomological Society of America*. 1973; 66(2): 355-357.
DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/66.2.355>.
- Ozkan, C. Effect of food, light and host instar on the egg load of the synovigenic endoparasitoid *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Pest Science*. 2007; 8(2): 79-83.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-006-0155-4>
- Park, Y. K., Lee, H. P., Lee, K. S., Han, M. W. & Lee, J. O. Effect of photoperiod on oviposition and emergence of egg parasitoid, *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera, Trichogrammatidae). *Korean Journal of Applied Entomology*. 1999; 38(2): 93-99.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2008.00143>
- Parra, J. R. P., Coelho Jr, A., Geremias, L. D., Bertin, A. & Ramos, C. J. Criação de *Anagasta kuehniella* em pequena escala, para produção de *Trichogramma*. Piracicaba: Occasio; 2014. 32 p.
- Pezzini, C., Jahnke, S. M. & Köhler, A. Capacidade de paralisação, parasitismo e viabilidade de *Habrobracon hebetor* sob o efeito do fotoperíodo. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2019; 62: 1-8.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.3029>
- Pinto, A. S. & Parra, J. R. P. Liberações de inimigos naturais. In: Parra, J. R. P., Botelho, P. S. M., Corrêa-Ferreira, B. S. & Bento, J. M. S. (ed.). *Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores*. São Paulo: Manole; 2002. p. 325-342.
- Pratissoli, D., Fornazier, M. J., Holtz, A. M., Gonçalves, J. R., Chioramital, A. B. & Zago, H. B. Ocorrência de *Trichogramma pretiosum* em áreas comerciais de tomate, no Espírito Santo, em regiões de diferentes altitudes. *Horticultura Brasileira*. 2003; 21(1): 73-76.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362003000100015>
- Pratissoli, D., Pereira, F. F., Barros, R., Parra, J. R. P. & Pereira, C. L. T. Parasitismo de *Trichogramma pretiosum* em ovos da traça-das-crucíferas sob diferentes temperaturas. *Horticultura Brasileira*. 2004; 22(4): 754-757.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000400017>
- Quicke, D. L. J. *The braconid and ichneumonid parasitoid wasps: Biology, systematics, evolution and ecology*. Chichester: Wiley-Blackwell; 2015. 794 p.
- Reznik, S. Y., Umarova, T. Y. & Voinovich, N. D. Egg retention in *Trichogramma* (Hymenoptera: Chalcidoidea: Trichogrammatidae): learning or diapause? *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*. 2003; 67(1): 25-33.

- Reznik, S. Y. & Vaghina, N. P. Effect of photoperiod on parasitization by *Trichogramma principium* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *European Journal of Entomology*. 2007; 104(4): 705-713.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14411/eje.2007.089>
- Reznik, S. Y. & Vaghina, N. P. Temperature effects on induction of parasitization by females of *Trichogramma principium* (Hymenoptera, Trichogrammatidae). *Entomological Review*. 2006; 86(1): 133-138.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S0013873806020023>
- Sahin, A. K. & Ozkan, C. Effect of light on the longevity and fecundity of *Venturia canescens* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Pakistan Journal of Zoology*. 2007; 39(5): 315-319.
- Saunders, D. S. Insect photoperiodism: effects of temperature on the induction of insect diapause and diverse roles for the circadian system in the photoperiodic response. *Entomological Science*. 2014; 17(1): 25-40.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ens.12059>
- Shirazi, J. Effect of temperature and photoperiod on the biological characters of *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2006; 9(5): 820-824.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2006.820.824>
- Southwood, T. R. E. & Henderson, P. A. *Ecological methods*. 3. ed. Oxford: Blackwell Science; 2000. 575 p.
- Tommasini, M. G. & Van Lenteren, J. C. Occurrence of diapause in *Orius laevigatus*. *Bulletin of Insectology*. 2003; 56(2): 225-251.
- Van Lenteren, J. C. Fundamental knowledge about insect reproduction: essential to develop sustainable pest management. *Invertebrate Reproduction and Development*. 1999; 36(1/3): 1-15.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07924259.1999.9652672>
- Zart, M., Bernardi, O., Nunes, A. M., Andersson, F. da S., Manfredi-Coimbra, S., Busato, G. R. & Garcia, M. S. Influência do fotoperíodo e da densidade de ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) sobre aspectos biológicos e parasitismo de ovos por *Trichogramma pretiosum* Riley. *EntomoBrasilis*. 2012; 5(2): 115-119.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12741/ebrazilis.v5i2.197>