

A CITOGENÉTICA DA SEXAGEM MOLECULAR DE AVES SELVAGENS MONOMÓRFICAS E A INFLUÊNCIA NEGATIVA DE ANOMALIAS PIGMENTARES: REVISÃO DE LITERATURA

CARVALHO, Maysa Emanuela da Silva Rocha Holanda^{1*}

SILVA, Eduardo Henrique Amorim¹

DE SIQUEIRA, Ivaldo Victor Mota¹

DA SILVA, Ingrid Catão¹

JÚNIOR, Cláudio Galvão de Souza²

RESUMO

O Brasil apresenta a segunda maior biodiversidade de aves do mundo, entretanto, lidera o ranking de aves ameaçadas de extinção, sobretudo, devido às ações antropológicas sobre as aves e seu habitat. Logo, a sexagem citogenética, através da técnica de PCR e estudo de cariótipos, possibilita a identificação e manutenção de espécies ameaçadas. Outrossim, existem anomalias pigmentares que modificam os fenótipos das aves e, conseqüentemente, prejudicam a identificação de espécies. Assim, esse trabalho objetivou, através de uma revisão de literatura, discorrer sobre a importância da citogenética na sexagem molecular de aves selvagens monomórficas e evidenciar a influência negativa de anomalias pigmentares.

Palavras-chave: Triagem genética, dimorfismo sexual, biodiversidade, anormalidades fenotípicas.

ABSTRACT

Brazil has the second largest bird biodiversity in the world, however, it leads the ranking of endangered birds, mainly due to anthropological actions on birds and their habitat. Therefore, cytogenetic sexing, through the PCR technique and the study of karyotypes, enables the identification and maintenance of endangered species. Furthermore, there are pigmentary anomalies that modify the phenotypes of birds and, consequently, hinder the identification of species. Thus, this study aimed, through a literature review, to discuss the importance of cytogenetics in the molecular sexing of monomorphic wild birds and to highlight the negative influence of pigmentary anomalies.

Keywords: Genetic screening, sexual dimorphism, biodiversity, phenotypic abnormalities..

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta cerca de 1919 espécies de aves, ou seja, mais de 20% de todas as espécies de aves do planeta, das quais, 165 espécies estão na lista de ameaçadas de extinção. Segundo o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO), o país ocupa a segunda posição entre os países com maior número de espécies de aves no mundo, no entanto, ocupa a primeira posição na lista de países com espécies ameaçadas de extinção. Além disso, existe uma grande diversidade de espécies endêmicas do Brasil, o que corrobora com a problemática (MARINI; GARCIA, 2005).

¹Discente em Medicina Veterinária pela Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE - Garanhuns/PE - Brasil.

²Docente titular em Medicina Veterinária pela Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE - Garanhuns/PE - Brasil.

*Autor para correspondência, E-mail: ysa.ecarvalho@gmail.com

Frente aos problemas de perda de habitat, poluição por agrotóxicos, indústrias e por grandes cidades, destruição da flora nativa e de ecossistemas inteiros, além do tráfico e comércio ilegal de animais selvagens por todo o mundo, a criação de aves em cativeiro para a preservação e manutenção de espécies ameaçadas, vem sendo explorada como uma alternativa contra a extinção desses animais. Desse modo, zoológicos, santuários, centros de criação, conservacionistas, centros de triagem e o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis), tentam incansavelmente realizar a reprodução em cativeiro desses animais, com o intuito de promover a conservação de espécies em perigo de extinção e garantir a constância desses animais (VIEIRA; COELHO; OLIVEIRA, 2009).

Nesse cenário, a sexagem de aves apresenta-se como uma ferramenta de extrema importância na formação de casais que possam viabilizar a continuidade de espécies ameaçadas, haja vista que, quase metade das aves presentes no planeta não apresentam dimorfismo sexual, ou seja, não possuem características fenotípicas que as diferenciam sexualmente, como tamanho ou coloração das penas (POUGH; HARVEY, 1999). Assim, a sexagem citogenética destaca-se como técnica promissora pela segurança e facilidade de execução (GOLDSCHMIDT *et al.*, 1999), de modo que, em aves, é realizada principalmente, a partir de técnicas como o PCR e a cariotipagem, que explora a diferença entre os cromossomos alossômicos de aves que não apresentam o dimorfismo sexual (JUSTINO *et al.*, 2016).

Diferente dos mamíferos, a determinação do sexo das aves por cariotipagem, é realizada de acordo com o sistema ZZ-ZW, em que fêmeas (ZW) são heterogaméticas e machos (ZZ) homogaméticos (GIANNONI; GIANNONI; FERRARI, 1986; GIANNONI, 1988). Dessa maneira, após a meiose, parte dos óvulos serão Z, e parte W, enquanto nos machos, todos os espermatozoides terão um único cromossomo Z, que apresenta um tamanho bastante uniforme entre as espécies de aves. Já o cromossomo W, varia de tamanho para a maioria delas, de modo a apresentar similaridades morfológicas com os autossomos.

Logo, diante da importância da citogenética na sexagem molecular em aves selvagens para a formação de casais, manutenção e preservação de espécies que não apresentam dimorfismo sexual e estão ameaçadas, esse trabalho objetivou discorrer, por meio de uma revisão de literatura, sobre os principais pontos referentes à sexagem citogenética em aves, bem como as possíveis influências das anomalias pigmentares existentes para esses animais, produto da reprodução de pássaros selvagens.

2. RELEVÂNCIA DA SEXAGEM CITOGENÉTICA EM AVES SELVAGENS

A sexagem citogenética em aves monomórficas possui grande importância em diversas vertentes. No que tange à continuidade de espécies em cativeiro, essa, mostra-se imprescindível à realização de atividades que buscam aumentar o número de espécies ameaçadas. Além disso, destaca-se também a possibilidade da promoção de estudos comportamentais destas aves, já que, muitas vezes, dados sobre o comportamento de algumas espécies são escassos ou até inexistentes (FARIA; CARRARA; RODRIGUES, 2007). Outrossim, segundo o IBAMA, a sexagem de aves jovens é vital também, por questões de logística, afinal, evita a formação de pares do mesmo sexo, reduz o tempo de espera para saber o sexo do animal e evita a formação de casais de aves por endogamia.

Segundo VIEIRA; COELHO; OLIVEIRA, (2009), o manejo de aves vai além do senso comum, como alimentação, postura, por exemplo, e implica também o manejo genético, ou seja, é de grande relevância formar pares de aves em cativeiro, sob a visão de melhorar os resultados de procriação e diversificar os genes da prole, através de cruzamentos planejados geneticamente entre animais sem parentesco. Dessa maneira, pode-se evitar o aumento da homozigose de genes dominantes e recessivos e promover uma maior variabilidade genética (KLUG *et al.*, 2009).

A deriva genética, assim, ocorre aleatoriamente e causa mudanças nas frequências gênicas e alélicas, a partir do momento que a heterozigose é reduzida e podem-se manifestar os genes recessivos indesejáveis e efeitos deletérios que influenciam diretamente no fenótipo das aves e que ocasiona uma série de problemas de extrema relevância à preservação de espécies e aos estudos genéticos, como um aumento de mortalidade, redução de fertilidade e até a diminuição de resistência e consecutiva perda de vigor (FUTUYMA, 1992). Logo, a sexagem citogenética é indispensável para a constância de características genéticas.

3. ESTUDO DOS CARIÓTIPOS EM AVES

A cariotipagem de uma espécie é essencial para a sistemática no mapeamento gênico. É por meio do cariótipo que diversas informações a respeito das características genéticas de um animal ou linhagem são obtidas, assim, em virtude da detecção dos rearranjos cromossômicos, as análises filogenéticas e de conservação, bem como o conhecimento de doenças e fertilidades correlacionadas com alterações cromossômicas tornam-se ainda mais refinadas (MASABANDA; BURT; O'BRIEN, 2004; PIECZARKA; NAGAMACHI, 2004).

As diferentes espécies de aves frequentemente possuem um grande número de cromossomos, de modo a apresentar aproximadamente 40 pares de cromossomos na maioria das espécies. Além disso, diferindo dos cariótipos dos mamíferos, os cariótipos das aves

apresentam-se de forma bimodal, compreendendo 8 pares de macrocromossomos, que são relativamente grandes e 32 pares de microcromossomos, com pequeno tamanho. Dentre essas distinções, os cromossomos sexuais classificam-se como macrocromossomos (TAKAGI; SASAH, 1974; GRIFFIN *et al.*, 2008).

Além disso, a identificação dos cromossomos sexuais é feita, geralmente, utilizando-se a técnica de bandeamento C, proposta por SUMNER (1972), enquanto a ordenação dos cromossomos nos cariótipos é feita conforme LEVAN; FREDGA; SANDBERG, 1964; LEDESMA; GARNERO; GUNSKI, 2002).

4. SEXAGEM MOLECULAR EM AVES

A sexagem molecular é uma ferramenta de extrema importância para a identificação de machos e fêmeas de aves monomórficas, utilizada nas mais diversas áreas de pesquisa, como conservação biológica, genética, evolução e comportamento. Dessa forma, a identificação molecular do sexo de animais adultos é realizada tanto para as espécies que apresentam dimorfismo sexual aparente, como para aquelas que não apresentam diferenças morfológicas ou que possuem distinções discretas entre os dois sexos (JERONIMO, 2016).

A técnica de Reação em Cadeia de Polimerase (PCR), pode ser utilizada para realizar a sexagem de aves através de uma extração de DNA, segundo os protocolos estabelecidos (SAMBROOK; FRITSCH; MANIATIS, 1989; RUDBEK; DISSING, 1998), através de uma coleta incisiva de opções como sangue, penas e pedaços de unhas, que é capaz de revelar a composição dos cromossomos sexuais e determinar assim, o sexo da ave.

Para a realização de PCR em aves, fazem-se necessários alguns procedimentos, tais como a imobilização física do animal, a coleta do material genético, a extração do DNA e posteriormente, os genes são amplificados para que seja possível observar as bandas geradas por eletroforese. Dessa forma, realiza-se a classificação dos genes Z e W e assim a sexagem da ave. Logo, esses fatores facilitam, em rotina de zoológicos e centros de triagem, a identificação dos sexos para catalogação de espécimes fêmeas e machos recém chegados nesses locais. Mediante os passos citados, o processo de determinação sexual por sexagem molecular, costuma demorar três dias e é realizado com material biológico como sangue coletado de veias periféricas, pequeno corte da unha, do bulbo da pena arrancada e até de um swab oral ou cloacal, além de fezes da ave (DE ANTONIO; FRAGA; TOMAZI, 2021).

Além disso, alguns marcadores moleculares utilizados para a sexagem são a presença do gene CHD (*Chromo-helicase-DNA-binding*) e a ausência do gene DMRT1 (*Doublesex and Mab-3 Related Transcription Factor 1*) no cromossomo W. Dessa maneira, o primeiro gene

está relacionado a dois outros, o CHD-Z e o CHD-W, um em cada cromossomo sexual, permitindo assim, a sexagem. Já o gene DMRT1, por ser ausente no cromossomo W, facilita a sexagem (GRIFFITHS *et al.*, 1996; TAKAGI; ITOH; SASAKI, 1972; SHETTY *et al.*, 2002; DE ANTONIO; FRAGA; TOMAZI, 2021).

A identificação dos sexos, oriunda da sexagem molecular, em aves monomórficas, é de extrema importância quando comparado ao sucesso da reprodução de matrizes selvagens (RASO; WERTHER, 2004). Logo, passa a ser uma ferramenta relevante para a realização de estudos comportamentais e populacionais em pássaros que não apresentam dimorfismo sexual aparente (FARIA; CARRARA; RODRIGUES, 2007). No entanto, existem fatores que podem interferir negativamente na conclusão desses resultados, explicado pelo fato de algumas anomalias pigmentares possuírem o poder de confundir a identificação das espécies que já são definidas por um padrão fenotípico específico. Nesse âmbito, as anomalias foram responsáveis, em dado momento, por causarem problemas taxonômicos, através de descrições precipitadas de “novas espécies” (SIGRIST, 2006).

5. ANOMALIAS GENÉTICAS PIGMENTARES EM AVES SELVAGENS

No estudo da sexagem molecular, importante mecanismo citogenético que auxilia na diferenciação dos sexos, quando não há dimorfismo sexual nas aves, há poucas vertentes que levam às mutações genéticas geradas ainda nos folhetos embrionários e resultam, de forma visível em animais já nascidos, deformidades, alterações cromáticas, alterações físicas, disfunções hormonais e anormalidades pigmentares relacionadas à endogamia, hibridismo, deficiência nutricional, falta de exposição à luz solar e contaminação ambiental (BENSCH *et al.*, 2000; MØLLER; MOUSSEAU, 2001). Essas mutações podem atingir não só os genes codificadores de pigmentos das aves selvagens; pode deixar de ser produzido ou produzido em maior, ou menor quantidade, mas também mutações que possam alterar, além da sua morfologia, a anatomia funcional, a fisiologia e o funcionamento metabólico das aves (WIKI AVES, 2013).

Nesse viés, em vida livre, esses animais podem ser prejudicados por não encontrarem, no caso das aves gregárias, bandos que os acolham, impossibilitando o animal de formar pares e de nidificar em períodos de reprodução específicos de cada espécie, tendo como produto uma baixa na população normal e um aumento significativo da infertilidade, explicado por apresentarem diferentes características fenotípicas em relação aos demais, casos que declinam a dinâmica padrão da biodiversidade de animais não só nativos, mas também exóticos. Mutações que alteram a genética conformacional e molecular possuem a

tendência de alterar locos que são padronizados para um determinado fenótipo, que podem ser listados e descritos de acordo com os padrões de espécimes de diferentes espécies encontradas não só em cativeiro, mas também em vida selvagem (MULVIHILL; LEPPOLD, 2005).

5.1 Ginandromorfismo Bilateral

Em sua etimologia, do grego *gynos*; feminino, e *andros*; masculino, o ginandromorfismo bilateral é, assim como a maioria das anomalias em aves selvagens, uma condição rara, mas não incomum, em que, animais que apresentam essa condição possuem características do macho (ZZ) e da fêmea (ZW), atingindo não só os órgãos reprodutivos, mas também o fenótipo da ave, além de apresentar sexos diferentes em cada metade do corpo. O ginandromorfismo ocorre quando o óvulo da fêmea se desenvolve com dois núcleos — um com um cromossomo Z e outro com um W — sendo fertilizado duas vezes por dois espermatozoides com um cromossomo Z. As aves que apresentam o ginandromorfismo são geneticamente separadas por uma linha que percorre o eixo central do animal, o separando em características masculinas à direita e femininas à esquerda. No caso, é mais provável que seja notado, ao olhar humano, em espécies nas quais os machos e as fêmeas possuem fenótipos distintos na fase adulta quanto à sua coloração, ou seja, apresentando dimorfismo sexual (CALDWELL; JEFFREY, 2019).

Nessa condição, existem aves que possuem os cromossomos alossômicos geneticamente normais em cada lado do corpo, podendo, em algum momento com estudo aprofundado, comprovar a teoria de pesquisadores: as aves com essa mutação genética são quase como gêmeos bivitelinos unidos pelo centro anatômico. Outra teoria que pode explicar a condição, é a de uma determinada falha na formação dos óvulos, assim, quando as fêmeas produzem um ovo, a célula deve, por obrigatoriedade, descartar metade de seus cromossomos no corpo polar, entretanto, se o ovo mantiver esse corpo de DNA, ele pode formar seu próprio núcleo, sendo fertilizado e desenvolvendo tanto o óvulo quanto o próprio corpo polar (GALILEU, 2019).

Se dois espermatozoides fertilizarem um óvulo com dois núcleos, sendo diferente de um núcleo apenas, esses corpos começam a se dividir separadamente, e cada lado do corpo da prole pode ter seu próprio sexo, com um lado que expressa cromossomos femininos e o outro lado, masculino. No viés reprodutivo, quanto à capacidade de nidificação da ave, há uma chance de fertilidade consideravelmente pequena que possa ser aproveitada. Nas aves, apenas o ovário esquerdo é funcional, sendo compatível com a posição do sexo feminino na

bilateralidade, a ave pode reproduzir espécimes novas, caso acasale incisivamente com um macho (CASSELLA, 2021). Em outras situações, cruzamentos entre espécies que apresentam anel circumocular, com outra que esse anel é inexistente, tem a tendência de gerar indivíduos que são sexualmente estéreis, não produzindo descendentes de uma prole que sejam viáveis à reprodução (MUÑOZ-GIL, 2015).

5.2 Leucismo

O leucismo é uma mutação cromática genética que decorre de um bloqueio da síntese de melanina, causado por um gene recessivo, provocando a perda da pigmentação nas penas e das estruturas tegumentares brancas ou acinzentadas das aves e que é facilmente confundido com o albinismo (DA SILVA, 2018, p. 123). No entanto, a anomalia descrita acontece quando há plumagem e outras partes do corpo desprovidas de coloração, tendo como diferença mais visível, quando comparada com o albinismo, a presença do pigmento melanina em outras partes do corpo, como olhos, bico e tarso (GRILLI; MOSCHIONE; BURGOS, 2006; VAN GROUW, 2006).

O leucismo pode ser dividido em dois grupos distintos, o leucismo total e parcial. O leucismo total apresenta toda a plumagem com tonalidade esbranquiçada e a parcial, quando algumas penas apenas são afetadas. Nesse caso, os melanoblastos, ou seja, as células pigmentares originadas nas cristas neurais não são produzidas (VAN GROUW, 2013). Nesse âmbito, a mutação não apresenta uma causa específica, mas, pode ser resultado de fatores provenientes de problemas no metabolismo, na alimentação, como dieta deficiente, de expressões de alelos mutantes, desvios da expressão do gene que modificam a pigmentação durante o desenvolvimento da plumagem e de conflitos intraespecíficos (BUCKLEY, 1982; BENSCH *et al.*, 2000; MØLLER; MOUSSAEU, 2001).

Em vida livre, apesar de ocorrer em uma frequência inferior a 1%, o leucismo é capaz de afetar vários aspectos que desequilibram as vertentes ecológicas das espécies, como, por exemplo, a própria reprodução, a aquisição de alimentos por caça e a exploração da área em que vivem, além da ausência de proteção, explicada pelo resultado da falta de pigmentação na plumagem, o fato evita que a coloração apresentada por esses animais seja utilizada positivamente na camuflagem, tornando-os mais susceptíveis a ser caça de seus predadores naturais (SICK, 1997; SHOCHAT *et al.*, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2008).

Nessa linha, sobre o declínio populacional dessas aves, conseguir monitorar os casos de leucismo em pássaros selvagens pode ser uma ferramenta de estudo de populações ilhadas

geograficamente, ou também resultar em estudos de populações que foram reduzidas pelo efeito da endogamia, explicada por esses motivos (CECÍLIA *et al.*, 2017).

5.3 Albinismo

O albinismo ocorre por uma mutação em que acontece um distúrbio genético caracterizado pela ausência da enzima tirosinase, que catalisa a reação de formação da eumelanina e feomelanina a partir do aminoácido tirosina, de aves selvagens, sendo visível em penas, olhos e pele uniformemente. Um indivíduo albino possui baixa resistência, principalmente ao sol, apresentando visão mais fraca, e, em algumas vezes, fotofobia (DE LA PEÑA; BRUNO, 2008). A coloração vermelha ou rosa, que é típica dos olhos e da pele, deve-se à intensa circulação do sangue, além disso, há também uma pigmentação natural que é oriunda da rotina de alimentação e nutrição desses pássaros, podendo ser pigmentados pela influência de carotenóides, pois indivíduos albinos não são necessariamente brancos (URCOLA, 2022).

Aves portadoras da mutação do albinismo, de vida livre, em virtude das próprias dificuldades causadas pela visão, dissimilação do meio ambiente, falta de pigmento nos olhos, são motivos plausíveis da não permanência, por muito tempo, em condições selvagens comparado a outros animais que apresentam pigmentação total. Para esses animais, a vida em cativeiro é previsivelmente mais segura, evitando predação por cadeia alimentar e sendo uma das formas mais seguras de manter sua sobrevivência (VEIGA; PARDO, 1990).

Quanto à reprodução, o albinismo carrega caráter recessivo, assim sendo, um espécime de ave albina pode formar um par e ser cruzada com uma ave normal sem que gerem filhotes albinos em sua prole. No entanto, os produtos do cruzamento podem gerar animais heterozigotos com possibilidade de produzirem portadores da anomalia genética (HARRIS, 1962; LERNER; FITZPATRICK, 1950; MAYS, 1981; VEIGA; PARDO, 1990).

5.4 Melanismo

O melanismo é caracterizado pelo aumento da produção da melanina, conferindo uma coloração mais escura quando comparada à coloração padrão de uma determinada ave selvagem, e o pássaro, em seu fenótipo, apresenta a coloração uniformemente preta. É mais encontrada, geralmente, em aves de rapina como gaviões, águias e falcões, chamados de morfo escuro, fase escura, ou o termo em inglês “dark morph”. O melanismo é mediado, muitas das vezes, por substituições de aminoácidos na proteína do gene MC1R. Espécies com

reduzida funcionalidade do receptor estão diretamente ligadas com um aumento significativo da eumelanina, responsável pelo pigmento preto, cinza e marrom (THERON *et al.*, 2001).

O melanismo se distingue em duas formas diferentes, eumelanismo (aumento da eumelanina, plumagem com aparência enegrecida, ocorrendo com mais frequência) e feomelanismo (aumento de feomelanina, apresentando plumagem da cor marrom avermelhado). Nessa linha de raciocínio, há o melanismo parcial, causado por determinada doença, má nutrição ou baixa exposição à luz solar e não por mutação genética. Se o fenômeno acontecer, de determinada forma, sendo resultado dessas causas, a plumagem normal aparece na próxima muda da ave (URCOLA, 2022).

O melanismo em aves selvagens de vida livre está diretamente relacionado com funções ecológicas adaptativas bem específicas para as espécies, como, por exemplo, a proteção física, termorregulação, proteção contra parasitos, camuflagem e também de sinalizações visuais (MUNDY, 2005).

5.5 Esquizocromismo

O esquizocromismo é a ausência total ou parcial de uma, ou ambas melaninas (feomelanina e eumelanina). É uma anomalia presente em espécies que possuem, em seu genótipo, ambos os tipos de melanina na plumagem. No caso de ausência total, existem os carotenóides, pigmentos coloridos, que vão, em suas cartelas de cores, do amarelo ao vermelho, explicado pela cor das aves que apresentam essa mutação, com a função, também, de as proteger do excesso de luz causados pelo sol (URCOLA, 2022). Assim, há dois tipos de classificação de esquizocromismo:

5.5.1 Flavismo

É a eliminação parcial da melanina, ainda podendo ser observado um pouco da cor original da ave. Algumas penas naturalmente esverdeadas tornam-se amareladas. A ave flavística, ou, em outra literatura, canela, apresenta-se com a coloração diluída, devido à perda de parte da melanina, tanto da eumelanina como da feomelanina (WIKI AVES, 2013). Pode ser ocasionado por fatores diversos, como hipotireoidismo, distúrbios nutricionais, toxicoses crônica por chumbo, tumor de pituitária, circovirose, mutações genéticas, coccidiose ou terapia com tiroxina (VIEIRA, 2018).

5.5.2 Lutinismo

É a eliminação total da melanina, no entanto, há a presença dos carotenóides, pigmentos amarelos ou avermelhados. As aves lutinas geralmente apresentam avermelhamento da íris, além de plumagem na coloração amarela ou vermelha, sendo observada na maioria das aves, exceto na ordem dos Psittaciformes, que apresentam a psitacina, seu pigmento específico (SICK, 1997).

6. CONCLUSÃO

Diante da ameaça de extinção de aves selvagens por ações antrópicas na natureza, a sexagem citogenética de aves monomórficas é encarada como uma solução alternativa na preservação, reprodução e manejo genético destas aves. Portanto, na citogenética, através de ferramentas voltadas à sexagem molecular, como a técnica de PCR, o produto da identificação sexual, realizada por essa técnica, é registrada mediante ao uso de microchips e anilhamento, etiquetas indispensáveis para esses animais, e, dessa forma, auxilia nos processos de catalogação de forma instantânea em zoológicos, centros de triagem e santuários de pássaros oriundos de tráfico ilegal e resgate de fauna. Outrossim, nesse nicho, diante das diversas anomalias pigmentares, há uma escassez de estudos publicados que visem identificar a correlação entre as anomalias pigmentares e suas influências negativas na sexagem de aves monomórficas através da sexagem molecular, distorcendo ideias voltadas à necessidade científica de relacionar o desequilíbrio entre as duas vertentes, e, desse modo, mais estudos nessa área são necessários.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENSCH, S.; HANSSON, B.; HASSELDUIST, D.; NIELSEN, B. **Partial albinism in a semi-isolated population of great reed warblers**. *Hereditas*, 133: 167-170, 2000.

BUCKLEY, P. A. Avian genetics, p. 21-110. In: Petrak, M. L. (Orgs.). **Diseases of cage and aviary birds**. Lea & Febiger, Philadelphia, p. 1008, 1982.

CALDWELL, S; JEFFREY, C. **Metade macho, metade fêmea: raro cardeal-do-norte encontrado nos EUA**. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2019/02/metade-macho-metade-femea-raro-cardeal-do-norte-encontrado-nos-eua>>, 2019.

CASSELLA, C. **Biologists find spectacular bird that's both male and female, split down the middle.** Disponível em: <<https://www.sciencealert.com/this-spectacular-bird-is-male-on-one-side-and-female-on-the-other>>, 2021.

CECÍLIA, A. *et al.* **Anomalias cromáticas em aves provenientes do tráfico de animais silvestres em Alagoas, Brasil.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319879249_Anomalias_cromaticas_em_aves_provenientes_do_trafico_de_animais_silvestres_em_Alagoas_Brasil>, 2017.

DA SILVA, J. N.; DE AZEVEDO, C. S. **Leucismo em três espécies de aves em um fragmento florestal da região serrana do Espírito Santo, sudeste do Brasil.** Bol. Mus. Biol. Mello Leitão (N. Sér.) 40(2):123-129, 2018.

DE ANTÔNIO, E. S.; FRAGA, R. E.; TOMAZI, L. **Sexagem molecular em araras vermelhas e Centros de Triagem de Animais Silvestres: Revisão.** PUBVET, v. 15, p. 180, 2021.

DE LA PEÑA, M. R.; BRUNO, F. **Albinismo em aves argentinas.** EcoScience and Nature, 10: 34-38, 2008.

FARIA, L. P.; CARRARA, L. A.; RODRIGUES, M. **Sexual size dimorphism in henna-capped folige-gleaner *Hylocryptus rectirostris* (Wied) (Aves, Furnariidae).** Revista Brasileira de Zoologia, v.24, 207-212, 2007.

FUTUYMA, D. J. **Biologia evolutiva.** Ribeirão Preto: SBG, 1992.

GALILEU. **Rara condição faz animais serem metade fêmea, metade macho.** Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2019/04/rara-condicao-faz-animais-serem-metade-femea-metade-macho.html>>, 2019.

GIANNONI, M. L. **Sexagem de aves por métodos citogenéticos.** In: Congresso Latino Americano em Medicina Veterinária de Animais Silvestres. 1º, Niterói. Anais, 1988.

GIANNONI, M. L.; GIANNONI, M. A.; FERRARI, I. **Citogenética aplicada às aves: técnicas.** Piracicaba, FEALQ. p. 121, 1986.

GOLDSCHMIDT, B. *et al.* **Sexagem citogenética em passeriformes (aves).** Revista Brasileira de Ciência Veterinária, v. 6, n. 2, 1999.

GONÇALVES, J. R.; SILVA, E. A.; DE LUCA, A. C.; PONGILUPPI, T.; MOLINA, F. B. **Record of a leucistic rufous-bellied thrush *Turdus rufiventris* (Passeriformes, Turdidae) in São Paulo city, Southeastern Brazil.** Revista Brasileira de Ornitologia, 16(1): 72-75, 2008.

GRIFFIN, D. K. *et al.* **Whole genome comparative studies between chicken and turkey and their implications for avian genome evolution.** BMC Genomics 9: 168, 2008.

GRIFFITHS, R.; DOUBLE, M. C.; ORR, K.; DAWSON, R. J. G. **A DNA test to sex most birds.** Molecular Ecology, 7(8), 1071–1075. <<https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00389.x>>, 1998.

GRILLI, P. G.; MOSCHIONE, F. N.; BURGOS, F. G. **Leucismo parcial en pepitero de collar *Saltator aurantirostris* en Santa Bárbara, Jujuy, Argentina.** Cotinga, v. 25, p. 89-90, 2006.

HARRIS, H. Biochemical Genetics. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 554p, 1962.

ITOH, Y. *et al.* **Sex bias and dosage compensation in the zebra finch versus chicken genomes: general and specialized patterns among birds.** Genome Research 20: 512-518, 1962.

JERONIMO, B. C. **Caracterização da região MHM em aves: padrões diferenciais de metilação em machos e fêmeas.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas (Genética) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2016.

JUSTINO, R. C. *et al.* **Identificação do sexo de gansos domésticos (*anser anser*): comparação da técnica de sexagem cromossômica e a inspeção pós-anestésica da cloaca.** Ars Veterinaria, v. 32, n. 1, p. 74-80, 2016.

KLUG. *et al.* **Conceitos de genética.** Artmed Editora, 2009.

KNACKFUSS, F. B. *et al.* **Sexagem de Aves da Espécie *Amazona aestiva* (Papagaio Verdadeiro) por meio de técnica de PCR.** PUBVET, v. 14, p. 135, 2020.

LEDESMA, M. A.; GARNERO, A. D. V.; GUNSKI, R. J. **Análise do cariótipo de duas espécies da família Formicariidae (Aves, Passeriformes)**. Ararajuba, v. 10, n. 1, p. 15-19, 2002.

LERNER, A. B.; FITZPATRICK, T. B. **Biochemistry of Melanin Formation**. *Physiol. Rev.* 30: 91-126, 1950.

LEVAN, A.; FREDGA, K.; SANDBERG, A. **Nomenclature for centromeric position on chromosomes**. *Hereditas* 52:201-220, 1964.

MARINI, M. A.; GARCIA, F. I. **Conservação de aves no Brasil**. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 95-102, 2005.

MASABANDA, J. S.; BURT, D. W.; O'BRIEN, P. C. M. **Molecular cytogenetic definition of the chicken genome: the 1st complete avian karyotype**. *Genetics* 166:1367–1373, 2004.

MAYS, L. L. **Genetics: a Molecular Approach**. New York, MacMillan Publ. Co., 639p, 1981.

MØLLER, A. P.; MOUSSAEU, T. A. **Albinism and phenotype of barn swallows (*Hirundo rustica*) from Chernobyl**. *Evolution*, 55: 2097-2104, 2001.

MULVIHILL, R.; LEPPOLD, A. **Powdermill banding fall**. Disponível em: <http://www.powdermillarc.org/archives/Powdermill%20Website%20Original/Pictorial_Highlights_090605.html?fbclid=IwAR3wygqPkluWWh86U-V6TAg4DCparSuriUcDIzRPgWKdIa3mxKd1zRxg5Y>, 2004.

MUNDY, N. I. **A window on the genetics of evolution: MC1R and plumage colouration in birds**. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272:1633-1640, 2005.

MUÑOZ-GIL, J. **Ginandromorfismo Bilateral en *Agapornis* Sp. (Psitaciformes: Psittaculidae)**. *The Biologist (Lima)*, v. 13, n. 1, 2015.

PIECZARCA, J. C.; NAGAMACHI, C. Y. **Pintura cromossômica como instrumento para estudos filogenéticos em primatas**, p. 115-132. Em: M. Guerra (ed.). *FISH: Conceitos e Aplicações na Citogenética*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2004.

- POUGH, J.; HARVEY, F. **A vida dos vertebrados**. 2.ed. São Paulo: Atheneu, p. 798, 1999.
- RASO, T. F.; WERTHER, K. **Sexagem cirúrgica em aves silvestres**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.56, n.2, p.187-192, 2004.
- RUDBEK, L.; DISSING, J. **Rapid simple alkaline extraction of human genomic DNA from whole blood, buccal epithelial cells, semen and forensic stains for PCR**. Biotechniques, v.25, p.588-592, 1998.
- SAMBROOK, J.; FRITSCH, E. F.; MANIATIS, T. **Molecular cloning: a laboratory manual**. New York: CSHL Press, 1989.
- SHETTY, S.; KIRBY, P.; ZARKOWER, D.; GRAVES, J. A. M. **DMRT1 in a ratite bird: evidence for a role in sex determination and discovery of a putative regulatory element**. Cytogenetic and Genome Research, 99(1–4), 245–251. <<https://doi.org/10.1159/000071600>>, 2002.
- SHOCHAT, E.; LERMAN, S. B.; KATTI, M.; LEWIS, D. B. **Linking optimal behavior to bird community structure in an urban-desert landscape: field experiments with artificial food patches**. The American Naturalist, 164 (2): 232-243, 2004.
- SICK, H. **Ornitologia brasileira: uma introdução**. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, p. 912, 1997.
- SICK, H.; PACHECO, J. F. **Ornitologia Brasileira - Edição revista e ampliada**. 3.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 84-92, 2001.
- SIGRIST, T. **Aves do Brasil: uma visão artística**. São Paulo: Avis Brasilis, v. 2, 2006.
- STRAUB, T.; BECKER, P. B. **Dosage compensation: the beginning and end of generalization**. Nature Reviews Genetics 8: 47-57, 2007.
- SUMNER, A. T. **A simple technique for demonstrating centromeric heterochromatin**. Expl. Cell. Res. 75:304-306, 1972.
- TAKAGI N.; SASAKI, M. **A phylogenetic study of bird karyotypes**. Chromosoma 46: 91-120, 1974.

TAKAGI, N.; ITOH, M.; SASAKI, M. **Chromosome studies in four species of Ratitae (Aves)**. *Chromosoma*, 36(3), 281–291. <<https://doi.org/10.1007/BF00283247>>, 1972.

THERON, E.; HAWKINS, K.; BERMINGHAM, E.; RICKLEFS, R. E.; MUNDY, N. I. **The molecular basis of an avian plumage polymorphism in the wild: a melanocortin1-receptor point mutation is perfectly associated with the melanistic plumage morph of the bananaquit, *Coereba flaveola***. *Curr Biol* 11: 550–557, 2001.

URCOLA, M. R. **Aberraciones cromáticas en aves de la colección ornitológica del Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”**. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, v. 13, n. 2, p. 221–228, 2022.

VAN GROUW, H. **Not every white bird is an albino: sense and nonsense about colour aberrations in birds**. *Dutch Birding*, v. 28, p. 79–89, 2006.

VAN GROUW, H. **What colour is that bird? The causes and recognition of common colour aberrations in birds**. *British Birds*, 106:17–29, 2013.

VEIGA, L. A.; PARDO, E. **Ocorrência de um caso de albinismo em sabiá laranjeira**. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*. 33: 329–333, 1990.

VIEIRA, A. D. S. M. **Principais causas de alteração da coloração de penas em papagaio verdadeiro (*Amazona aestiva*)**, 2018.

VIEIRA, J. N.; COELHO, E. G. A.; OLIVEIRA, D. A. A. **Sexagem molecular em aves silvestres**. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 33, n. 2, p. 66–70, 2009.

WIKI AVES. **As mutações que acometem as aves**. *WikiAves - A Enciclopédia das Aves do Brasil*. Disponível em: <<https://www.wikiaves.com.br/wiki/leucismo>>, 2013.