

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**CAPACIDADE VISUAL NO RECONHECIMENTO DE PARCEIROS A PARTIR  
DO DIMORFISMO SEXUAL DE COLORAÇÃO EM *HELICONIUS ETHILLA*  
*NARCAEA* (LEPIDOPTERA; NYMPHALIDAE)**

Aluna: Etiele de Senna Silveira

Orientador: Aldo Mellender de Araújo

Co-orientador: André Luis Klein

Trabalho apresentado como requisito  
para a obtenção do título de Bacharel  
no Curso de Ciências Biológicas

Porto Alegre, novembro de 2015.

Redigido segundo as normas da revista *Journal of Insect Behavior*.

Capacidade visual no reconhecimento de parceiros a partir do dimorfismo sexual de coloração em *Heliconius ethilla narcaea*.

Etiele de Senna Silveira, André Luis Klein e Aldo Mellender de Araújo.

Laboratório de Genética Ecológica, Departamento de Genética, Instituto de Biociências.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, RS, Brasil.

Correspondência (Aldo Mellender de Araújo):

Departamento de Genética, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43323, sala 207. CEP: 91501-970.

Caixa Postal 15053, Porto Alegre, RS, Brasil. Telefone +55 51 3316-7311.

E-mail: [aldo1806@gmail.com](mailto:aldo1806@gmail.com)

E-mail de Etiele de Senna Silveira: [etielesenna@gmail.com](mailto:etielesenna@gmail.com)

## Resumo

Este trabalho visa elucidar se as borboletas *Heliconius ethilla narcaea*, Godart, 1819, são capazes de utilizar a sua capacidade visual para encontrar parceiros. Foi visto que borboletas possuem uma alta capacidade visual, distinguindo objetos e cores em até 20 metros de distância. Esse projeto foi proposto em consequência de existir uma variação das cores entre os sexos nessas borboletas, sendo que as fêmeas apresentam uma proporção de cor preta maior do que os machos, e os machos apresentam uma menor distância entre a coloração de amarelo e laranja na parte dorsal de suas asas anteriores. Um projeto piloto evidenciou que os machos dessa espécie poderiam utilizar as cores como um mecanismo para diferenciar os sexos e iniciar o cortejo. Foram feitos testes de aproximação e inspeção aos modelos de asas de borboletas em aparato específico para visualizar o comportamento dos machos em relação aos modelos. Os resultados confirmam uma maior frequência de aproximação (teste G: 6,32;  $p < 0,05$ ) e de inspeção (teste G: 11,95;  $p < 0,001$ ) aos modelos que foram feitos a partir das asas de fêmeas de recém emergidas. Isso indica que essas borboletas utilizam a sua capacidade visual e pistas do dimorfismo para decidir sobre qual modelo será visitado.

Palavras-chave: dimorfismo sexual, capacidade visual, reconhecimento de parceiros, *Heliconius ethilla narcaea*, mimetismo.

## Introdução

Borboletas do gênero *Heliconius* são amplamente distribuídas pela região Neotropical e são usadas em muitos estudos sobre a biologia, ecologia, desenvolvimento, comportamento e genética, como por exemplo em Merrill RM (2015). Heliconíneos são borboletas que permitem esse tipo de trabalho por ter uma diversificação muito recente e possuir muitas espécies que ainda podem produzir híbridos viáveis, possibilitando testes quanto as possíveis características que levam a especiação, e como padrões de mimetismo se diversificaram nesse grupo. A análise e o conhecimento desse grupo ajudam a elucidar muitas questões quanto a especiação, evolução e diferenças ecológicas e desenvolvimento. A primeira tribo teria se originado há 24,8-29,0 milhões de anos (Ma) e o gênero *Heliconius*, aquele com o maior número de espécies, surgiu a cerca de 10,5-13,4 Ma. (Merril *et al.* 2015). Essa diversificação teria tido seu pico durante o período do Mioceno Médio, e a especiação teria iniciado por parapatria e completada em simpatria. Heliconíneos são borboletas com ampla distribuição e muitas sub-espécies com padrões de coloração de alerta evoluíram por mimetismo, seja Batesiano ou Mülleriano. Além disso, possuem um tempo de vida longo para lepidópteros e são bastante fáceis de criar em laboratório. Essas borboletas tem sido objeto de estudo desde a descoberta por Bates em 1862 dos processos miméticos clássicos. Esses motivos permitem que esses organismos sejam modelos para os experimentos em questão (Merril *et al.* 2015).

As borboletas que fazem parte desse estudo são as da espécie *Heliconius ethilla narcaea* (Godart 1819); possuem coloração de aviso e são impalatáveis, capazes de utilizar os glicosídeos cianogênicos presentes nas folhas das Passifloráceas que servem como alimento durante a fase larval como precursores de compostos eméticos que ajudam na proteção quando adultas (Kronforst e Papa 2015). Imagens dos indivíduos macho e fêmea se encontram na figura 1.

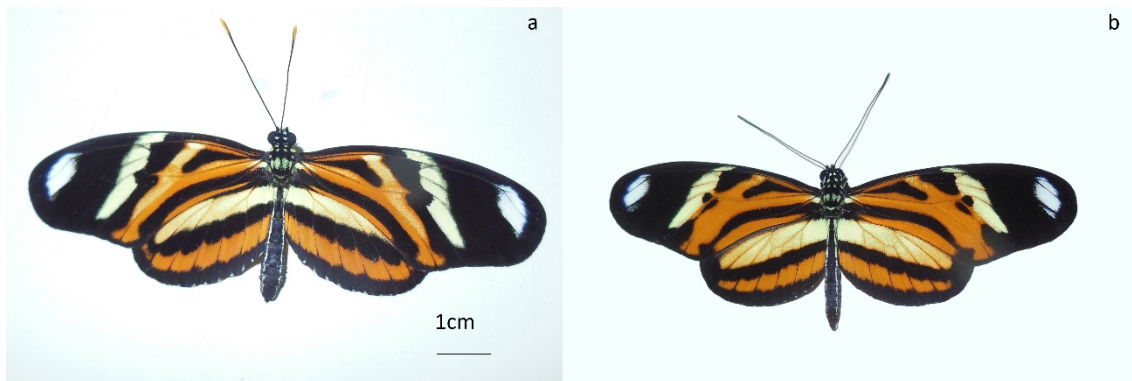


Figura 1- Fêmea (a) e macho (b) de *Heliconius ethilla narcaea*

São encontradas em toda a região sul do Brasil e apresenta o limite da sua distribuição é o estado do Rio Grande do Sul. Essas borboletas estão fortemente associadas a diferentes espécies de passifloráceas, que é um grupo de hábitos variados, com 15 espécies do gênero *Passiflora* ocorrendo no Estado, sendo as mais utilizadas por essas borboletas *Passiflora edulis*, *P. caerulea*, *P. actinia*, *P. misera* e *P. alata*. Esta última foi introduzida no Rio Grande do Sul na década de 1930 e sua expansão parece estar associada com *H. ethilla*. As fêmeas procuram essas espécies para fazer a ovoposição, deixando entre 1 a 4 ovos por gavinhas ou folhas jovens. As larvas eclodem e se alimentam das folhas dessas plantas. Os adultos buscam flores na região para ter o suprimento de pólen e néctar que é necessário para a sua sobrevivência, aumentando a sua longevidade e sua capacidade reprodutiva. Há variação sazonal das populações a qual deve estar ligada as variações de temperatura na região (Silva 2008).

*H. ethilla narcaea* possui uma leve diferença na proporção de cores entre os sexos, com as fêmeas apresentando maiores faixas de preto e menores faixas de amarelo e laranja nas asas anteriores além de possuir uma maior distância entre essas cores, enquanto os machos possuem uma menor distância entre as cores de amarelo e laranja e uma menor proporção de preto - ver Figura 1. Existem pigmentos sensíveis ao ultra-violeta (UV), mas dados anteriores demonstraram que é possível que sejam usados apenas para a distinção entre espécies e não para distinção intraespecífica (Costa 2013).

Alguns trabalhos evidenciaram que borboletas do gênero *Heliconius* possuem uma acuidade visual bastante desenvolvida, sendo capaz de distinguir cores e objetos a 20 metros de distância ou mais (McMillan *et al.* 1997).

Outros trabalhos já evidenciaram a forma como as borboletas são capazes de se comunicar, utilizando para isso vias visuais, com o auxílio de diferentes pigmentos e padrão de disposição nas asas e uso de feromônios para procurar possíveis parceiros. O uso de compostos químicos pode ter evoluído para auxiliar na distinção entre os mímicos. As cores em borboletas podem servir para diferentes propósitos, tanto para comunicação e reconhecimento intraespecífico, evitar predadores – seja por coloração de alerta ou por padrão críptico ou disruptivo - e para a termorregulação e por isso podem estar sob diferentes tipos de seleções. (Vane-Wright e Boppré 1993; Klein AL e Araújo AM 2013, Klein AL 2011).

Esse trabalho tenta elucidar se essa pequena diferença dos padrões de cores entre os sexos seria utilizada pelos machos para distinguir entre os sexos apenas utilizando as pistas visuais. Esse leve dimorfismo, aparentemente, não chega a diferenciá-las de seus mímicos, e por isso, talvez não sejam utilizados por predadores, mas poderiam ser utilizados para reconhecimento intraespecífico.

## **Material e métodos**

### *Captura e criação de borboletas*

As borboletas foram coletadas na Estação Experimental Agronômica de Águas Belas (FEPAGRO - RS), Viamão (Latitude 30° 2'10.64"S; Longitude 51° 1'17.65"O; Altitude 70 m) e na cidade de São Francisco de Paula, RS, com auxílio de redes entomológicas. Foram levadas ao laboratório, marcadas e depositadas em viveiros de condições seminaturais e com dimensões aproximadas de 2,5mX3mX3m. As borboletas foram tratadas com misturas de água, mel e pólen que eram oferecidos em alimentadores plásticos, que eram renovados diariamente. Os ovos foram coletados nos viveiros com auxílio de pincel, sendo em seguida depositados em recipientes plásticos dentro de incubadoras tipo B.O.D, com controle de fotofase de 12 h luz: 12 h escuro e de

temperatura controlada variando de 24-26°C. As lagartas que emergiam foram criadas em conjunto, recebendo folhas de *Passiflora edulis* para a sua alimentação. Adultos quando emergiam foram usados para a produção dos modelos utilizados no experimento.

### *Experimentos comportamentais*

Foram construídos modelos de borboletas com hastes plásticas e asas naturais que foram dissecadas de borboletas machos e fêmeas recém emergidos. Essas asas foram tratadas previamente com solvente orgânico hexano para garantir que possíveis compostos voláteis usados para comunicação intraespecífica (feromônios) fossem retirados. As asas foram coladas na haste plástica com papel adesivo e a parte que simula o corpo do animal foi inteiramente pintado de preto com caneta marcadora permanente. Um exemplo dos modelos confeccionados encontra-se na Figura 2.



*Figura 2*- Exemplo dos modelos que foram utilizados nos experimentos comportamentais.

Esses modelos tinham a possibilidade de serem manipulados e permitiam, quando movimentadas pelo uso de um simples sistema com arames, um movimento similar ao do voo. O sistema encontra-se em um dos viveiros, e é feito de canos de pvc e arames. Existe a delimitação de duas esferas virtuais (representadas por fios de arame perpendiculares), com 50 cm de diâmetro, que ficam distantes um metro entre si onde os modelos preparados são postos e apresentados ao grupo de machos capturados. Através de uma linha é possível manipular os modelos de forma a simular voo. Um esquema geral do aparato pode ser visto na figura 3.

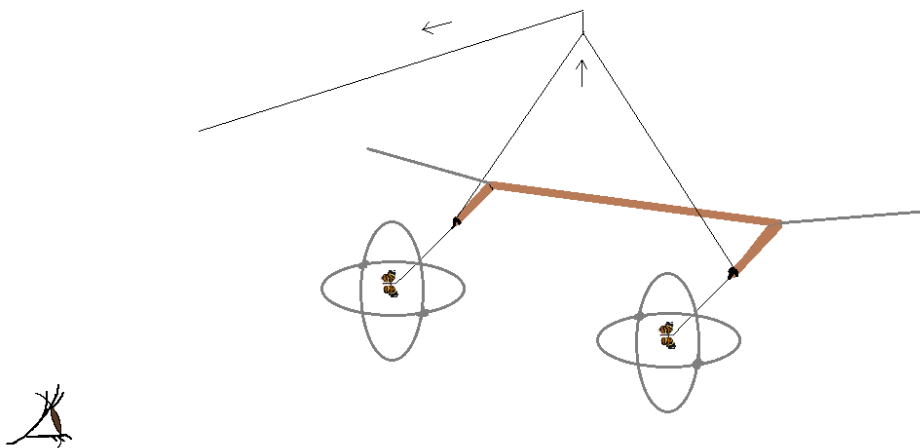


Figura 3- Esquema do sistema utilizado para os experimentos comportamentais de inspeção e aproximação.

Este sistema é utilizado internacionalmente para estudos de comportamento de borboletas na escolha de modelos diferentes e está descrito em Jiggins *et al.* (2001).

Cada grupo de testes era composto por 3 a 6 machos e o tempo de cada teste foi de 20 minutos. Foram feitas duas repetições por dia, alternando a posição dos modelos no aparato. Houve uma pausa entre os experimentos de no mínimo 20 minutos. As interações dos machos com os modelos foram registradas como: *aproximação*, quando os machos apenas entravam dentro do limite da esfera virtual; *inspeção* quando havia voo sustentado em direção ao modelo e/ou pairavam sobre o modelo. Os dados foram anotados para análise posterior.

Uma outra perspectiva era mimetizar asas de fêmeas, pintando as asas dos machos. Os modelos também foram tratados com hexano, construídos de forma similar ao que já foi descrito. As asas foram provenientes apenas de machos recém emergidos, onde foram mantidas as proporções de coloração natural das asas de um deles (foi feita uma intervenção com a tinta guache preta nas áreas que já eram pretas para garantir que os dois modelos tivessem a alteração de tinta nas asas) e o outro teve as asas pintadas com a mesma tinta, aumentando a proporção de preto e a distância entre o amarelo e o laranja, para simular a coloração das fêmeas e averiguar se as proporções



desse pigmento nas asas é uma característica importante para a distinção dos sexos entre as borboletas.

### *Espectrofotometria*

Foi feita uma análise da tinta usada nas asas dos machos em cima das diferentes cores em que foi depositada e da cor natural do preto das escamas das asas. O objetivo foi verificar se a reflexão das cores natural e artificial eram as mesmas.

### *Estatísticas*

Para análise dos dados foi utilizada a função de verossimilhança descrita em Jiggins *et al.* (2001) e Merrill *et al.* (2014) descrita como:

$$\ln(L) = \Sigma [ m_i \ln(P_j) + f_i \ln(1 - P_j) ]$$

Onde  $m_i$  é o número total de aproximações aos modelos de asas de macho,  $f_i$  é o número total de aproximações aos modelos de fêmeas e  $P_j$  é a probabilidade de se aproximar dos modelos feitos com asas de machos. O valor de  $P_j$  foi encontrado com auxílio da ferramenta SOLVER do EXCEL (Microsoft) para maximizar a função  $\ln(L)$ . No segundo momento a mesma equação foi utilizada para os dados de inspeção, onde os valores de  $m_i$  passaram a representar as inspeções feitas aos modelos de machos e  $f_i$  as inspeções feitas aos modelos das fêmeas. Foi feita a razão de verossimilhança considerando que um primeiro modelo em que as probabilidades de aproximação e inspeção dos modelos seriam iguais (modelo nulo), e um segundo modelo em que as probabilidades seriam diferentes, já que  $2\ln(L)$  tem resultado similar a uma curva de qui-quadrado com um grau de liberdade (Sokal and Rohlf 1995).

### **Resultados**

Os resultados dos testes e as frequências obtidas se encontram na Tabela 1. A aproximação aos modelos com asas de fêmeas (média  $\pm$ DP: 4,76  $\pm$  4,96) e dos modelos com asas de machos (média  $\pm$  DP: 2,86  $\pm$  2,19) encontram-se na Figura 4. As inspeções dos modelos de asas de fêmeas

(média  $\pm$  DP: 7,19  $\pm$  6,69) e dos modelos de asas dos machos (média  $\pm$  DP: 3,52  $\pm$  5,38) estão na Figura 5.

**Tabela 1-** Número total de aproximações e inspeções de machos em relação à modelos de ambos os sexos e frequência relativa média.

	<b>Aproximação</b>		<b>Inspeção</b>	
	<b>Fêmeas</b>	<b>Machos</b>	<b>Fêmeas</b>	<b>Machos</b>
	17	3	17	1
	3	3	4	0
	2	1	9	0
	5	3	6	2
	3	1	12	3
	0	2	8	5
	5	1	8	2
	13	3	2	0
	17	9	19	12
	3	1	0	0
	5	7	1	22
	7	6	25	5
	2	3	5	9
	1	1	2	1
	2	1	9	1
	2	2	4	0
	0	1	0	0
	3	4	1	0
	6	4	11	6
	2	3	1	0
	2	1	7	5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>60</b>	<b>151</b>	<b>74</b>
<b>Freq. rel.</b>				
<b>média</b>	<b>0,625</b>	<b>0,375</b>	<b>0,671</b>	<b>0,328</b>

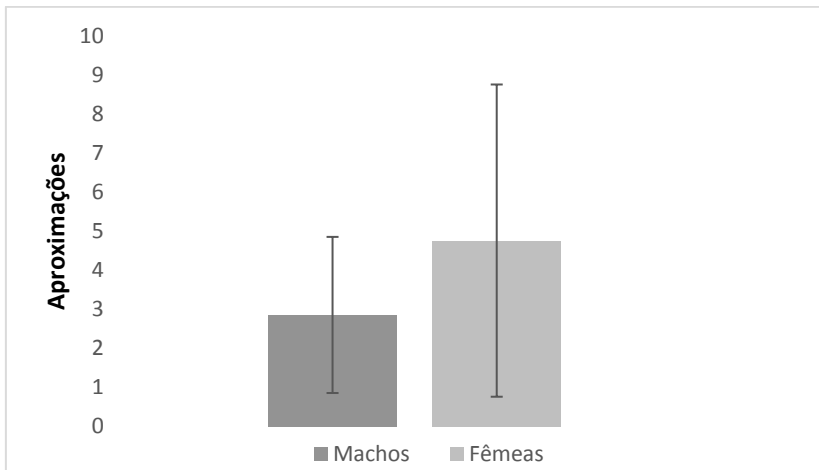


Figura 4- Médias e desvios padrões das aproximações aos modelos de ambos os sexos

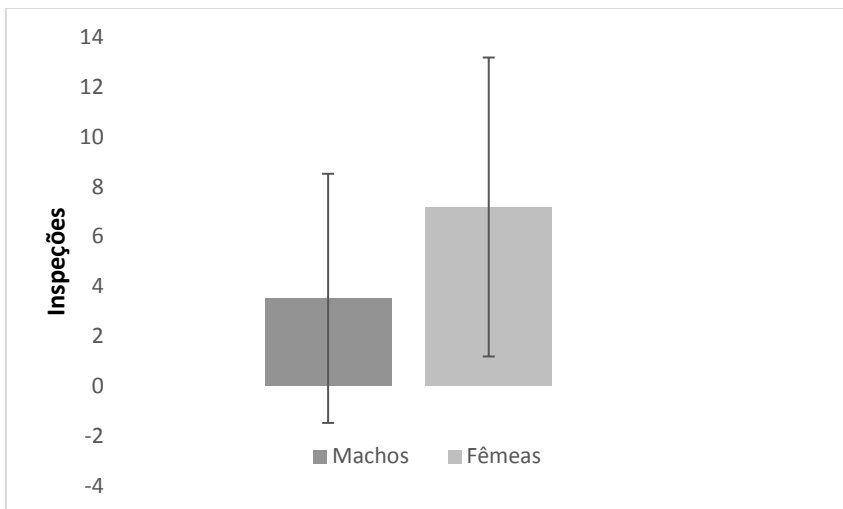


Figura 5- Médias e desvios padrões das inspeções aos modelos de ambos os sexos.

Os resultados calculados através da análise de verossimilhança tiveram diferenças significativas (teste G: 6,32;  $p < 0,05$ ) para aproximação. Isso indica que os machos usam pistas visuais para se aproximarem dos diferentes modelos. Da mesma forma, os resultados para inspeção mostraram diferenças estatísticas (teste G: 11,95;  $p < 0,001$ ), mostrando que os machos inspecionam com maior afinco os modelos feitos a partir das asas naturais das fêmeas. As frequências de aproximação e inspeção encontram-se na figura 6.

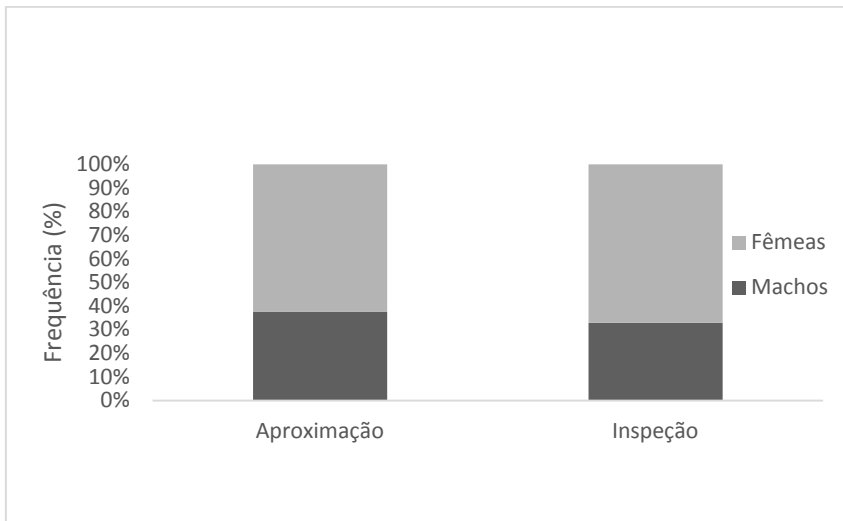


Figura 6- Frequências calculadas de inspeção e aproximação aos modelos de ambos os sexos.

Os resultados dos testes com a modificação pela tinta nas asas sobre diferentes cores de escamas (sobre as escamas pretas, amarelas e laranjas) mostraram grande diferença na espectrofotometria entre a tinta guache preta e o preto natural das asas. Não houve grandes diferenças entre as tintas depositadas sobre as diferentes cores de escamas. As reflectâncias obtidas nas análises por espectrofotometria das asas naturais e da tinta guache preta sobre diferentes cores de escamas estão nas Figuras 7-10.

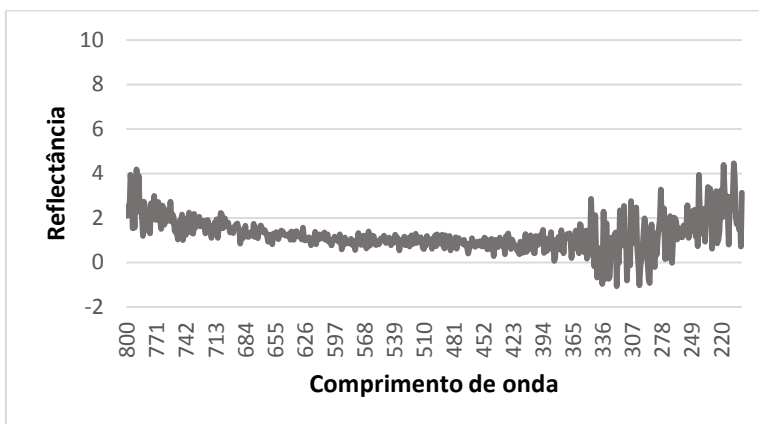


Figura 7- Espectrofotometria do preto natural das asas.

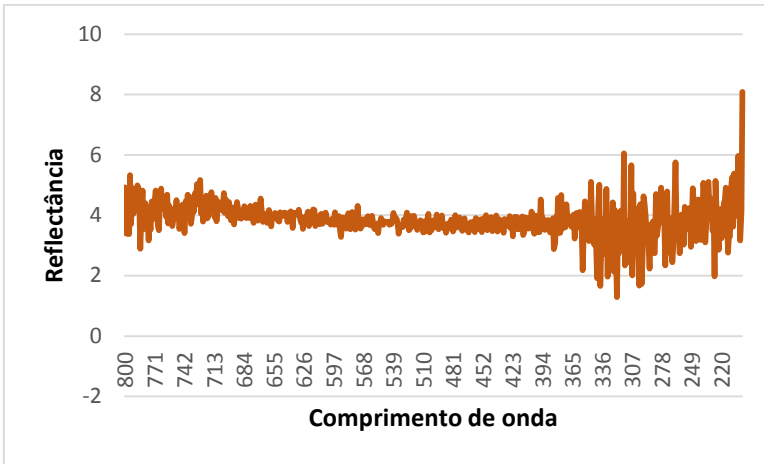


Figura 8- Espectrofotometria da tinta preta sobre as escamas laranjas.

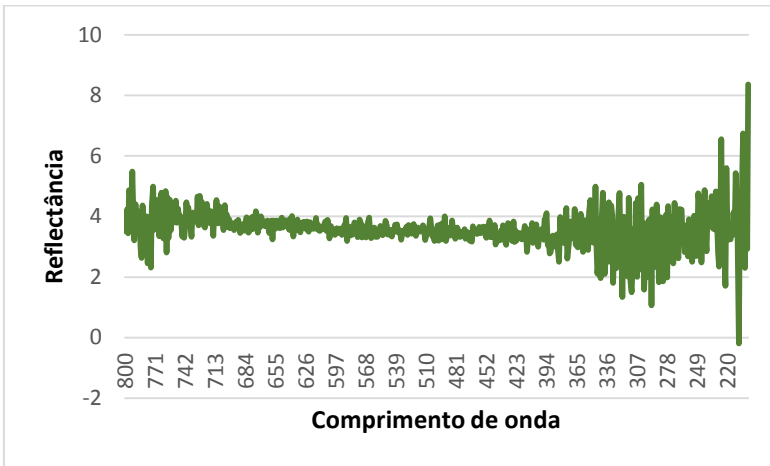


Figura 9- Espectrofotometria da tinta preta sobre as escamas amarelas.

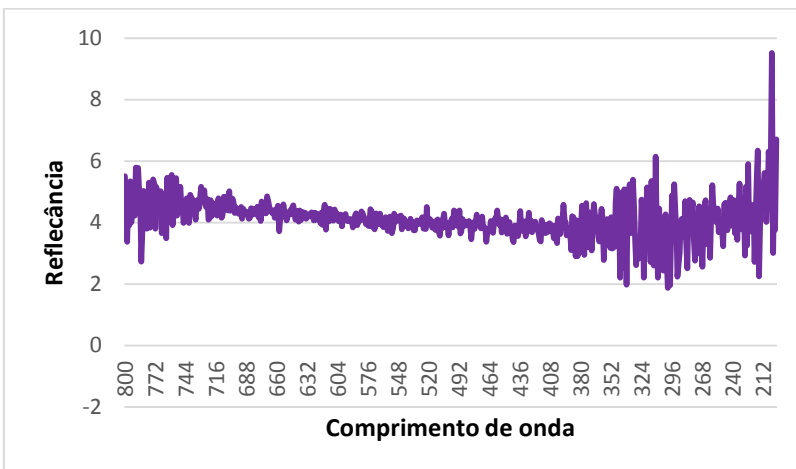
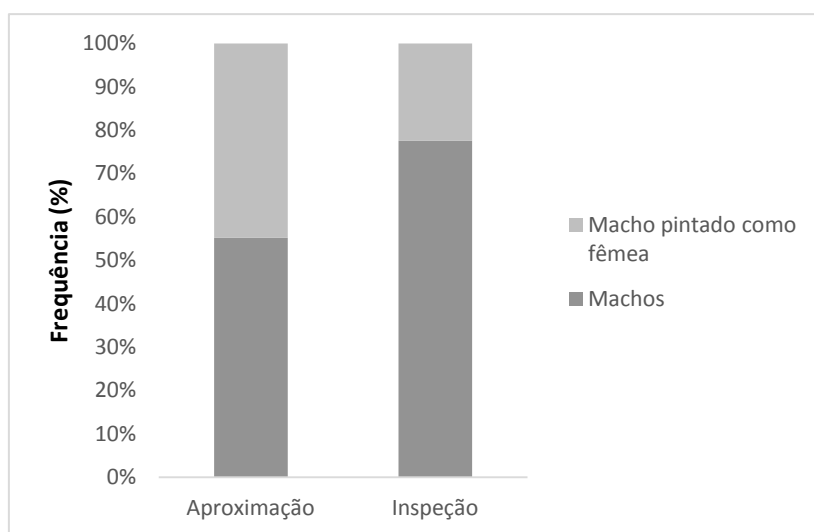


Figura 10- Espectrofotometria da tinta preta sobre as escamas pretas.

Os resultados desses experimentos com os modelos das asas de macho naturais e com os modelos com asas com a intervenção da tinta constam na Tabela 2. As frequências obtidas a partir desses dados estão representadas na Figura 11.

**Tabela 2.** Dados dos testes com asas pintadas, sendo as últimas linhas o somatório dos valores brutos encontrados e frequência média.

	<b>Aproximação</b>		<b>Inspeção</b>	
	<b>Machos</b>	<b>Machos asas pintadas</b>	<b>Machos</b>	<b>Machos asas pintadas</b>
	2	2	16	2
	1	3	9	5
	13	8	13	4
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>38</b>	<b>11</b>
<b>Freq. rel. média</b>	<b>0,551</b>	<b>0,448</b>	<b>0,775</b>	<b>0,224</b>



*Figura 11-* Frequências obtidas dos testes do projeto piloto com asas de machos pintadas.

## Discussão

Diferenças na busca do acasalamento podem auxiliar os indivíduos a se identificarem, evitando que venham a se aproximar de outras espécies, funcionando como uma barreira reprodutiva. Logo, esses processos funcionam como mecanismo de isolamento reprodutivo e são muito importantes principalmente nessas espécies que fazem parte de anéis miméticos. O gênero *Heliconius* possui uma alta diversidade de cores brilhantes e de alerta, sendo ótimos objetos de estudo para testar o que leva ao isolamento reprodutivo (Merrill *et al.* 2014). Para que inicie o cortejo é necessário a habilidade de distinguir entre os possíveis parceiros e para isso fazem o uso dos seus sistemas sensoriais, sendo possível que as características olfatórias e visuais sejam usadas para esse reconhecimento. Muitas espécies mostram o comportamento dos machos de patrulha em busca de fêmeas e outros recursos, portanto, os machos são mais ativos. A visão nesses processos pode estar associada a características como movimento, tamanho e cores. Nos comportamentos de corte, pistas químicas e acústicas podem estar envolvidas no processo de reconhecimento, mas o reconhecimento visual serve como gatilho para estimular uma aproximação e está envolvido nas primeiras etapas da busca pelo parceiro que, se houver sucesso, poderá levar ao acasalamento (Scott 1973).

Os heliconíneos são altamente visuais e usam pistas para achar localizações de fontes de recursos e possíveis parceiros. A utilização dessas pistas permite aos organismos diferenciarem outros indivíduos, dando-lhes uma vantagem no momento de reprodução. Como visto anteriormente, a sinalização por meio de cores pode ter como função a termorregulação, coloração de alerta e reconhecimento de parceiros juntamente com os meios químicos necessários (feromônios). O naturalista Henry Walter Bates descobriu o mimetismo como fenômeno evolucionário em que a seleção por predadores visualmente orientados causa à semelhança entre espécies não relacionadas, estando a aparência externa ligada a sobrevivência e reprodução. Muitas borboletas evoluem uma coloração semelhante que permite que os predadores aprendam a evitar esse padrão de alerta, formando então os anéis miméticos.

O mimetismo Batesiano é responsável pelo mesmo padrão de cores entre organismos palatáveis que imitam a coloração de um organismo impalatável ou com algum outro mecanismo ativo de defesa, como ferrão, por exemplo. O mimetismo Müllleriano se dá quando duas espécies diferentes, ambas impalatáveis, convergem para um mesmo padrão de cor de alerta que permite aos predadores evitarem a ambos<sup>1</sup>. No caso dessas borboletas, elas utilizam os compostos cianogênicos das plantas hospedeiras para a produção de glicosídeos alifáticos que garantem a sua sobrevivência na vida adulta (Kronforst e Papa 2015).

A impalatabilidade parece ter evoluído por seleção de parentesco (Benson 1971), embora a seleção individual possa estar envolvida. As características das espécies impalatáveis podem variar, sendo que o tamanho e a robustez do organismo, a dureza e resiliência do tegumento, a habilidade de exsudar fluidos corpóreos nocivos, ou mesmo a incorporação de agentes impalatáveis no adulto, podem dificultar que ele seja predado (Benson 1971). A acuidade visual dessas borboletas, além de permitir que elas reconheçam os sexos, pode ser usada pelos machos para evitarem cortejar a espécie errada pertencente ao mesmo anel mimético. Sistemas nervosos com grandes porções nas áreas de aprendizado, visual e olfatório nesse gênero parecem contribuir para o processamento das informações e comportamentos desses animais (Merrill *et al.* 2015). Para diferenciar entre indivíduos de espécies diferentes é possível que eles utilizem os comprimentos de onda em UV. A discriminação através das pistas visuais leva a vantagens para ambos os sexos, já que o macho não perderia tempo cortejando um indivíduo do mesmo sexo.

No presente trabalho, os testes foram feitos com machos já que eles procuram ativamente locais com recursos alimentares e parceiras. A retirada de possíveis compostos voláteis no tratamento das asas dos modelos permitiu uma análise do comportamento dos machos em relação aos modelos utilizando

---

<sup>1</sup> Nota: No presente trabalho mantivemos a clássica distinção entre mimetismo Batesiano e Müllleriano, em vez de utilizar o sistema geral proposto por Vane-Wright, 1976.



apenas as pistas visuais como gatilho para aproximação e inspeção. Uma maior inspeção nos modelos de asas de fêmeas recém emergidas (com  $p < 0,001$ ) indica que um processo de corte poderia ser iniciado se houvesse outras pistas, como químicas por exemplo. As diferenças que ocorreram entre as colorações das asas de machos e fêmeas parecem ser muito pequenas para serem utilizadas pelos predadores. Logo elas não estariam sofrendo seleção natural para diferir do padrão do macho, o que nos fez acreditar que essas pequenas diferenças poderiam ser resultado de seleção sexual para avaliar à distância o sexo da borboleta.

Os resultados corroboraram essa hipótese que já havia sido levantada anteriormente em outro projeto, que havia encontrado diferenças significativas das colorações das asas dos machos, em que essas diferenças poderiam ser utilizadas para a discriminação entre os diferentes sexos (Costa 2013). É possível que essas diferenças tenham surgido por causa dos comportamentos distintos entre os sexos, sendo os machos o sexo mais ativo na procura de parceiras. As fêmeas teriam essa vantagem na termorregulação devido a maior presença de preto em suas asas. É provável que o requerimento térmico para cada um dos sexos seja diferenciado, já que estes possuem hábitos diferentes. Menor quantidade de preto nas asas dos machos pode servir como sinal honesto de qualidade genética, já que acarreta ao indivíduo um custo termal. Mas a termorregulação sozinha não poderia explicar esse dimorfismo encontrado.

Os dados atuais indicam que os machos de *H. ethilla* se aproximam e inspecionam com maiores frequências aqueles modelos que são provenientes das asas de fêmeas recém emergidas. Isso indica que eles utilizam sua grande capacidade visual para fazer as diferenciações entre os sexos e decidir sobre a suas aproximações e inspeções, já que as substâncias químicas voláteis foram retiradas quando as asas foram tratadas com solvente orgânico evitando o uso de outro sistema de percepção de indivíduos como variável nesse projeto. É possível que essa capacidade de diferenciar seja adaptativa, já que existe a vantagem de evitar desperdício de tempo e energia em cortejar um indivíduo de mesmo sexo (Klein e Araújo, 2013).

A partir desses resultados podemos imaginar outros experimentos que possam complementar esses estudos, de forma que possamos entender melhor como essas buscas complexas podem ser iniciadas por esses organismos. Não foram vistos comportamentos de continuidade do processo de corte, indicando que outros componentes - como químicos voláteis - sejam necessários para que a corte continue. Isso indica que os processos de corte podem ser bastante complexos e levam em consideração muitas variáveis – pistas visuais e olfatórias, receptividade do outro sexo- para que o comportamento se manifeste.

Um outro teste importante, que poderia ser feito, seria averiguar se é a proporção de preto nas asas das fêmeas que funciona como um gatilho para a inspeção e aproximação. Para isso é necessário manipular as asas naturais de machos com tinta, de modo a simular as asas das fêmeas e fazer um controle da presença da pintura nas asas dos machos – pintando de preto áreas dessa cor e que estivessem próximas às regiões que foram mais pintadas nas fêmeas- e analisar como os adultos reagem a essa modificação. Foi feita tentativa para esses testes, com a construção dos modelos a partir das asas de machos, mas os resultados das reflectâncias da tinta e das asas dos modelos naturais diferiram bastante, sendo necessário modificar a reflectância da tinta com misturas para minimizar as diferenças entre as cores artificiais e naturais (Silva 2015). É provável que as reflectâncias da tinta e da asa natural tenha sido a razão pela qual ocorreu essa variação de resposta comportamental em relação aos modelos do experimento (frequência de aproximação aos modelos de machos de 55,17%; 44,83% de aproximações em modelos que simulam a coloração das fêmeas), sendo o mais notável o maior número de inspeções no modelo de asas do macho (frequência obtida de 77,55% de inspeções em modelos de machos; 22,45% de inspeções no modelo que simula a coloração das fêmeas). O modelo das asas de macho tinha pouca quantidade de tinta nas suas asas - apenas para atuar como um controle entre presença e ausência da tinta nos modelos - e é provável que eles tenham reconhecido as maiores modificações nos modelos que simulavam as cores da fêmea. Como pode ser visto nas Figuras 7 – 10, os picos de reflectância diferem muito das

cores naturais. Também por causa da sequência de dias chuvosos, essa parte do trabalho não foi finalizada, já que não foi possível continuar com os testes nos viveiros e as coletas desses animais se tornou bastante prejudicada, deixando essa questão em aberto. Uma outra forma de analisar o que leva à discriminação entre os sexos apenas pelas pistas visuais seria ver se existe variação dos padrões sob luz polarizada nas asas, mas esse foi um experimento que ainda não foi feito. Um outro ponto que deveria ter sido abordado seria a questão de preferências individuais para os tipos diferentes de coloração.

Pesquisas para entender o comportamento de corte e preferências são essenciais para solucionar as questões acerca das diferentes intensidades de seleção que essas populações estão sofrendo durante seu processo evolutivo. Diferenças comportamentais podem estar associadas à mudança de frequência de diferentes fenótipos em uma população. Outros traços podem estar sofrendo diferentes pressões seletivas, o que evita que eles fujam do padrão a que já pertencem. Uma dessas possibilidades é que o dimorfismo nessa espécie talvez não seja tão acentuado quanto nos casos de dimorfismos sexual em mímicos Batesianos de outras espécies de borboletas, talvez porque haja uma pressão dos predadores sobre os padrões impedindo que venham a diferir muito de seus mímicos. Mais estudos sobre essas questões são necessários.

## **Agradecimentos**

Somos gratos a todos os integrantes do Laboratório de Genética Ecológica que auxiliaram na criação das borboletas utilizadas e permitiram que o projeto acontecesse: Janaína De Nardin, Rosana Huff, Pietro Pollo, Natasha Nonemacher Magni e Thiana Arisi. Ao Marcelo Pereira do Laboratório de Laser e Ótica do Instituto de Física da UFRGS, pelas análises de espectrofotometria. E a Sídia M. Jacques-Callegari pelo auxílio nas análises estatísticas.

## Referências

Benson WW (1971) Evidence for the evolution of unpalatability through kin selection in the Heliconinae (Lepidoptera). *The American Naturalist*, 105(943): 213-226

Costa MC (2013) Dimorfismo sexual e reconhecimento de parceiros em *Heliconius ethilla narcaea* (Lepidoptera, Nymphalidae). Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Biociências, UFRGS.

Jiggins CD, Naisbit RE, Coe RL, Mallet J (2001) Reproductive isolation caused by colour pattern mimicry. *Nature* 411:302-305.

Klein AL (2011) Análise de coloração das asas no contexto sexual em um par mimético de borboletas *Heliconius*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Klein AL e Araújo AM (2013) Sexual size dimorphism in the color pattern elements of two mimetic *Heliconius* butterflies. *Neotrop Entomol* 42: 600-606.

Kronforst MR, Papa R (2015) The functional basis of wing patterning in *Heliconius* butterflies: the molecules behind mimicry. *Genetics* 200:1-19.

McMillan WO, Jiggins CD, Mallet J (1997) What initiates speciation in passion-vine butterflies? *Proc Natl Acad Sci USA* 94: 8628-8633.

Merril RM, Chia A, Nadeau NJ (2014) Divergent warning patterns contribute to assortative mating between incipient *Heliconius* species. *Ecology and Evolution* 4(7):911-917.

Merril RM, Dasmahapatra KK, Davey JW, Dell'aglio DD, Hanly JJ, Huber B, Jiggins CD, Joron M, Kozak MK, Llaurens V, Martin SH, Montgomery SH, Morris J, Nadeau NJ, Pinharanda AL, Rosser N, Thompson MJ, Vanjari S, Wallbank RWR, Yu Q (2015) The diversification of *Heliconius* butterflies: what have we need learned in 150 years? *Journal of Evolutionary Biology*. doi: 10.1111/jeb.12672 .

Scott JA (1973) Mating of Butterflies. *Journal of Research on the Lepidoptera* 11(2): 99-127.

Silva AK (2008) Interação de *Heliconius ethilla narcaea*, Godart (Lepidoptera, Nymphalidae, Heliconiinae) com Passifloráceas ocorrentes no Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Silva AO (2015) Pistas visuais no reconhecimento intra e interespecífico em duas espécies de borboletas miméticas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Sokal RR, Rohlf FJ (1995) Biometry: the principles of statistics in biological research. 3ª edição. W. H. Freeman, San Francisco.

Vane-Wright RI (1976). A unified classification of mimetic resemblances. Biol. J. Linnean Society 8: 25 – 56.

Vane-Wright RI, Boppré M (1993) Visual and chemical signaling in butterflies: functional and phylogenetic perspectives. Phil Trans R Soc B 340: 197-205.