



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE BIOLOGIA

CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**INTELIGÊNCIA GERAL OU ESPECIALIZADA?  
UMA ANÁLISE DAS HABILIDADES DO CANTO E FORRAGEIO EM MANONS  
(*Lonchura striata var. domestica*)**

por

SASKIA ECKERLI

TCC apresentado ao Instituto de Biologia da  
Universidade Federal Bahia como exigência  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências Biológicas

Salvador, 2018

Data da Defesa: 30 de Julho de 2018

Banca Examinadora

---

Hilton Japyassú  
Universidade Federal  
da Bahia

---

Angélica Amanda C. Seixas  
Universidade Federal  
da Bahia

---

Jamile Santos Nascimento  
Universidade Federal  
da Bahia

## RESUMO

A mente ou cognição é responsável pela operacionalidade de diferentes funções cognitivas como percepção, aprendizagem, memória e tomada de decisão. Há duas hipóteses conflitantes acerca do modelo operacional da mente. A da inteligência modularizada e a da inteligência geral. No presente trabalho, buscamos investigá-las ao avaliarmos habilidades cognitivas de duas áreas distintas em manons. Assim, testamos o desempenho cognitivo das aves nos contextos de forrageio e do canto. Se a hipótese da inteligência geral for aceita, os desempenhos dos indivíduos em diferentes habilidades cognitivas se correlacionariam por serem operadas por um único processador central, enquanto que se houvesse uma inteligência especializada, habilidades distintas não estariam correlacionadas pois seriam operadas por módulos especializados e independentes. Em uma das habilidades, testamos o desempenho cognitivo dos manons em resolver tarefas novas de obtenção do alimento (inovação) e de associação cor-recompensa. Na outra, avaliamos o nível de complexidade e a capacidade individual de alterar a frequência do canto em resposta a mudança do ruído ambiente. Nossos resultados mostram que não há uma relação entre as habilidades de canto e forrageio em manons, o que nos faz aceitar a hipótese da modularidade. Apesar dos nossos resultados não mostrarem uma relação entre as habilidades testadas, mais análises de outros aspectos do canto e outros testes cognitivos são necessários para um diagnóstico mais preciso sobre a existência de uma modularização em aves e em outros animais.

## ABSTRACT

The mind or the cognition is responsible for the operability of different cognitive functions such as perception, learning, memory and decision making. There are two conflicting hypotheses of the operational model of the mind: the modularized intelligence and the general intelligence hypotheses. In this paper, we sought to investigate the cognitive abilities of two distinct behavioural areas in the bengalese finch repertoire. Thus, we tested the cognitive performances of birds in foraging and singing contexts. If the general intelligence hypothesis is accepted, the performances of individuals in different cognitive abilities would be correlated by being operated by a single central processor, whereas if there were a specialized intelligence, separate abilities would not be correlated because they would be operated by specialized and independent modules. In one of the skills, we test the cognitive performance of bengalese finch in solving new tasks of obtaining food (innovation) and color-rewarding association. In the other, we assessed the level of complexity and the individual ability to change the corner frequency in response to changing ambient noise. Our results show that there is no relation between the singing and foraging abilities in bengalese finch, which makes us accept the hypotheses of modularity. Although our results do not show a relationship between the tested skills, further analysis of other songs measurements and other cognitive tests are required for a more accurate diagnosis of the existence of modularization in birds and other animals.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha instituição de ensino superior, a Universidade Federal da Bahia por ter me proporcionado uma graduação de qualidade em ciências biológicas pela excelência do corpo docente, pela qualidade do ensino e pela infraestrutura apropriada. Segundamente, agradeço aos meus orientadores Hilton Japyassú e Gabrielle Winandy, pela assistência durante todo o processo deste trabalho, por todos ensinamentos e contribuições que tanto me ajudaram nesta caminhada. Agradeço ao Programa de Iniciação Científica, por me concederem a oportunidade de desenvolver este trabalho científico que muito me enriqueceu. Quero agradecer também à equipe do Núcleo de Etologia e Evolução (NuEvo), por me acolherem tão bem, por me auxiliarem com dicas valiosas ao meu trabalho e por toda dúvida retirada, obrigada. Agradeço aos meus amigos, por todo apoio oferecido. E finalmente, agradeço a minha família por terem me dado todo o suporte necessário, por sempre estarem comigo. Ao meu irmão por me incentivar e me dar forças mesmo estando longe, ao meu pai por toda ajuda técnica nos processos criativos e experimentais, por todos os ensinamentos, e a minha mãe por cuidar do meu emocional acreditando sempre no meu potencial, muito obrigada!

RESUMO

ABSTRACT

AGRADECIMENTOS/DEDICATÓRIA

<b>ÍNDICE</b> .....	6
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	10
1. Espécie de estudo e local de manutenção.....	10
1.1 <i>Escolha das habilidades de canto e forrageio</i> .....	10
2. Avaliação da aprendizagem de forrageio.....	11
2.1 <i>Aparatos dos testes de aprendizagem</i> .....	11
2.2 <i>Aclimação</i> .....	12
2.3 <i>Inovação</i> .....	12
2.4 <i>Aprendizagem motora</i> .....	13
2.5 <i>Aprendizagem associativa</i> .....	14
3. Avaliação do ajuste vocal e complexidade do canto.....	16
3.1 <i>Gravação dos cantos</i> .....	16
3.2 <i>Análise dos cantos</i> .....	17
3.3 <i>Análises das habilidades de canto e forrageio</i> .....	17
<b>3. RESULTADOS</b> .....	19
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	24
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	27
<b>6. REFERÊNCIAS BIBIOGRÁFICAS</b> .....	30

## 1. INTRODUÇÃO

Para cientistas cognitivos, a *cognição* é um sinônimo de mente cuja operacionalidade está dividida em várias funções do processamento informacional (Cauchoix & Chaine, 2016). Entre essas funções estão diferentes habilidades cognitivas como a *percepção*, *aprendizagem*, *memória* e *tomada de decisão*, características que definem a inteligência animal (Macphil & Bolhuis, 2001).

O interesse na compreensão da mente humana data de séculos (Seidl de Moura & Oliva, 2009), contudo, apenas a partir da segunda metade da década de 1950 é que gradativamente, com a contribuição de inúmeros pesquisadores e com suporte da psicologia evolutiva, a cognição assume um papel protagonista e emerge uma nova ciência: a ciência da cognição. Desde então, a comunidade científica tem buscado respostas para perguntas que envolvem o funcionamento da mente. Desse interesse, a investigação da natureza dos mecanismos cognitivos entrou em vigência para a elaboração de um modelo de arquitetura da mente (Seidl de Moura & Oliva, 2009).

Duas vertentes de hipóteses para elaboração desse modelo de mente tomaram força: a da modularização e a do processador geral. A primeira defende a existência de órgãos mentais especializados que “evoluíram para” processar informações específicas. A segunda, que versa sobre o mecanismo geral, defende a existência de um órgão central cujo funcionamento comandaria todas as habilidades cognitivas (Seidl de Moura & Oliva, 2009).

De um lado, os apoiadores da modularização, como o psicometrista americano L.L. Thurstone, que defende a existência de um conjunto de faculdades mentais primárias que são relativamente independentes umas das outras e são medidas por diferentes testes (Gardner, 2011). Fodor argumenta que os módulos seriam órgãos especializados cujo funcionamento é rápido e inconsciente operando de forma muito eficiente (Seidl de Moura & Oliva, 2009). Em seguida, em 1987, Cosmides e Tooby propuseram que quanto mais importante o problema adaptativo, mais intensamente selecionado ele seria, resultando numa maior especificidade e num melhoramento da performance nestes mecanismos. Essa vertente ganhou suporte através de relatos de crianças com habilidade excepcionais em domínios específicos os *autistic savant* (Seidl de Moura & Oliva, 2009) e de

evidências da perda de capacidades linguísticas específicas em casos de lesões no hemisfério esquerdo do cérebro (Gardner, 2011).

Do outro lado, persistem aqueles cientistas influenciados pelo britânico Charles Spearman, que defendia a existência de “g” – um fator geral central da inteligência que, segundo ele, poderia ser medido por qualquer tarefa em um teste de inteligência (Gardner, 2011; Spearman, 1904). Aliados ao Spearman, Rode e Wang (2000) defendem a existência de um domínio geral pelo fato de que os atuais problemas enfrentados pela humanidade diferem dos problemas encontrados pelos nossos ancestrais no Pleistoceno. Sendo assim, os mecanismos de domínio geral são responsáveis pela descontextualização e abstração, processos fundamentais para os avanços tecnológicos e científicos (Chiappe & McDonalds, 2005).

Rehkämpler & Zilles (1991) concluíram que muitos aspectos encontrados nos cérebros das aves também se aplicam a primatas indicando que houve uma forte pressão seletiva na evolução dos cérebros de ambos (aves e mamíferos) conduzindo-os a rumos similares. Então as hipóteses da modularização e do processador central, que foram propostas para a mente humana, poderiam também contemplar outros animais como as aves. Sobre as evidências da natureza cognitiva das aves, os resultados são heterogêneos.

Por um lado, autores como Bouchard et al. (2007) testaram pombos em duas tarefas envolvendo a resolução de problemas e aprendizagem social, e encontraram uma forte correlação positiva (Bouchard et al. 2007). Por outro lado, Keagy et al. (2009) apresentam a pássaros cetim machos, duas tarefas de resolução de problemas e não encontraram correlação (Boorget et al. 2011). Assim, a hipótese da modularidade e a do processador central estão em litígio, e essa questão permanece sem uma resolução amplamente aceita pela comunidade científica.

O presente trabalho testou as duas hipóteses prevalentes na literatura: a da inteligência geral, operada por um processador central, e a da inteligência modularizada operada por módulos de domínio específico, avaliando as habilidades de canto e forrageio em aves.



Visto que o canto é aprendido (Beercher & Brenowitz, 2005), ele pode ser considerado uma função cognitiva, dado que aves jovens adquirem a informação do canto apropriado através da audição do canto dos adultos de sua própria espécie, armazenam esta informação na memória, e subsequentemente utilizam desta informação armazenada para formar seu próprio canto (Marler, 1990). O forrageio também é uma competência que se utiliza de habilidades cognitivas (Hosoi, 1995 apus Croney, 2003). Contudo, diferentemente do que ocorre no canto, a visão tem um papel central no forrageio (Fernández-Juricic, 2004), o olfato também se mostrou bastante importante (Croney, 2003), e além disso, estudos sugerem que animais capazes de fazer associações entre pistas (como cor, odor ou localização) e recompensas, tem mais sucesso no encontro de alimentos do que os que não o fazem (Dukas & Duan, 2000).

Por este aspecto, habilidades de canto e forrageio poderiam ser processados por módulos distintos. No entanto, estudos indicam que um desenvolvimento adequado do sistema de canto serviria como um revelador fenotípico da aptidão de um animal de lidar com desafios do ambiente. Então, as fêmeas escolheriam machos com os melhores cantos (mais complexos) pelo fato destes cantos sinalizarem qualidades como capacidade de defender um território, afastar predadores, prestar cuidados parentais e assim por diante, o que resultaria num ganho de sucesso reprodutivo para essas fêmeas (Nowicki & Searcy, 2005). Desta forma, a habilidade de forrageio também poderia ser uma qualidade sinalizada pelo canto, o que poderia indicar a existência de uma correlação entre estas habilidades distintas inferindo a presença de um processador central.

Assim, este trabalho buscou verificar a relação entre as habilidades de canto e forrageio para inferir a existência de módulos cognitivos especializados ou de um único processador central.

## 2. METODOLOGIA

### 1. *Espécie de estudo e local de manutenção*

Para a realização dos experimentos, foram escolhidas as aves da espécie *Lonchura striata* var. *domestica*, uma espécie domesticada (Okanoya, 2004), que recebeu atenção considerável por suas rápidas modificações na estrutura acústica e de seus cantos (Woolley & Rubel, 1997). Este projeto de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Instituto de Biologia da UFBA (CEUA).

As aves foram trazidas de um criadouro de Sorocaba, São Paulo, e colocadas aos casais em gaiolas de tamanho 60x27x27 no Biotério do Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia (UFBA). As aves eram alimentadas com água filtrada, mistura de sementes (alpiste e painço), farinhada para pássaros granívoros e folhas verdes (escarola, chicória ou salsa). A sala de manutenção no biotério possuía temperatura constante de 25°C e um fotoperíodo de 14h:10h de claro/escuro. Foram selecionados 18 machos adultos para o experimento, com idade entre 1 a 4 anos, pesando em média 15g.

#### 1.1 *Escolha das habilidades de canto e forrageio*

O som que uma ave produz ao cantar serve para que a mesma se comunique com outro indivíduo da mesma espécie (Catchpole & Slater, 1995). O canto pode ser utilizado pelo macho para atrair fêmeas para o acasalamento (Catchpole & Slater, 1995), por isso é um importante atributo para a seleção sexual (Nowcki & Searcy, 2004). No entanto, essa comunicação pode ficar comprometida devido à presença de ruído que pode mascarar o canto, fator ambiental que insere uma pressão seletiva em sinais acústicos (Ryan & Brenowitz, 1985). Assim, as aves desenvolveram várias adaptações para tornar seus sinais audíveis (Brumm & Slabbekoorn, 2005) e experimentos laboratoriais mostram que aves podem ajustar o canto em grande medida (em média 10 dB), indicando o grande potencial de regulação de amplitude vocal para ruídos em comunicação acústica (Brumm & Todt, 2004).

A complexidade do canto em aves é outra característica estrutural comumente estudada que está relacionada com o número de diferentes cantos, sílabas ou elementos que um macho produz em seu repertório vocal (Pfaff et al. 2007), mas que também pode incluir o total de sílabas ou elementos e a duração de uma frase da canção (Airey & DeVoogd 2000). Sendo assim, escolhemos a capacidade de ajuste vocal à ruídos e complexidade do canto para avaliar a habilidade de canto das aves.

Já as competências de forrageio foram contempladas com a avaliação das habilidades de *inovação*, *aprendizagem motora* e *associativa* de aves, tendo em vista que comer novos alimentos ou utilizar de novas técnicas de forrageio são exemplos de comportamentos inovadores (Lefebvre, 1998) que estão associados com o sucesso evolutivo de espécies na invasão de novos territórios (Sol, Timmermans & Lefebvre, 2002). Além de que a aprendizagem é definida como o processo que se mostra através de uma mudança adaptativa no comportamento individual resultante de uma experiência (Thorpe, 1951), e uma vez que a inovação tenha ocorrido, mecanismos de aprendizagem associativa irão assegurar que o comportamento bem sucedido seja repetido (Griffin et al, 2014).

A correlação entre todas as habilidades de forrageio e canto indicarão a existência de uma inteligência geral, o que nos fará aceitar a hipótese do processador central, enquanto que a inexistência dessa correlação indicará a existência de múltiplas inteligências especializadas, e aceitaremos a hipótese da modularidade.

## 2. Avaliação da aprendizagem de forrageio

### 2.1. Aparato dos testes de aprendizagem

Para a primeira etapa dos experimentos de aprendizado, foi confeccionada uma placa de madeira de tamanho 12cm por 24cm que continha 10 repositórios de sementes (tampinhas de pet de cor azul) de 3 cm de diâmetro e 0,8 cm de profundidade, com tampas do tipo “abre e fecha” de papelão recobertas de fita isolante de alumínio de diâmetro de 4 cm. (**Figura 1**).

## 2.2. Aclimação

Inicialmente, as placas foram postas nas gaiolas com as tampas abertas e cheias de semente para aclimação e diminuição da neofobia por três dias consecutivos durante meio período.

Quando as aves finalmente pousavam na placa, e se alimentavam nas tampas completamente abertas, foi considerada habituação suficiente para passarem para os testes de aprendizagem.



**Figura 1:** placa de tampinhas utilizada no experimento. A foto mostra os diferentes graus de abertura da tampa.

## 2.3. Inovação

A forma mais comum de testes experimentais de inovação envolve a avaliação da habilidade de manipular um recipiente novo até o animal abri-lo e acessar a comida como recompensa (Boogert et al. 2008; Sol et al. 2012; Thornton & Samson, 2012). Dessa maneira, após a habituação, os manons foram submetidos à primeira etapa do experimento, o teste de inovação. Neste teste buscou-se observar o comportamento dos manons frente a um objeto cujo mecanismo de abertura era completamente desconhecidos para as aves, não fazendo parte de sua ecologia. As placas foram então postas nas gaiolas com as tampas entreabertas para que as aves, à sua maneira, abrissem por completo a tampa de alumínio para acessar as sementes presentes nos recipientes.

Para a resolução deste teste foi necessária a retirada dos comedouros de sementes das gaiolas no dia anterior ao teste, totalizando 4 horas sem alimento (na presença de luz) para estimulá-los a explorar os recipientes das placas e achar as sementes presentes nelas.

O teste consistiu em 30 sessões de 10 minutos (10 sessões por dia, em três dias consecutivos) com a placa de tampas entreabertas na gaiola dos indivíduos testados. O objetivo do teste era que as aves conseguissem abrir pelo menos 4 tampas entreabertas e acessar as duas sementes que estavam em cada recipiente, em uma mesma sessão. Cada ave foi testada individualmente, e na medida que os indivíduos foram completando a meta proposta, a placa era retirada de suas gaiolas e os comedouros de sementes repostos. Aqueles que não alcançaram a meta proposta recebiam seus comedouros de sementes ao final das 10 sessões seguidas (com intervalos de 5 minutos), a cada dia. Este procedimento foi repetido por até 3 dias, quando necessário. A avaliação resultou em duas variáveis: número de sessões de exposição ao aparato (até atingir critério proposto: abrir quatro tampas em uma única sessão), e taxa de abertura de tampas (total de tampas abertas pela frequência total de sessões do indivíduo).

#### *2.4. Aprendizagem motora*

A segunda etapa de testes consistiu em avaliar a habilidade motora das aves. Os Manons que não foram bem sucedidos no teste inicial de inovação e que, portanto, não tiveram experiência adequada no aparato, foram excluídos desta fase e da seguinte. Neste teste as placas foram postas nas gaiolas com as tampas completamente fechadas. Uma vez que as tampas só conseguiriam ser abertas de uma única maneira (puxando com o bico pela frente e pelo meio), esta configuração permitia avaliar o progresso da habilidade motora (**Figura 2**)



**Figura 2:** Manon abrindo tampa

Para a realização deste teste, os manons novamente tiveram seus comedouros de sementes retirados no dia anterior e ficaram 4 horas sem alimento de um dia para o outro, aumentando assim o valor das sementes como recompensa para o condicionamento operante.

Seis indivíduos eram testados por vez (cada um em sua gaiola) com isolamento visual das demais aves (as divisórias, as laterais e os fundos das gaiolas foram cobertos de papel branco).

O teste consistiu de 10 sessões de 10 minutos cujo objetivo era abrir pelo menos 5 tampas em uma única sessão. Os objetivos deste e do teste anterior foram adaptados de Boogert et al. 2008. Os indivíduos que foram alcançando o objetivo tiveram seu comedouro devolvido, enquanto que os que não conseguiram realizar a tarefa proposta só obtiveram seus comedouros após as 10 sessões de testes.

### **2.5. Aprendizagem associativa**

A última etapa dos testes de aprendizado consistiu um teste no qual as aves deveriam descobrir a cor da recompensa entre cinco cores.

Para isso duas coberturas de cada uma de cinco cores (círculos de cartolina lilás, rosa, bege, amarelo e verde) foram distribuídas de forma aleatória sobre as tampas de alumínio dos recipientes (tampinhas), nas mesmas placas de testes utilizadas nas duas etapas anteriores (**Figura 3**).



**Figura 3:** placas com as cinco cores escolhidas para o teste associativo

Novamente, todos os indivíduos testados ficaram 4 horas sem alimento até o início do teste, de modo a aumentar o valor da recompensa para a aprendizagem associativa (associar a cor ao alimento).

A meta deste teste era que as aves abrissem diretamente a tampa da cor que sinalizava recompensa (rosa) em pelo menos duas sessões consecutivas, ou com um menor índice de erros (abrir tampa de outras cores) até a abertura da tampa correta, o que resultou em duas variáveis posteriormente utilizadas: número de tentativas para atingir a meta e número de erros até alcançar a meta proposta. A para este teste foi adaptada de Titulaer et al. 2012.

O teste consistiu em 14 sessões de 10 minutos sendo 7 sessões por dia. Da mesma forma que o teste anterior, seis indivíduos visualmente isolados foram testados por vez. Cada vez que um indivíduo abria a tampa da cor que sinalizava a recompensa e se alimentava das sementes ali postas, a placa era retirada e o manon tinha que esperar até a próxima sessão para receber de novo a placa. A cada sessão a placa de tampas coloridas era colocada em gaiolas diferentes de forma que houve um rodízio de placas para que as posições das cores nas placas fossem alternadas a cada sessão.

### 3. Avaliação do ajuste vocal e complexidade do canto

#### 3.1. Gravação dos cantos

As aves foram gravadas em suas gaiolas individualmente em uma sala com espumas de isolamento e tratamento acústico para diminuir o ruído de fundo e eco das gravações (**Figura 4**). Gravamos as aves com uso de um microfone Senheiser ME 66 e de um gravador Tascam Dr-44wl.

Cada Manon foi exposto a dois tipos de ruídos artificiais durante um período de 30 minutos: um ruído que simula o ruído antropogênico urbano e um ruído agudo, inverso do ruído antropogênico. Os ruídos foram expostos aos indivíduos em duas intensidades distintas, a 55 e a 65 decibéis (dBA), volumes frequentemente encontrados em ambientes urbanos. O ruído antropogênico simulado consistiu em um som grave com atenuação de intensidade de três decibéis a cada 100 Hz de aumento de frequência (até 10kHz). O ruído agudo foi gerado de forma inversa a do ruído grave (antropogênico), com atenuação de intensidade a cada decréscimo de 100 Hz de frequência.

Esses quatro ruídos foram apresentados em ordem aleatória a cada ave, que foi gravada por mais de um dia caso não houvesse canto em todos os quatro ruídos. Para estimular o canto do macho foi feito playback dos chamados de duas fêmeas a cada 2.5 minutos durante 30 segundos ao longo de toda a gravação que durou 30 minutos.



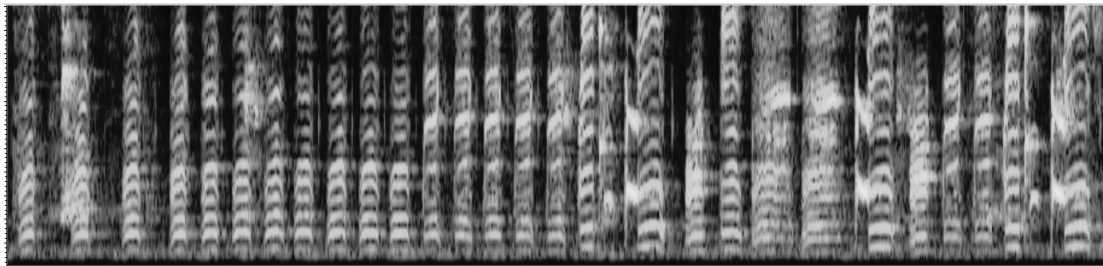
**Figura 4:** Manon sendo gravado



### 3.2. Análise dos cantos

Para a análise dos cantos, utilizou-se, inicialmente, o programa Audacity, no qual os áudios foram editados e tratados para que houvesse a redução do ruído de fundo. Primeiro, foi feita a equalização dos arquivos de som, onde o ruído grave abaixo de 400 Hz foi atenuado em 36 decibéis. Depois, todos os cantos foram normalizados a zero decibéis.

Em seguida, extraímos os dados de frequência, duração, complexidade e plasticidade de cada canto com o uso do programa Raven 1.5 Pro. Obtivemos as informações de frequência (mínima e máxima) no silêncio e no ruído grave à 65 dB em que foi feito o cálculo da diferença da frequência mínima do canto durante o ruído grave à 65 dB pela frequência mínima do canto durante o silêncio para obter o ajuste vocal do canto; amplitude de frequências (Hz) e complexidade do canto, razão entre o número de tipos de sílabas pelo total de sílabas (Ríos-Chelén et al. 2012) (**Figura 5**).



**Figura 5:** recorte do espectrograma de um canto de um manon feito no Programa Raven 1.5 Pro.

### 3.3. Análise das habilidades de forrageio e canto

Para mensurar a habilidade de inovação, correlacionamos as duas variáveis resultantes do teste de inovação de cada indivíduo, e extraímos o primeiro componente, gerado através da análise de componentes principais (PCA). Este componente foi então utilizado como variável sintética de inovação nas análises subsequentes.

Para mensuração da habilidade motora, assim como no teste de inovação, correlacionamos as duas variáveis geradas a partir do teste de aprendizagem motora, e também realizamos um PCA para a extração dos componentes principais e redução de dimensão dos dois dados em um único componente.

Para a mensuração da habilidade associativa, da mesma forma, foram utilizados as duas variáveis resultantes do teste de aprendizagem associativa (número de tentativas necessárias até atingir critério proposto e o número de erros até atingir esse mesmo critério) para redução de dimensão (PCA) para produção de uma variável sintética única, após verificar que os dados das variáveis originais estão fortemente correlacionados.

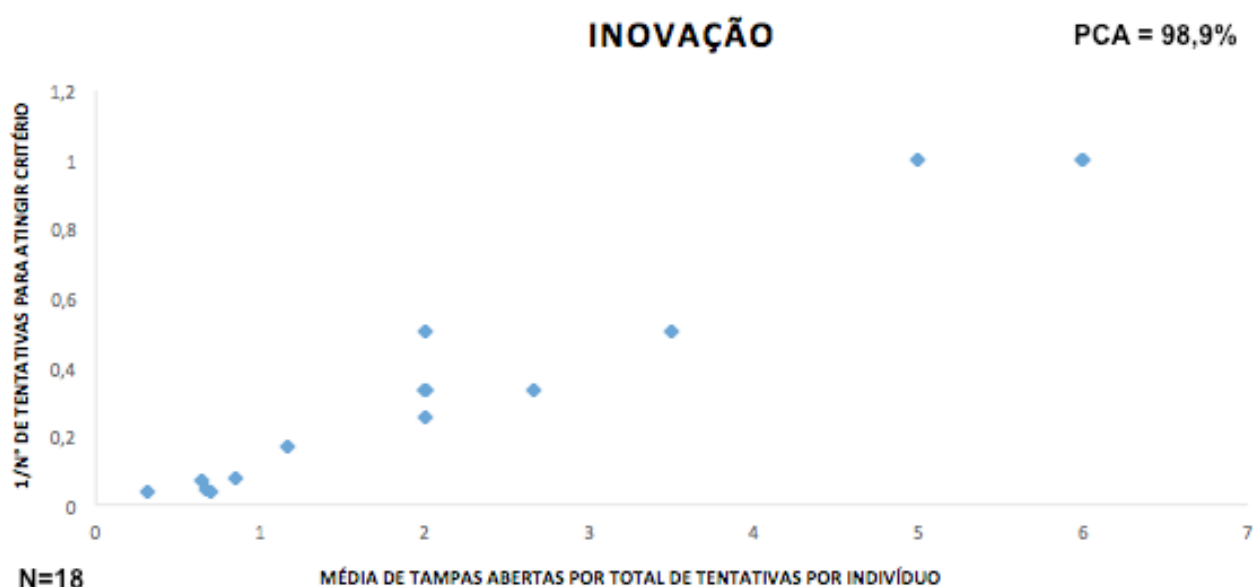
Para analisar a estrutura de correlação dentro de cada uma das áreas do repertório das aves (forrageamento e canto) foi feito um PCA para extração dos componentes principais com todos os seis dados de forrageio (dois de cada teste), e um PCA com os dois dados do canto (complexidade e ajuste vocal). Foi então selecionado o primeiro componente formado por cada PCA e ambos foram correlacionados para uma análise da correlação entre os dados de canto e forrageio.

### 3. RESULTADOS

Das 18 aves selecionadas para o experimento, apenas 11 completaram todas as etapas dos testes propostos.

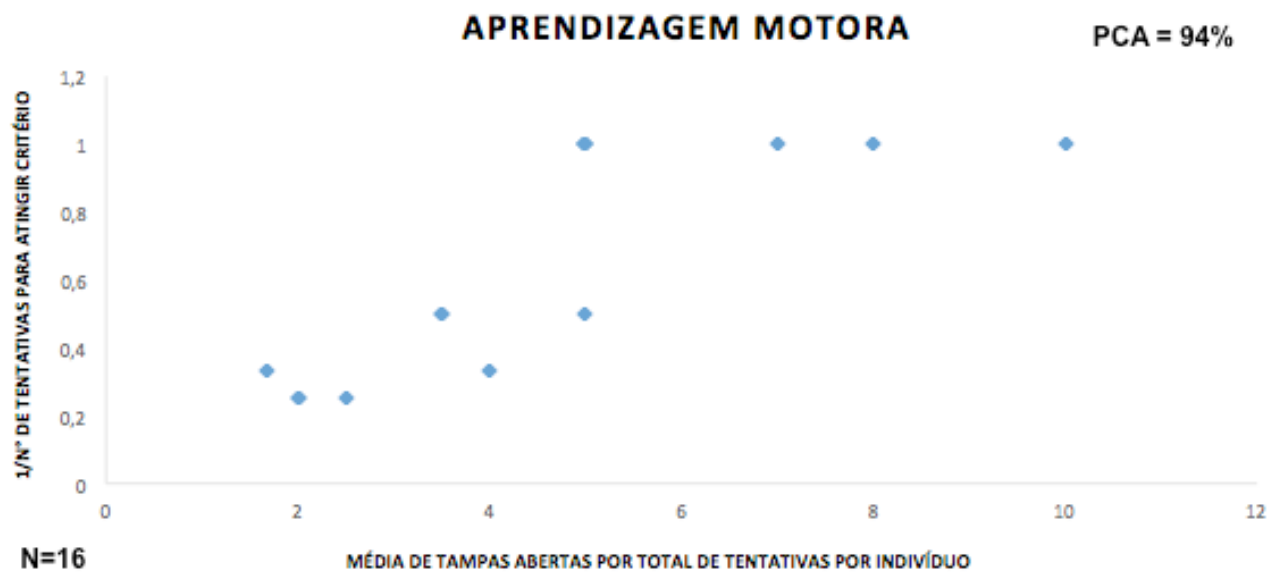
#### *Forrageio*

A **Figura 6** mostra o resultado obtido a partir do teste de inovação. Ele indica que os indivíduos que realizaram o critério adotado mais rapidamente também abriram um maior número de tampas, ou seja, vê-se que na parte superior do gráfico estão plotados os indivíduos mais inovadores.



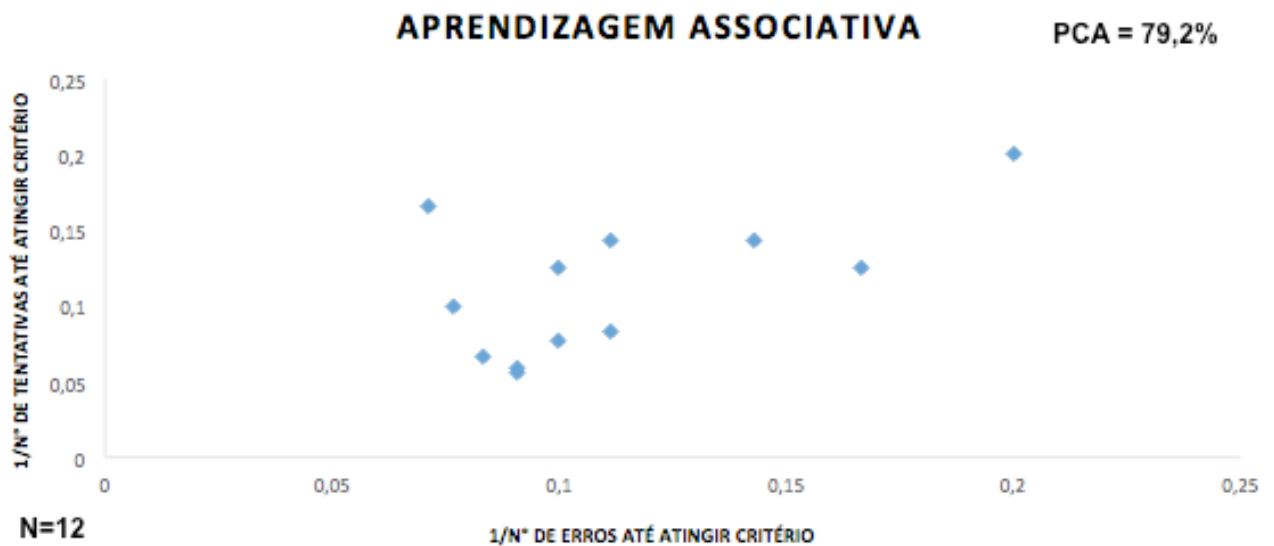
**Figura 6:** Relação entre as duas medidas e o desempenho de inovação: número de tentativas até cada ave abrir quatro tampas em uma única tentativa (eixo x), e a média de tampas abertas por total de tentativas feitas de cada indivíduo (eixo y). O eixo x foi invertido para que os maiores valores fossem atribuídos a uma maior capacidade inovadora e facilitar a visualização. Neste teste todas as 18 aves foram testadas por isso o número amostral foi de 18. O primeiro e único componente obtido pelo PCA para as duas variáveis explica 98,9% da variação total dos dados.

A **Figura 7** mostra o resultado obtido a partir do teste de aprendizagem motora, em que se pode inferir que os indivíduos que, assim como no teste de inovação, precisaram de menos tentativas, também foram os que abriram mais tampas, sendo estes os que atingiram o critério adotado mais rapidamente, demonstrando uma maior habilidade motora do que os demais.

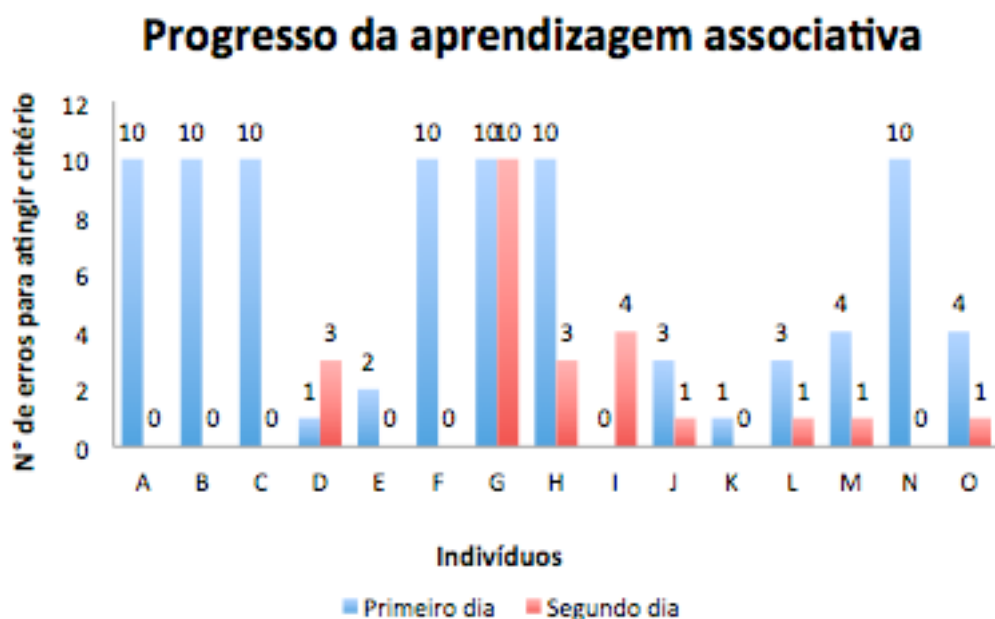


**Figura 7:** Relação entre o número de tentativas para abrir cinco tampas em uma única tentativa (eixo x), e a média de tampas abertas por total de tentativas de cada ave (eixo y). O eixo x foi invertido para que os maiores valores fossem atribuídos a uma maior capacidade inovadora e facilitar a visualização. O primeiro e único componente obtido pelo PCA para as duas variáveis explica 94% da variação total dos dados.

A **Figura 8** mostra o resultado do teste de aprendizagem associativa. Os indivíduos que melhor se saíram neste teste, atingiram o critério adotado mais rapidamente que os demais e também erraram menos. Há uma correlação positiva significativa. Além disso, é possível enxergar uma melhora no desempenho dos indivíduos a partir da comparação dos resultados obtidos no primeiro dia de teste com o segundo (**figura 9**).



**Figura 8:** Relação entre o número de tentativas para atingir critério proposto, i.e., acertar a cor da recompensa duas vezes consecutivas sem erros (eixo x), e o número de erros cometidos por cada indivíduo nessas tentativas (eixo y). Os dados dos eixos foram invertidos para que os maiores valores fossem atribuídos a maiores desempenhos cognitivos e, assim, facilitar a visualização. O primeiro e único componente obtido pelo PCA para as duas variáveis explica 79,2% da variação total dos dados.



**Figura 9:** Progresso da aprendizagem associativa dos indivíduos na primeira tentativa do primeiro dia para a primeira tentativa do segundo dia (24 horas depois). No primeiro dia, 7 dos 15 participantes não abriram nenhuma tampa (recebendo o maior escore de erros, i.e., as 10 possibilidades de tampas), enquanto que no segundo dia, 7 dos 15 participantes acertaram diretamente a tampa da cor correta e apenas um indivíduo não abriu nenhuma tampa.

## Canto

A partir da diferença entre os valores de frequência mínima do canto no ruído grave à 65 dB e no silêncio, obtivemos uma grande variação nas medidas de ajuste vocal. Em média, os indivíduos tiveram uma variação de 263,2 Hz. Enquanto que na medida utilizada para complexidade do canto (razão entre o número de tipos de sílabas pelo total de sílabas), encontramos uma variação de 7% entre os cantos dos manons.

## Correlação entre as habilidades de forrageio e canto

A análise de componentes principais para todas as seis medidas de forrageio extraiu dois componentes: o primeiro explica 57% da variação dos dados e o segundo 24,8%. Observamos que o primeiro componente é bem explicado pelos dados de inovação e aprendizagem motora, enquanto que o segundo componente formado é melhor explicado pelos dados de aprendizagem associativa (**Tabela 1**).

**Tabela 1**

		Componentes	
		1	2
n° de tentativas	(inovação)	<b>0,899</b>	- 0,15
n° de tampas abertas	(inovação)	<b>0,913</b>	- 0,059
n° de tentativas	(aprendizagem motora)	<b>0,841</b>	- 0,27
n° de tampas abertas	(aprendizagem motora)	<b>0,863</b>	- 0,311
n° de tentativas	(aprendizagem associativa)	0,547	<b>0,695</b>
n° de erros	(aprendizagem associativa)	0,171	<b>0,914</b>

**Tabela 1:** porcentagens da variância total dos dados de desempenho das habilidades de forrageio explicados por cada componente.

Por aparentarem estar bem relacionados os dados de inovação e aprendizagem motora, realizamos correlações parciais entre as variáveis sintéticas formadas a partir do PCA de cada habilidade de forrageio. Efetuamos correlações dois a dois, controladas por uma terceira variável, para entender a relação de dependência real entre as variáveis (**Tabela 2**)

**Tabela 2**

Correlações parciais entre as variáveis sintéticas de forrageio		
controle	correlação	significância
inovação	associação motor	p = 0,826
motor	associação inovação	p = 0,429
associação	inovação motor	<b>p = 0,030</b>

**Tabela 2:** Correlações parciais mostram a dependência entre as variáveis sintéticas.

As correlações parciais mostraram que os dados de inovação e aprendizagem motora de fato estão bem correlacionados entre si visto que o valor de  $p = 0,030$ . Produzimos então uma única variável sintética a partir dos dados de inovação e aprendizagem motora que foi chamada de *inovação motora*, que juntamente com a variável sintética de aprendizagem associativa formaram os dados de forrageio que foram correlacionados com os dados de canto (ajuste vocal e complexidade do canto) (**Tabela 3**).

**Tabela 3**

Correlação				
	ajuste vocal	complexidade	inovação motora	associação
ajuste vocal		<b>p = 0,169</b>	<b>p = 0,959</b>	<b>p = 0,759</b>
complexidade	<b>r = -0,361</b>		<b>p = 0,926</b>	<b>p = 0,127</b>
inovação motora	<b>r = 0,015</b>	<b>r = -0,027</b>		<b>p = 0,468</b>
associação	<b>r = 0,105</b>	<b>r = -0,489</b>	<b>r = 0,232</b>	

**Tabela 3:** Correlação entre as quatro variáveis sintéticas formadas e os valores de p de cada correlação

A correlação entre as quatro variáveis (duas de forrageio e duas de canto) mostrou que não há uma correlação entre as habilidades de canto e forrageio.

#### 4. DISCUSSÃO

Este trabalho buscou investigar duas hipóteses conflitantes do modelo operacional da mente. A hipótese da inteligência modularizada e a da inteligência geral. Para isso, testamos as habilidades de aves em duas áreas distintas (forrageio e canto) e testamos a correlação entre elas. Os resultados mostram que não há uma relação entre as habilidades de canto e forrageio em manons, o que nos faz aceitar a hipótese da modularidade, de que haveriam “órgãos” especializados no processamento de habilidades específicas como canto e forrageio. De fato, com exceção da habilidade de inovação e da aprendizagem motora, todas as demais habilidades não mostraram estar correlacionadas, o que nos faz acreditar na existência de módulos específicos operantes dentro de competências mais gerais como canto e forrageio que englobam diversos tipos de habilidades distintas.

Haword Gardner (1998) defende a existência de oito tipos diferentes de inteligências em humanos: a inteligência linguística; lógico-matemática; espacial; cinestésica; musical; intrapessoal; interpessoal e naturalística que seriam independentes e modulares. Darwin apontou que outros animais diferem dos humanos em grau mas não em natureza. Assim, os animais compartilham habilidades humanas como raciocínio, memória, linguagem e sensibilidade ao estético, porém em menor grau (Shettleworth, 2010). Aliado a isto, as similaridades encontradas nos cérebros de mamíferos e aves, principalmente nas regiões do telencéfalo (Rehkämpler e Zilles, 1991), sugerem a possibilidade de que assim como os humanos, as aves também tenham algumas habilidades distintas independentes e necessárias para o enfrentamento de problemas distintos e independentes em sua ecologia.

Os resultados mostraram que as habilidades de inovação e aprendizagem motora estão bem relacionadas entre si, o que nos fez pensar na existência de um módulo que englobe estas duas habilidades, ou que a inovação e a aprendizagem motora na verdade tratam de uma mesma habilidade, e por isso, de fato estariam sendo operadas por um único módulo especializado. Não há como discernir entre as duas possibilidades sem uma investigação mais detalhada acerca da natureza da inovação em aves, elucidando suas possíveis conexões com a aprendizagem motora.



Nossos resultados também apontam diferenças interindividuais em habilidades de inovação, aprendizagem motora e aprendizagem associativa. Alguns indivíduos apresentaram maior desempenho na resolução das tarefas propostas atingindo rapidamente o critério de aprendizagem.

Contudo, indivíduos com comportamentos mais proativos (mais exploradores, ativos, que arriscam mais, e são menos neofóbicos) expressam uma maior motivação para se alimentarem (David et al, 2012). Segundo Sih e Del Giudice (2012), indivíduos mais ousados, exploradores e neofílicos encontrariam situações inovadoras mais rapidamente. Assim, seria possível que indivíduos mais exploradores resolvessem mais rapidamente problemas de inovação não por um maior grau de inteligência, e sim por hesitarem menos correr riscos e se engajarem mais com os testes (Templeton et al, 2014).

Dessa maneira, não podemos excluir a possibilidade de as correlações positivas encontradas entre os testes de inovação e habilidade motora refletirem mais a motivação ou traços de personalidade do que a capacidade cognitiva em si. O que nos faz pensar que mesmo que encontrássemos uma correlação positiva entre as habilidades de canto e forrageio, isso não necessariamente indicaria a existência de um fator geral, uma vez que outros fatores poderiam convergir para resultados similares como traços da personalidade, nível de estresse e assim por diante.

Esse pode ser também o motivo pelo qual indivíduos, após alguns acertos consecutivos no teste de aprendizagem associativa, terem começado a abrir as tampas de outras cores antes de se voltarem para a tampa de cor certa. Por serem mais exploradores, esses indivíduos poderiam ter começado a abrir as tampas de outras cores apenas pela motivação exploratória mesmo.

Em relação aos resultados da complexidade obtidos através das análises do canto, encontramos que os cantos tiveram uma grande variação quanto ao total de sílabas, porém uma pequena variação quanto ao tipo de diferentes sílabas presentes nos cantos, resultando numa variação de apenas 7% entre os indivíduos. Outros autores como Airey & DeVoogd (2000) e Boogert et al. (2008) encontraram correlação positiva entre a complexidade do canto e a habilidade de aprendizagem, no entanto, estes autores utilizaram medida uma medida incompleta de complexidade (apenas o total de sílabas), o

que não engloba todos os aspectos de um canto complexo e por isso pode ter influenciado na diferença dos resultados encontrados. Além disso, segundo Williams (2004), o procedimento de categorização dos elementos como “iguais” ou “diferentes” é suscetível a subjetividade (Boogert et al. 2008) portanto não está livre de falhas, podendo algumas das sílabas contabilizadas como iguais serem diferentes e vice versa.

Boogert et al. (2008) em testes individuais com mandarins, encontraram resultados que corroboram a hipótese da capacidade cognitiva que afirma que a complexidade do canto se correlaciona positivamente com as performances de aprendizado, enquanto que Templeton et al. (2014) realizaram os mesmos testes com a mesma espécie, mas dessa vez em bandos, e assim como nós, não encontraram uma correlação positiva. Para eles, o contexto social pode ter obscurecido alguma possível correlação entre as habilidades (Templeton et al., 2014). No nosso caso, pode ter ocorrido o inverso. Por terem seus cantos gravados individualmente, os machos podem não ter desenvolvido seu melhor canto, mas um que fosse suficiente para chamar a atenção da fêmea na ausência de competidores. Neste caso, a complexidade do canto não estaria correlacionada à aprendizagem porque o macho não exibe tudo aquilo que teria aprendido.

Apesar do canto ser um sinal multifacetado do qual as fêmeas podem obter informações sobre diferentes aspectos da qualidade dos machos em diferentes escalas de tempo (Spencer, Buchanan, Goldsmith & Catchpole, 2003), talvez a habilidade de desenvolver cantos complexos simplesmente não seja um bom indicador de habilidades cognitivas. Como mostram estudos anteriores que indicam que a complexidade do canto é um bom indicador nos níveis de estresse vivido durante o desenvolvimento de mandarins (Spencer, Buchanan, Goldsmith & Catchpole, 2003). Ou seja, é possível que experimentos que testam a complexidade do canto, na verdade estejam testando a capacidade destes indivíduos a lidarem com estresse ao invés de testarem a capacidade cognitiva (Templeton et al., 2014).

Glasworthy (2005) em seu estudo inferiu que não há um acúmulo de evidências que provem a existência de uma inteligência geral em camundongos ou em seus desempenhos na resolução de tarefas cognitivas, enquanto Herrmann et al. (2010) também mostrou resultados que corroboram a existência de inteligências especializadas em análises de chimpanzés e crianças.

Considerando-se o conjunto de críticas, entendemos que faz-se necessário mais estudos para a inferência de uma modularização em aves, em outros animais e até em humanos. Novos tipos de testes cognitivos devem ser feitos, além de análises psicométricas das funções cerebrais de aves e outros animais.

## **5. CONCLUSÃO**

Nosso trabalho apresentou resultados que corroboram a hipótese de uma natureza cognitiva modularizada já que as habilidades de canto e forrageio não demonstraram estar correlacionadas em nossos experimentos. Contudo, novas pesquisas precisam ser feitas com outras medidas de canto e novos testes cognitivos para um melhor diagnóstico da existência de inteligências especializadas em aves e em outros animais.

## 6. REFERÊNCIAS

- AIREY, David C.; DEVOOGD, Timothy J. Greater song complexity is associated with augmented song system anatomy in zebra finches. **Neuroreport**, v. 11, n. 10, p. 2339-2344, 2000.
- BEECHER, Michael D.; BRENOWITZ, Eliot A. Functional aspects of song learning in songbirds. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 3, p. 143-149, 2005.
- BOOGERT, Neeltje J.; GIRALDEAU, Luc-Alain; LEFEBVRE, Louis. Song complexity correlates with learning ability in zebra finch males. **Animal Behaviour**, v. 76, n. 5, p. 1735-1741, 2008.
- BOOGERT, Neeltje J. et al. Song repertoire size in male song sparrows correlates with detour reaching, but not with other cognitive measures. **Animal Behaviour**, v. 81, n. 6, p. 1209-1216, 2011.
- BOUCHARD, Julie; GOODYER, William; LEFEBVRE, Louis. Social learning and innovation are positively correlated in pigeons (*Columba livia*). **Animal cognition**, v. 10, n. 2, p. 259-266, 2007.
- BRUMM, Henrik; SLABBEKOORN, Hans. Acoustic communication in noise. **Advances in the Study of Behavior**, v. 35, p. 151-209, 2005.
- BRUMM, Henrik; TODT, Dietmar. Male–male vocal interactions and the adjustment of song amplitude in a territorial bird. **Animal Behaviour**, v. 67, n. 2, p. 281-286, 2004.
- CATCHPOLE, Clive K.; SLATER, Peter JB. **Bird song: biological themes and variations**. Cambridge university press, 2003.
- CAUCHOIX, Maxime; CHAINE, Alexis S. How can we study the evolution of animal minds?. **Frontiers in Psychology**, v. 7, p. 358, 2016.
- CHIAPPE, Dan; MACDONALD, Kevin. The evolution of domain-general mechanisms in intelligence and learning. **The Journal of general psychology**, v. 132, n. 1, p. 5-40, 2005
- CRONEY, C. C. et al. A note on visual, olfactory and spatial cue use in foraging behavior of pigs: indirectly assessing cognitive abilities. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 83, n. 4, p. 303-308, 2003.
- DAVID, Morgan et al. Personality and body condition have additive effects on motivation to feed in Zebra Finches *Taeniopygia guttata*. **Ibis**, v. 154, n. 2, p. 372-378, 2012.
- DUKAS, Reuven; DUAN, Jian Jun. Potential fitness consequences of associative learning in a parasitoid wasp. **Behavioral Ecology**, v. 11, n. 5, p. 536-543, 2000.
- FERNÁNDEZ-JURICIC, Esteban; ERICHSEN, Jonathan T.; KACELNIK, Alex. Visual perception and social foraging in birds. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 1, p. 25-31, 2004.
- GALSWORTHY, Michael J. et al. Assessing reliability, heritability and general cognitive ability in a battery of cognitive tasks for laboratory mice. **Behavior genetics**, v. 35, n. 5, p. 675-692, 2005.
- GARDNER, Howard. **Inteligencias múltiples**. Barcelona: Paidós, 1998.
- GARDNER, Howard. **Frames of mind: The theory of multiple intelligences**. Hachette UK, 2011.
- GRIFFIN, Andrea S.; DIQUELOU, Marie; PEREA, Marjorie. Innovative problem solving in birds: a key role of motor diversity. **Animal Behaviour**, v. 92, p. 221-227, 2014.
- HERRMANN, Esther et al. The structure of individual differences in the cognitive abilities of children and chimpanzees. **Psychological Science**, v. 21, n. 1, p. 102-110, 2010.

- KEAGY, Jason; SAVARD, Jean-François; BORGIA, Gerald. Male satin bowerbird problem-solving ability predicts mating success. **Animal Behaviour**, v. 78, n. 4, p. 809-817, 2009.
- LEFEBVRE, Louis et al. Feeding innovations and forebrain size in Australasian birds. **Behaviour**, v. 135, n. 8, p. 1077-1097, 1998.
- MACPHAIL, Euan M.; BOLHUIS, Johan J. The evolution of intelligence: adaptive specializations versus general process. **Biological Reviews**, v. 76, n. 3, p. 341-364, 2001.
- MARLER, Peter; PETERS, Susan. A sensitive period for song acquisition in the song sparrow, *Melospiza melodia*: A case of age-limited learning. **Ethology**, v. 76, n. 2, p. 89-100, 1987.
- NOWICKI, Stephen; SEARCY, William A. Song function and the evolution of female preferences: why birds sing, why brains matter. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1016, n. 1, p. 704-723, 2004.
- NOWICKI, Stephen; SEARCY, William A. Song and mate choice in birds: how the development of behavior helps us understand function. **The Auk**, v. 122, n. 1, p. 1-14, 2005.
- PFAFF, Jeremy A. et al. Song repertoire size varies with HVC volume and is indicative of male quality in song sparrows (*Melospiza melodia*). **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1621, p. 2035-2040, 2007.
- REHKÄMPER, Gerd; ZILLES, Karl. Parallel evolution in mammalian and avian brains: comparative cytoarchitectonic and cytochemical analysis. **Cell and tissue research**, v. 263, n. 1, p. 3-28, 1991.
- RÍOS-CHELÉN, A. A. et al. The learning advantage: bird species that learn their song show a tighter adjustment of song to noisy environments than those that do not learn. **Journal of evolutionary biology**, v. 25, n. 11, p. 2171-2180, 2012.
- RODE, Catrin; WANG, Xiao-Tian. Risk-sensitive decision making examined within an evolutionary framework. **American behavioral scientist**, v. 43, n. 6, p. 926-939, 2000.
- RYAN, Michael J.; BRENOWITZ, Eliot A. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. **The American Naturalist**, v. 126, n. 1, p. 87-100, 1985.
- SEIDL DE MOURA, M. L.; OLIVA, A. D. Arquitetura da mente, cognição e emoção: Uma visão evolucionista. **Psicologia evolucionista**, p. 42-53, 2009.
- SHETTLEWORTH, Sara J. **Cognition, evolution, and behavior**. Oxford University Press, 2010.
- SIH, Andrew; DEL GIUDICE, Marco. Linking behavioural syndromes and cognition: a behavioural ecology perspective. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 367, n. 1603, p. 2762-2772, 2012.
- SOL, Daniel; TIMMERMANS, Sarah; LEFEBVRE, Louis. Behavioural flexibility and invasion success in birds. **Animal behaviour**, v. 63, n. 3, p. 495-502, 2002.
- SOL, Daniel; GRIFFIN, Andrea S.; BARTOMEUS, Ignasi. Consumer and motor innovation in the common myna: the role of motivation and emotional responses. **Animal Behaviour**, v. 83, n. 1, p. 179-188, 2012.
- SPEARMAN, Charles. "General Intelligence," objectively determined and measured. **The American Journal of Psychology**, v. 15, n. 2, p. 201-292, 1904.
- SPENCER, K. A. et al. Song as an honest signal of developmental stress in the zebra finch (*Taeniopygia guttata*). **Hormones and Behavior**, v. 44, n. 2, p. 132-139, 2003.
- TEMPLETON, Christopher N.; LALAND, Kevin N.; BOOGERT, Neeltje J. Does song complexity correlate with problem-solving performance in flocks of zebra finches?. **Animal Behaviour**, v. 92, p. 63-71, 2014.

TITULAER, Mieke; VAN OERS, Kees; NAGUIB, Marc. Personality affects learning performance in difficult tasks in a sex-dependent way. **Animal Behaviour**, v. 83, n. 3, p. 723-730, 2012.

THORNTON, Alex; SAMSON, Jamie. Innovative problem solving in wild meerkats. **Animal Behaviour**, v. 83, n. 6, p. 1459-1468, 2012.

THORPE, William Homan. THE LEARNING ABILITIES OF BIRDS. **Ibis**, v. 93, n. 2, p. 252-296, 1951.

OKANOYA, Kazuo. Song syntax in Bengalese finches: proximate and ultimate analyses. **Advances in the Study of Behavior**, v. 34, p. 297-346, 2004.

WILLIAMS, Heather. Birdsong and singing behavior. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1016, n. 1, p. 1-30, 2004.

WOOLEY, S.; RUBEL, E. Bengalese finches *Lonchura-striata-domestica* depend on auditory feedback for the maintenance of song. **J. Neuroscience**, v. 17, p. 6380-6390, 1997.