



Universidade Federal do Pará

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Programa de Pós-graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento

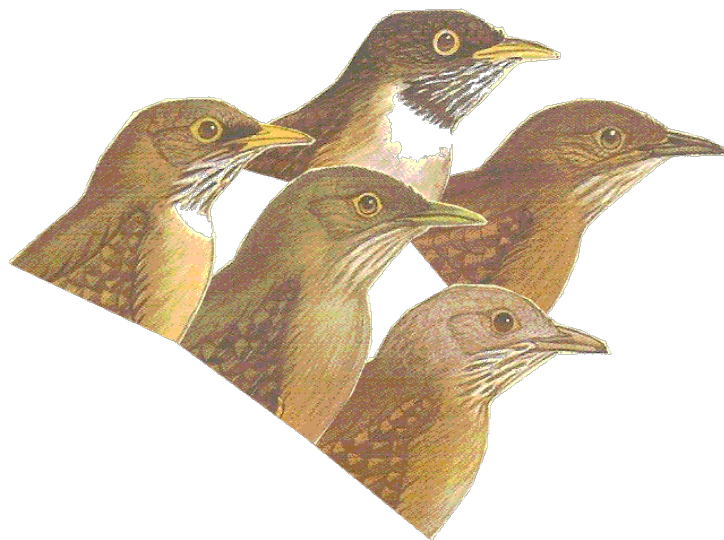
Estrutura e organização de sistemas complexos de comportamento vocal em
cinco espécies do Gênero *Turdus* (Aves, Passeriformes, Turdinae)

LUIS FERNANDO TEIXEIRA NASCIMENTO

BELÉM

Fevereiro/2012

LUIS FERNANDO TEIXEIRA NASCIMENTO



**Estrutura e organização de sistemas complexos de comportamento vocal em
cinco espécies do Gênero *Turdus* (Aves, Passeriformes, Turdinae)**

Belém
Fevereiro/2012

LUIS FERNANDO TEIXEIRA NASCIMENTO

Estrutura e organização de sistemas complexos de comportamento vocal em cinco espécies do Gênero *Turdus* (Aves, Passeriformes, Turdinae)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre.

Área de Concentração: Ecoetologia

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Luisa da Silva.

Belém
Fevereiro/2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central da UFPA- Belém- PA

Nascimento, Luis Fernando Teixeira

Estrutura e organização de sistemas complexos de comportamento vocal em cinco espécies do Gênero *Turdus* (Aves Passeriformes, Turdinae) / Luis Fernando Teixeira Nascimento. – 2012.

Orientadora : Maria Luisa da Silva

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento, 2012.

1. Ave- comportamento- Brasil. 2. Som produzido por animais. 3. Comunicação animal. I. Título.

CDD 22. ed.: 598.0981



Serviço Público Federal
Cidade Universitária Prof. José da Silveira Neto
Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento
Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento

Dissertação de Mestrado


“Estrutura e organização de sistemas complexos de comunicação sonora e análise de reconhecimento específico do canto em cinco espécies do Gênero *Turdus* (Aves, Passeriformes, Turdinae)”.

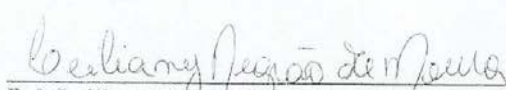
Candidato: LUIS FERNANDO TEIXEIRA NASCIMENTO

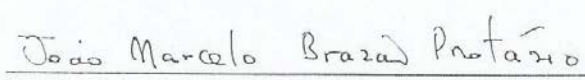
Data da Defesa: 07 de Março de 2012.

Resultado: Aprovada.

Banca examinadora:


Prof.^ª Dr.^ª Maria Luisa da Silva (UFPA), Orientadora.


Dr.^ª Leiliany Negrão de Moura (UFPA), Membro.


Prof. Dr. João Marcelo Brazão Protázio (UFPA), Membro.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Luisa da Silva

Universidade Federal do Pará

Instituto de Ciências Biológicas

Orientadora

Prof.^a Dr. João Marcelo Brazão Protázio

Universidade Federal do Pará

Instituto de Ciências Exatas e Naturais

Membro

Dr.^a Leiliany Negrão de Moura

Universidade Federal do Pará

Instituto de Ciências Biológicas

Membro

Prof.^a Dr.^o Manoel da Silva Filho

Universidade Federal do Pará

Instituto de Ciências Biológicas

Suplente

Ao meu Tio José Matias de Lima (*in memoriam*),
Ao Prof.º Dr. Jacques Vielliard (*in memoriam*),
E a Joaquim Padilha (*in memoriam*).

Grandes e sábios homens que tive o prazer de conhecer.

AGRADECIMENTOS

- A Prof.^a Dr. Maria Luisa da Silva, que além de tornar possível esse trabalho por meio de sua orientação mostra-me diariamente, entre outras, a qualidade de acreditar fielmente na capacidade de seus alunos, até mesmo quando os próprios têm dúvidas de tal capacidade;
- A meu pai, amigo e conselheiro Fernando Moraes do Nascimento. Tento guardar todos os seus ensinamentos comigo. A minha mãe e orientadora na vida Roza de Fatima Teixeira Nascimento, a flor mais linda do meu jardim. E para fechar o núcleo familiar, a minha irmã Raquel Teixeira Nascimento.
- A todos meus parceiros de laboratório: Amanda Monte, Leiliany Negrão de Moura, Viviany do Amaral Costa, Angélica Rodrigues, Duan Brito e Rodrigo Matos por todas as contribuições, principalmente as duas primeiras, e momentos divertidos.
- A Milene Corbo da Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard da UNICAMP, por sua disponibilidade, responsabilidade e agilidade em fornecer as gravações e informações relevantes.
- A minha namorada e companheira de quase todas as horas e momentos Natália Padilha. Obrigado, amor.
- A UFPA que sedia minha pós e oferece todo o apoio logístico.
- A todos os professores/pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento, por contribuir de alguma forma com a minha intenção de me formar um pesquisador.
- Ao CNPq por financiar minha bolsa de pesquisa.
- E a divindade máxima da minha formação religiosa cristã, que acredito ser interessado e benevolente com os rumos da minha vida. Obrigado, meu Deus.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	I
LISTA DE FIGURAS, QUADROS E TABELAS	III
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. COMUNICAÇÃO E ESPECIFICIDADE SONORA DO CANTO DAS AVES	1
1.2. APRENDIZAGEM SONORA E SUA CONTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO SEXUAL EM AVES	4
1.3. TEORIA DA INFORMAÇÃO	6
2. JUSTIFICATIVA	7
2.1. OBJETIVOS	9
2.1.1. Objetivo geral.....	9
2.1.2. Objetivos específicos.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. OBJETOS DE ESTUDO	10
3.1.1. Classificação taxonômica e características das espécies	10
3.2. ÁREAS DE ESTUDO NA REGIÃO DA CIDADE DE BELÉM.....	15
3.2.1. Universidade Federal do Pará	15
3.2.2. Parque Ecológico de Gunma (PEG)	16
3.3. REGISTRO, SELEÇÃO E ANÁLISES DOS SONS	17
3.4. TEORIA DA INFORMAÇÃO E CÁLCULO DA ENTROPIA	20
4. RESULTADOS	22
4.1. NOTAS E FRASES	26
4.2. REPERTÓRIO E ENTROPIA.....	35
4.3. PARÂMETROS FÍSICOS DO SOM	41
4.4. AGRUPAMENTO E ANÁLISE MULTIVARIADA	49
5. DISCUSSÃO	55
5.1. TIPOS DE NOTAS E FRASES.....	55
5.2. REPERTÓRIO E ENTROPIA.....	56
5.3. PARÂMETROS FÍSICOS.....	58
5.4. AGRUPAMENTO E ANÁLISE MULTIVARIADA	59
6. CONCLUSÕES	64

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS66

LISTA DE FIGURAS, QUADROS E TABELAS

Figura 1. Sabiá-laranjeira <i>Turdus rufiventris</i> em ambiente natural. Foto de Leiliany N. de Moura.	11
Figura 2. Sabiá-branco <i>Turdus leucomelas</i> em ambiente natural. Foto de Leiliany N. de Moura.	12
Figura 3. Sabiá-poca <i>Turdus amaurochalinus</i> em ambiente natural. Foto de Luis F. T. Nascimento.	13
Figura 4. Sabiá-vermelho <i>Turdus fumigatus</i> (fonte: http://ibc.lynxeds.com/photo/cocoa-thrush-turdus-fumigatus/lateral-view-adult-perched-fence).	14
Figura 5. Sabiá-coleira <i>Turdus albicollis</i> (fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turdus_albicollis_Parque_Estadual_da_Serra_da_Cantareira,_Sao_Paulo,_Brasil-8.jpg).	15
Figura 6. Universidade Federal do Pará, com o campus básico e profissional delimitado pela linha vermelha (imagem de satélite confeccionada pelo programa <i>Google Earth 6</i>).	16
Figura 7. Parque Ecológico de Gunma, delimitado pela linha amarela (imagem de satélite confeccionada pelo programa <i>Google Earth 6</i>).	17
Figura 8. Sonograma de <i>Turdus amaurochalinus</i> indicando uma frase, uma nota nominada, duração da nota, intervalo de tempo entre as notas, frequência máxima e mínima.	19
Figura 9. Sonograma de <i>Turdus leucomelas</i> com 10 notas: nota A é trinada seguida de som puro com modulação descendente; nota B é um som puro com modulação ascendente e notas C é um trinado descendente.	27
Figura 10. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 16 indivíduos de <i>Turdus leucomelas</i> com diferenças globais significativas entre si (Kruskal-Wallis).	27
Figura 11. Sonograma de <i>Turdus rufiventris</i> com uma frase de 9 notas com sons puros e modulados.	28

Figura 12. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 16 indivíduos de <i>Turdus rufiventris</i> com diferenças globais significativas entre si (<i>Kruskal-Wallis</i>).....	29
Figura 13. Sonograma de <i>Turdus fumigatus</i> com uma frase de 5 notas, com sons tonais puros com leve ou sem modulação.....	30
Figura 14. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 14 indivíduos de <i>Turdus fumigatus</i> com diferenças globais significativas entre si (<i>Kruskal-Wallis</i>).	30
Figura 15. Sonograma de <i>Turdus amaurochalinus</i> com uma frase de 6 notas, com som puro (A), vibrato (C e G), <i>double voice</i> (D), modulação ampla ascendente descendente (E e F)....	31
Figura 16. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 14 indivíduos de <i>Turdus amaurochalinus</i> com diferenças globais significativas entre si (<i>Kruskal-Wallis</i>). .	31
Figura 17. Sonograma de <i>Turdus albicollis</i> , frase com 12 notas, com sons puros com pequena modulação (A, D, G e J) e ampla modulação (E, H, K e L), vibratos seguido de som puro com modulação, ou não (B, F e I) e trinado seguido de som puro com modulação (C).	32
Figura 18. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 12 indivíduos de <i>Turdus albicollis</i> com diferenças globais significativas entre si (<i>Kruskal-Wallis</i>).	33
Figura 19. <i>Box Plot</i> (média e desvio padrão) do número de notas por frase entre cinco espécies do gênero <i>Turdus</i> , com diferenças significativas entre si (teste de <i>Kruskal-Wallis</i>).	34
Figura 20. Sonograma de <i>T. leucomelas</i> mostrando a junção de notas (A + B = C) e (D + E = F).....	34
Figura 21. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) do repertório de notas de 72 indivíduos de cinco espécies do gênero <i>Turdus</i> , com diferenças globais significativas entre si (teste de <i>Kruskal-Wallis</i>).	35
Figura 22. Entropia de 1º momento vs Repertório de notas e função exponencial representativa da entropia máxima de 1º momento.....	36

Figura 23. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) dos valores médios da entropia e entropia máxima de 1º momento entre cinco espécies do gênero <i>Turdus</i> , com diferenças globais significativas entre as espécies (teste <i>One-way ANOVA</i>).....	37
Figura 24. <i>Box plot</i> (médio, erro-padrão e desvio-padrão) dos valores médio do repertório de 2º momento entre as 5 espécies (teste <i>One-way ANOVA</i>).	38
Figura 25. Entropia de 2º momento vs Repertório de notas duplas com função exponencial representando os valores da $E_{\max 2}$ em 72 indivíduos de cinco espécies do gênero <i>Turdus</i>	39
Figura 26. <i>Box plot</i> (média, erro-padrão e desvio-padrão) dos valores médios da entropia e entropia máxima de 2º momento entre cinco espécies do gênero <i>Turdus</i> (teste <i>One-way ANOVA</i>).	40
Figura 27. Valores da entropia de 1º momento em ordem crescente em 72 indivíduos, e seus respectivos valores de entropia máxima de 1º momento, entropia de 2º momento e entropia máxima de 2º momento.	41
Figura 28. Distribuição dos valores médios dos parâmetros temporais em 72 indivíduos de cinco espécies do gênero <i>Turdus</i>	43
Figura 29. Distribuição dos valores médios de notas por segundo em 72 indivíduos do gênero <i>Turdus</i>	43
Figura 30. Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência em 72 indivíduos do gênero <i>Turdus</i>	44
Figura 31. <i>Box plot</i> (média e desvio-padrão) dos valores médios da duração das notas em cinco espécies de <i>Turdus</i>	45
Figura 32. <i>Box plot</i> (média e desvio-padrão) dos valores médios da duração mais intervalo entre notas em cinco espécies de <i>Turdus</i>	46
Figura 33. <i>Box plot</i> (média e desvio-padrão) dos valores médios do intervalo entre as notas em cinco espécies de <i>Turdus</i>	47

Figura 34. <i>Box plot</i> (média e desvio-padrão) dos valores médios do ritmo em cinco espécies de <i>Turdus</i>	48
Figura 35. <i>Box plot</i> (média e desvio-padrão) dos valores médios da frequência mínima das notas em cinco espécies de <i>Turdus</i>	49
Figura 36. Análise de conglomerados dos 72 indivíduos das cinco espécies de <i>Turdus</i> , de acordo com as variáveis: notas por segundo (ritmo), notas por frase, as frequências máxima e mínima e as entropias de 1º e 2º momento. Em destaque o grupo formado majoritariamente por <i>T. amaurochalinus</i> (elipse vermelha), o grupo formado majoritariamente por <i>T. albicollis</i> (retângulo verde) e o grupo formado majoritariamente por <i>T. leucomelas</i> , <i>T. fumigatus</i> e <i>T. rufiventris</i> (elipse azul). Os números sublinhados de vermelho indicam indivíduos de espécies diferentes a espécies de maior ocorrência no grupo.....	50
Figura 37. Análise de conglomerados das cinco espécies do gênero <i>Turdus</i> , de acordo com as variáveis: notas por segundo (ritmo), notas por frase, as frequências máxima e mínima e as entropias de 1º e 2º momento.	54
Figura 38. Filogenia das espécies do gênero <i>Turdus</i> proposto por Nylander (2008), baseado em análises molecular a partir de sequências de citocromo b e nuclear. Em destaque as espécies deste estudo.	62
Figura 39. Análise de conglomerados de Silva (2001) dos 12 indivíduos de quatro espécies do gênero <i>Turdus</i> , de acordo com parâmetros temporais, valores da frequências máximas e mínimas e das entropias.....	63
Tabela 1. Estatística básica das variáveis mais importante no grupo 5, formado majoritariamente por <i>T. amaurochalinus</i>	52
Tabela 2. Estatística básica das variáveis mais importante no grupo 5, formado majoritariamente por <i>T. albicollis</i>	52

Tabela 3. Estatística básica das variáveis mais importante no grupo 5, formado principalmente pelas espécies <i>T. fumigatus</i> , <i>T. rufiventris</i> e <i>T. leucomelas</i>	53
Tabela 4. Relação das variáveis com a principal componente (68%).	53

RESUMO

A comunicação é essencial para a manutenção da vida animal, nas aves a comunicação acústica prevalece, o canto é a emissão sonora que tem como função o reconhecimento específico, este pode ser previsível ou complexo com níveis de variações entre os indivíduos da espécie. O gênero *Turdus* apresenta membros com um canto melodioso e variado, como é o caso das cinco espécies sintópicas no Brasil (*T. leucomelas*, *T. rufiventris*, *T. fumigatus*, *T. amaurochalinus* e *T. albicollis*). O alto nível de variação causa confusão no reconhecimento destas espécies. A análise da estrutura e organização de sistemas de comunicação complexos pode nos dar respostas de sua funcionalidade. Reunimos gravações de 72 indivíduos das espécies supracitadas, identificamos e nomeamos cada uma das 4826 notas, unidades sonoras do canto, além de medirmos seus parâmetros físicos. Por meio de ferramentas matemáticas baseadas na teoria da informação verificamos a previsibilidade individual do canto e a usamos como critério de comparação entre os indivíduos e as espécies. Analisamos os dados, esquematizamos as sequências e sintetizamos os resultados em análise de conglomerados para definir a estrutura e organização do canto. As análises apontaram semelhança na complexidade do canto das espécies, comparativamente alguns padrões específicos foram observados, como *T. amaurochalinus* que apresentou os maiores valores do ritmo do canto e da frequência máxima das notas, *T. albicollis* destacou-se pelos menores valores dos mesmos parâmetros, já para *T. leucomelas*, *T. rufiventris* e *T. fumigatus* não foi observado características específicas, as três espécies apresentam grande variação nos parâmetros analisados. Mas o sucesso evolutivo dessas espécies deixa claro que seus cantos são bem sucedidos para exercerem as funções de comunicação e reconhecimento específico.

Palavras-chave: Comunicação sonora, entropia informacional, reconhecimento específico, canto aprendido.

ABSTRACT

Communication is essential for animal life maintenance. In birds prevails acoustic communication, the song is the sound emission that has the specific recognition function, can be repetitive and predictable or complex with variations levels between individuals conspecifics. The genus *Turdus* provides members with a melodious and varied song, as is the case of five syntopic species in Brazil (*T. leucomelas*, *T. rufiventris*, *T. fumigatus*, *T. amaurochalinus* and *T. albicollis*), the high variation level may to cause recognition confusion of these species among experienced researchers and lovers in the listening birds practice. The structure analysis and complex organization of communication systems can give us answers to their functionality. In present study we gathered recordings of 72 individuals of five species above mentioned, from various localities, identified and named each of the 4826 notes, the song units of sound, and we measure their physical parameters. Through mathematical tools based on the theory of information verified the individual predictability of the corner and use as a criterion for comparison between individuals and species. We analyzed the data, sketched sequences and synthesized the results of cluster analysis to define the structure and organization of the song. The analyzes showed similarity in the song complexity of species compared some specific patterns were observed, such as *T. amaurochalinus* showed the highest values of the rhythm of the song and the maximum frequency of the notes, *T. albicollis* stood out by low values of these parameters, as for *T. leucomelas*, *T. rufiventris* and *T. fumigatus* was not observed characteristics, the three species show great variation in the parameters analyzed. But the evolutionary success of these species makes it clear that their songs are successful to exercise the functions of communication and specific recognition.

Key-words: Acoustic communication, informational entropy, specific recognition, learned song.

1. INTRODUÇÃO

1.1. COMUNICAÇÃO E ESPECIFICIDADE SONORA DO CANTO DAS AVES

A comunicação é a maneira com a qual organismos transmitem informação a outros organismos, sendo essencial para a manutenção de sociedades animais e para a viabilidade reprodutiva, provendo informações necessárias sobre identidade individual, estado fisiológico e disposição para a reprodução (Bradbury & Vehrencamp, 1998). Em um sistema de comunicação exige-se um emissor, um receptor e um sinal que possa carregar a informação desejada e transmiti-la de maneira eficiente (Vielliard, 2004). Para que a comunicação seja efetivada é necessário que o receptor não só receba o sinal, mas também discrimine variações significantes no mesmo (Richards & Wiley, 1980). Este sinal pode ser de natureza variada, principalmente química, visual ou sonora (Vielliard, 2004).

Os diferentes grupos animais dependem de canais sensoriais distintos para executar a comunicação, que por sua vez dependem de restrições impostas pelos hábitos e habitats para cada espécie (Silva, 1997). Isso significa que a natureza do sinal e a modalidade de comunicação utilizada por uma determinada espécie dependem das limitações do seu sistema sensorio motor e deve ser ecologicamente apropriada a essa espécie (Johnsgard, 1967). As aves, por exemplo, em geral têm um sistema olfativo pouco desenvolvido, e assim este canal sensorial torna-se secundário quando comparado aos canais sonoro e visual, o que contrasta com os mamíferos, nos quais a olfação, geralmente, é primordial para a comunicação (Catchpole & Slater, 1995). No caso do habitat servindo como agente externo restritivo e seletivo de algum canal sensorial de comunicação nos organismos temos o exemplo de ambientes com pouca visibilidade, como florestas tropicais, onde o sinal visual apresenta desvantagens em relação ao acústico (Catchpole & Slater *op cit.*). Nesse tipo de ambiente a

utilização do sinal acústico é muito mais eficiente, pois este pode se propagar a uma distância longa e em todas as direções, além de ultrapassar barreiras físicas e poder ser utilizado durante a noite (Silva & Vielliard, 2011).

Mediante as observações e estudos com aves, alguns conceitos importantes sobre comunicação sonora animal foram desenvolvidos, tal como a do som que carrega a informação do reconhecimento específico entre os animais, denominado canto (Vielliard, 1987). Isto significa que as aves utilizam principalmente da comunicação sonora para a identificação da espécie, sexo, e indivíduo. Este fato se evidencia em um ecossistema florestal, por exemplo, durante o período reprodutivo, em que o encontro entre macho e a fêmea ao contrário de ocorrer ao acaso, é orientado pelos sinais sonoros produzido por um, ambos, ou até mesmo, vários indivíduos, direcionando ao reconhecimento e à localização do parceiro em potencial (Vielliard, 1987; Silva, 1997).

No grupo das aves, de modo geral, os machos usam vocalizações como parte do repertório comportamental para atrair a fêmea e defender os seus territórios. No início e muitas vezes durante esses dois episódios comportamentais, algumas espécies, emitem um som específico, que pode ser complexo e melodioso, o canto (Vielliard, 1987; Catchpole & Slater, 1995; Silva 1997).

Como os seres humanos, as aves produzem sons através do fluxo de ar que é expirado dos pulmões até o aparelho fonador, requerendo coordenação para as ações de respirar e cantar. Utilizam a siringe, órgão análogo à laringe dos outros vertebrados, que é uma estrutura localizada na junção da traquéia com os brônquios e consiste de duas membranas simétricas em cada lado dos brônquios (Carew, 2000).

Em alguns poucos casos, no sistema de comunicação do grupo das aves houve um fenômeno evolutivo bem conhecido, a regressão secundária, que consiste na perda de uma qualidade selecionada na linhagem ancestral. Dessa forma, algumas espécies perderam o uso

da comunicação sonora em favor da visual por viverem em lugares abertos e precisarem de um longo alcance que a propagação sonora não pode oferecer. É o caso da Ema *Rhea americana*, dos urubus (família Cathartidae), e de certos pássaros como o Galito *Alectrurus tricolor* (Vielliard, 2004).

O ramo da ciência que estuda a comunicação sonora entre os animais é a bioacústica, uma ferramenta considerada de grande importância no estudo do comportamento animal. O uso da bioacústica se deu primeiramente pelos ornitólogos, seguidos por entomólogos, herpetólogos e primatólogos que buscavam distinguir, pelos sons emitidos, as espécies que estudavam na natureza (Ranft, 2004; Vielliard & Silva, 2010). Diversas espécies novas foram descobertas somente após o registro e estudo de suas vocalizações, que antes não eram notadas por serem de difícil visualização, por se tratar de espécies crípticas e/ou por serem morfológicamente semelhantes com outras espécies já descritas (Alström, 2001). Um exemplo é o caso do Caburé-da-Amazônia *Glaucidium hardyi*, espécie de coruja com uma distribuição que engloba a bacia amazônica e seus “anexos”: a mata atlântica do Nordeste, a bacia do Orenoco e o platô das Guianas. Essa espécie foi descrita por Vielliard (1989), que a separou da espécie de mesmo gênero e morfológicamente semelhante *Glaucidium minutissimum*, usando como principal critério a estrutura do canto.

Porém, além do canto existem outros sinais sonoros emitidos por uma espécie. Esses sinais podem estar relacionados a funções diversas, tais como chamado de alarme, emitido em situação de perigo iminente, chamado dos filhotes requisitando alimento dos pais ou o chamado de contato que certas espécies emitem durante deslocamentos em voo (Silva & Vielliard, 2010).

Por ser um veículo de informação específica, o canto segue uma evolução filogenética e, por isso, tem sido usado cada vez mais para avaliar as relações evolutivas entre populações e espécies afins (Vielliard, 1987, 1989).

1.2. APRENDIZAGEM SONORA E SUA CONTRIBUIÇÃO NA SELEÇÃO SEXUAL EM AVES

A aprendizagem vocal é um comportamento que envolve múltiplos fatores que estão relacionados aos processos evolutivos e adaptativos de cada espécie (Silva & Vielliard, 2010). Essa capacidade surgiu de forma independente em três ocasiões entre as aves - troquilídeos, psitacídeos e pássaros canoros, e, similarmente, em três ocasiões entre os mamíferos - cetáceos, quirópteros e primatas (Jarvis *et al.* 2000, Vielliard 2004). A capacidade de aprendizagem e a produção de vocalizações aprendidas nos pássaros canoros envolvem um conjunto de núcleos cerebrais interconectados conhecidos como o sistema de controle do canto (Nottebohm *et. al.* 1976, 1982).

A ontogênese de repertórios vocais em aves tem sido bastante estudada (Klenova *et al.*, 2007). Segundo Silva (1995), as estratégias de canto podem ser divididas em dois grandes grupos: espécies que apresentam variação regional ou individual no canto e espécies de canto estereotipado. O canto aprendido só se desenvolve funcionalmente por meio de um processo que envolve memorização de um modelo auditivo, subsequente prática motora e ajuste com a memória (Baker & Cunningham, 1985; Silva & Vielliard, 2010). O canto aprendido é verificado principalmente em Passeriformes Oscines e o canto inato, comum em Suboscines e outros grupos de não-Passeriformes. Esta proposição não é consensual, pois, como já foi supracitado, há evidências de aprendizagem e variações presentes nos cantos de beija-flores (ordem Trochiliformes), como as diferenças geográficas relatadas por Gaunt e colaboradores (1994) ou como as variações dos dialetos populacionais presente em Psitaciformes relatadas no trabalho de Moura (2011). Porém dentro da ordem passeriformes essa definição parece bem estabelecida.

Quanto a variações regionais ou individuais, no caso da estereotipia que está relacionada com a transmissão genética, teoricamente, o canto determinado geneticamente pode variar segundo os mecanismos genéticos de polimorfismos e deriva. Porém, geralmente a função do sinal opera uma seleção total contra possíveis variações genéticas e o canto permanece rigorosamente igual entre todos os indivíduos da espécie (Vielliard, 1987; Silva, 1995). Nos demais casos que apresentam repertórios longos, variações populacionais e individuais são considerados como consequências e evidências de aprendizagem (Baker & Cunningham, 1985).

A aprendizagem vocal, variações regionais (dialetos) e individuais são de extrema importância sexual e reprodutiva, pois, como já foi citado anteriormente, muitas vezes constitui parte importante da corte de machos durante período reprodutivo (Catchpole & Slater, 1995; Eda-fujiwara *et al.*, 2006). A existência de dimorfismo sexual no sistema de canto em algumas espécies sugere que a seleção sexual e a escolha da fêmea podem estar por trás da evolução da complexidade do canto (Catchpole & Slater *op cit.*). Por exemplo, estudos sugerem que em espécies cujas populações dialetais são extensas, os dialetos são geneticamente diferenciados, apresentando exclusão entre machos e seleção dos machos pelas fêmeas em função do canto. É o que observamos na espécie de Tico-tico *Zonotrichia capensis* (Passeriformes Oscines, Emberizidae), quando há subdialetos e imitações entre machos vizinhos, o fato pode estar ligado ao grau de poliginia e adaptado à organização social da espécie (Baker & Cunningham, 1985).

Pesquisas na área têm mostrado que as fêmeas respondem preferencialmente a cantos mais complexos (Kroodsma, 1982; Catchpole & Slater, 1995; Eda-fujiwara *et al.*, 2006; Hamao, 2008) e essa seleção sexual exercida pelas fêmeas pode ter agido como pressão evolutiva para o desenvolvimento de um sistema complexo de comunicação acústica entre as aves.

1.3. TEORIA DA INFORMAÇÃO

A teoria da informação surgiu com os trabalhos dos norte americanos Shannon e Weaver em 1949, relatando as raízes dos problemas de comunicação a partir do estudo da física estatística de Boltzmann que, em 1984, observou que a entropia está relacionada tanto com a “informação faltante” como o número de alternativas que permanecem em um determinado sistema físico após terem sido registradas todas as informações observáveis macroscopicamente (Shannon & Weaver *op. cit.*). A teoria matemática da informação está relacionada com a definição e medição da quantidade de informação em uma mensagem, com a codificação e decodificação da informação e com a capacidade de transmissão de um canal de comunicação (Silva, 2001).

Piqueira (1998) discute os pontos relativos às condições necessárias para caracterizar complexidade biológica e auto-organização de sistemas naturais, procurando lhes dar o formalismo matemático possível. Em uma abordagem não-reducionista da biomatemática, isto é, analisando o fenômeno somente ao nível em que este ocorre, sem compor níveis de organização mais baixos, a teoria da informação apresenta-se como uma maneira de analisar a organização de sistemas complexos, como os que existem em sistemas sociais, econômicos, químicos e biológicos (Piqueira, 1996).

Um sistema que produz uma sequência de símbolos de acordo com certas probabilidades é chamado de processo estocástico, e um caso particular desse processo, onde as probabilidades dependem de eventos anteriores, é chamado de processo de Markoff (Weaver, 1949). As frequências dos símbolos obtidas de diferentes sequências tendem a se aproximar do mesmo valor, a medida que o tamanho da sequências aumenta, independente da sequência (Silva, 2001).

Podemos dizer que a quantidade correspondente à demanda natural de uma “informação” é conhecida em termodinâmica como entropia (H). Utilizaremos a palavra

entropia como à medida do grau informacional de organização, o que não está diretamente relacionado com o mesmo termo usado em termodinâmica, embora possua o mesmo ancestral matemático (McCowan *et al.*, 1999).

A entropia possibilita descrever informações matemáticas, imprescindível para a análise de sistemas de comunicação de forma objetiva e elucidar repertórios de estruturas ou funções desconhecidas (Pea, 1979). Por meio da equação da entropia definida por Shannon e Weaver (1949) pode-se obter um índice que corresponde à quantidade de informação do canto individual (Silva, 2001).

2. JUSTIFICATIVA

O reconhecimento das espécies é essencial para permitir a comunicação efetiva dos animais com seus conspecíficos e estabelecer suas relações sociais. Devido a esta necessidade, a informação deve estar inequivocamente codificada nos sinais acústicos de uma espécie, de tal modo que cada espécie desenvolva características distintivas específicas nas suas emissões sonoras (Charrier & Sturdy, 2005). As duas estratégias básicas de comunicação sonora encontrada entre os animais são excludentes: a alternativa fica entre usar um sinal simples, mas totalmente previsível, ou ao contrário, um sinal complexo e sujeito a variações que o torna mais ou menos previsível. Em ambos os casos o sinal precisa ser funcional, ou seja, carregar, no mínimo, a informação que permite o reconhecimento específico (Vielliard, 2004).

A subfamília Turdinae contém mais de 300 espécies cosmopolitas, de origem oriental, estabelecida, porém, há muito tempo, nas Américas onde alcançaram o extremo sul, a Terra do Fogo e as Malvinas (Sick, 1997). O canto melodioso de alguns membros da subfamília Turdinae é o principal responsável pela sua popularidade no Brasil como no caso do Sabiá-

laranjeira *Turdus rufiventris* (Silva, 2001), porém, a voz de várias espécies deste grupo é múltipla, como são também os chamados, fato raras vezes ou mesmo nunca mencionado na literatura. Certos chamados são mais úteis para a identificação no campo do que os cantos (Sick, 1997). O que acaba questionando o conceito primordial de reconhecimento específico que o canto carrega no grupo das aves.

Existem cinco espécies do gênero *Turdus* simpátricas no sudeste do Brasil, ou seja, há sobreposição total ou parcial da área de ocupação. *T. albicollis*, *T. rufiventris*, *T. leucomelas*, *T. amaurochalinus* e *T. fumigatus*, este último possui uma distribuição mais ampla na região norte. Silva (1997) apresenta resultados que indicam a presença de variação individual e que não há dialetos populacionais no Sabiá-laranjeira *T. rufiventris*. Conclusões semelhantes foram obtidas no trabalho de Nascimento (2009) para o Sabiá-branco *T. leucomelas*. Tais variações individuais no canto das espécies desta subfamília devem ser o principal motivo que dificulta o reconhecimento específico aos ouvidos humanos mais treinados. Porém a diversidade e o sucesso reprodutivo que existe na subfamília Turdinae deixa claro que os canais de comunicação que permitem o reconhecimento específico são totalmente funcionais e não causam confusão entre os membros deste grupo.

A análise da estrutura e organização de sistemas de comunicação complexos de espécies animais, como no caso de Passeriformes Oscines, pode nos dar respostas à funcionalidade desses sinais, e talvez, abrir precedentes para estudos e entendimento da comunicação animal em geral (Silva, 2001).

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo geral

Medir e analisar a estrutura do som e organização do repertório do canto de cinco espécies do Gênero *Turdus* (*T. rufiventris*, *T. leucomelas*, *T. amaurochalinus*, *T. fumigatus* e *T. albicollis*), para a análise de possíveis variações regionais ou individuais e para estimar possíveis padrões de reconhecimento específico no canto.

2.1.2. Objetivos específicos

- Identificar o repertório individual e analisar a versatilidade do canto das espécies *T. rufiventris*, *T. leucomelas*, *T. amaurochalinus*, *T. fumigatus* e *T. albicollis*;
- Medir e analisar os parâmetros físicos das unidades sonoras (notas) das espécies;
- Buscar nos parâmetros do canto características que possam servir como sinal de reconhecimento específico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. OBJETOS DE ESTUDO

3.1.1. Classificação taxonômica e características das espécies

A subfamília Turdinae possui o tamanho regular entre 17 e 25 cm, todos têm coloração discreta, é necessária alguma experiência para distinguir espécies comuns como *Turdus leucomelas* e *Turdus amaurochalinus* (Sick, 1997), ver figuras 2 e 3. Existem cinco espécies simpátricas do gênero *Turdus* no Sudeste do Brasil. *T. Albicollis*, o Sabiá-coleira, e *T. fumigatus*, o Sabiá-vermelho pode ser encontrado em ambientes estritamente florestais. As outras três espécies, *T. rufiventris* Sabiá-laranjeira, *T. leucomelas* Sabiá-branco e *T. amaurochalinus* Sabiá-pardo, vivem frequentemente em sintopia (Silva, 2001).

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Classe: Aves

Ordem: Passeriformes

Subordem: Oscines

Família: Muscicapidae

Subfamília: Turdinae

Gênero: *Turdus*

Espécie: *Turdus rufiventris* (Vieillot, 1818)

Nome popular: Sabiá-laranjeira

A espécie *T. rufiventris* têm em média 25cm, 68g (macho), 78g (fêmea). Inconfundível pela intensa cor ferrugínea-laranja da barriga, menos vistosa em plumagem envelhecida; e o

anel amarelo em volta do olho destacando-se em sua postura sempre ereta. Bico cinza-esverdeado com amarelo (Sick, *op. cit.*; Antas 2004), ver figura 1. Ocorre no Brasil Oriental e Central, do Maranhão até a Paraíba, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, além de Uruguai, Paraguai e regiões limítrofes da Bolívia e Argentina (Schauensee, 1970). É uma espécie de pássaro conspícua e muito comum da fauna tropical. Sua aparência física, ventre cor de laranja, o bico e a região orbicular amarelo-vivo contrastante com a garganta clara e estriada de preto, não é tão extraordinária quanto seu canto, melodioso, variado e principal responsável pela sua popularidade no Brasil (Silva 1997).



Figura 1. Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* em ambiente natural. Foto de Leiliany N. de Moura.

Espécie: *Turdus leucomelas* (Vieillot, 1818)

Nome popular: Sabiá-branco, Sabiá-de-cabeça-cinza

O Sabiá-branco *T. leucomelas* tem em média 22 cm, reconhecido pela cor ferrugínea das asas em contraste com o cinzento-oliváceo da cabeça; as coberteiras inferiores das asas de cor ferrugínea intensa; a garganta esbranquiçada com estrias pardacentas e bico sempre escuro (Sick, 1997). Possui distribuição tropical e subtropical abrangendo as Guianas; Venezuela; Colômbia, Peru, norte do Brasil até o sul do Paraná, Paraguai, norte da Bolívia e nordeste da Argentina (Frisch, 2005), ver figura 2.



Figura 2. Sabiá-branco *Turdus leucomelas* em ambiente natural. Foto de Leiliany N. de Moura.

Espécie: *Turdus amaurochalinus* (Cabanis, 1818)

Nome popular: Sabiá-poca

A distribuição da espécie *T. amaurochalinus* vai dos Andes, na Bolívia (exceto Pando e Beni), Paraguai e sudeste do Brasil, abrangendo Minas Gerais e Rio de Janeiro, Sul do Uruguai e norte da Argentina (sul de Mendoza e Rio Negro), Amazônia Peruana e Brasil (Sibley & Monroe, 1990). Em média possuem 21,9cm, são comuns em paisagens meio

abertas. A característica mácula escura, parecendo ser negra em alguns exemplares, entre o olho e o bico. Além disso, a cabeça é mais achatada parecendo que o bico está no mesmo plano da testa (Sick, 1997; Antas, 2004), ver figura 3. O nome popular, Sabiá-poca, origina-se da onomatopéia do piado de contato da espécie. Em tupi, poca é um nome designado para barulho (Antas *op. cit.*).



Figura 3. Sabiá-poca *Turdus amaurochalinus* em ambiente natural. Foto de Luis F. T. Nascimento.

Super espécie: *Turdus [fumigatus] fumigatus* (Lichtenstein, 1823)

Espécie: *Turdus fumigatus*

Nome popular: Sabiá-vermelho, Sabiá-da-mata

O Sabiá-vermelho ou Sabiá-da-mata *T. fumigatus* é uma espécie sul americana, ocorre dos Andes da Colômbia (do sul do Auraca a Meta e Vichada), Venezuela (do sul de Zulia ao norte de Táchira, e oeste de Sucre e Delta Amacuro; e Bolívar), Trinidad e sul das Guianas para a Bolívia (Santa Cruz) e Amazônia brasileira, mas também é encontrado na

Mata Atlântica (Sibley & Monroe *op. cit.*; Antas *op.cit.*). Trata-se de uma espécie silvícola, inteiramente de cor ferrugínea intensa, mento branco, garganta estriada, barriga relativamente clara, coberteiras inferiores da cauda são brancas e pardacentas (Sick, *op. cit.*), ver figura 4.



Figura 4. Sabiá-vermelho *Turdus fumigatus* (fonte: <http://ibc.lynxeds.com/photo/cocoa-thrush-turdus-fumigatus/lateral-view-adult-perched-fence>).

Super espécie: *Turdus [albicollis] albicollis* (Vieillot, 1818)

Espécie: *Turdus albicollis*

Nome popular: Sabiá-coleira

A espécie *T. albicollis*, popularmente chamado de Sabiá-coleira, têm em média 22cm. A característica da espécie é a garganta, tão densamente rajada de negro que aparece, vista de lado, negra uniforme; garganta posterior com nódoa branca-pura, flancos e coberteiras inferiores (figura 5). Possui uma distribuição sul americana, abrangendo Colômbia, Venezuela, Guianas, Andes (pelo Equador, Peru e norte da Bolívia) e Amazônia brasileira (Sibley & Monroe *op. cit.*).



Figura 5. Sabiá-coleira *Turdus albicollis* (fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turdus_albicollis_Parque_Estadual_da_Serra_da_Cantareira,_Sao_Paulo,_Brasil-8.jpg).

3.2. ÁREAS DE ESTUDO NA REGIÃO DA CIDADE DE BELÉM

Para gravações de *T. leucomelas* selecionamos duas áreas de estudo com ecossistemas contrastantes, urbano e rural, dentro da região da grande Belém, representados pela Universidade Federal do Pará e Parque Ecológico de Gunma, respectivamente.

3.2.1. Universidade Federal do Pará

A Universidade Federal do Pará (UFPA) foi criada pela lei nº. 3.191, de 2 de julho de 1957, com a designação inicial de Universidade do Pará. O campus sofreu com problemas topográficos, estruturais e de acesso provocados pela sua construção. Está localizado em uma área alagada de 450 hectares na periferia de Belém, coberta por densa vegetação na margem

direita do Rio Guamá, na várzea do Igarapé do Tucunduba (Silva, 2005). A construção deste espaço educacional produziu profundas transformações no ecossistema da região, fazendo surgir um novo ambiente, com alterações principalmente das características de várzea e da cobertura vegetal na área da confluência entre o igarapé do Tucunduba e o Rio Guamá (Silva, *op. cit.*).

A área delimitada em vermelho (figura 6) corresponde à área de estudo, e representa o espaço mais antropizado dentro do campus, local onde foi realizado o estudo de uma das espécies alvo deste trabalho, *T. leucomelas*.



Figura 6. Universidade Federal do Pará, com o campus básico e profissional delimitado pela linha vermelha (imagem de satélite confeccionada pelo programa *Google Earth 6*).

3.2.2. Parque Ecológico de Gunma (PEG)

O Parque Ecológico de Gunma (PEG), localizado na Rodovia Augusto Meira Filho (Belém-Mosqueiro), no quilômetro 18,5, Município de Santa Bárbara do Pará entre as coordenadas aproximadas de 01°11'00.86" S e 48°18'41.18" W, abrange 450 hectares

preservados e 150 hectares de florestas regeneradas (figura 7) (<http://amazon-gunma.hp.infoseek.co.jp/p-forest.htm>).

A área também apresenta alguns condomínios e áreas desmatadas ao redor, onde se pode notar um forte efeito de borda.



Figura 7. Parque Ecológico de Gunma, delimitado pela linha amarela (imagem de satélite confeccionada pelo programa *Google Earth 6*).

3.3. REGISTRO, SELEÇÃO E ANÁLISES DOS SONS

A coleta e análises dos dados foram realizadas por meio de registros sonoros gravados em ambientes naturais nas áreas de distribuição dos objetos do estudo, para a espécie *T. leucomelas*, as demais espécies *T. rufiventris*, *T. fumigatus*, *T. amaurochalinus* e *T. albicollis* foram analisadas gravações cedidas pela Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard (FNJV), da Universidade Estadual de Campinas. No campo a identificação ocorreu através do estabelecimento de contatos visuais e/ou auditivos das espécies estudadas com o auxílio de

binóculos *Bushmaster* 10x50 e o registro do som com o microfone profissional *Senheiser ME-67* e os gravadores digitais *Marantz* PMD660 e *Tascam* DR-1, entre 2007 e 2009, o critério básico para a escolha do indivíduo era a emissão do canto no momento da coleta. No Laboratório de Ornitologia e Bioacústica da Universidade Federal do Pará, situado no Arquivo Sonoro da Amazônia (ASA), foram utilizados os programas *AviSoft SAS Lab Pro 4.3* © Avisoft Bioacoustics 2009 para a análise, edição de som e confecção dos sonogramas, com as seguintes configurações: FFT-length, 1024; frame, 100%; bandwidth, 61 Hz; resolution, 47 Hz, Hamming window. E *Statistica 7.1* © Statsoft, Inc. 1984-2005 para as análises estatísticas. Utilizamos testes de variância, *Kruskal-Wallis* para os dados que apresentaram distribuição não normal ou não paramétrica e *One-way ANOVA* para os dados com distribuição normal ou paramétrica; utilizamos o teste de Shapiro-Wilk como teste de normalidade e na estatística multivariada fizemos análise de conglomerados e análise de componentes principais.

O sonograma nos fornece o registro sonoro em um gráfico com plano melódico permitindo uma análise visual, além da auditiva, com a duração no eixo das abscissas e a frequência no eixo das ordenadas, a partir do qual podemos visualizar e classificar as notas, unidades sonoras contínuas. Silva (1997) e Slabbekoorn (2004) classificam as notas basicamente em: 1) notas puras, que possuem uma frequência constante e componente mais simples; 2) notas moduladas, que possuem sons puros e apresentam ascendência ou descendência de sua frequência na linha do tempo; 3) sons harmônicos ou *overtones*, representados por um padrão de escala típico - uma frequência, a fundamental, se parece com um ou mais outros rastros sonoros, são as frequências múltiplas da fundamental, por exemplo, harmônicas de uma frequência fundamental de 500 Hz ocorrem a 1.0 KHz, 1.5 KHz, e assim por diante; 4) sons tonais, que geralmente mudam sua frequência gradualmente nota após nota, podendo conduzir o canto à notas variantes estereotipadas; 5) *double voice*, quando são

produzidos sons independentes ao mesmo tempo, cada um em um lado da siringe, podendo sofrer variações de forma independente; 6) trinados, sons que formam um conjunto de emissões de curta duração e curto intervalo de tempo entre elas; 7) vibrato, sons que apresentam modulações muito rápidas, dando uma idéia auditiva e gráfica de vibração. Ainda, segundo Marler e Slabbekoorn (2004), os cantos nem sempre são puros e tonais; alguns sons são ruidosos e roucos, que geram sonogramas sujos e com som difundido pelo espectro.

A análise visual do sonograma também nos permite nomear e medir cada nota e identificarmos as frases, que é o conjunto de notas consecutivas separadas por um intervalo de tempo pelo menos 5 vezes maior que a média do intervalo entre as notas. Foram medidos os seguintes parâmetros físicos: tempo de duração de cada nota (τ), intervalo de tempo entre as notas da mesma frase e duração da nota mais o intervalo até o início da nota seguinte, todos em milissegundo (ms), número de notas emitidas por segundo ou ritmo (θ), frequência mínima e máxima (Hz) e número de notas por frase (figura 8).

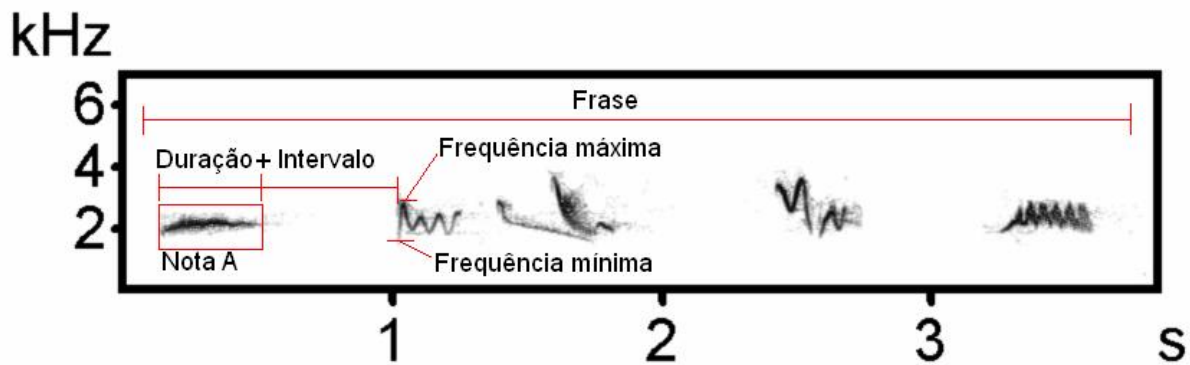


Figura 8. Sonograma de *Turdus amaurochalinus* indicando uma frase, uma nota nominada, duração da nota, intervalo de tempo entre as notas, frequência máxima e mínima.

Para seleção das gravações dos arquivos sonoros reunimos todos os registros sonoros das espécies deste estudo e analisamos na sequência de arquivamento. Consideramos as melhores gravações aquelas que apresentaram pouca sobreposição de ruídos de fundo com a emissão do canto. Foi estabelecido que cada gravação individual, das cinco espécies

estudadas, apresentasse no mínimo 50 notas, para que pudéssemos obter para as análises um valor entre 50 e 90 notas para cada indivíduo. Essa medida foi aplicada para a padronização da quantidade de valores dos parâmetros físicos individuais das cinco espécies deste estudo, pois os diferentes tempos de duração de cada gravação individual poderiam gerar uma grande oscilação na quantidade dos valores dos parâmetros físicos e acabarem por influenciar em outras variáveis como repertório e entropia. Foram selecionadas apenas gravações com emissão do canto, outros tipos de vocalizações não fizeram parte da amostra.

As primeiras 50 a 90 notas ininterruptas de cada indivíduo foram identificadas, considerando a primeira nota da gravação como A e as seguintes denominadas em ordem alfabética, exceto quando houve repetição, neste caso a unidade sonora replicada foi denominada de forma homônima a sua primeira ocorrência no sonograma. Nos casos em que o repertório de notas de um indivíduo excedeu o número de letras do alfabeto, a denominação para as notas excedentes foram binárias, onde a primeira unidade sonora excedente do alfabeto foi denominada AA, a segunda AB e assim em diante. A diversidade de notas de cada indivíduo diz respeito ao seu repertório de notas.

3.4. TEORIA DA INFORMAÇÃO E CÁLCULO DA ENTROPIA

O repertório de notas, além de ser uma variável dependente englobada nas análises, permitiu a obtenção do cálculo da entropia informacional individual das espécies estudadas, por meio da planilha, do programa *freeware*, Calc que faz parte do pacote BrOffice; e do *Software* {R: *A language and Environment for Statistical Computing*}. Calculamos a entropia de 1º momento ou não condicionada (E_1), entropia máxima de 1º momento ($E_{\max 1}$), entropia de 2º momento ou condicionada (E_2) e a entropia máxima de 2º momento ($E_{\max 2}$). As fórmulas para calcular esses índices são as seguintes:

ENTROPIA (E)

Se considerarmos um alfabeto composto de N símbolos com probabilidade p_i de ocorrência calculada de acordo com a frequência relativa observada experimentalmente, nessas condições, podemos definir como informação individual para cada símbolo I_i (Shannon & Weaver, 1949) como:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right)$$

Considerando todos os N símbolos emitidos, definimos o valor médio de I_i e chamamos de entropia informacional (E):

$$E = \sum_{i=1}^N p_i I_i$$

A informação individual (I_i) é dada em bits e a entropia é dada em bits por símbolo. Em decorrência dos dados serem muito heterogêneos e para comparar indivíduos com diferentes tamanhos de repertório, introduzimos mais duas equações, que calculam a taxa de entropia médias das espécies, definida nos seguintes parâmetros:

ENTROPIA MÁXIMA DE 1º MOMENTO (E_{\max_1})

Com base no repertório individual, para o cálculo da entropia máxima esperada para aquele indivíduo, aplica-se a fórmula:

$$E_{\max_1} = \log_2 N$$

A E_{\max_1} , também denominada entropia de ordem zero, corresponde ao número de bits de informação requerido para representar uma amostra particular de diferentes eventos, no

caso deste estudo, representa o número total de notas do canto individual para as cinco espécies analisadas.

ENTROPIA DE 2º MOMENTO (E_2)

Após abordar a entropia considerando o número de notas presente no repertório individual, propomos visualizar a quantidade de informação considerando o número de combinações de notas duplas. É a aplicação da equação I_i para o número de combinações duplas de notas observadas. Essa ordem de entropia introduz a probabilidade condicional dentro da estrutura da sequência de notas. Após a nota A, quais são as possíveis notas seguintes? Pode ser outra nota A, ou B ou C, por exemplo. Após o estabelecimento as duplas observadas, calculamos suas frequências de acordo com Silva (2001).

ENTROPIA MÁXIMA DE 2º MOMENTO (E_{max_2})

Baseada no repertório de notas duplas para calcular a entropia máxima esperada individual, procedendo da mesma forma que para E_{max_1} .

4. RESULTADOS

Entre as melhores gravações, que apresentaram pouca sobreposição de ruídos de fundo, menor quantidade de reverberação, registradas com número de notas maior que 50 foram selecionadas gravações de 16 indivíduos de *T. leucomelas*, 16 indivíduos de *T. rufiventris*, 14 indivíduos de *T. fumigatus*, 14 indivíduos de *T. amaurochalinus* e 12 indivíduos de *T. albicollis* totalizando 72 gravações, 611 frases e 4826 notas (quadro 1).

Quadro 1. Principais dados referentes à coleta das gravações da amostra de indivíduos, para algumas gravações não há registro para todas as informações (Ignorada) e para outras não tivemos acesso ou ainda não foram registradas (*****).

Ind.	Espécie	Referência	Origem	Data	Localidade
1	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	31/09/2008	Santa Bárbara/PA
2	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
3	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
4	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
5	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
6	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
7	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
8	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Santa Bárbara/PA
9	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
10	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
11	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
12	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
13	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
14	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
15	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
16	<i>T.leucomelas</i>	*****	LOBio	**/**/2008	Belém/PA
17	<i>T. rufiventris</i>	JV22/3	FNJV	29/11/73	Caruaru/PE
18	<i>T. rufiventris</i>	CC3/5	FNJV	30/12/73	Crato/CE
19	<i>T. rufiventris</i>	JV47/5+6a	FNJV	27/01/74	Morro do Chapéu/BA
20	<i>T. rufiventris</i>	JV53/2	FNJV	02/02/74	Itabuna/BA

21	<i>T. rufiventris</i>	JV53/6a	FNJV	02/02/74	Itabuna/BA
22	<i>T. rufiventris</i>	JV 107/8+108/1+5a	FNJV	20/12/74	Formosa do Rio Preto/BA
23	<i>T. rufiventris</i>	JV230/7	FNJV	22/11/76	Palmas/PR
24	<i>T. rufiventris</i>	JV310/3	FNJV	10/12/78	Ilha do Cardoso/SP
25	<i>T. rufiventris</i>	JV390/5b	FNJV	19/10/80	Boracéia/SP
26	<i>T. rufiventris</i>	JV393/2+394/5b	FNJV	05/11/80	Poconé/MT
27	<i>T. rufiventris</i>	JV490/9b+10	FNJV	18/12/82	Piracicaba/SP
28	<i>T. rufiventris</i>	JV492/3	FNJV	19/12/82	Piracicaba/SP
29	<i>T. rufiventris</i>	JV458/3+	FNJV	24/09/81	Brasília/DF
30	<i>T. rufiventris</i>	MNO2/8a	FNJV	21/11/90	Pinciguaba/SP
31	<i>T. rufiventris</i>	JVD14/13	FNJV	16/01/94	Piracanjuba/GO
32	<i>T. rufiventris</i>	ALPA12/11	FNJV	09/12/94	Sete Barras/SP
33	<i>T. fumigatus</i>	JV 150/1	FNJV	28/04/1975	Belém/PA
34	<i>T. fumigatus</i>	JCRM 5/4	FNJV	18/07/1974	MT
35	<i>T. fumigatus</i>	TC White/Blows 6440	FNJV	18/02/1974	Trinidad e Tobago
36	<i>T. fumigatus</i>	Frisch	FNJV	Ignorada	Ignorada
37	<i>T. fumigatus</i>	ROP 97-6/	FNJV	20/11/1997	Una/BA
38	<i>T. fumigatus</i>	JV 653/11	FNJV	24/3/1986	Quebrangulo/AL
39	<i>T. fumigatus</i>	JV 727/4	FNJV	13/12/1987	Quebrangulo/AL
40	<i>T. fumigatus</i>	JV 772/6	FNJV	15/10/1988	Samuel/RO
41	<i>T. fumigatus</i>	JCM 19/1/0-155	FNJV	17/8/1975	Anhembi/SP

42	<i>T. fumigatus</i>	JCM 32/1/0-62	FNJV	2/8/1976	Chapada dos Guimarães/MT
43	<i>T. fumigatus</i>	JCM 39/1/63-82	FNJV	**/07/1977	Chapada dos Guimarães/MT
44	<i>T. fumigatus</i>	JCM 21/1/25-80	FNJV	11/08/1975	Luciara/MT
45	<i>T. fumigatus</i>	JCM 23/1/13-42	FNJV	23/08/1975	Luciara/MT
46	<i>T. fumigatus</i>	JCM 23/1/68-140	FNJV	23/8/1975	Luciara/MT
47	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 5/11	FNJV	21/09/1973	Pirapora/MG
48	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 30/1; 2	FNJV	16/12/1973	Exu/PE
49	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 43/4a	FNJV	23/01/1974	Juazeiro/BA
50	<i>T. amaurochalinus</i>	CC 7/6	FNJV	01/01/1974	Exu/PE
51	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 126/10	FNJV	31/07/1975	Exu/PE
52	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 370/1d	FNJV	24/11/1979	Parnaguá/PI
53	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 376/2	FNJV	20/11/1979	Formosa do Rio Preto/BA
54	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 392/3c	FNJV	20/10/1980	Boraceia/SP
55	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 411/5b	FNJV	22/01/1981	Quebrangulo/AL
56	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 807/5	FNJV	05/12/1989	São Raimundo Nonato/PI
57	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 528/1a, b	FNJV	25/11/1983	Ignorada/MG
58	<i>T. amaurochalinus</i>	JV 802/7	FNJV	9/11/1989	Campos do Jordão /SP
59	<i>T. amaurochalinus</i>	JCM 64/1/408-461	FNJV	12/9/1982	Campos do Jordão/SP
60	<i>T. amaurochalinus</i>	JCM 73/1/3a,b,c	FNJV	23/8/1985	Sete Barras/SP

61	<i>T. albicollis</i>	Frisch	FNJV	Ignorada	Brasil
62	<i>T. albicollis</i>	JV 223/6	FNJV	30/10/1976	Piraí/RJ
63	<i>T. albicollis</i>	JV 226/7b	FNJV	1/11/1976	Piraí/RJ
64	<i>T. albicollis</i>	JV 467/6a	FNJV	21/11/1981	Paranapiacaba/SP
65	<i>T. albicollis</i>	R. Straneck	FNJV	Ignorada	Argentina
66	<i>T. albicollis</i>	ARA 1/2/2	FNJV	Ignorada	México
67	<i>T. albicollis</i>	ALPA 10/15	FNJV	9/11/1994	Sete Barras/SP
68	<i>T. albicollis</i>	JV 521/7	FNJV	9/10/1983	Peruibe/SP
69	<i>T. albicollis</i>	JV 523/2	FNJV	9/10/1983	Peruibe/SP
70	<i>T. albicollis</i>	JV 595/2	FNJV	22/4/1985	Quebrangulo/AL
71	<i>T. albicollis</i>	JV 596/6	FNJV	23/4/1985	Quebrangulo/AL
72	<i>T. albicollis</i>	JV 665/7	FNJV	21/10/1986	Santa Tereza/ES

4.1. NOTAS E FRASES

Comparando o plano melódico das notas nos sonograma podemos observar que os indivíduos das cinco espécies deste estudo, apresentam estruturas de canto similares, podendo se observar unidades sonoras únicas e bem delimitadas, dos seguintes tipos: sons puros com pouca ou nenhuma modulação, sons com modulações ascendentes e/ou descendentes, “*double voice*”, trinados e, principalmente, para *T. fumigatus* sons tonais foram marcantes, estando presente em praticamente todas as frases de quatro indivíduos desta espécie, ver exemplo de som tonal na figura 13.

A espécie *T. leucomelas* apresentou uma média de 5,4 notas emitidas por frase (desvio-padrão = 2,8; N = 185; min. = 1; máx. = 23), geralmente as notas são sons puros modulados (figura 9). Os valores médios individuais variaram de 3,6 a 9,6 notas por frase

(média = 5,8; desvio-padrão = 1,7; N = 16). Segundo o teste de *Kruskal-Wallis* o número de notas emitidas por frase apresentou diferenças globais significativas entre os indivíduos (figura 10).

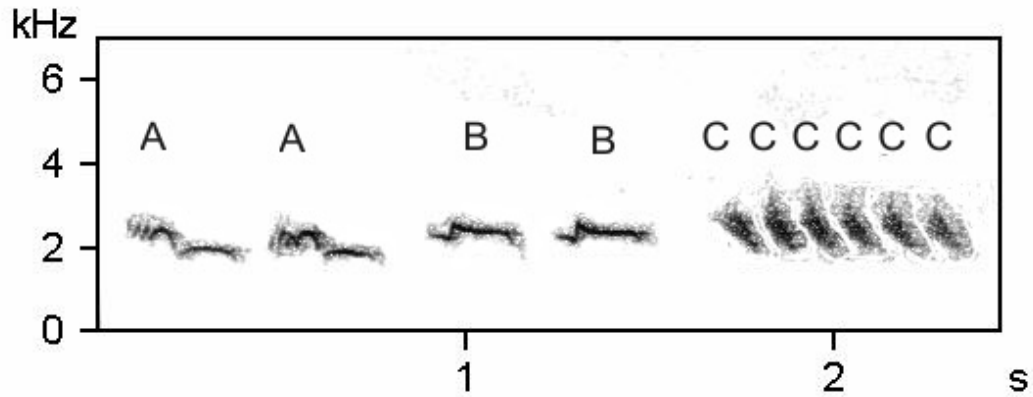


Figura 9. Sonograma de *Turdus leucomelas* com 10 notas: nota A é trinada seguida de som puro com modulação descendente; nota B é um som puro com modulação ascendente e notas C é um trinado descendente.

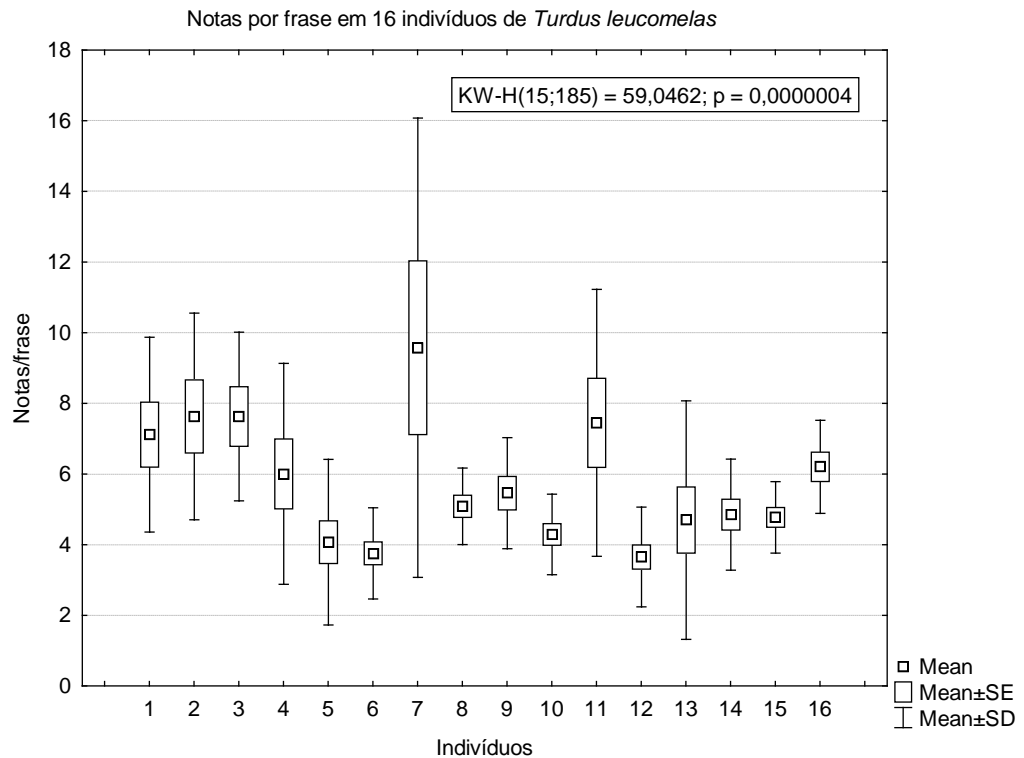


Figura 10. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 16 indivíduos de *Turdus leucomelas* com diferenças globais significativas entre si (Kruskal-Wallis).

Em *T. rufiventris* tivemos uma média de 9,3 notas por frase (desvio-padrão = 7,2; N = 117; min. = 1; máx. = 40), sendo a maioria dos sons puros modulados (figura 11). Os valores médios individuais variaram de 3,8 a 34,5 notas por frase (média = 12,9; desvio-padrão = 8,2; N = 16). Através do teste de significância verificou-se diferença global significativa no número de notas emitidas por frase entre os indivíduos (figura 12).

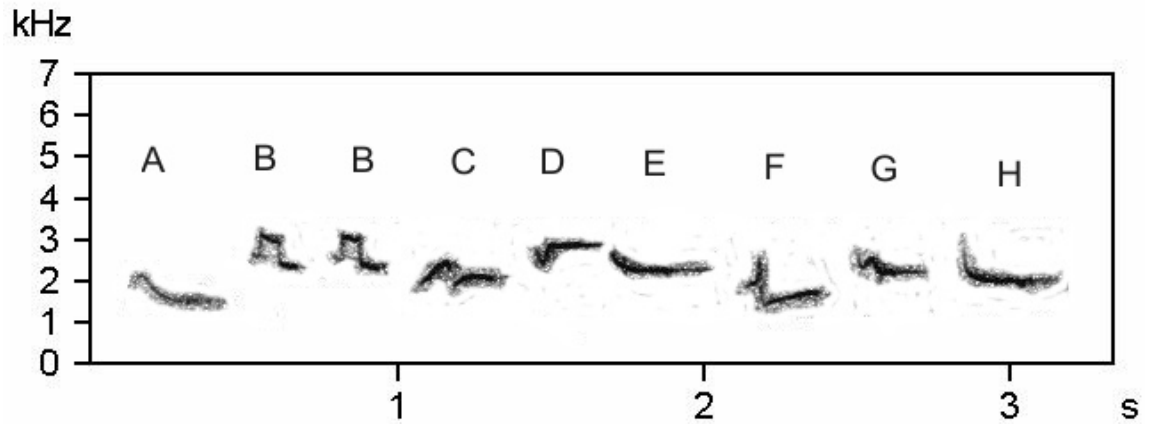


Figura 11. Sonograma de *Turdus rufiventris* com uma frase de 9 notas com sons puros e modulados.

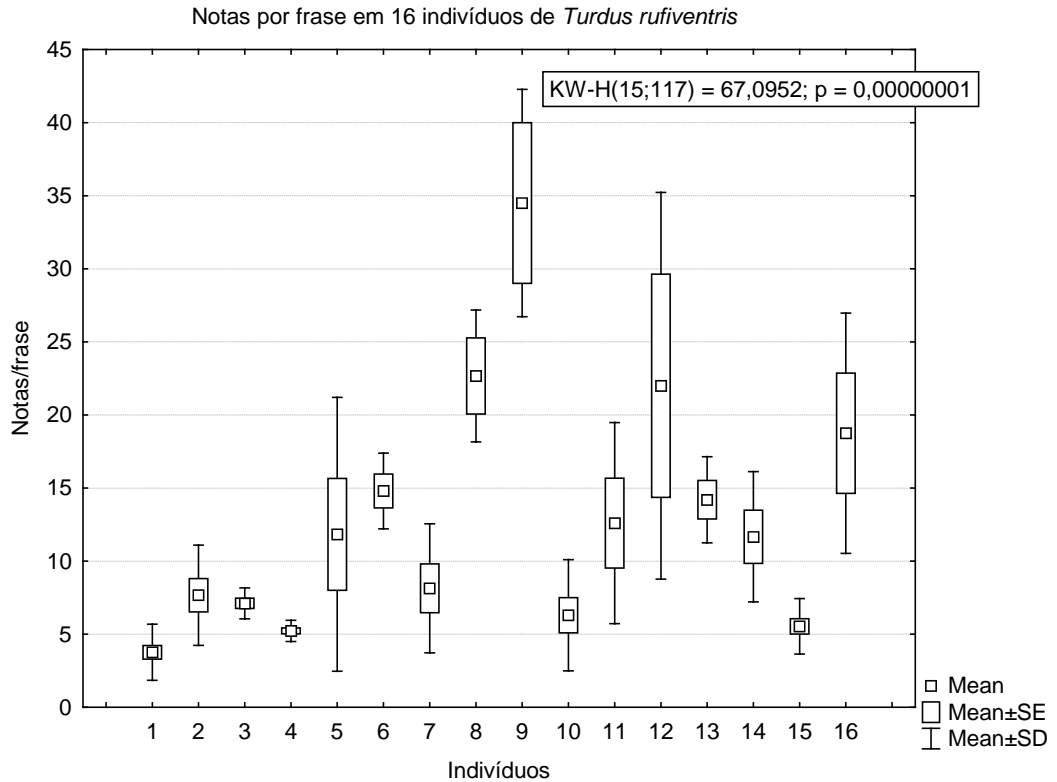


Figura 12. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 16 indivíduos de *Turdus rufiventris* com diferenças globais significativas entre si (*Kruskal-Wallis*).

Para a espécie *T. fumigatus* encontramos uma média de 13,4 notas por frase (desvio-padrão = 11; N = 74; min. = 1; máx. = 62), que geralmente são sons puros modulados (figura 13). Os valores médios individuais variaram de 6,4 a 42,5 notas por frase (média = 16,6; desvio-padrão = 9,2; N = 14), o teste de *Kruskal-Wallis* mostrou diferenças globais significativas no número de notas emitidas por frase entre os indivíduos da amostra (figura 14).

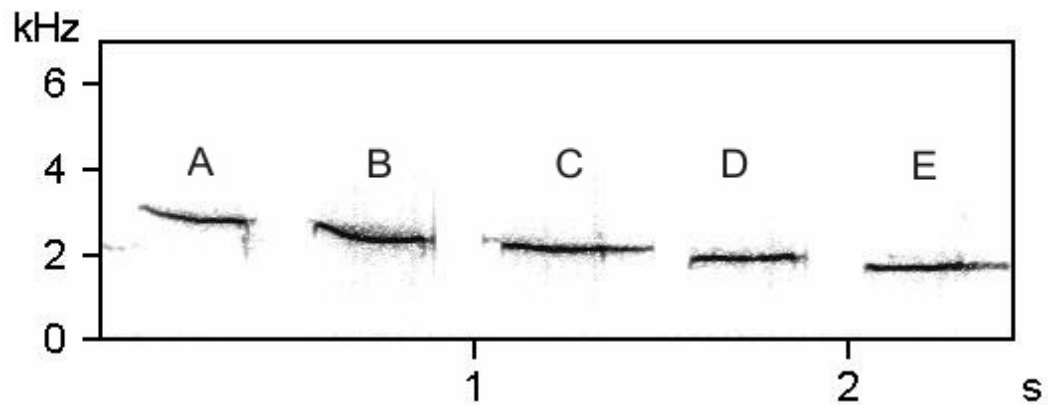


Figura 13. Sonograma de *Turdus fumigatus* com uma frase de 5 notas, com sons tonais puros com leve ou sem modulação.

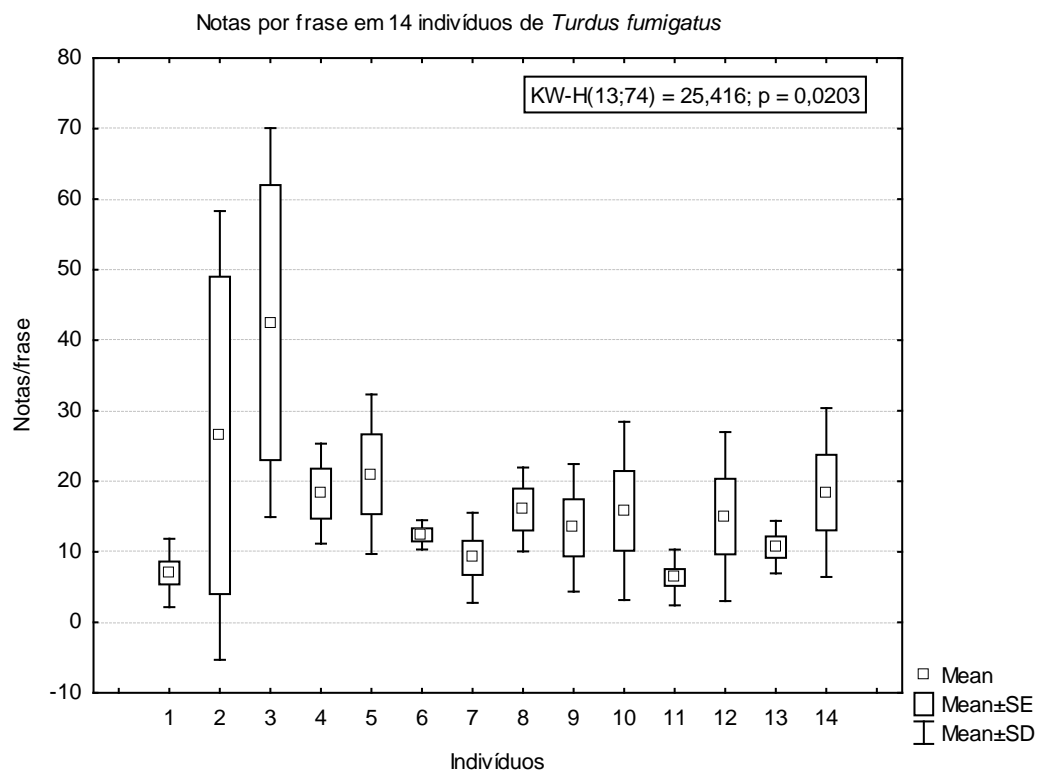


Figura 14. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 14 indivíduos de *Turdus fumigatus* com diferenças globais significativas entre si (*Kruskal-Wallis*).

Em *T. amaurochalinus* foi encontrado uma média de 5,9 notas por frase (desvio-padrão = 5,6; N = 165; min. = 1; máx. = 35), geralmente constituídos de sons puros e modulados (figura 15). Os valores médios individuais variaram de 2,1 a 27,3 notas por frase (média = 8,3; desvio-padrão = 6,3; N = 14), para estes valores os indivíduos da amostra apresentaram diferenças globais significativas (teste de Kruskal-Wallis), ver figura 16.

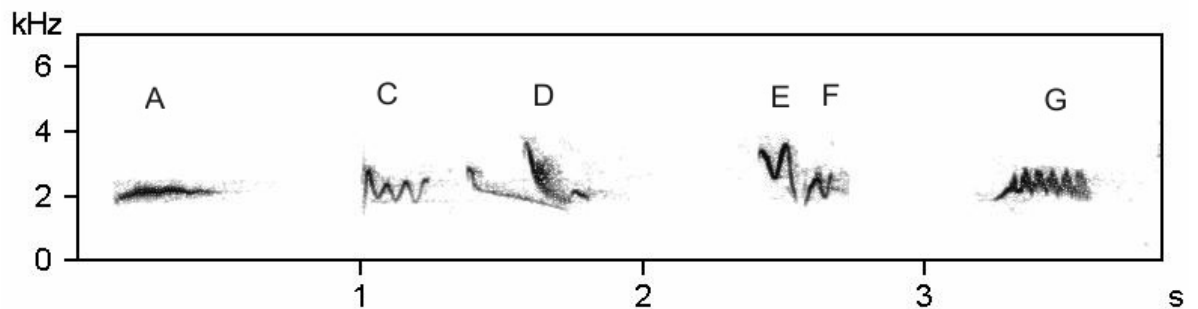


Figura 15. Sonograma de *Turdus amaurochalinus* com uma frase de 6 notas, com som puro (A), vibrato (C e G), *double voice* (D), modulação ampla ascendente descendente (E e F).

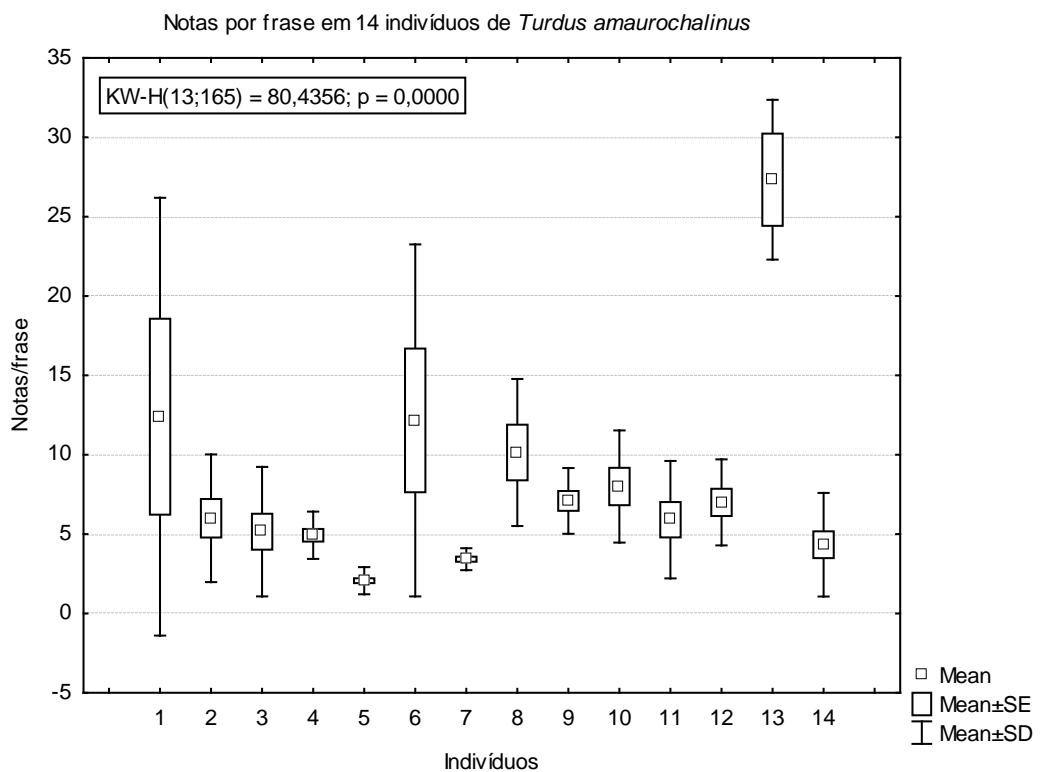


Figura 16. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 14 indivíduos de *Turdus amaurochalinus* com diferenças globais significativas entre si (*Kruskal-Wallis*).

Finalmente, para a espécie *T. albicollis* foi encontrado uma média de 11,1 notas por frase (desvio-padrão = 10,6; N = 70; mín. = 1; máx. = 55), que geralmente eram formadas por sons puros modulados (figura 17). Os valores médios por indivíduo variaram de 4,8 a 40,5 (média = 15; desvio-padrão = 10,2; N = 12). A análise estatística apresentou diferenças globais significativas no número de notas emitidas por frase entre os indivíduos, segundo o teste de Kruskal-Wallis (figura 18).

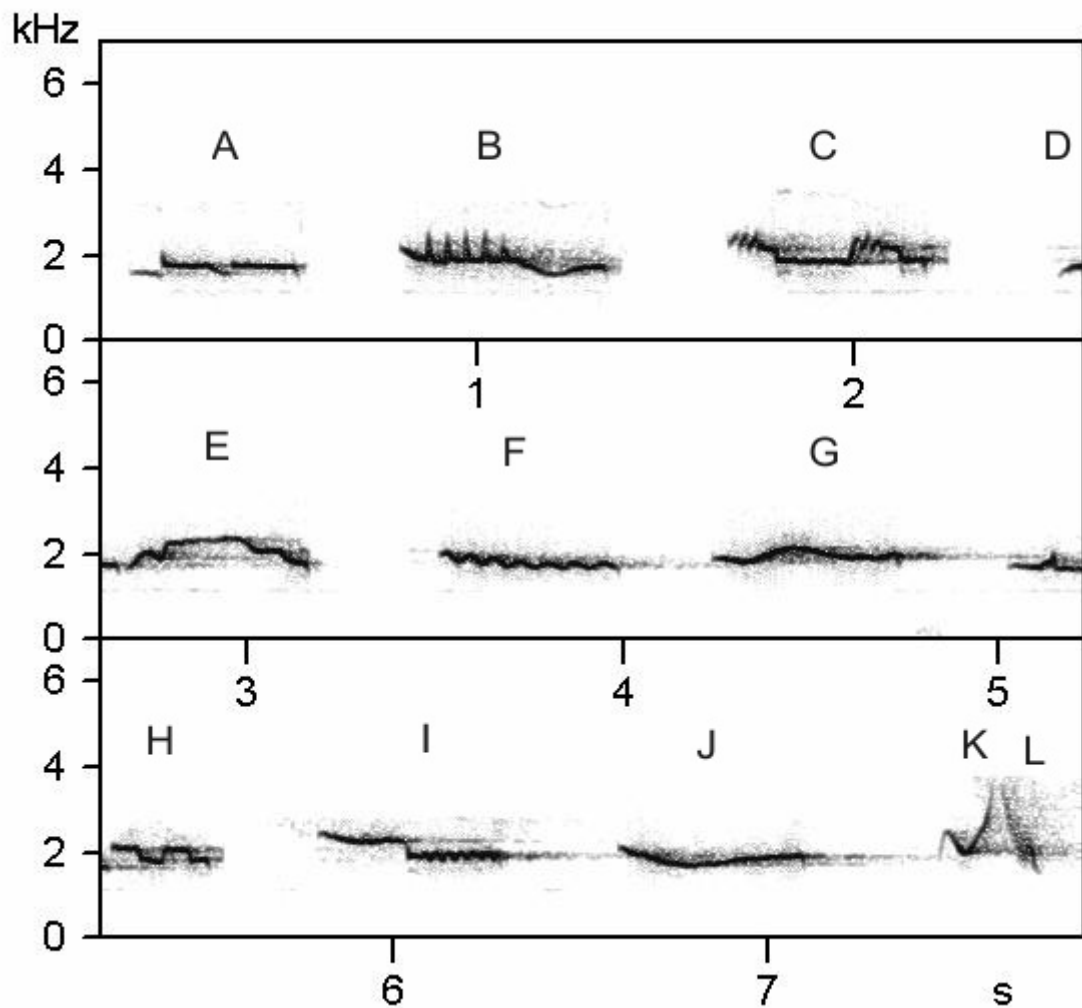


Figura 17. Sonograma de *Turdus albicollis*, frase com 12 notas, com sons puros com pequena modulação (A, D, G e J) e ampla modulação (E, H, K e L), vibratos seguido de som puro com modulação, ou não (B, F e I) e trinado seguido de som puro com modulação (C).

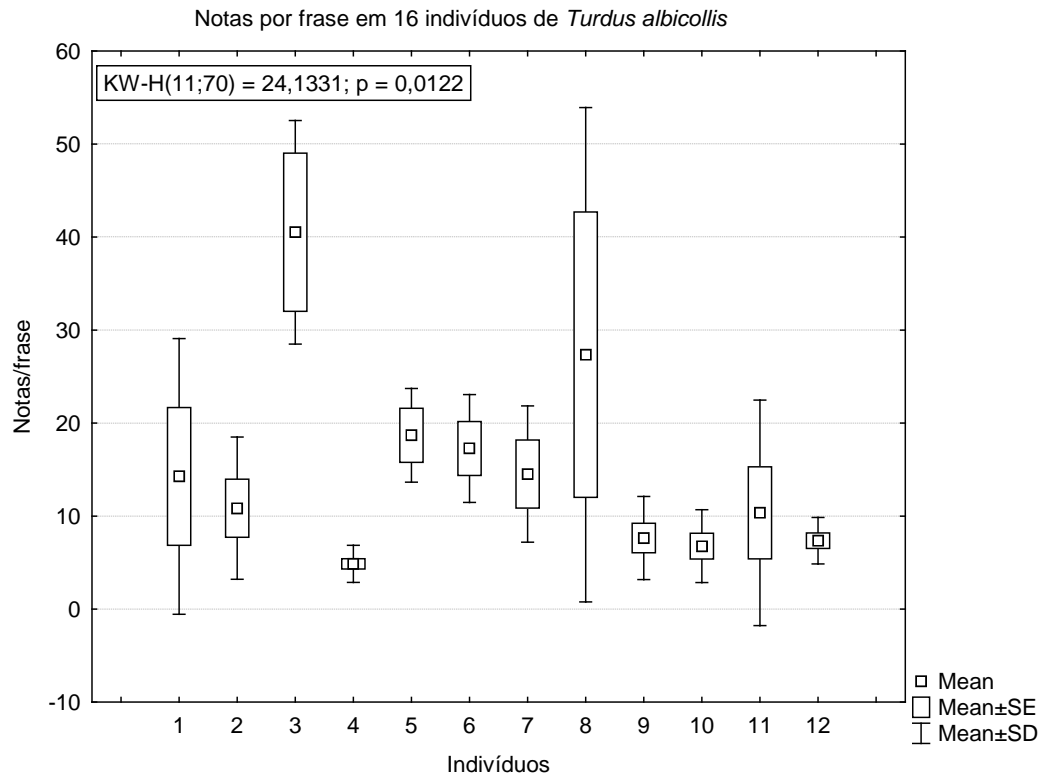


Figura 18. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) de notas por frase em 12 indivíduos de *Turdus albicollis* com diferenças globais significativas entre si (*Kruskal-Wallis*).

Quando comparamos o número médio de notas por frase emitidas entre as espécies, encontramos, por meio do teste de *Kruskal-Wallis*, diferenças significativas no resultado (média = 79; desvio-padrão = 7,5; N = 611), ver figura 19.

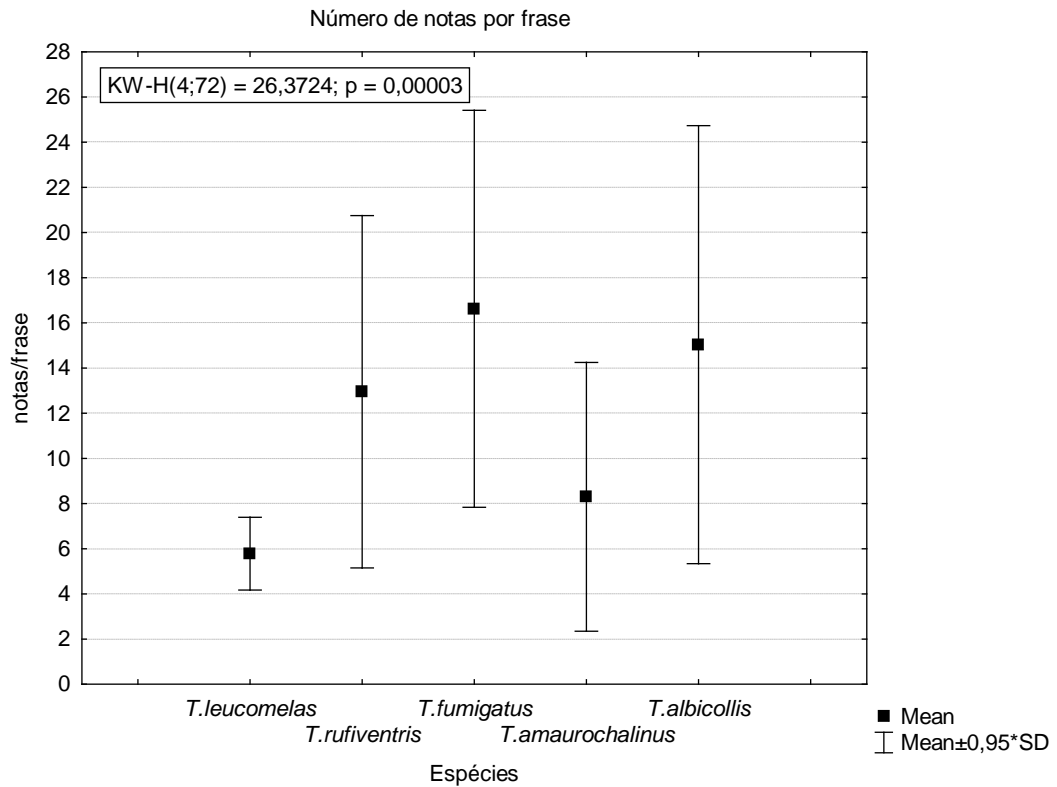


Figura 19. *Box Plot* (média e desvio padrão) do número de notas por frase entre cinco espécies do gênero *Turdus*, com diferenças significativas entre si (teste de *Kruskal-Wallis*).

Observando as notas dos sonogramas analisados encontramos eventualmente, entre as cinco espécies, a recombinação de duas notas distintas do repertório se unindo e formando uma nota apenas (figuras 20).

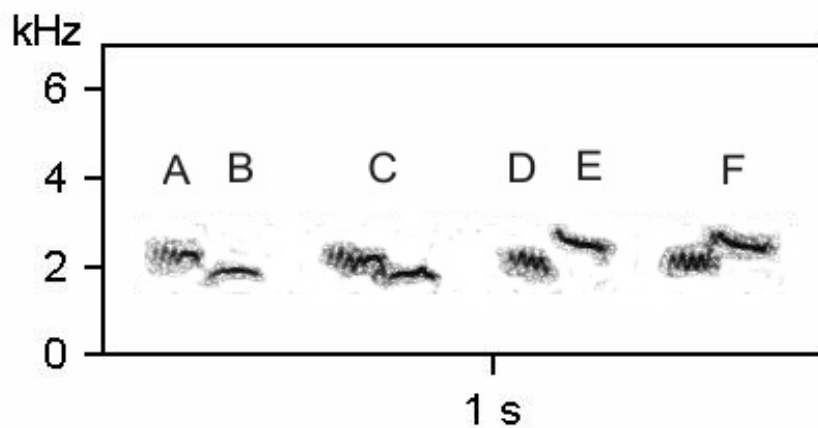


Figura 20. Sonograma de *T. leucomelas* mostrando a junção de notas (A + B = C) e (D + E = F).

4.2. REPERTÓRIO E ENTROPIA

O tamanho do repertório individual entre os 72 indivíduos das cinco espécies estudadas variou de 5 a 56 notas (média = 21,4; desvio-padrão = 10; N = 72). O repertório de notas diferiu significativamente entre as espécies, segundo o teste de *Kruskal-Wallis* (figura 21).

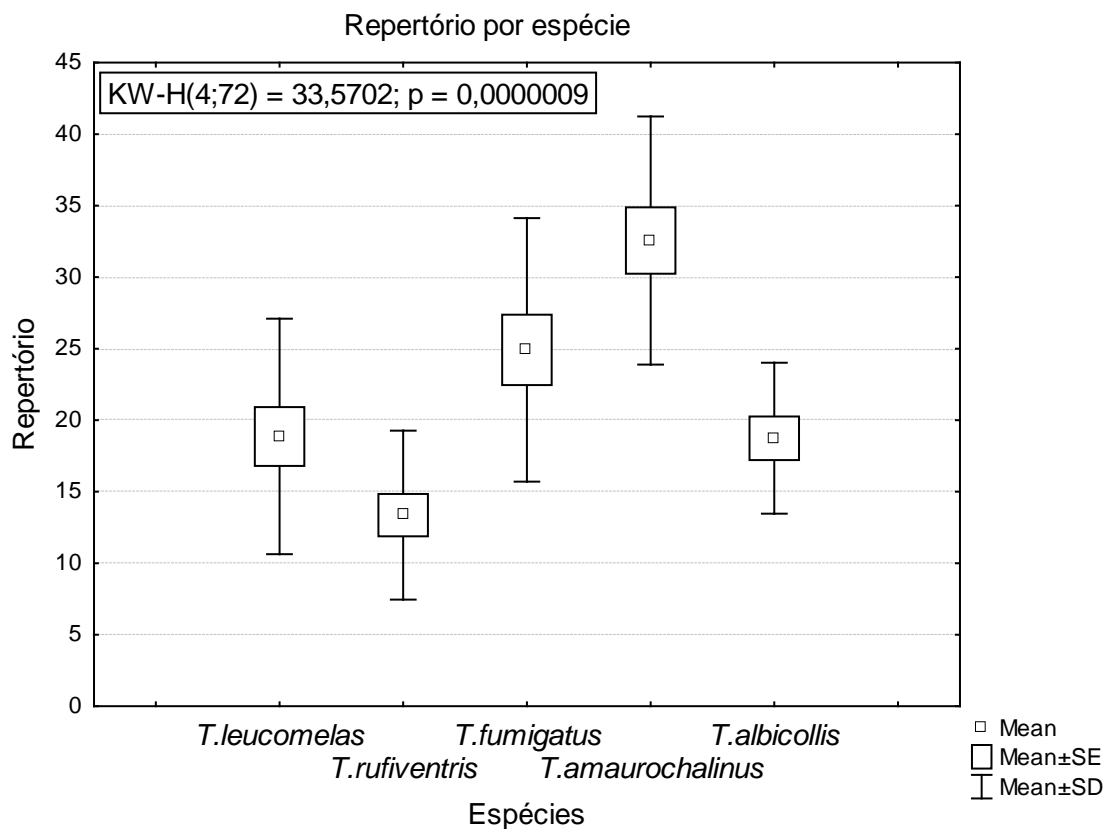


Figura 21. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) do repertório de notas de 72 indivíduos de cinco espécies do gênero *Turdus*, com diferenças globais significativas entre si (teste de *Kruskal-Wallis*).

Os valores individuais da entropia de 1º momento variaram de 1,12 a 5,67 bits/símbolo (média = 3,9; desvio-padrão = 0,8; N = 72). A figura 22 mostra os valores do tamanho de repertório relacionado com a entropia de 1º momento, além da curva com os valores da entropia máxima de 1º momento (média = 4,2; desvio-padrão = 0,72; N = 72). Segundo a

análise de variância, *One-way* ANOVA, os valores de E_1 e da $E_{\max 1}$ diferiram significativamente entre as espécies (figuras 23).

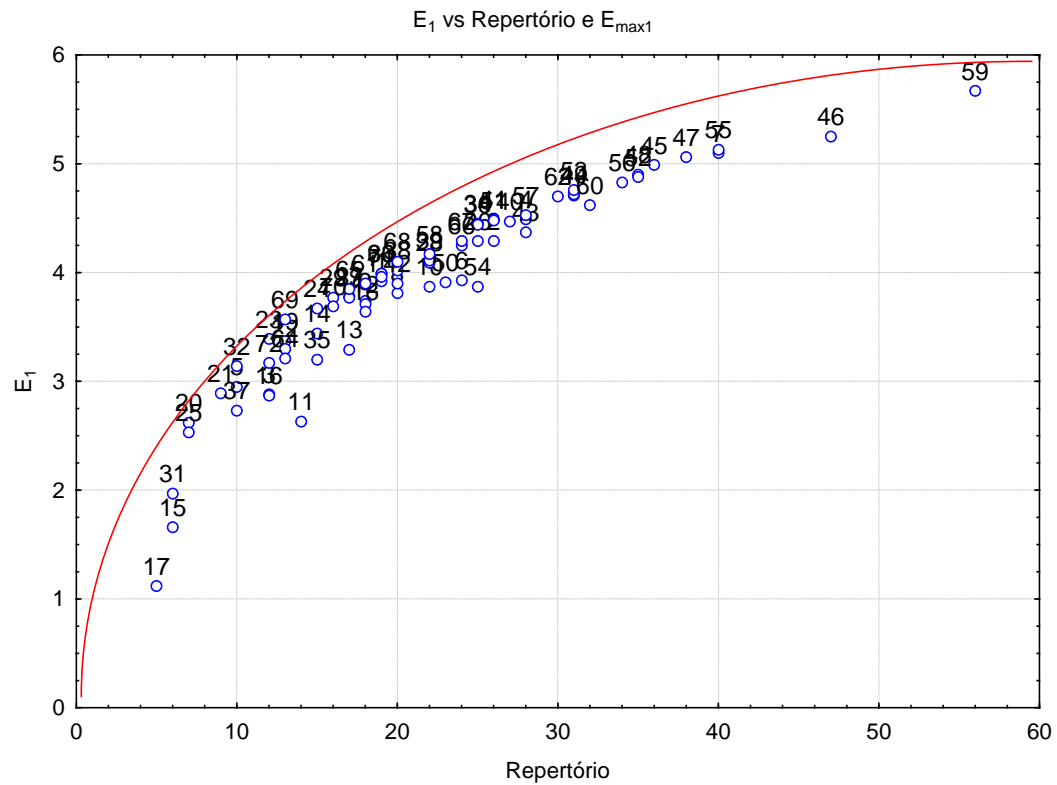


Figura 22. Entropia de 1º momento vs Repertório de notas e função exponencial representativa da entropia máxima de 1º momento.

Variação dos valores médios da entropia e entropia máxima de 1º ordem entre as 5 espécies

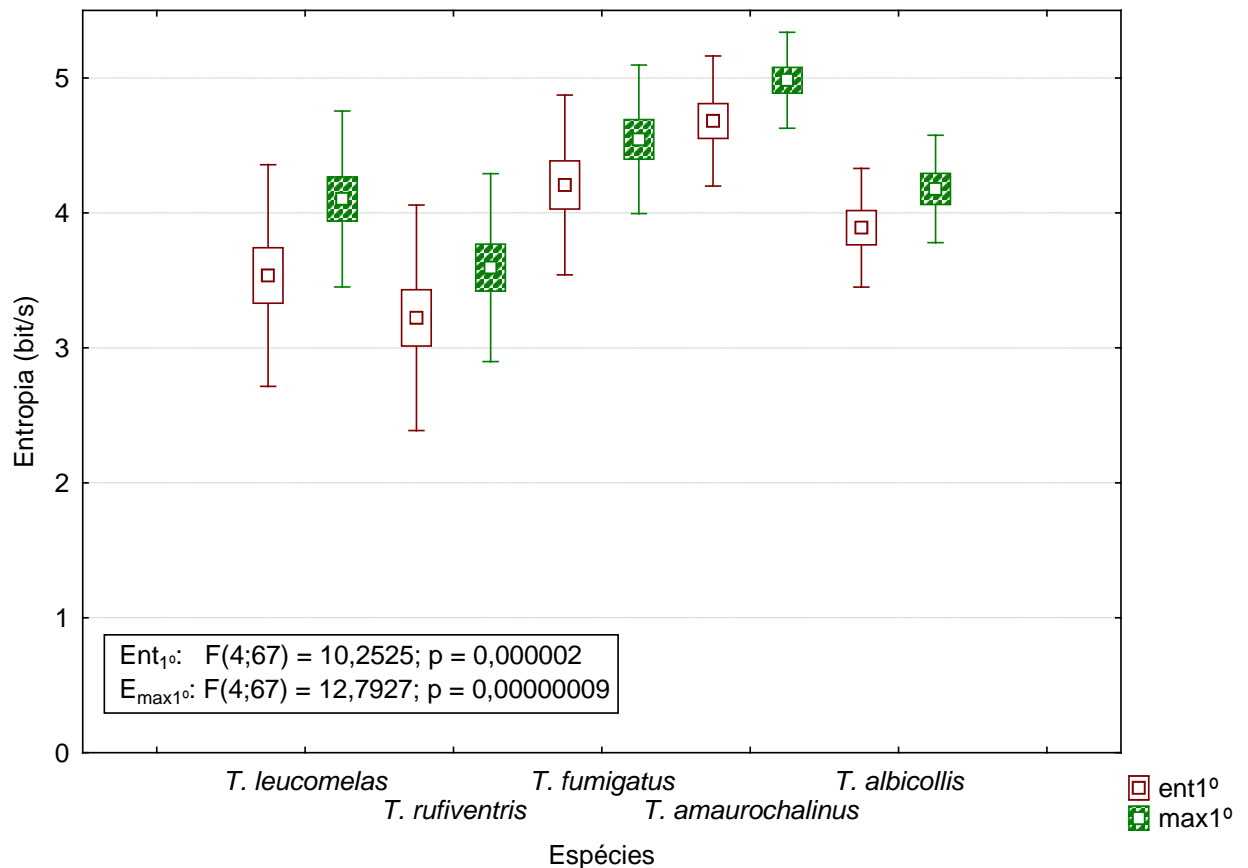


Figura 23. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) dos valores médios da entropia e entropia máxima de 1º momento entre cinco espécies do gênero *Turdus*, com diferenças globais significativas entre as espécies (teste *One-way ANOVA*).

O tamanho do repertório de notas duplas variou de 6 a 76 notas (média = 31,7; desvio-padrão = 13,2; N = 72). A partir do teste *One-way ANOVA* verificamos diferenças globais significativas nas médias dos valores do repertório de 2º momento entre as cinco espécies de *Turdus* (figura 24).

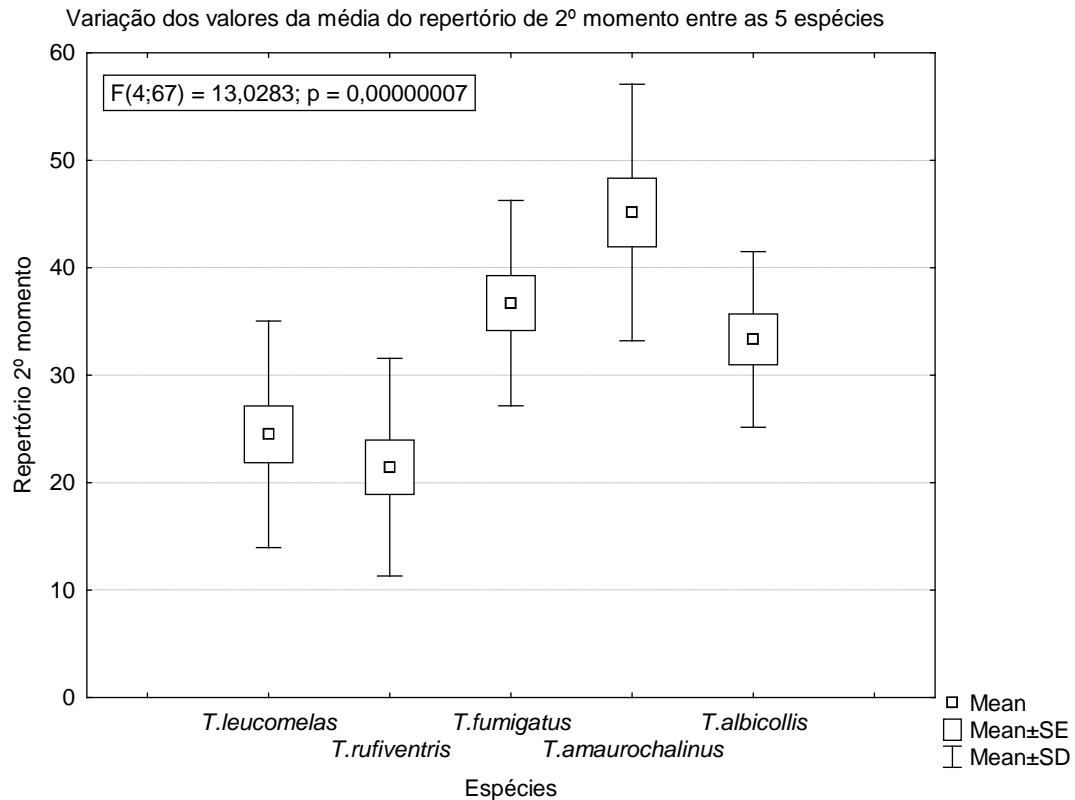


Figura 24. *Box plot* (médio, erro-padrão e desvio-padrão) dos valores médio do repertório de 2º momento entre as 5 espécies (teste *One-way ANOVA*).

Os valores da entropia de 2º momento variaram de 1,36 a 6,23 bits/símbolo (média = 4,5; desvio-padrão = 0,91; $N = 72$). A figura 25 mostra a relação entre a entropia de 2º momento e o repertório de notas duplas e a curva com os valores da entropia máxima de 2º momento. As médias dos valores de E_2 e da $E_{\max 2}$ apresentam diferenças estatisticamente significativas entre as espécies da amostra, segundo o teste *One-way ANOVA* para dados paramétricos (figura 26). Os valores encontrados para quatro tipos de entropia: a de 1º momento, a de 2º momento, a máxima de 1º momento e a máxima de 2º momento, podem ser vistos na figura 27.

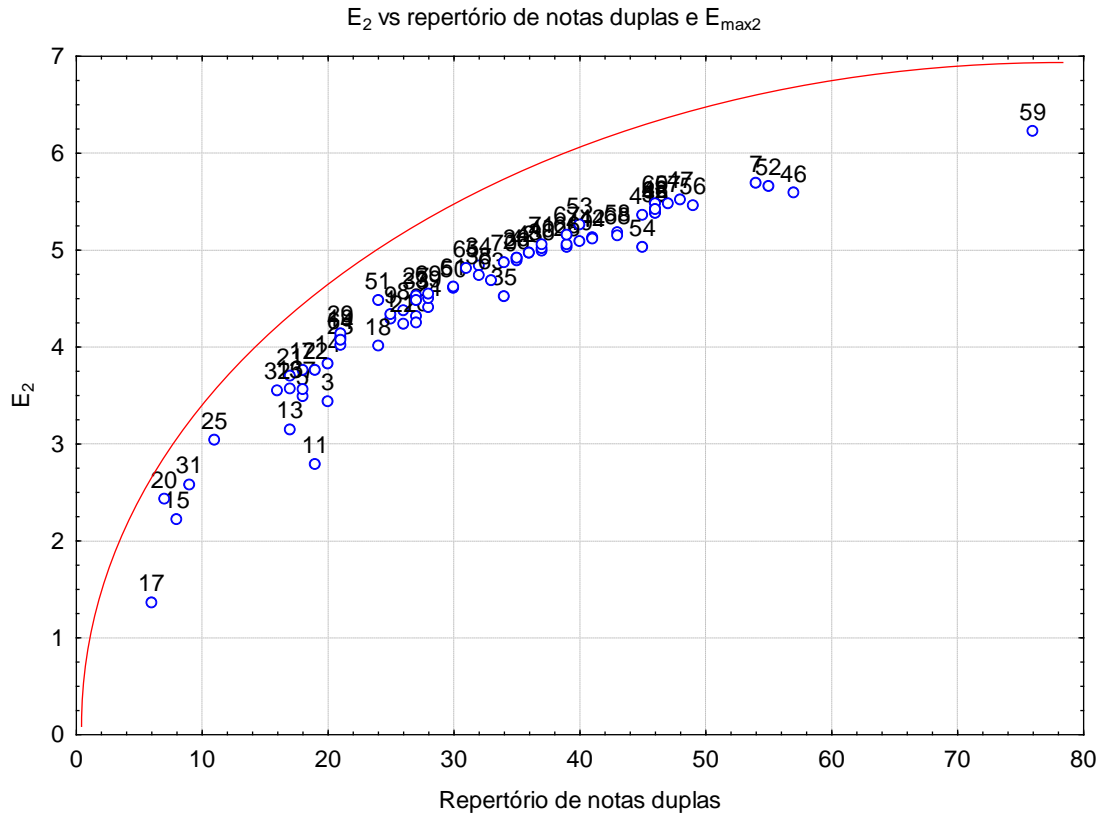


Figura 25. Entropia de 2º momento vs Repertório de notas duplas com função exponencial representando os valores da $E_{\max 2}$ em 72 indivíduos de cinco espécies do gênero *Turdus*.

Varição dos valores médios da entropia e entropia máxima de 2º ordem entre as 5 espécies

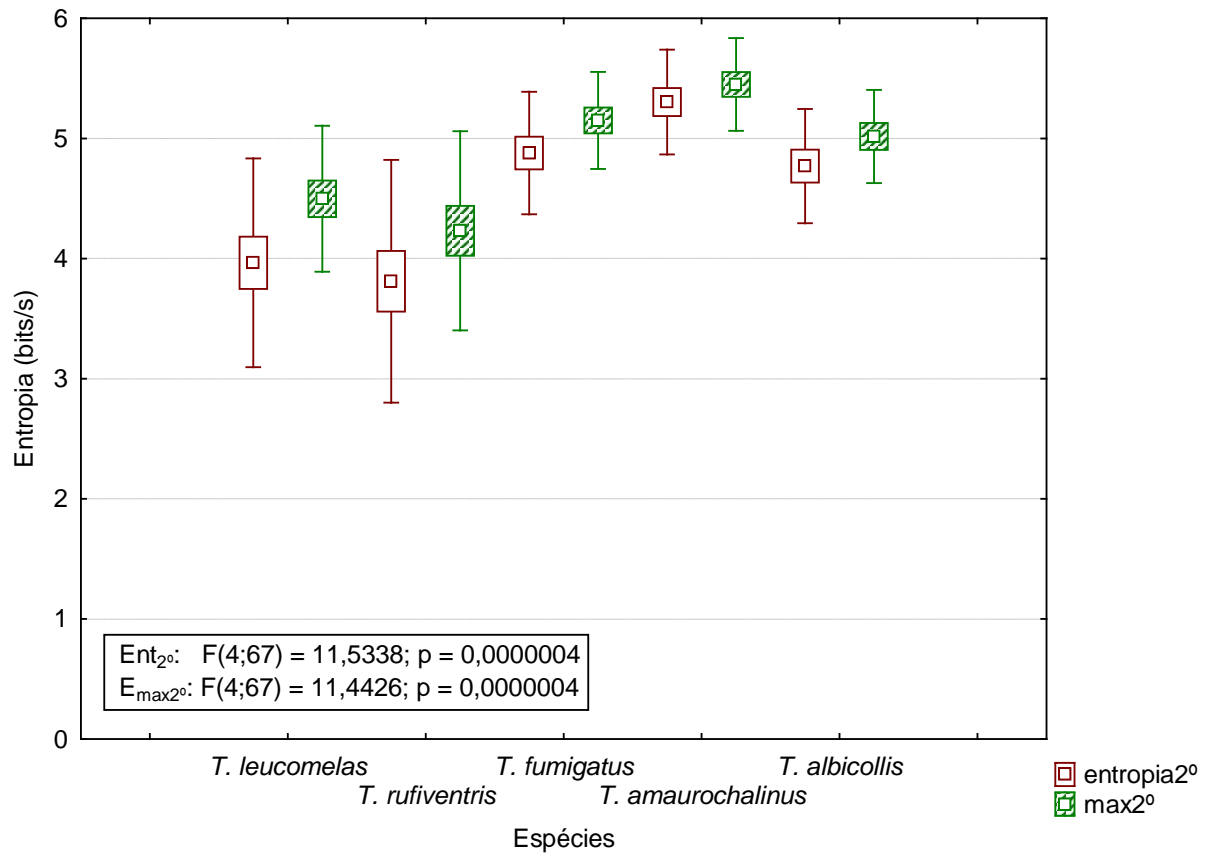


Figura 26. *Box plot* (média, erro-padrão e desvio-padrão) dos valores médios da entropia e entropia máxima de 2º momento entre cinco espécies do gênero *Turdus* (teste *One-way ANOVA*).

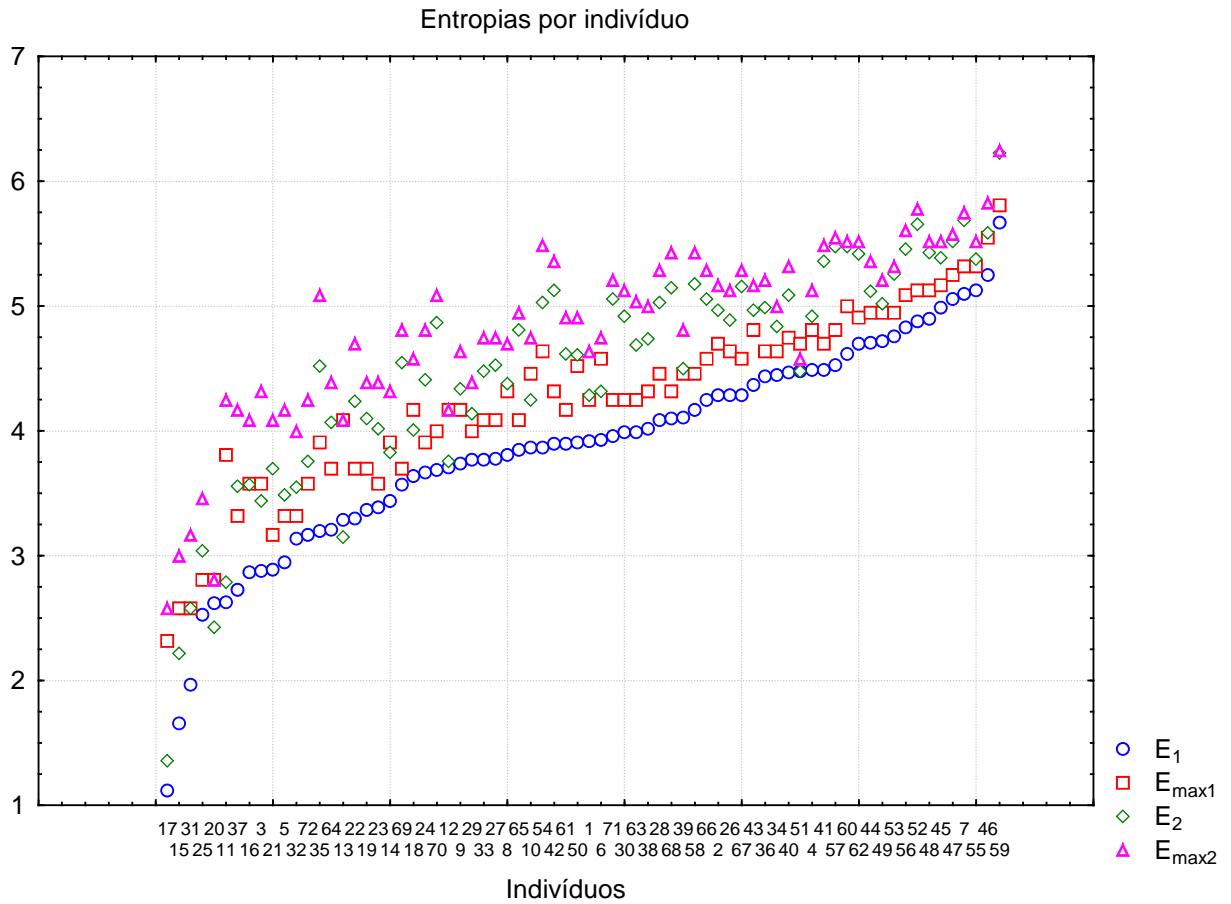


Figura 27. Valores da entropia de 1º momento em ordem crescente em 72 indivíduos, e seus respectivos valores de entropia máxima de 1º momento, entropia de 2º momento e entropia máxima de 2º momento.

4.3. PARÂMETROS FÍSICOS DO SOM

Os parâmetros físicos do som podem ser subdivididos em parâmetros temporais e de frequência. Os temporais são duração da nota, duração mais intervalo entre as notas, intervalo entre as notas e notas por segundo. E os parâmetros de frequência, que é as medidas de frequência máxima e mínima.

Os valores médios individuais da duração das notas (média = 286; desvio-padrão = 96,1; N = 72), duração das notas mais o intervalo entre notas (média = 505; desvio-padrão = 141; N = 72) e do intervalo entre as notas (média = 219; desvio-padrão = 87; N = 72) podem ser vistos na figura 28. A figura 29 mostra os valores médios e individuais das notas por segundo (média = 2,5; desvio-padrão = 0,92; N = 72). E os valores médios da frequência máxima (média = 2671; desvio-padrão = 323; N = 72) e frequência mínima (média = 1808; desvio-padrão = 158; N = 72), na figura 30. Tanto os parâmetros temporais, quanto os parâmetros de frequência apresentaram diferenças globais estatisticamente significativas entre os indivíduos das cinco espécies, segundo o teste de *Kruskal-Wallis* (figuras 31, 32, 33, 34 e 35).

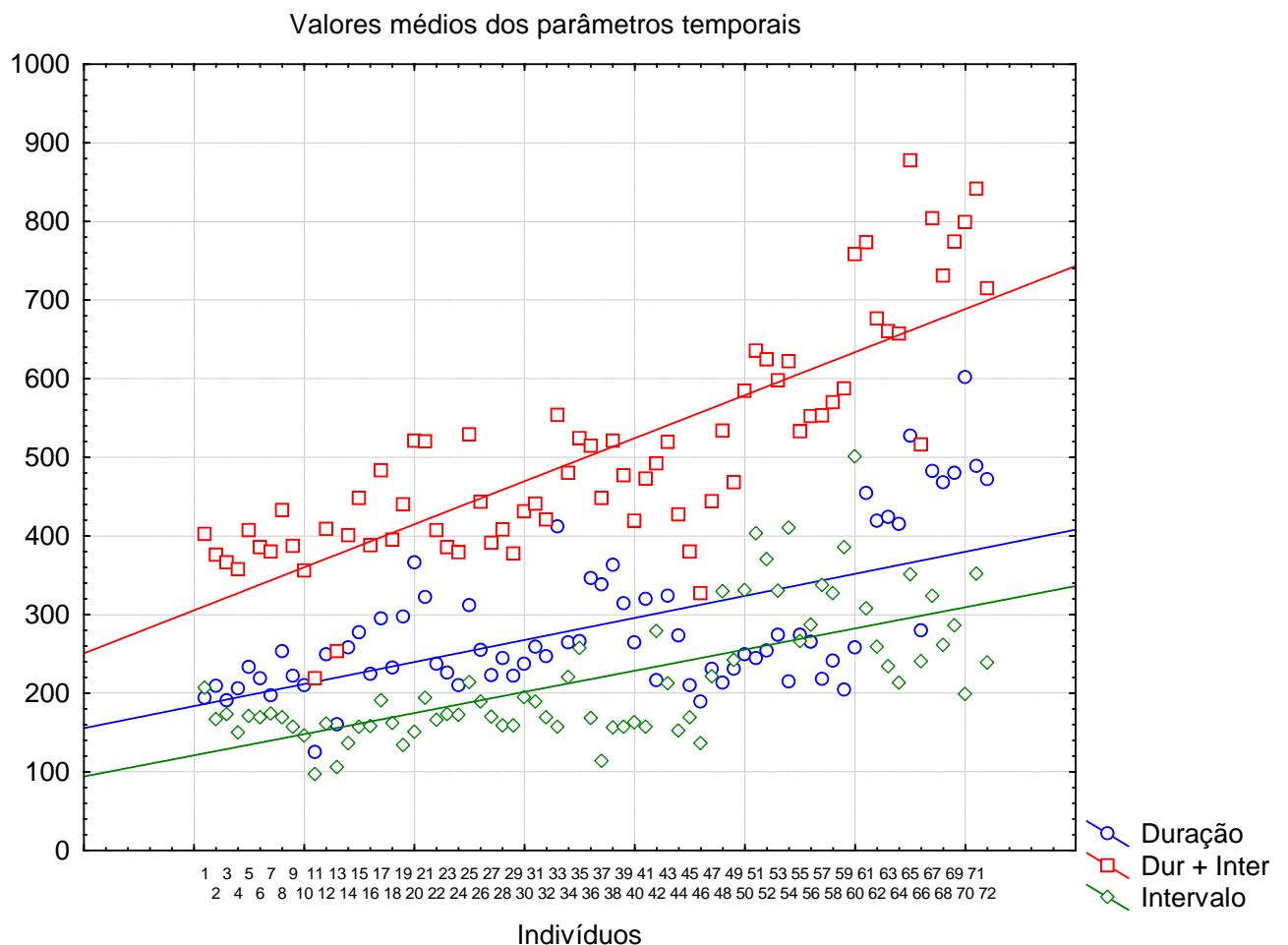


Figura 28. Distribuição dos valores médios dos parâmetros temporais em 72 indivíduos de cinco espécies do gênero *Turdus*.

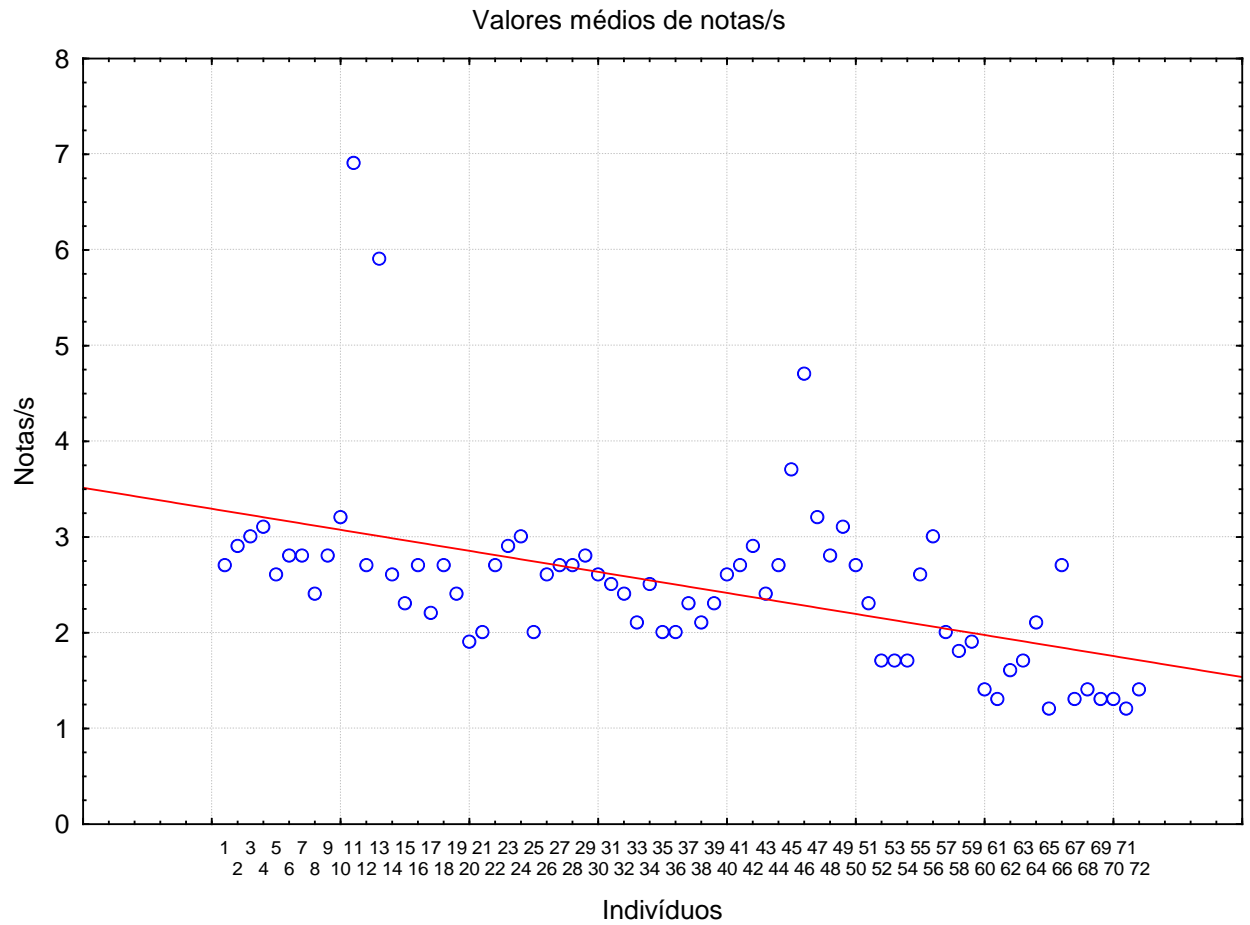


Figura 29. Distribuição dos valores médios de notas por segundo em 72 indivíduos do gênero *Turdus*.

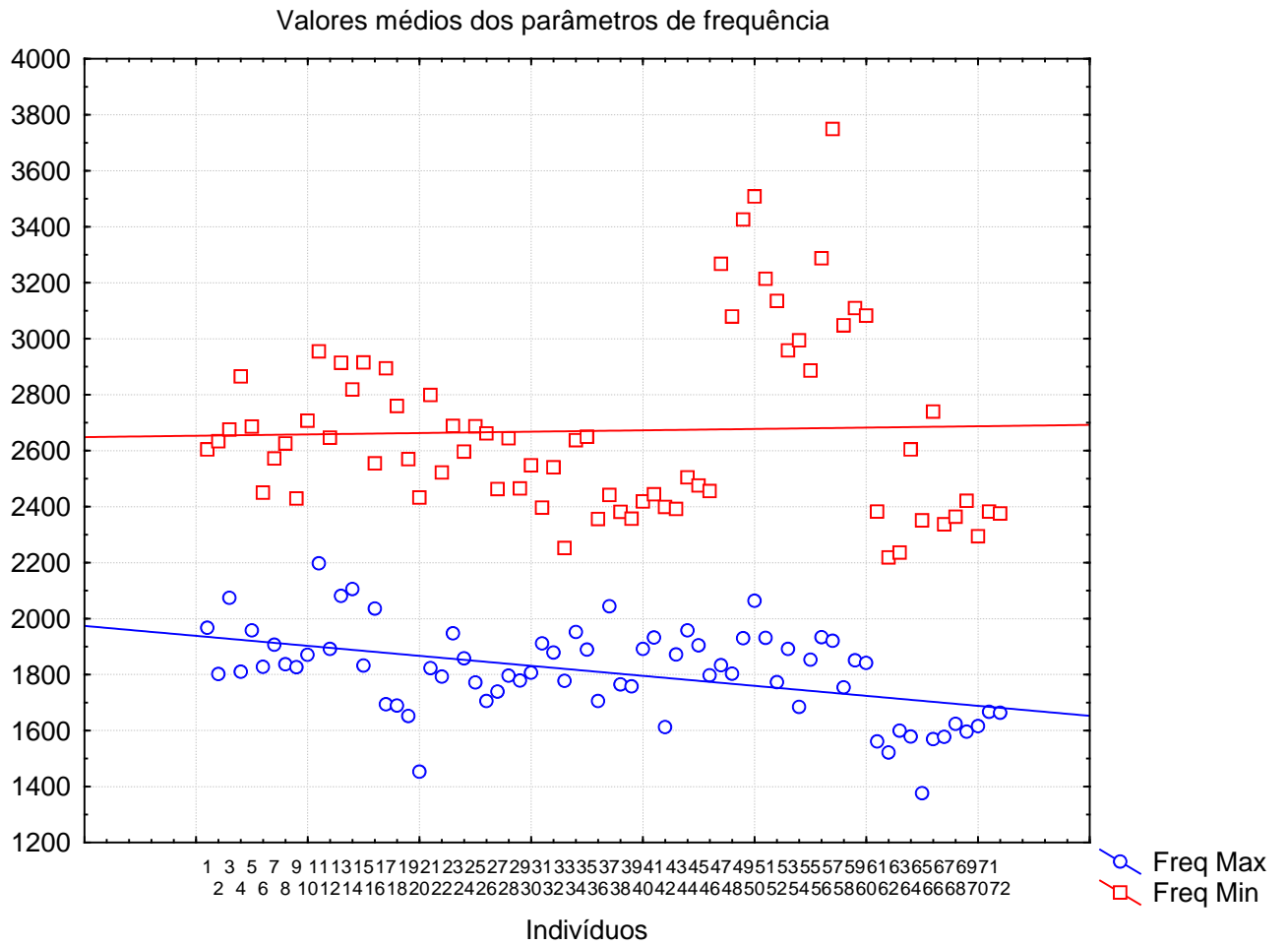


Figura 30. Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência em 72 indivíduos do gênero *Turdus*.

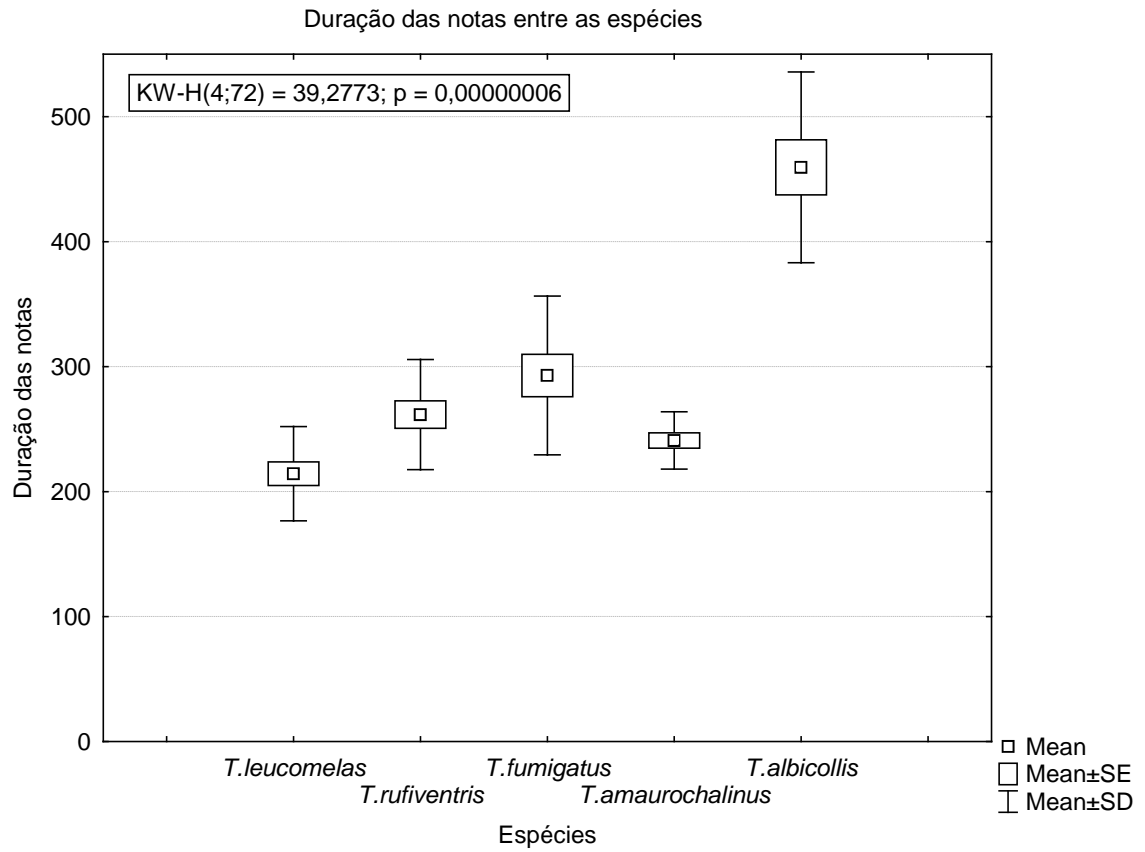


Figura 31. *Box plot* (média e desvio-padrão) dos valores médios da duração das notas em cinco espécies de *Turdus*.

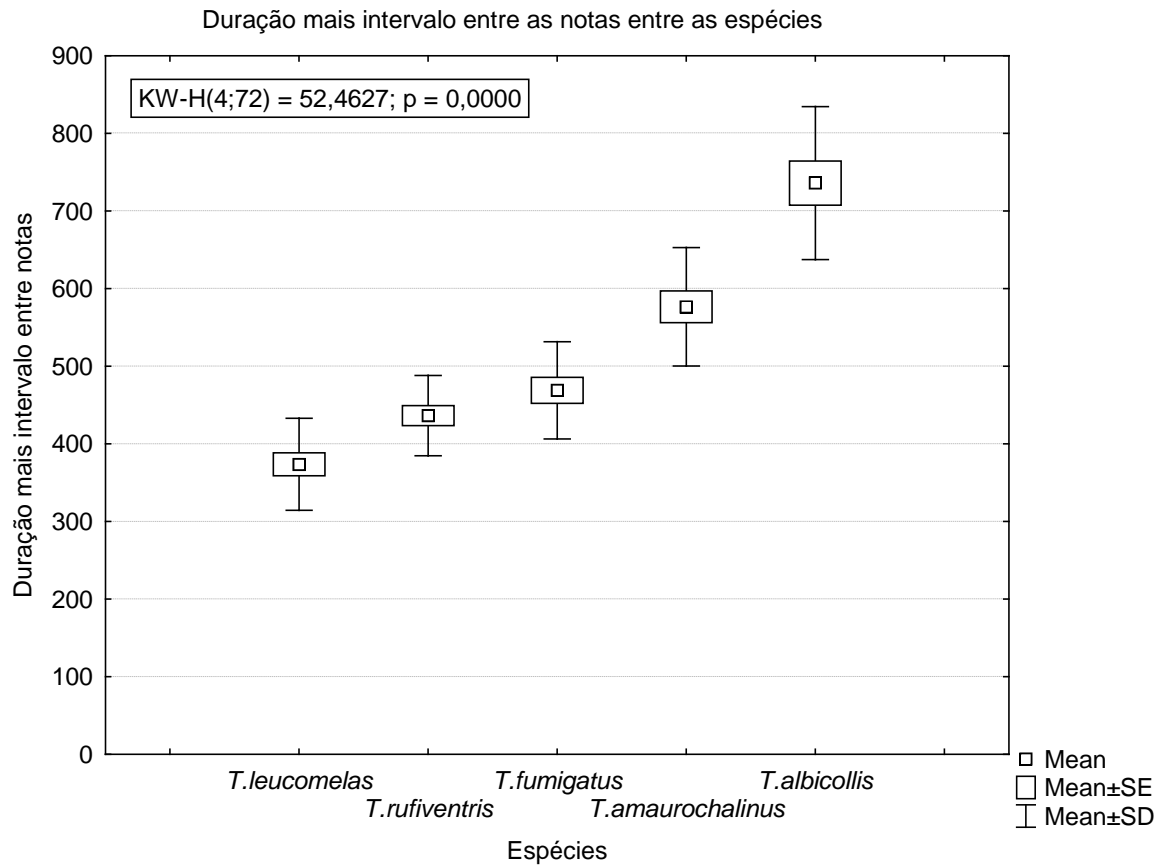


Figura 32. *Box plot* (média e desvio-padrão) dos valores médios da duração mais intervalo entre notas em cinco espécies de *Turdus*.

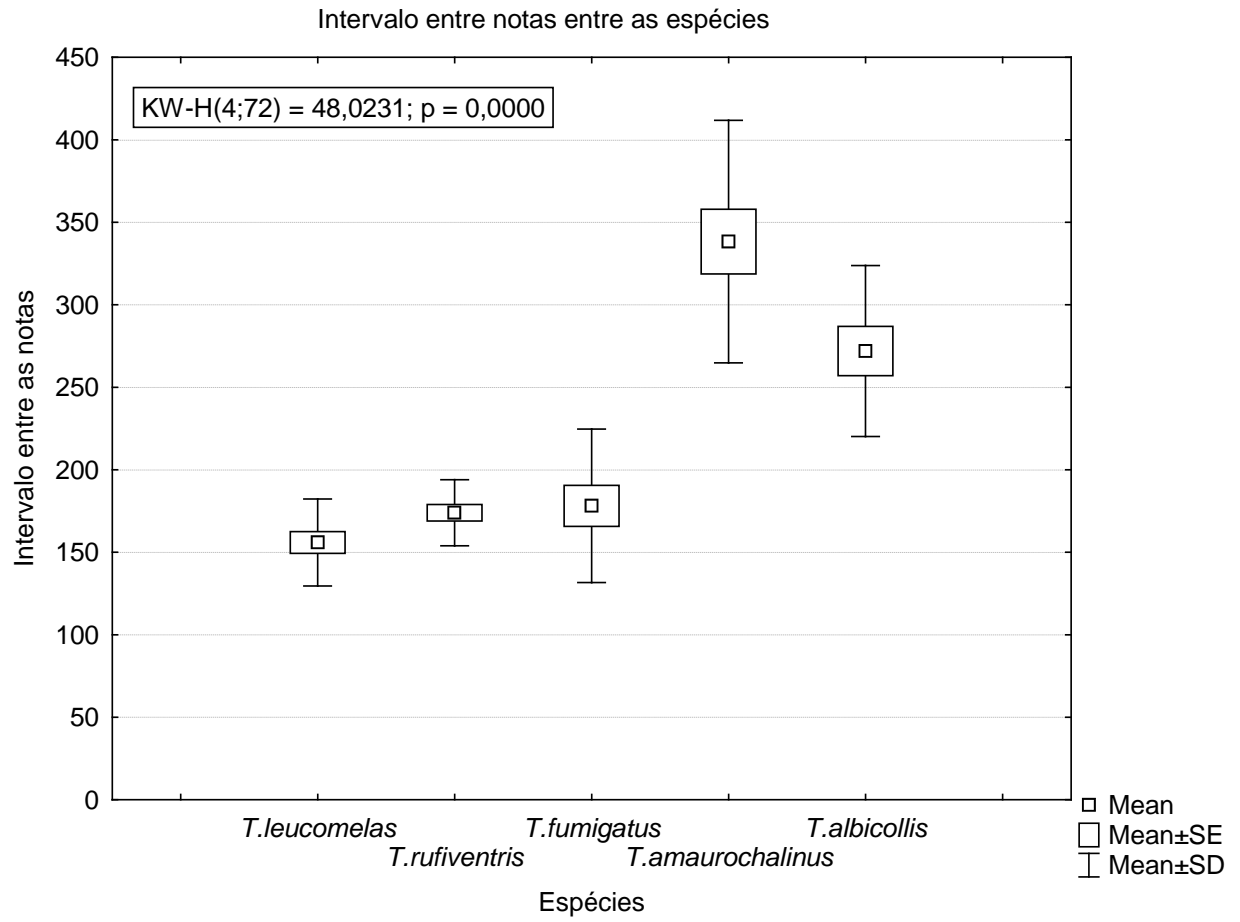


Figura 33. *Box plot* (média e desvio-padrão) dos valores médios do intervalo entre as notas em cinco espécies de *Turdus*.

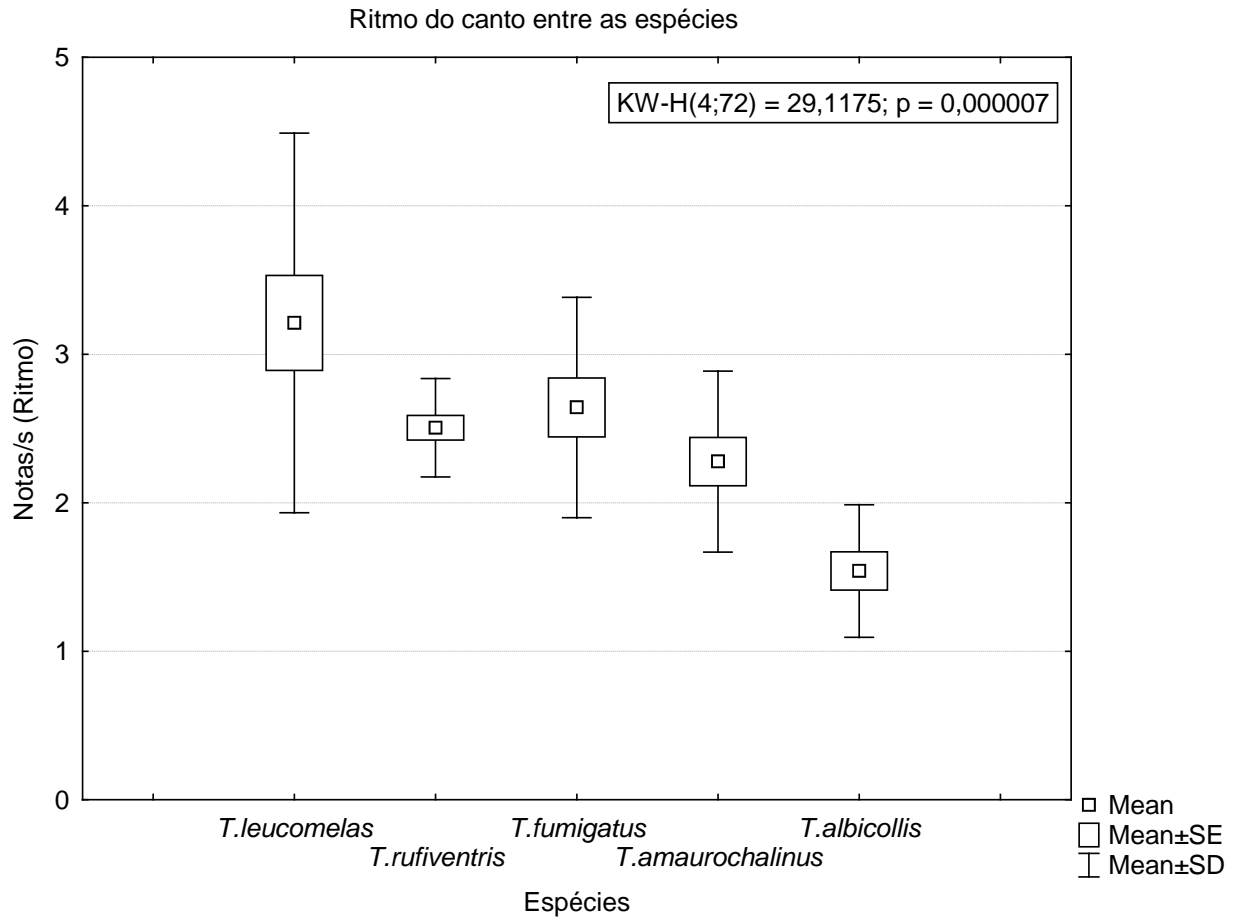


Figura 34. *Box plot* (média e desvio-padrão) dos valores médios do ritmo em cinco espécies de *Turdus*.

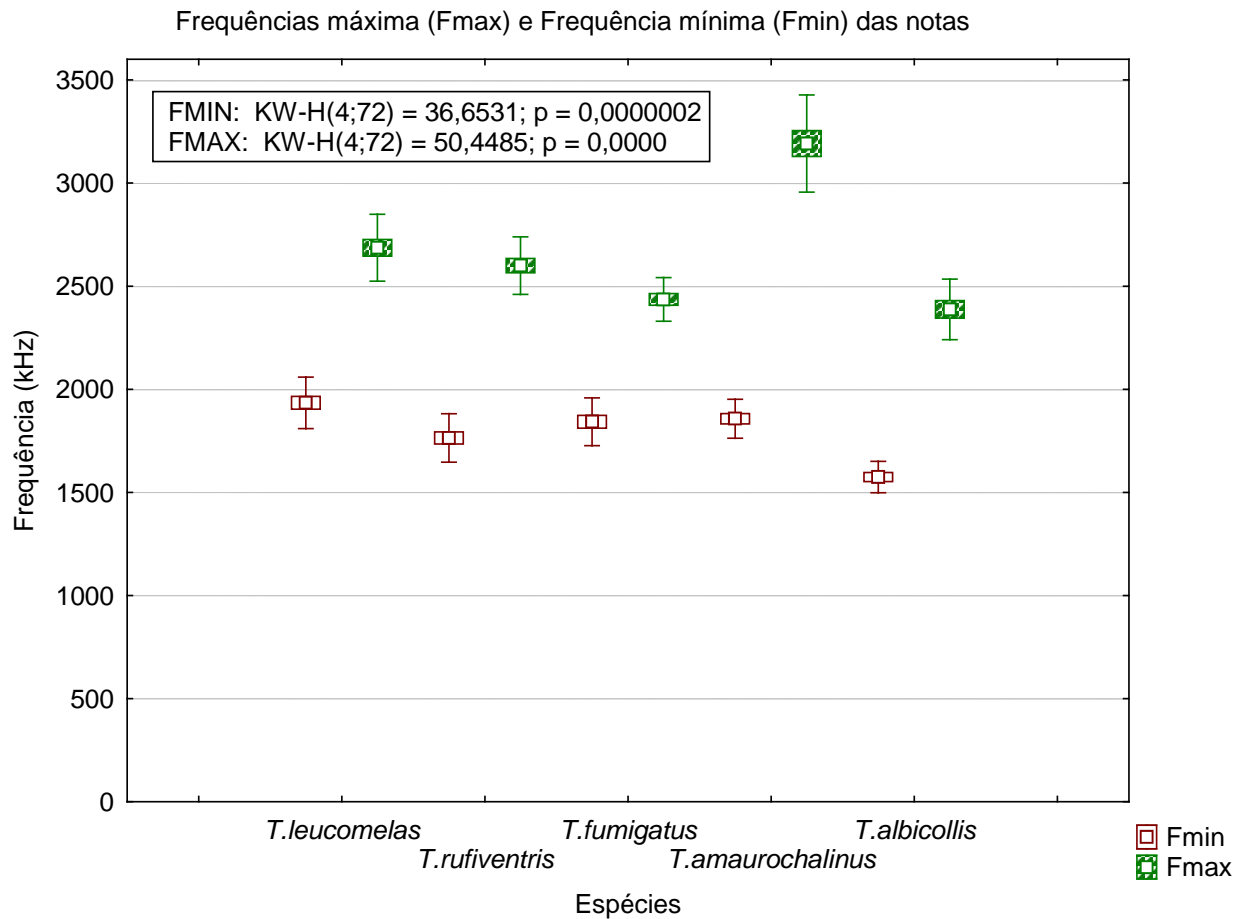


Figura 35. *Box plot* (média e desvio-padrão) dos valores médios da frequência mínima das notas em cinco espécies de *Turdus*.

4.4. AGRUPAMENTO E ANÁLISE MULTIVARIADA

Por meio da análise multivariada de conglomerados (*cluster analysis*), buscamos a classificação e agrupamento dos indivíduos considerando os seguintes parâmetros físicos: o número de notas por segundo, número de notas por frase, as frequências máxima e mínima e as entropias de 1º e 2º momento. Utilizamos também a distância euclidiana como método de medição de distância e o *complete linkage* como regra de ligação entre os grupos (figura 36).

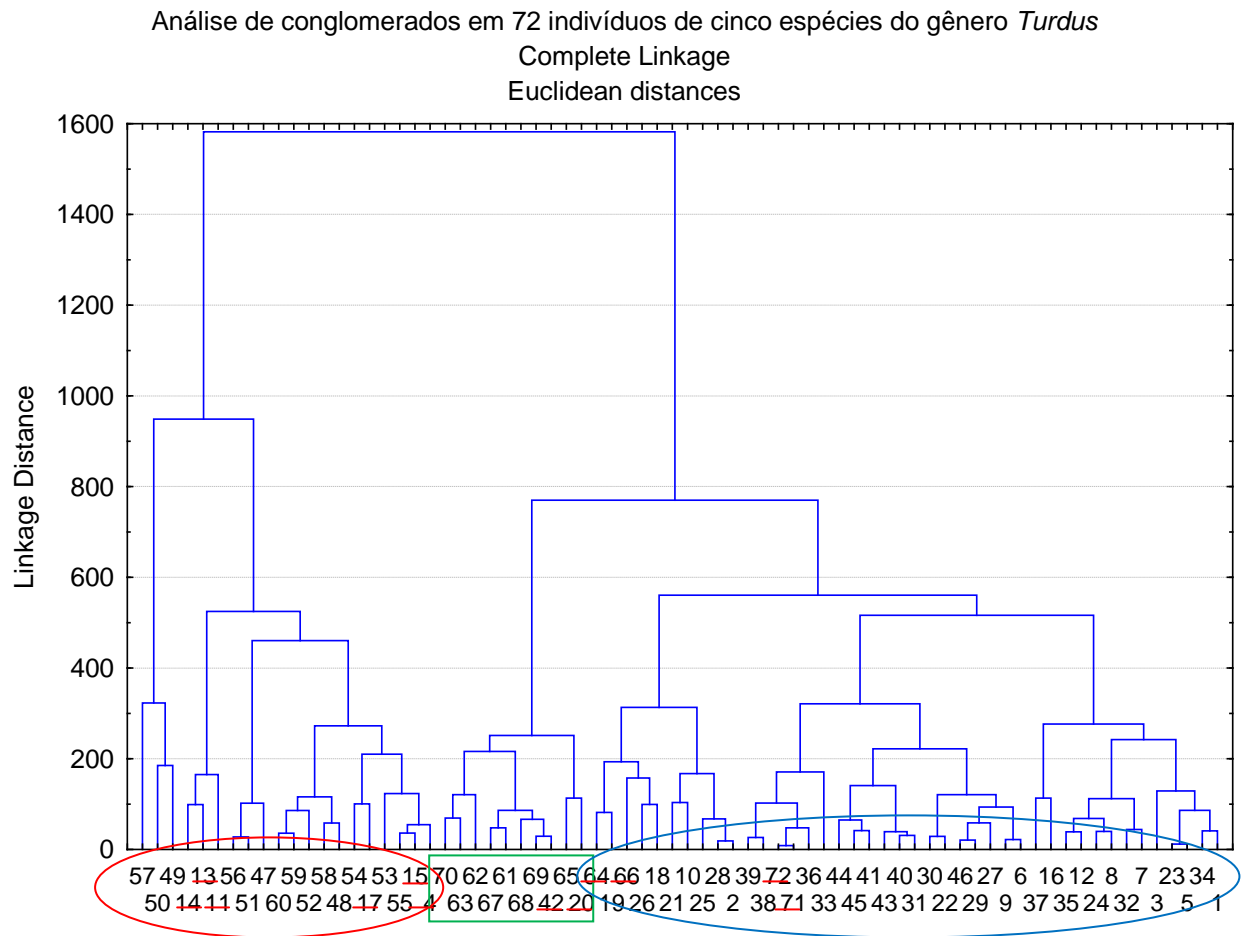


Figura 36. Análise de conglomerados dos 72 indivíduos das cinco espécies de *Turdus*, de acordo com as variáveis: notas por segundo (ritmo), notas por frase, as frequências máxima e mínima e as entropias de 1º e 2º momento. Em destaque o grupo formado majoritariamente por *T. amaurochalinus* (elipse vermelha), o grupo formado majoritariamente por *T. albicollis* (retângulo verde) e o grupo formado majoritariamente por *T. leucomelas*, *T. fumigatus* e *T. rufiventris* (elipse azul). Os números sublinhados de vermelho indicam indivíduos de espécies diferentes a espécie de maior ocorrência no grupo.

No primeiro nível de separação, formam-se dois grupos distintos: o primeiro (esquerda) reúne os 14 indivíduos de *T. amaurochalinus*, 5 indivíduos de *T. leucomelas* e 1 indivíduo de *T. rufiventris*; o segundo grupo reuniu 14 indivíduos de *T. fumigatus*, 12 indivíduos de *T. albicollis*, 15 indivíduos de *T. rufiventris* e 11 indivíduos de *T. leucomelas*. Posteriormente o segundo agrupamento subdivide-se em outros dois: um com 8 indivíduos de

T. albicollis, 1 indivíduos de *T. fumigatus* e 1 indivíduo de *T. rufiventris* e o outro com os demais indivíduos que integravam o segundo grupo do primeiro nível de separação.

Podemos considerar que se formaram três grupos relevantes: o primeiro com 20 indivíduos (57, 50, 49, 14, 13, 11, 56, 51, 47, 60, 59, 52, 58, 48, 54, 17, 53, 55, 15 e 4), onde estão os 14 indivíduos de *T. amaurochalinus* da amostra; o segundo grupo formado 10 indivíduos (70, 63, 62, 67, 61, 68, 69, 42, 65, 20), onde 8 são da espécie *T. albicollis*; e o terceiro grupo com 42 indivíduos (64, 19, 66, 26, 18, 21, 10, 25, 28, 2, 39, 38, 72, 71, 36, 33, 44, 45, 41, 43, 40, 31, 30, 22, 46, 29, 27, 9, 6, 37, 16, 35, 12, 24, 8, 32, 7, 3, 23, 5, 34, 1), formado principalmente por *T. fumigatus*, *T. rufiventris* e *T. leucomelas*. Os valores da média, desvio-padrão e mediana das variáveis dos três grupos formados na análise de conglomerados estão nas tabelas 1, 2 e 3.

A análise multivariada de componentes principais (PCA) por meio das variáveis usadas na análise de conglomerado forneceu duas componentes que são responsáveis 66% da variância entre os 72 indivíduos analisados, as variáveis mensuradas que apresentaram maior importância na componente 1, em ordem de contribuição, foi a entropia de 2º momento e entropia de 1º momento, a variável que teve menor importância foi a frequência máxima. E na componente 2 a variável de maior importância foi a frequência máxima, e de menor importância foi notas por frase (Tabela 4).

Tabela 1. Estatística básica das variáveis mais importante no grupo 5, formado majoritariamente por *T. amaurochalinus*.

Variáveis	Grupo 1		
	Média	Mediana	Desvio-padrão
Nota/s	2,74	2,45	±1,37
Frequência mínima (kHz)	1,89	1,85	±0,14
Frequência máxima (kHz)	3,11	3,06	±0,25
E ₁	4,11	4,51	±1,17
E ₂	4,62	5,1	±1,29
Notas/frase	7	6	5

Tabela 2. Estatística básica das variáveis mais importante no grupo 5, formado majoritariamente por *T. albicollis*.

Variáveis	Grupo 2		
	Média	Mediana	Desvio-padrão
Nota/s	1,59	1,35	±0,51
Frequência mínima (kHz)	1,55	1,59	±0,08
Frequência máxima (kHz)	2,34	2,36	±0,07
E ₁	3,86	3,9	±0,54
E ₂	4,68	4,84	±0,84
Notas/frase	16	14	11

Tabela 3. Estatística básica das variáveis mais importante no grupo 5, formado principalmente pelas espécies *T. fumigatus*, *T. rufiventris* e *T. leucomelas*.

Variáveis	Grupo 2		
	Média	Mediana	Desvio-padrão
Nota/s	2,57	2,65	±0,56
Frequência mínima (kHz)	1,83	1,83	±0,12
Frequência máxima (kHz)	2,54	2,55	±0,13
E ₁	3,77	3,79	±0,71
E ₂	4,4	4,4	±0,7
Notas/frase	12	10	8

Tabela 4. Relação das variáveis com a principal componente (68%).

Variáveis	Componente 1	Componente 2
Notas/s	-0,57	-0,5
Frequência mínima	-0,57	-0,62
Frequência máxima	-0,21	-0,7
E₁	0,73	-0,64
E²	0,84	-0,51
Notas/frase	0,42	0,27

Levando a análise a outro nível de comparação, utilizando os valores médios por espécie dos mesmos parâmetros, mesmo tipo de distância e ligação, temos a visão como as espécies se agruparam.

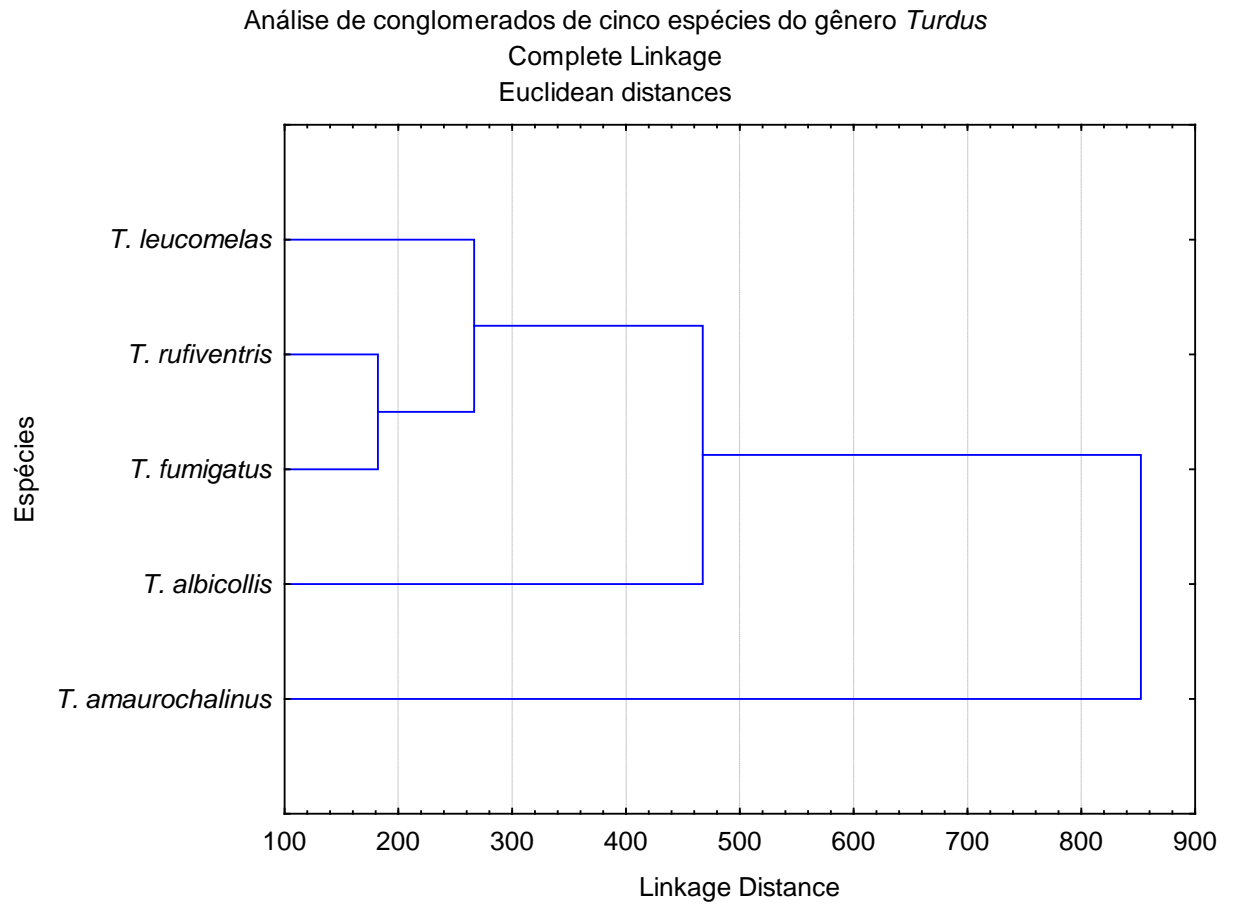


Figura 37. Análise de conglomerados das cinco espécies do gênero *Turdus*, de acordo com as variáveis: notas por segundo (ritmo), notas por frase, as frequências máxima e mínima e as entropias de 1° e 2° momento.

5. DISCUSSÃO

5.1. TIPOS DE NOTAS E FRASES

De modo geral as cinco espécies do gênero *Turdus* deste estudo apresentam sons puros com modulações leves, amplas, ascendentes e/ou descendentes. Mas também podemos encontrar, em menor proporção, sons puros sem modulação, “double voice”, trinados e no caso de quatro indivíduos de *T. fumigatus* foram marcantes a presença de sons tonais em quase todas as frases (figuras 9, 11, 13, 15 e 16). O trabalho de Silva (2001) relata a enorme diversidade de tipos de notas que podemos encontrar em *T. rufiventris*, tais como: sons puros, vibratos, trinados, harmônicos, “double voice”, entre outros.

O número de notas por frase mostrou grande variação com diferenças inter-individual e inter-específica estatisticamente significativas (figuras 10, 12, 14, 16, 18 e 19). O valor médio por espécie desta variável em ordem crescente ficou da seguinte forma: *T. leucomelas* (média = 5,4; desvio-padrão = 2,8), *T. amaurochalinus* (média = 5,9; desvio-padrão = 5,6), *T. rufiventris* (média = 9,3; desvio-padrão = 7,2), *T. albicollis* (média = 11,1; desvio-padrão = 10,6) e *T. fumigatus* (média = 13,4; desvio-padrão = 11).

A característica de recombinação de notas para a formação de uma nova nota no repertório individual (figura 20) foi entendida como fazendo parte de um processo criativo que as espécies apresentaram. Estudos sobre a ontogênese do canto com as espécies podem revelar se pode se tratar de uma fase de criativa da formação do canto ou se é uma característica ocorrente no canto. Vielliard (1987) usa como exemplo de estudo de ontogênese do canto, o caso do Tico-tico da Califórnia *Zonotrichia leucophrys*, uma das espécies de canto aprendido mais estudadas, para explicar os três períodos da ontogênese do canto aprendido: o primeiro corresponde à receptividade da informação, que ocorre no primeiro mês de vida, com os pais. O segundo período é o chamado refratário, no qual o jovem não acrescenta

informações novas ao canto. No terceiro período ocorre o ajuste da aprendizagem, incluindo elementos provenientes de outros machos vizinhos, dando formação ao canto definitivo ou cristalizado.

5.2. REPERTÓRIO E ENTROPIA

Houve grande variação do repertório entre as cinco espécies, a figura 22 mostra um gráfico com os valores da média, erro-padrão e desvio-padrão dos valores do repertório com diferenças globais significativas entre as espécies. A ordem crescente dos valores médios entre as espécies ficaram da seguinte maneira: *T. rufiventris* (média = 13,3; desvio-padrão = 5,9), *T. albicollis* (média = 18,75; desvio-padrão = 5,3), *T. leucomelas* (média = 18,8; desvio-padrão = 8,2), *T. fumigatus* (média = 24,9; desvio-padrão = 9,2) e *T. amaurochalinus* (média = 32,6; desvio-padrão = 8,7). Como podemos ver *T. albicollis* e *T. leucomelas* apresentam valores semelhantes para esta variável.

Através dos valores das médias e dos desvios-padrão, medidos por espécie, pode-se notar a ocorrência de uma grande variação também em nível intraespecífico. Espmark (1995), estudou variações de canto de duas populações de *Plectrophenax nivalis* (Passeriformes, Oscines, Emberizidae) e verificou que a maioria dos machos tem notas próprias e consequente variação no repertório de notas, ocorrendo poucos casos de indivíduos da mesma população que compartilham notas, a conclusão do autor foi que a espécie não possui padrões populacionais característicos, e sim individuais, sugerindo que essas variações decorrem da aprendizagem. No trabalho de Silva (2001) com 44 indivíduos de *Turdus rufiventris* verificou-se que são poucas as notas partilhadas entre os repertórios individuais da espécie. E Nascimento (2009) estudou duas populações de *Turdus leucomelas* e constatou que a diferença na variação nos valores do repertório de notas é individual e não populacional.

As variações dos valores médios da entropia de 1º momento e entropia de 2º momento entre as espécies mostram diferenças significativas (figura 24 e 25). Nenhum dos 72 indivíduos das cinco espécies analisadas atingiu os valores de entropias máximas de 1º momento e de 2º momento aos quais seus repertórios poderiam alcançar (figuras 23 e 28), o que já era esperado, pois atingir esses valores significaria aproveitamento ideal da transmissão de informação que cada repertório individual pode abranger.

Os valores médios da entropia de 1º momento por espécie apresentaram a seguinte ordem crescente de informação contida no canto: *T. rufiventris* (média = 3,2; desvio-padrão = 0,83), *T. leucomelas* (média = 3,5; desvio-padrão = 0,82), *T. albicollis* (média = 3,9; desvio-padrão = 0,44), *T. fumigatus* (média = 4,2; desvio-padrão = 0,67) e *T. amaurochalinus* (média = 4,7; desvio-padrão = 0,48). Os valores médios da entropia de 2º momento seguem a mesma ordem de espécies quando organizado os valores de forma crescente em relação a quantidade de informação no canto. A análise geral mostra que os valores da entropia de 2º momento tendem a ser maiores que os valores da entropia de 1º momento (figura 31), o que mostra que as espécies deste estudo apresentam maior valor informacional no canto quando considerado a combinação de notas duplas.

Aparentemente os valores da entropia acompanham a tendência dos valores do repertório, e de fato como já vimos tanto na entropia de 1º momento, quanto na entropia de 2º momento, apresentam uma forte correlação positiva com o repertório. Porém existem vários exemplos de indivíduos de todas as espécies deste estudo que carregam maior informação no canto quando comparados a outros indivíduos de repertórios iguais ou até maiores, e quando correlacionamos o repertório de notas com a entropia de 2º momento a correlação tende a cair, apesar de continuar forte, e acaba revelando mais situações de indivíduos de repertórios inferiores com uma maior quantidade informacional no canto, em relação a indivíduos de repertórios superiores. Este resultado nos mostra que a entropia informacional (E_1 e E_2) acaba

sendo uma análise detalhada e comparativa que revela a capacidade individual em otimizar a quantidade de informação que o repertório pode gerar.

5.3. PARÂMETROS FÍSICOS

Os valores médios da duração das notas por espécie apresentaram diferenças globais significativas (figura 65). A espécie *T. leucomelas* apresentou o menor valor médio de duração de notas (média = 214; desvio-padrão = 81) seguido de *T. amaurochalinus* (média = 241; desvio-padrão = 91,2), *T. rufiventris* (média = 262; desvio padrão = 95), *T. fumigatus* (média = 289; desvio-padrão = 111) e *T. albicollis* (média = 457; desvio-padrão = 134).

As médias da duração de notas mais o intervalo entre as notas por espécies apresentaram diferenças globais significativas. A espécie *T. leucomelas* (média = 371; desvio-padrão = 122) apresentou o menor valor médio deste parâmetro, seguido de *T. rufiventris* (média = 435; desvio padrão = 119), *T. fumigatus* (média = 465; desvio-padrão = 160), *T. amaurochalinus* (média = 572; desvio-padrão = 187) e *T. albicollis* (média = 729; desvio-padrão = 184).

A espécie *T. leucomelas* (média = 156; desvio-padrão = 78) apresentou o menor valor médio de intervalo entre notas seguido de *T. rufiventris* (média = 174; desvio-padrão = 67), *T. fumigatus* (média = 179; desvio-padrão = 111), *T. albicollis* (média = 270; desvio-padrão = 111) e *T. amaurochalinus* (média = 335; desvio-padrão = 148).

Tivemos *T. leucomelas* (média = 3,24; desvio-padrão = 1,93) como a espécie com o maior valor médio de notas emitidas por segundo seguido de *T. fumigatus* (média = 2,68; desvio-padrão = 2,1), *T. rufiventris* (média = 2,5; desvio-padrão = 0,82), *T. amaurochalinus*

(média = 2,27; desvio-padrão = 2,1) e como menor valor médio do ritmo *T. albicollis* (média = 1,57; desvio-padrão = 0,9).

Para os parâmetros de frequência tivemos o menor valor médio da frequência mínima em *T. albicollis* (média = 1,58; desvio-padrão = 0,21) seguido de *T. rufiventris* (média = 1,77; desvio-padrão = 0,28), *T. fumigatus* (média = 1,85; desvio-padrão = 0,29), *T. amaurochalinus* (média = 1,86; desvio-padrão = 0,26) e *T. leucomelas* (média = 1,94; desvio-padrão = 0,27) e a espécie que apresentou o maior valor médio para a frequência máxima das notas foi *T. amaurochalinus* (média = 3,2; desvio padrão = 0,57), *T. leucomelas* (média = 2,69; desvio-padrão = 0,34), *T. rufiventris* (média = 2,6; desvio-padrão = 0,4), *T. fumigatus* (média = 2,44; desvio-padrão = 0,32) e *T. albicollis* (média = 2,39; desvio-padrão = 0,31).

Os parâmetros temporais e de frequência apresentam diferenças significativas, tanto entre os indivíduos de espécies diferentes quanto entre os indivíduos da mesma espécie.

Vários indícios apontam aprendizagem vocal nas espécies aqui estudadas, como o fato de pertencerem à subordem Oscines, ou apresentarem um canto perceptivelmente versátil, além de variação interindividual nos parâmetros físicos de seus cantos, como apontado por Silva (2001) em estudo de *T. rufiventris* e por Nascimento (2009) para *T. leucomelas*.

5.4. AGRUPAMENTO E ANÁLISE MULTIVARIADA

O agrupamento dos 72 indivíduos das cinco espécies do gênero *Turdus* demonstrou afinidade entre as espécies *T. fumigatus*, *T. rufiventris* e *T. leucomelas*. Já para as espécies *T. amaurochalinus* e *T. albicollis* temos uma maior conservação da variação dos parâmetros analisadas. A primeira espécie teve seu canto caracterizado pelos maiores valores médio de ritmo e de frequência máxima, entropia de 1 ordem e menor valor médio de notas por

frase entre as espécies estudadas (tabela 2). O contrário foi observado para *T. albicollis*, cujo canto destacou-se pelos menores valores médios de ritmo e das frequências máxima e mínima e maior valor médio de notas por frase entre as espécies analisadas.

Todos os indivíduos de *T. amaurochalinus* da amostra se agruparam separadamente da maioria dos indivíduos das outras espécies ainda no primeiro nível de separação da árvore de conglomerados. Nylander e colaboradores (2008) trabalharam com filogenética e biogeografia dentro do gênero *Turdus* e definiram três grupos americanos (clado IIa, IIc, e um conjunto parafilético IIb), das espécies deste estudo: *T. leucomelas*, *T. fumigatus*, *T. albicollis* e *T. rufiventris* pertencem ao clado IIc e apenas *T. amaurochalinus* derivou no clado parafilético IIb (figura 98). Como já foi citado anteriormente, o canto segue uma evolução filogenética e, por isso, tem sido usado cada vez mais para avaliar as relações evolutivas entre populações e espécies afins (Vielliard, 1987, 1989).

Porém, não houve padrão de variação específico para *T. leucomelas*, *T. rufiventris* e *T. fumigatus*. Os indivíduos se concentraram no maior grupo da análise. Silva (2001) utilizou parâmetros equivalentes aos utilizados neste estudo para uma análise de conglomerados com as espécies *T. leucomelas*, *T. rufiventris*, e *T. amaurochalinus* e *T. albicollis* e seus resultados apontaram uma separação total dos indivíduos da espécie *T. amaurochalinus* em um primeiro nível de separação e as demais espécies em um segundo nível de separação. Este último nível estava constituído de dois agrupamentos, com a espécie *T. albicollis* ficando em um grupo e as espécies *T. leucomelas* e *T. rufiventris* juntas em outro (figura 99).

Dos 12 indivíduos de *T. albicollis* da amostra, três pares de indivíduos foram registrados na mesma localidade, os indivíduos 62 e 63 (Piraí – RJ), 68 e 69 (Peruíbe – SP) e 70 e 71 (Quebrangulo – AL). Apenas quatro indivíduos da espécie não fizeram parte do grupo 2 (64, 66, 71 e 72), havendo assim separação dos indivíduos de Quebrangulo – AL. O indivíduo 66 tem como registro de localidade o México, no entanto, segundo a distribuição

proposta por Sibley e Monroe (1990), encontramos aqui um paradoxo, pois esta espécie não ocorre nesse país, Nylander e colaboradores (2008) sugerem que a espécie do mesmo gênero *T. assimilis* derivou de um ancestral comum direto de *T. albicollis*, porém teve sua distribuição do norte da América do sul até a América central, e desse modo acreditamos que possa ter havido um equívoco no registro da espécie a qual o indivíduo 66 pertence, podendo se tratar de um indivíduo de *T. assimilis*. No trabalho de Silva (2001), com indivíduos da espécie *T. rufiventris*, o agrupamento mostrou que em níveis de afinidade mais próximos os grupos são formados por indivíduos de localidades muito distantes. O mesmo ocorreu no trabalho de Nascimento (2009), em que não houve relação entre os indivíduos de duas populações de *T. leucomelas* e suas localidades.

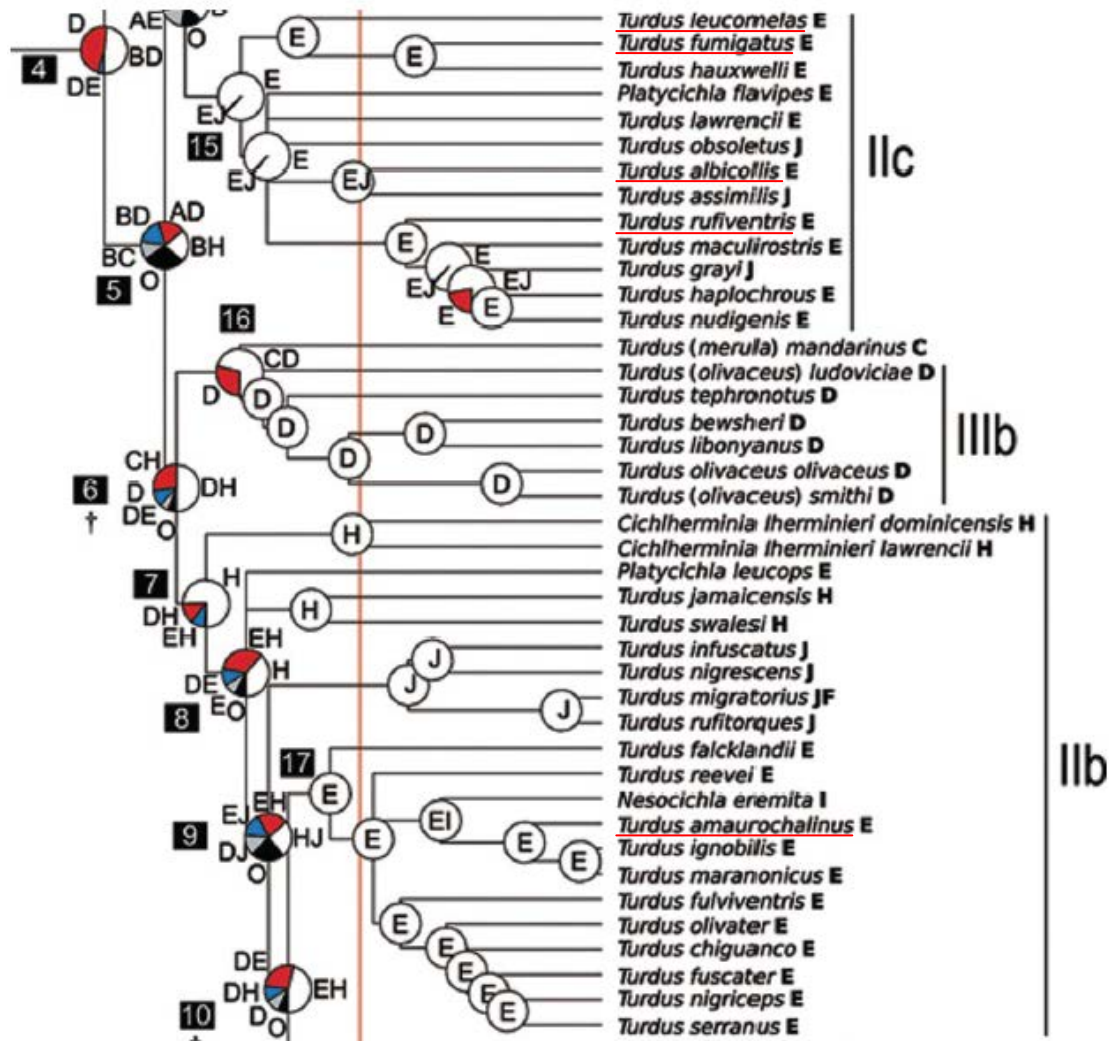


Figura 38. Filogenia das espécies do gênero *Turdus* proposto por Nylander (2008), baseado em análises molecular a partir de sequências de citocromo b e nuclear. Em destaque as espécies deste estudo.

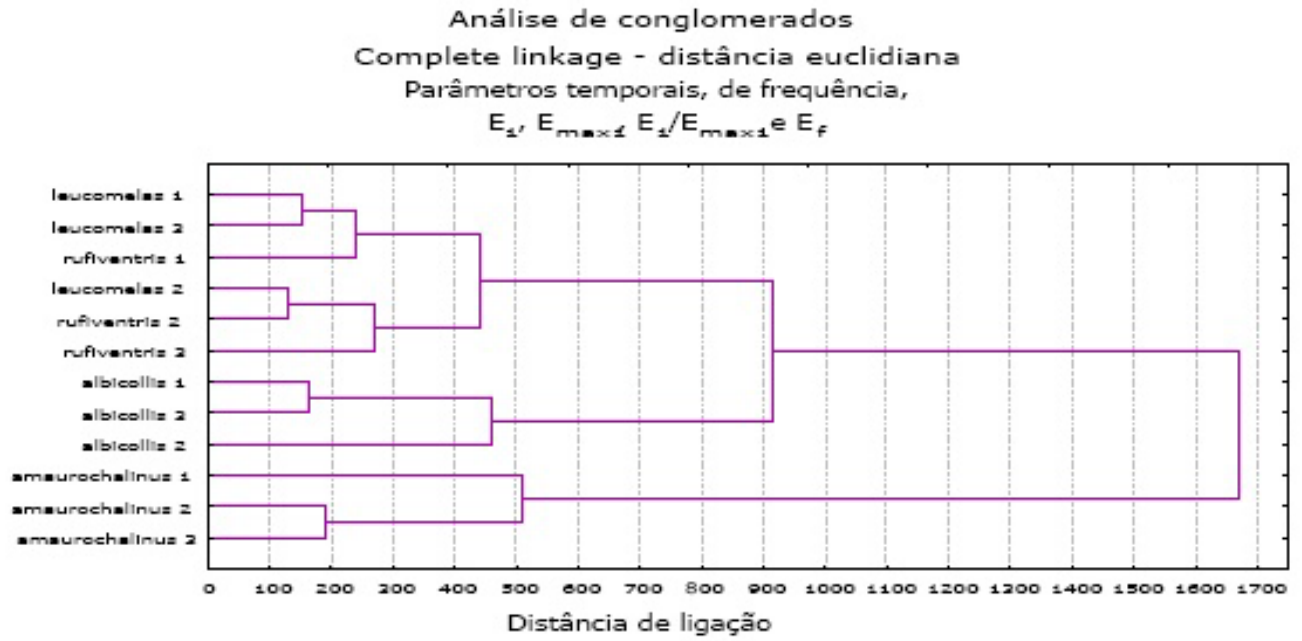


Figura 39. Análise de conglomerados de Silva (2001) dos 12 indivíduos de quatro espécies do gênero *Turdus*, de acordo com parâmetros temporais, valores da frequências máximas e mínimas e das entropias.

6. CONCLUSÕES

Mediante as análises do comportamento vocal de cinco espécies do gênero *Turdus* (*T. leucomelas*, *T. rufiventris*, *T. fumigatus*, *T. amaurochalinus* e *T. albicollis*), podemos concluir que o sinal de comunicação das cinco espécies apresenta variação individual e específica em diversos aspectos. Porém as espécies compartilham a característica de possuírem majoritariamente notas de sons puros com modulação em seus cantos.

O repertório variou bastantes entre os indivíduos, sendo essas variações estatisticamente significativas quando analisadas dentro de cada espécie e entre as cinco espécies, assim como o número de notas por frase. Tais variações podem ser apontadas como indício de aprendizagem vocal entre as espécies estudadas.

Os parâmetros físicos medidos apresentaram diferenças globais significativas individual e inter-específica em todos os níveis: duração das notas, duração das notas mais o intervalo entre as notas, duração do intervalo entre as notas, ritmo, frequência mínima e frequência máxima. Diferenças significativas foram observadas com as entropias de 1º e 2º momento dentro de cada espécie e entre as espécies. Conseqüentemente a entropia informacional (E_1 e E_2) mostrou-se uma excelente ferramenta na análise da capacidade individual de transmissão de informação em um sistema de comunicação, que no caso deste estudo pode indicar os indivíduos que apresentaram maior capacidade em otimizar as potencialidades do seu repertório de notas.

A análise de conglomerados não foi suficiente para a completa discriminação do canto das cinco espécies do presente estudo. Os resultados mostraram que há muitas afinidades entre *T. leucomelas*, *T. rufiventris* e *T. fumigatus* para as variáveis analisadas, não sendo o suficiente para o reconhecimento específico. Os resultados, no entanto, também mostraram

concordância com estudos que indicam que *T. amaurochalinus* está filogeneticamente mais distante das demais espécies deste estudo. O agrupamento, considerando os parâmetros físicos do canto, parece ocorrer independentemente da localidade. *T. amaurochalinus* e *T. albicollis* foram as espécies que apresentaram mais conservação na variação dos parâmetros medidos, apresentando os dois extremos dos valores médios das variáveis entre as cinco espécies.

As espécies *T. leucomelas*, *T. rufiventris* e *T. fumigatus* demonstraram semelhanças de acordo com o agrupamento, os parâmetros analisados para estas espécies parecem não seguir tendências de variações o que talvez seja a característica específica que as três espécies carregam. A partir destes fatos, surge uma questão: como estas três espécies fazem para se diferenciar acusticamente? A explicação pode estar no fato de que, dessas três espécies, o *T. fumigatus* é a única que possui um habitat silvícola. Assim, apesar de termos sobreposição da distribuição, não há sobreposição de habitat, o que evita o contato com as outras duas espécies. Já para *T. leucomelas* e *T. rufiventris* que vivem em sintopia, ou seja, sobreposição dos habitats, talvez o reconhecimento específico ocorra através de outros sinais além do canto, que pode ser um chamado ou uma complementação do reconhecimento através do canal visual, pois o *T. leucomelas* apresenta uma coloração discreta e uniforme pelo corpo, enquanto o *T. rufiventris* é inconfundível pela intensa cor ferrugínea-laranja da barriga. Esta última hipótese pode ser a mais provável quando levamos em conta o contexto dos ambientes abertos, jardins e antropizados que estas espécies ocupam e que podem favorecer o canal visual. Mas é necessário uma série de experimentos para confirmar tal hipótese, como por exemplo, a técnica de *playback*, que permite verificar a função do canto por observação do comportamento das aves em ambiente natural.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antas, P. T. Z. (2004). *Pantanal – Guia de Aves*. Rio de Janeiro: SESC.

Alström, P. (2001). The use sounds in birds systematic. *Introductory Research Essay N°.2*.
Department of Systematic Zoology, Evolutionary Biology Centre, Uppsala
University.

Baker, M.C. & Cunningham, M.A. (1985). - The Biology of Bird-song dialects. *Behavioral and Brain Sciences* 8: 85-133.

Bradbury, J. W. & Vehrencamp, S. L. (1998). *Principles of animal communication*. Sinauer Associates, Sunderland.

Carew, T. J. (2000). *Behavioral neurobiology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.

Catchpole, C. K. & Slater, P.J.B. (1995). *Bird song: biological themes and variations*. Cambridge University Press.

Charrier, I. & Sturdy, C. B. (2005). Call-based species recognition in black-capped chickadees. *Behavioural Processes* 70: 271-281.

Eda-fujiwara, H., Satoh, R. & Miyamoto, T. (2006). Song preferences by females: male song complexity and gene expression in the female brain. *Ornithological Science* 5: 23-29.

- Espmark, Y. (1995). Individual and local variations in the song of the Snow Bunting *Plectrophenax nivalis* on Spitsbergen. *Bioacustics* 6: 117-133.
- Frisch, J. D. (2005). *Aves Brasileiras e Plantas que as Atraem*. São Paulo: Dalgas-Ecoltec,
- Gaunt, S.L.L., Baptista L.F., Sánchez J.E. & D. Hernandez (1994). - Song learning as evidenced from song sharing in two hummingbird species (*Colibri coruscans* and *C. thalassinus*). *Auk* 111 (1): 87-103.
- Hamao, S. (2008). Singing strategies among male Black-browed Reed Warblers *Acrocephalus bistrigiceps* during the post-fertile period of their mates. *The International Journal of Avian Science*. 150 (2): 388-394.
- Jarvis, E. D., Ribeiro, S., Silva, M. L., Ventura, D., Vielliard, J. & Melo, C. V. (2000). Behaviourally driven gene expression reveals song nuclei in hummingbird brain. *Nature*. 406: 628-32.
- Johnsgard, P. A. (1967). *Animal Behavior*. W.M.C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- Klenova, A. V., Volodin, I. A. & Volodina, E. V. (2007). The vocal development of the Red-crowned Crane *Grus japonensis*. *Ornithological science* 6: 107-119.
- Kroodsma, D. E. (1982). Song learning and its consequences. In Kroodsma, D.E. & Miller, E.H. (eds.). *Acoustic communication in birds*. Academic Press, New York. 315-326.

- Marler, P. & Slabbekoorn, H. (2004). A rough guide to reading sonograms. In: Marler, P. & Slabbekoorn, H. (eds). *Nature's Music – The Science of birdsong*. Elsevier Academic Press, San Diego, California. 15.
- McCowan, B., Hanser, S. F. & Doyle, L. R. (1999). Quantitative tools for comparing animal communication systems: information theory applied to Bottlenose Dolphin Whistle repertoires. *Anim. Behav.* 57: 409-419.
- Moura, L. N. (2011). *Comportamento reprodutivo e dialetos populacionais do Papagaio-do-mangue Amazona amazonica*. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Teoria e Pesquisa do comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Nascimento, L. F. T. (2009). *Estrutura e organização do canto do Sabiá-branco Turdus leucomelas (Aves, Passeriformes, Turdinae)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Ciências Biológicas). Universidade Federal do Pará, Belém.
- Nottebohm, F., Stokes, T. M. & Leonard, C. M. (1976). Central control of song in the canary, *Serinus canaries*. *J. Comp. Neurol.* 165 (4): 457-86.
- Nottebohm, F., Kelley, D. B. & Paton, J. A. (1982). Connections of vocal control nuclei in the canary telencephalo. *J. Comp. Neurol.* 207 (4): 344-57.
- Nylander, J. A. A., Olsson, U., Alström, P. & Sanmartin, I. (2008). Accounting for phylogenetic uncertainty in biogeography: A bayesian approach to dispersal-vicariance analysis of the Thrushes (Aves: Turdus). *Syst. Biol.* 57 (2): 257-268.

- Pea, R. D. (1979). Can information theory explain early Word choice? *Journal of Child Language*. 6, 397-410.
- Piqueira, J. R. C. (1996). Estabilidade estrutural e organização. *Coleção CLE 18*, Campinas. 165-189.
- Piqueira, J. R. C. & SILVA, A. A. B. (1998). Auto-organização e complexidade: o problema do desenvolvimento do ciclo vigília-sono. *Estudos Avançados* 12 (33): 197-212.
- Ranft, R. (2004). Natural sound archives: past, present and future. *An. Acad. Bras. Cienc.* 76: 455-465.
- Richards, D. G. & Wiley, R. H. (1980). Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: implications for animal communication. *American Naturalist* 115(3): 381-389.
- Schauensee, M. R. (1970). *A guide to the Birds of South America*. The academy of Natural Science of Philadelphia, Wynnewood, Pennsylvania.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Sibley, C. G. & Monroe Jr, B. L. (1990). *Distribution and taxonomy of birds of the world*. Yale: Yale University Press, p. 132.

Sick, H. (1997). *Ornitologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

Silva, J. S. F. (2005). *Análise da Evolução da Cobertura Vegetal e seus Impactos Ecológicos na Universidade Federal do Pará – Campus Guamá*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Pará, Belém.

Silva, M. L. (1995). Estereotipia e versatilidade nos cantos das aves: os padrões de canto em sabiás e outras aves. *Anais de Etologia* 13: 133-147.

Silva, M. L. (1997). *Descrição do repertório vocal do Sabiá-laranjeira Turdus rufiventris (Aves, Passeriformes, Turdinae)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Psicologia, Neurociências e Comportamento, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Silva, M. L. (2001). *Estrutura e organização de sinais de comunicação complexos: O caso do Sabiá-laranjeira Turdus rufiventris (Ave, Passeriformes, Turdinae)*. Tese de Doutorado, Instituto de Psicologia, Neurociências e Comportamento, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Silva, M. L.; Vielliard, J. M. E (2011). A aprendizagem vocal em aves: evidências comportamentais e neurobiológicas. In: Henriques, A. L.; Assis, G. J. A.; Brito, R. C. S.; Martin, W. L. B. (org.) *Estudos do comportamento II*. Belém: ed.ufpa, p. 182.

Slabbekoorn, H. (2004). A rough guide to reading sonograms. In: Marler, P. & Slabbekoorn, H. (eds). *Nature's Music – The Science of birdsong*. Elsevier Academic Press, San Diego, California. 6.

- Vielliard, J. M. E. (1987). Uso da bioacústica na observação das aves. *II encontro nac. Anilhad. Aves*, Rio de Janeiro. pp. 98-121.
- Vielliard, J. M. E. (1989). Uma nova espécie de *Glaucidium* (Aves, Strigidae) da Amazônia. *Rev. Bras. Zool.* 6, 685-693.
- Vielliard, J. M. E. (2004). A diversidade de sinais e sistemas de comunicação sonora na fauna brasileira. *I Seminário Música Ciência Tecnologia: Acústica musical*. USP, São Paulo.
- Vielliard, J. M. E. & Silva M. L. (2010). A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em comportamento animal. *Estudos do Comportamento II*. Belém: Editora da UFPA.
- Vielliard, J. M. E. & Silva, M. L., (2010). Bioacústica – Bases teóricas e regras práticas de uso em ornitologia. In Matter, S. V., Straube, F. C., Accordi, I., Vitor Piacentini & Cândido-jr. J. F. (Org.), *Ornitologia e conservação: ciência aplicada, técnicas de pesquisa e levantamento*. (pp. 315-326). Rio de Janeiro: Technical Books.
- Weaver, W. (1949). Recent contributions to the mathematical theory of communication. In: Shannon, C. E.; Weaver, W (eds). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois press, Chicago, 1-29.