

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO DA
NATUREZA

Raphael Barbosa Machado

Uso de assobios na identificação de delfínídeos (Odontoceti: Delphinidae) para o oceano
Atlântico Sul ocidental

Juiz de Fora

2021

Raphael Barbosa Machado

Uso de assobios na identificação de delfínídeos (Odontoceti: Delphinidae) para o oceano Atlântico Sul ocidental

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Artur Andriolo

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Orion Simões Amorim

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Machado, Raphael Barbosa.

Uso de assobios na identificação de delfínídeos (Odontoceti: Delphinidae) para o oceano Atlântico Sul ocidental / Raphael Barbosa Machado. -- 2021.

95 p.

Orientador: Artur Andriolo

Coorientador: Thiago Orion Simões Amorim

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, 2021.

1. Bioacústica. 2. Odontocetos. 3. Random Forest. 4. Classificação acústica. 5. Sons tonais. I. Andriolo, Artur, orient. II. Amorim, Thiago Orion Simões, coorient. III. Título.

Raphael Barbosa Machado

Uso de assobios na identificação de delfínídeos (Odontoceti: Delphinidae) para o oceano Atlântico Sul ocidental

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Artur Andriolo – Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Thiago Orion Simões Amorim - Coorientador

Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Eduardo Resende Secchi

Universidade Federal do Rio Grande



Prof. Dr. Marcos César de Oliveira Santos

Instituto Oceanográfico - USP

Dedico este trabalho aos meus pais, Rosa Maria e José Augusto, ao meu padrasto José e aos meus irmãos Augusto e Pedro Henrique.

AGRADECIMENTOS

Para que este sonho se tornasse realidade, precisei estar ao lado de pessoas que me amparassem e que contribuíssem com o meu crescimento. Serei eternamente grato a todos aqueles que me ajudaram de alguma forma para que fosse possível concluir esta etapa.

Agradeço ao meu orientador, Artur Andriolo, por confiar em mim e pelas oportunidades geradas dentro do Instituto Aqualie. Nunca me esquecerei dos campos em que participei e da incrível experiência de avistar cetáceos. Agradeço também pelas conversas, pela paciência e pela empatia em momentos delicados pelos quais eu passei nos últimos anos. Obrigado!

Ao Thiago, meu coorientador, falta-me palavras para agradecer. Esteve sempre ao meu lado, me ensinando e me orientando da melhor forma possível. Foi também um amigo que, por diversas vezes, soube me acalmar e me incentivar em momentos decisivos. Obrigado por tantas conversas, pela paciência enorme que teve comigo e pela amizade.

Aos membros do Laboratório de Ecologia Comportamental e Bioacústica agradeço por todos os aprendizados e pelos momentos compartilhados. Fran, obrigado pelo carinho e por ser um grande exemplo de cientista para mim. E por me ter me acolhido tão bem assim que cheguei ao laboratório. Bruna, Fernanda, Giovanni, Larissa, Polônia e Lucas, obrigado pela amizade e por torcerem tanto por mim. Natália, Yasmin e João, meus grandes amigos de campo, por me ensinarem tanto sobre *softwares* e análise de dados. E pela companhia e amizade durante os embarques. Lembrarei sempre com muito carinho dos nossos incríveis momentos a bordo do Eco Warrior. Gustavo, obrigado pelo apoio e por estar sempre disponível!

Agradeço aos meus familiares por me dedicarem tanto amor. Em especial, minha mãe, Rosa Maria, por ser o grande amor da minha vida, meu grande exemplo e por me apoiar em qualquer situação. Ao meu pai José Augusto por tanto amor, carinho e atenção. Ao meu padrasto José por ter me criado com tanto carinho e ternura. Aos meus avós, em especial minha avó Ernestina por ser um exemplo para mim e por fazer tanta falta em nossas vidas. Aos meus irmãos, Augusto e Pedro, e à minha cunhada Fernanda pelo apoio e carinho. Ao meu sobrinho Tobias por alegrar meus dias. Aos meus tios Luiz Henrique e Tânia por terem contribuído com a minha criação e por me apoiarem sempre, sendo meus grandes alicerces. Aos meus tios Valter, Claride e Rosely por me acolherem tão bem em suas casas, e pelo amor dedicado a mim e aos meus irmãos. Às minhas primas Ana Luiza, Lídia e Marcela pela amizade e companheirismo.

Agradeço aos meus amigos que estão comigo desde sempre. Zanini, Bruninha, Karina, Gisele e Daiany, amo vocês. Obrigado por estenderem a mão sempre quando precisei. Kadu e Laurinha, meus irmãos de alma, obrigado pela amizade e por não desistirem de mim. Aos amigos que a Biologia me deu e que permanecerão para sempre em meu coração: Letícia, Juliana, Larinha, Mari Sell, Luana Caiafa, Samuel, Victor e Larissa. Letícia e Ju, obrigado por tantas conversas e momentos compartilhados nos últimos anos. Amo vocês! Lu, obrigado por conversar e me acalmar diariamente. Sua ajuda foi fundamental para a conclusão dessa dissertação.

Agradeço também ao núcleo de malacologia e aos amigos que fiz lá: Flávio, Alê, Camilinha, Bia e Lu. Obrigado por acreditarem em mim e pelos incríveis momentos compartilhados. Profa. Dra. Sthefane obrigado por tantas oportunidades e pelo imenso aprendizado que tive ao seu lado. Prof. Dr. Roberto Junio obrigado por ser um dos meus maiores exemplos de ética e profissionalismo. Prof. Dr. José Carlos obrigado pela oportunidade em te conhecer um pouco melhor e por ter me dado a chance de ir a campo pela primeira vez. Profa. Dra. Juliane, obrigado pelas aulas enriquecedoras sobre estatística e excel. Profa. Dra. Aline Sant'Anna, agradeço pelas correções e pelo olhar atento ao trabalho. Prof. Dr. Eduardo Secchi e Prof. Dr. Marcos César, agradeço pela disponibilidade em compor a banca examinadora. Um agradecimento especial a todos os outros professores que me marcaram e que foram fundamentais ao longo de minha trajetória.

Agradecimento especial a todos os pesquisadores e equipe do R/V Atlântico Sul da FURG durante os Projetos PMC/Talude. Este trabalho contou com o apoio logístico do Instituto Aqualie e Auset (com especial agradecimento a Gustavo Abreu Miranda pelo apoio técnico e todos os esforços na produção das matrizes de hidrofones), juntamente com o apoio financeiro da UFJF, BG Brasil e Chevron Brasil Upstream Frade Ltda, Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), que concedeu bolsas de estudo para os membros do cruzeiro. O Grupo de Pesquisa “Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha - EcoMega / CNPq” contribuiu com este estudo.

Agradeço também ao PPG em Biodiversidade e Conservação da Natureza, seus coordenadores, Nathan Barros e Roberto Júnio, e secretárias, Marlú e Priscila, pelo apoio fornecido. Gratidão por tudo que me foi proporcionado ao longo desses anos. Agradeço também

às políticas públicas favoráveis a minha permanência na universidade e ao auxílio financeiro pela Capes, que permitiu uma dedicação integral a este trabalho.

Por último e não menos importante, eu agradeço aos cetáceos por me permitirem estudá-los em sua grandiosidade e por mudarem minha vida completamente. Gratidão por tudo que vivenciei nesses últimos dois anos.

Obrigado a todos que estiveram do meu lado e que me marcaram de alguma forma!

“Ah! Se o mundo inteiro me pudesse ouvir
Tenho muito pra contar
Dizer que aprendi

E na vida a gente tem que entender
Que um nasce pra sofrer
Enquanto o outro ri

Mas quem sofre sempre tem que procurar
Pelo menos vir achar
Razão para viver

Ver na vida algum motivo pra sonhar
Ter um sonho todo azul
Azul da cor do mar”

Música: Azul da cor do mar;

Compositor: Tim Maia;

Intérprete: Tim Maia;

RESUMO

Os cetáceos são animais vocalmente ativos que dependem quase que exclusivamente do som para sobreviverem no ambiente marinho. Delfínídeos (Odontoceti: Delphinidae) possuem um repertório acústico complexo, formado por cliques de ecolocalização, pulsos explosivos e assobios. Dentre esses, os assobios podem ser utilizados no processo de identificação acústica por apresentarem propriedades espécie-específicas nos seus parâmetros. No presente estudo, utilizamos dessas vocalizações para classificar espécies de delfínídeos que não foram visualmente identificados no sul e sudeste brasileiro entre 2013 a 2015. Para registro dos sons, foram utilizados três modelos de matrizes Auset®, todas constituídas por três elementos (hidrofonos) omnidirecionais, variando entre si no comprimento total (250 a 300 m) e na distância entre os hidrofonos (3 a 10 m). As taxas de amostragem adotadas foram de 96 kHz e 48 kHz / 24 bits, o que não interferiu na extração dos parâmetros acústicos dos assobios, visto que esses sinais foram registrados na totalidade do seu contorno e duração, não sendo limitados pela frequência do equipamento. A análise de classificação ocorreu por meio do algoritmo *Random Forest*, que demonstrou a qualidade de uma classificação por meio da atribuição de porcentagens. Porcentagens corretas e incorretas de classificação, juntamente com a acurácia global, acurácia balanceada e *p-value* foram utilizadas na avaliação dos modelos. No geral, curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram modelos com bons ajustes para a definição das espécies, enquanto os valores de Gini e do decréscimo da acurácia indicaram que duração, frequência central, variação de frequência e frequência final foram os parâmetros acústicos que melhor contribuiriam com o processo de classificação. Os encontros exclusivamente acústicos se classificaram com as espécies com ocorrência reconhecidas para os taludes sul e sudeste brasileiro, como *Delphinus delphis*, *Stenella frontalis* e *Stenella longirostris*, o que indica a eficiência do sistema de classificação para o oceano Atlântico Sul ocidental com base nos parâmetros acústicos dos assobios.

Palavras-chave: bioacústica; *Random Forest*; odontocetos; classificação acústica.

ABSTRACT

Cetaceans are vocally active animals which rely almost exclusively on sound to survive in the marine environment. Delphinids (Odontoceti: Delphinidae) present a complex acoustic repertoire, comprised of echolocation clicks, burst pulses and whistles. Among these, whistles may be used in the process of acoustic identification, due to their species-specific parameter properties. In the present study, we used these vocalizations to classify delphinid species which were not visually identified in South and Southeast Brazil. To record the sounds, three Auset® matrix models were used, all composed by three omnidirectional elements (hydrophones), varying among each other in total length (250 to 300 m) and distance between hydrophones (3 to 10 m). The adopted sampling rates were of 96 kHz and 48 kHz / 24 bits, a difference which did not interfere with the extraction of acoustic parameters of whistles, as the signals were recorded in all of their contour and duration, not being limited by the equipment's frequency. The classification analysis was carried out through the Random Forest algorithm, which demonstrated the quality of a classification via percentage attribution. These percentages of correct and incorrect classifications, together with global accuracy, balanced accuracy and p-value, were used to evaluate the models. In general, ROC curves and their respective areas under the curve demonstrated well-adjusted models for the definition of species, while Gini and decrease in accuracy values indicated that duration, central frequency, frequency variation and highest frequency were the acoustic parameters that better contributed to the classification process. The exclusively acoustic encounters were classified as with species usually sighted along the southern and southeastern continental slope of Brazil, namely *Delphinus delphis*, *Stenella frontalis* and *Stenella longirostris*, which confirms the occurrence and distribution of these species in the study area, as well as the efficiency of the classification system based on the acoustic parameters of whistles for the western South Atlantic Ocean.

Keywords: bioacoustics; Random Forest; odontocetes; acoustic classification.

RESUMO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

O grupo dos Cetáceos, formado basicamente por baleias, botos e golfinhos evoluiu em um ambiente que propiciou o desenvolvimento de sistemas complexos de comunicação acústica. Devido às suas propriedades físicas, o som viaja cerca de cinco vezes mais rápido na água do que no ar, sendo uma das energias mais eficientes no meio aquático. Sendo assim, os cetáceos são animais vocalmente ativos. Golfinhos da família Delphinidae destacam-se por apresentarem um complexo comportamento vocal, formado por assobios, cliques de ecolocalização e pulsos explosivos. Esses sons são utilizados na realização de diversas tarefas, tais como socialização, caça, navegação e discriminação de objetos. Além de características morfológicas, como posição da nadadeira dorsal, presença de manchas ou padrões de coloração, os sinais acústicos produzidos por esses animais podem ser utilizados na identificação ao nível de espécie. Bioacústica é a ciência responsável por estudar os mecanismos e forças envolvidas na produção, recepção e propagação do som. Essa área do conhecimento tem crescido nos últimos anos para o estudo de cetáceos devido às dificuldades em estudar esses animais em seu habitat natural, que permanecem submersos por longos minutos e apresentam um comportamento que dificulta a aproximação de pesquisadores para identificação da espécie. Algoritmos de classificação acústica têm sido desenvolvidos e aprimorados por se mostrarem extremamente úteis em situações que impossibilitam ou dificultam a observação de delfínidos. Condições meteorológicas adversas como ventos, chuvas, estado do mar alto, períodos noturnos e de baixa visibilidade podem comprometer a identificação visual e o estudo com esses mamíferos. Com base nisso, este trabalho buscou classificar espécies de delfínidos com base apenas em seu repertório acústico para o oceano Atlântico Sul ocidental. Foi possível identificar acusticamente três espécies: *Delphinus delphis*, *Stenella frontalis* e *Stenella longirostris*. Essas espécies foram frequentemente avistadas durante o Projeto Talude, uma pesquisa realizada entre 2013 a 2015 nos taludes sul e sudeste do Brasil. Provavelmente essas espécies também estavam acusticamente disponíveis quando condições meteorológicas não propícias não permitiram a identificação visual pelos observadores de bordo. Trabalhos como esse podem contribuir com a conservação dos cetáceos, que sofrem constantemente com os impactos causados por humanos em seu ambiente.

Palavras-chave: cetáceos; Monitoramento Acústico Passivo; classificação acústica; sons tonais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de coleta e distribuição dos doze encontros exclusivamente acústicos pelos taludes sul e sudeste brasileiro	37
Figura 2 - Ocorrência e distribuição para o oceano Atlântico Sul ocidental das espécies que compuseram o classificador	40
Figura 3 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n1	48
Figura 4 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n1.....	49
Figura 5 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n1 e as espécies com que obteve maior erro de classificação, principalmente espécies do gênero <i>Stenella</i>	49
Figura 6 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o primeiro modelo referente ao encontro n2	51
Figura 7 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do primeiro modelo para o encontro n2	51
Figura 8 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n2 e as espécies com que obteve erro de classificação	52
Figura 9 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n3	54
Figura 10 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n3	55
Figura 11 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n3 e as espécies com que obteve erro de classificação	55
Figura 12 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n4	57

Figura 13 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n4	58
Figura 14 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n4 e as espécies com que obteve erro de classificação	58
Figura 15 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n5	60
Figura 16 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n5	61
Figura 17 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n5 e as espécies com que obteve erro de classificação	61
Figura 18 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o primeiro modelo referente ao encontro n6	63
Figura 19 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do primeiro modelo para o encontro n6	63
Figura 20 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n6 e as espécies com que obteve erro de classificação	64
Figura 21 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n7	66
Figura 22 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n7	67
Figura 23 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n7 e as espécies com que obteve maior erro de classificação	67
Figura 24 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n8	70
Figura 25 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n8	71

Figura 26 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n8 e as espécies com que obteve erro de classificação, principalmente espécies do gênero <i>Stenella</i>	71
Figura 27 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n9	73
Figura 28 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n9	74
Figura 29 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n9 e as espécies com que obteve erro de classificação, principalmente espécies do gênero <i>Stenella</i>	74
Figura 30 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n10	76
Figura 31 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n10	77
Figura 32 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n10 e as espécies com que obteve erro de classificação	77
Figura 33 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o primeiro modelo referente ao encontro n11	79
Figura 34 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do primeiro modelo para o encontro n11	79
Figura 35 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n11 e as espécies com que obteve erro de classificação	80
Figura 36 - Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n12	82
Figura 37 - Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n12	83

Figura 38 - Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n12 e as espécies com que obteve erro de classificação 83

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Encontros exclusivamente acústicos selecionados como alvos da classificação acústica. Valores de latitude e longitude se referem à posição do navio no momento do registro. EEA: encontros exclusivamente acústicos 38
- Tabela 2** - Espécies de delfínídeos registrados visual e acusticamente que compuseram o classificador. Valores de latitude e longitude se referem à posição do navio no momento do registro. Id: Tipo de identificação, Lat: Latitude, Long: Longitude 40
- Tabela 3** - Encontros exclusivamente acústicos, número de assobios e estatística descritiva (mediana e percentis 10 e 90, respectivamente) dos parâmetros acústicos selecionados 43
- Tabela 4** - Espécies presentes no classificador, número de assobios e estatística descritiva (mediana e percentis 10 e 90, respectivamente) dos parâmetros acústicos selecionados 44
- Tabela 5.** Resultados dos modelos finais de classificação para cada um dos doze encontros exclusivamente acústicos selecionados. EEA: encontros exclusivamente acústicos, Erro de classificação (%): indica a maior porcentagem de erro que o encontro obteve com alguma espécie de delfínídeo no modelo final de classificação, Ac. global (%): acurácia global, Ac. balanceada (%): acurácia balanceada 45
- Tabela 6.** Decréscimo médio do coeficiente de Gini e decréscimo médio da acurácia indicaram quais, dos sete parâmetros, foram os mais utilizados na repartição das árvores para os modelos finais de classificação gerados para cada um dos EEA. Os três mais importantes foram selecionados para compor essa tabela. EEA: encontros exclusivamente acústicos, lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração 46
- Tabela 7** - Matriz de confusão gerada em porcentagem considerando os assobios das espécies de delfínídeos e o encontro n1. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados 47
- Tabela 8** - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínídeos com que n1 mais obteve erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados 48

Tabela 9 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n2. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	50
Tabela 10 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n3. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global, acurácia balanceada estão apresentados	53
Tabela 11 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n3 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	54
Tabela 12 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n4. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	56
Tabela 13 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n4 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	57
Tabela 14 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n5. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	59
Tabela 15 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n5 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	60
Tabela 16 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n6. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	62
Tabela 17 - Matriz de confusão gerada em porcentagem considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n7. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	65
Tabela 18 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n7 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	66

Tabela 19 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n8. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	69
Tabela 20 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n8 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	70
Tabela 21 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n9. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	72
Tabela 22 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n9 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	73
Tabela 23 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n10. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	75
Tabela 24 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n10 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	76
Tabela 25 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n11. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	78
Tabela 26 - Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínideos e o encontro n12. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	81
Tabela 27 - Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínideos com que n12 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, <i>p-value</i> , acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Hz – Hertz;

kHz – Quilohertz;

MLDB – *Monkey lips/dorsal bursae complex*;

MAP – Monitoramento Acústico Passivo;

ROCCA - *Real-time odontocete call classification algorithm*;

BANTER - *Bio-acoustic event classifier*;

DFA – *Discriminant function analysis*;

CART – *Classification and regression tree*;

CNNs – *Convolutional neural network*;

GMMs – *Gaussian mixture models*;

RF – *Random Forest*;

EEA – Encontros exclusivamente acústicos;

DFT – *Discrete Fourier Transform*;

SNR - *Signal-to-noise ratio*;

dB – Decibel;

lf – Frequência mínima;

hf – Frequência máxima;

df – Variação de frequência;

cf – Frequência central;

bf – Frequência inicial;

ef – Frequência final;

dt – Duração;

Dd – *Delphinus delphis*;

Gg – *Grampus griseus*;

Gm – *Globicephala melas*;

Oo – *Orcinus orca*;

Pe – *Peponocephala electra*;

Sa – *Stenella attenuata*;

Sb – *Steno bredanensis*;

Sc_N – *Stenella clymene* Nordeste;

Sf – *Stenella frontalis*;

Sg – *Sotalia guianensis*;

Sl_N – *Stenella longirostris* Nordeste;

Sl_S – *Stenella longirostris* Sul/Sudeste;

Tt – *Tursiops truncatus* (contexto grupo misto);

Tt_I – *Tursiops truncatus* (contexto isolado);

OOB – *Out of Bag*;

ROC - *Receiver Operating Characteristic*;

AUC – *Area under the curve*;

PCOA – *Principal Coordinates Analysis*;

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL	23
REFERÊNCIAS	28

CAPÍTULO II

USE OF WHISTLES IN ACOUSTIC IDENTIFICATION OF DELPHINIDS (ODONTOCETI: DELPHINIDAE) IN THE WESTERN SOUTH ATLANTIC OCEAN.....	34
Abstract	34
1 INTRODUÇÃO	35
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 ÁREA E COLETA DOS ENCONTROS EXCLUSIVAMENTE ACÚSTICOS	37
2.2 ANÁLISES DE CLASSIFICAÇÃO	39
3 RESULTADOS	43
3.1 ETAPAS DAS ANÁLISES DE CLASSIFICAÇÃO	47
3.1.1 ENCONTRO n1	47
3.1.2 ENCONTRO n2	50
3.1.3 ENCONTRO n3	53
3.1.4 ENCONTRO n4	56
3.1.5. ENCONTRO n5	59
3.1.6 ENCONTRO n6	62
3.1.7 ENCONTRO n7	65
3.1.8 ENCONTRO n8	69
3.1.9 ENCONTRO n9	72
3.1.10 ENCONTRO n10	75
3.1.11 ENCONTRO n11	78
3.1.12 ENCONTRO n12	81
4 DISCUSSÃO	84
5 CONCLUSÃO	90
6 REFERÊNCIAS	91

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

A ordem Cetartiodactyla compreende os Artiodátilos (Mammalia: Artiodactyla) e os Cetáceos (Mammalia: Cetacea) (PRICE et al. 2005; GATESY, 2009; GEISLER, 2018). A infraordem Cetacea, formada por mysticetos (Cetacea: Mysticeti) e odontocetos (Cetacea: Odontoceti), encontra-se totalmente adaptada ao habitat aquático (PILLERI, 1990; MANCIA, 2018). Dentre as principais adaptações ao ambiente em que vivem, destaca-se o complexo sistema de comunicação acústica dos cetáceos, que evoluiu frente às limitações visuais ocasionadas pelo ambiente nos quais se encontram (BULLOCK et al. 1968; NUMMELA et al. 2007; BALLANCE, 2018). De acordo com Au & Lammers (2007), o som viaja cerca de cinco vezes mais rápido na água do que no ar, sendo uma das formas de energia mais eficientes no meio aquático. Esses animais são, portanto, vocalmente ativos e seus sons desempenham funções vitais no ambiente em que vivem (ANDRIOLO et al. 2018; WEBSTER et al. 2019).

Os sons produzidos por mysticetos ocorrem por meio da ação de pregas vocais em formato de U presentes na laringe desses animais. Diferentemente de mamíferos terrestres, que possuem pregas vocais perpendiculares ao fluxo de ar traqueal, essas pregas encontram-se dispostas paralelamente ao fluxo em mysticetos (REIDENBERG & LAITMAN, 2007; MERCADO et al. 2010; REIDENBERG, 2017). As vocalizações emitidas, normalmente na faixa do infrassom, com frequência fundamental abaixo de 20 Hz, propagam-se por longas distâncias e estão associadas a contextos intraespecíficos que envolvem comportamentos de corte e alimentação em grupo (AU & LAMMERS, 2007; SOUSA-LIMA et al. 2018). Atualmente, esses cetáceos estão representados em 4 famílias (Balaenidae, Balaenopteridae, Eschrichtiidae e Neobalaenidae) e 14 espécies (HASSANIN et al. 2012; CHURCHILL et al. 2012).

Os odontocetos, atualmente representados em 10 famílias (Delphinidae, Kogiidae, Pontoporiidae, Lipotidae, Monodontidae, Phocoenidae, Physeteridae, Platanistidae, Iniidae e Ziphiidae) e 74 espécies (HOOKER, 2018), são capazes de produzir sons tonais e sons pulsados (AU & LAMMERS, 2007). Essas vocalizações não são produzidas pela laringe como em outros mamíferos, sendo gerados por meio de vibrações das membranas que compõem o complexo “lábios de macaco/bursa dorsal” (*MLDB complex*) (CRANFORD et al. 1996; AU, 2000). O

melão, um órgão oleoso posicionado na parte frontal da cabeça, possui funções relacionadas à ecolocalização no grupo, atuando como uma lente acústica ao concentrar o som como um feixe e amplificar o sinal para o ambiente (MCKENNA et al. 2012; KURODA et al. 2020).

Dentre os odontocetos, Delphinidae destaca-se como o maior grupo em termos de representatividade, estando presente em regiões tropicais, subtropicais e temperadas do globo terrestre (DO AMARAL et al. 2016). Pelo menos 20 espécies desta família são reconhecidas como de ocorrência em águas brasileiras (MIRANDA et al. 2019). Esses golfinhos apresentam um complexo repertório acústico, formado por assobios, cliques de ecolocalização e pulsos explosivos (STEINER, 1981; OSWALD et al. 2003; FRASIER et al. 2016; RANKIN et al. 2017). Algumas espécies de delfínídeos, como *Orcinus orca*, *Globicephala melas*, *Globicephala macrorhynchus* e *Peponocephala electra* apresentam ainda um quarto tipo de vocalização conhecido como chamado (NEMIROFF & WRITEHEAD, 2009; DEECKE et al. 2010; SAYIGH et al. 2013; KAPLAN et al. 2014).

Os assobios são sons tonais de banda estreita modulados em frequência normalmente emitidos em contextos sociais que envolvem reconhecimento intraespecífico, tanto a nível individual quanto populacional, interespecífico e coesão de grupo durante atividades de alimentação (HERZING, 2000; GORDON & TYACK, 2002; ACEVEDO-GUTIÉRREZ & STIENESSEN, 2005; MAY-COLLADO et al. 2007). A grande diversidade nos parâmetros espectrais e temporais dos assobios produzidos por golfinhos pode estar relacionada a fatores filogenéticos, grau de nível social, restrições morfológicas e padrões zoogeográficos (MAY-COLLADO et al. 2008).

Cliques de ecolocalização, pulsos explosivos e chamados são considerados sons pulsados. Os cliques apresentam larga banda e são normalmente utilizados em tarefas que envolvem forrageio, navegação, detecção e discriminação de objetos (PILLERI, 1990; AU, 1993). Pulsos explosivos também apresentam larga banda e caracterizam-se por uma alta taxa de repetição dos pulsos em intervalos muito curtos (cerca de 300 pulsos por segundo) (AU & HASTINGS 2008; AU & LAMMERS, 2007). Acredita-se que esses sinais desempenham um papel nas interações sociais, embora possam também funcionar em atividades de forrageio (OSWALD et al. 2007). Chamados são sinais acústicos complexos com harmônicos (componentes múltiplos da frequência fundamental), em que o tom não é emitido continuamente, mas na forma de pulsos de larga banda com altas repetições (BROWN et al.

2006; WELLARD et al. 2015). São vocalizações sociais, sendo emitidas em contextos que envolvem transmissão cultural e aprendizado vocal (YURK et al. 2002).

Se esses animais são vocalmente ativos e de difícil visualização no ambiente marinho, tecnologias para monitoramento acústico podem ser aplicadas para investigar o som subaquático e promover conhecimentos sobre biologia, comportamento e ecologia de cetáceos (ANDRIOLO et al. 2018). Pesquisas acerca da bioacústica de cetáceos tem sido expandidas devido, principalmente, ao desenvolvimento de registradores acústicos autônomos, que podem ser fixados no fundo do mar (SOUSA-LIMA et al. 2013) ou rebocados atrás de embarcações (WATWOOD et al. 2006; MELLINGER et al. 2007; BARLOW et al. 2013).

O Monitoramento Acústico Passivo (MAP), que utiliza de hidrofones para converter energia mecânica em energia elétrica (AU & HASTINGS, 2008), tem sido amplamente utilizado em pesquisas que avaliem o ambiente acústico marinho e contribuído com estudos que acrescentam informações e esforços para a conservação dos cetáceos (ZIMMER, 2011; SILVA et al. 2016; ERBS et al. 2017). Além de ser uma ferramenta menos invasiva, é útil ao permitir o monitoramento contínuo em condições meteorológicas adversas e durante períodos noturnos em que as observações visuais não são possíveis (MELLINGER et al. 2007; SOLDEVILLA et al. 2011; BINDER & HINES, 2014; ERBS et al. 2017; TODD et al. 2020). Esse método tem sido usado também como uma exigência da legislação ambiental para mitigação de impactos antropogênicos pelos navios sísmicos (ROBINSON et al. 2008; IBAMA, 2018; VERFUSS et al. 2018).

Como o MAP tem sido amplamente utilizado para detectar a presença de cetáceos no ambiente marinho (ZIMMER, 2011; ANDRÉ et al. 2011), há uma grande necessidade em aprimorar algoritmos de detecção e classificação autônomos, que busquem complementar o monitoramento visual e acústico por meio da identificação de cetáceos com base apenas em seus repertórios acústicos (USMAN et al. 2020). Esses algoritmos devem ser capazes de determinar com alguma confiança padrões acústicos espécie-específicos. Assobios, cliques de ecolocalização e uma abordagem integrada desses sinais têm sido utilizados em pesquisas sobre identificação e classificação acústica (SOLDEVILLA et al. 2008; GANNIER et al. 2010; ROCH et al. 2011; ESFAHANIAN et al. 2014; LIN & CHOU, 2015; ERBS et al. 2017; RANKIN et al. 2017; FRASIER et al. 2017; AMORIM et al. 2019; LUO et al. 2019).

Dentre os *softwares* existentes, ROCCA (*Real-time odontocete call classification algorithm*), um classificador para assobios de delfínídeos disponível no *software* PAMGuard, tem sido utilizado em pesquisas no oceano Pacífico e taxas superiores a 80% de acerto têm sido registradas (OSWALD et al. 2007; BARKLEY et al. 2011; OSWALD, 2013). BANTER (*Bio-acoustic event classifier*), também desenvolvido para o oceano Pacífico, tem alcançado mais de 80% de êxito em suas classificações integradas (RANKIN et al. 2017). Ambos os classificadores se baseiam no algoritmo *Random Forest*.

Esse algoritmo consiste em uma abordagem de máquina de aprendizado supervisionado responsável por criar um grande número de árvores de decisão individuais que operam como um conjunto (BREIMAN, 2001). O conjunto de dados é dividido em nós com base nos parâmetros que melhor contribuem na divisão e formação dos ramos (CUTLER et al. 2007). De acordo com Risch et al. (2013), uma das vantagens da *Random Forest* inclui a avaliação da importância da variável, sendo útil ao fornecer medidas relativas do grau em que cada parâmetro acústico contribui para as previsões do modelo.

No entanto, outros algoritmos que se baseiam no aprendizado de máquina têm sido utilizados na classificação acústica, como a análise da função discriminante (DFA) e análise de árvore de regressão (CART) (RENDELL et al. 1999; OSWALD et al. 2003; OSWALD et al. 2007; GANNIER et al. 2010; AZZOLIN et al. 2014), redes neurais convolucionais (CNNs) (JIANG et al. 2019; YANG et al. 2020) e modelos gaussianos mistos (GMMs) (ROCH et al. 2007; ROCH et al. 2011; PARADA & LÓPEZ, 2014; BAUMANN-PICKERING et al. 2015). Contudo, a *Random Forest* tem obtido melhores resultados e se mostrado mais robusta em processos classificatórios que envolvam grandes bancos de dados (BREIMAN, 2001).

O presente estudo buscou classificar detecções exclusivamente acústicas com base nos parâmetros acústicos dos assobios utilizando do algoritmo *Random Forest* e de um banco de dados para delfínídeos estabelecido com base em registros visuais e acústicos para o oceano Atlântico Sul ocidental. A motivação desse trabalho surgiu devido a necessidade de classificar pequenos cetáceos em águas brasileiras, especialmente quando registrados em condições meteorológicas adversas, nas quais vento, chuva, intensidade do reflexo do sol, condição de mar, período noturno e baixa visibilidade dificultam ou não permitem a avistagem e a identificação de cetáceos (OSWALD et al. 2003; BAIRD et al. 2013; CARUSO et al. 2020). Os resultados provenientes dessa pesquisa podem futuramente incorporar classificador acústicos autônomos utilizados no MAP de pequenos cetáceos, bem como acrescentar

informações acerca da ocorrência e distribuição desses mamíferos marinhos em águas brasileiras.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A.; STIENESSEN, S. C. Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) Increase Number of Whistles When Feeding. **Aquatic Mammals**, v. 30, n. 3, p. 357–362, 2005.
- AMORIM, T. O. S. et al. Integrative bioacoustics discrimination of eight delphinid species in the western South Atlantic Ocean. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1–17, 2019.
- ANDRÉ, M. et al. Listening to the Deep: Live monitoring of ocean noise and cetacean acoustic signals. **Marine Pollution Bulletin**, v. 63, n. 1–4, p. 18–26, 2011.
- ANDRIOLO, A.; CASTRO, F.R.; AMORIM, T.; MIRANDA, G.; DI TULLIO, J.; MORON, J.; RIBEIRO, B.; RAMOS, G.; MENDES, R.R. Marine Mammal Bioacoustics Using Towed Array Systems in the Western South Atlantic Ocean. In: Rossi-Santos, M.R.; Finkl, C.W. (eds). *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America: Technological Innovation and Conservation*. Springer International Publishing, p. 113, 2018.
- AU, W. W. L. Hearing in Whales and Dolphins: An Overview. p. 1–42, 2000.
- AU, W. W. L.; AU, W. W. L. Characteristics of Dolphin Sonar Signals. **The Sonar of Dolphins**, p. 115–139, 1993.
- AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. Principles of Marine Bioacoustics. Springer, New York, 2008.
- AU, W. W. L.; LAMMERS, M. O. Cetacean acoustics. Pp. 805-837. In Rossing TD (ed.) *Springer Handbook of Acoustics*. Springer-Verlag New York, LLC. New York City, New York. 1182 pp, 2007.
- AZZOLIN, M. et al. Combining whistle acoustic parameters to discriminate Mediterranean odontocetes during passive acoustic monitoring. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 1, p. 502–512, 2014.
- BAIRD, R. W.; WEBSTER, D. L.; ASCHETTINO, J. M.; SCHORR, G. S.; MCSWEENEY, D. J. Odontocete cetaceans around the main Hawaiian Islands: Habitat use and relative abundance from small-boat sighting surveys. **Aquatic Mammals**, 39(3), 253–269, 2013.
- BALLANCE, L. T. Cetacean Ecology. **Encyclopedia of Marine Mammals**, n. 1991, p. 172–180, 2018.
- BARKLEY, Y. et al. Comparison of Real-Time and Post-Cruise Acoustic Species Identification of Dolphin Whistles Using ROCCA (Real-Time Odontocete Call Classification Algorithm). **NOAA Technical Memorandum**, n. NMFS-SWFSC-473, p. 29, 2011.
- BARLOW, J. et al. Trackline and point detection probabilities for acoustic surveys of Cuvier’s and Blainville’s beaked whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 134, n. 3, p. 2486–2496, 2013.
- BAUMANN-PICKERING, S. et al. False killer whale and short-finned pilot whale acoustic identification. **Endangered Species Research**, v. 28, n. 2, p. 97–108, 2015.

- BINDER, C. M.; HINES, P. C. Automated aural classification used for inter-species discrimination of cetaceans. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 4, p. 2113–2125, 2014.
- BREIMAN, L. Random forests. *Machine Learning*, v. 45, p. 5–32, 2001.
- BROWN, J. C.; HODGINS-DAVIS, A.; MILLER, P. J. O. Classification of vocalizations of killer whales using dynamic time warping. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 119, n. 3, p. EL34–EL40, 2006.
- BULLOCK, T. H. et al. Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans. **Zeitschrift für Vergleichende Physiologie**, v. 59, n. 2, p. 117–156, 1968.
- CARUSO, F.; DONG, L.; LIN, M. et al. Monitoring of a Nearshore Small Dolphin Species Using Passive Acoustic Platforms and Supervised Machine Learning Techniques", **Frontiers in Marine Science**, v. 7, n, 2020.
- CHURCHILL, M.; BERTA, A.; DEMÉRÉ, T. The systematics of right whales (Mysticeti: Balaenidae). **Marine Mammal Science**, v. 28, n. 3, p. 497–521, 2012.
- CRANFORD, T. W.; AMUNDIN, M.; NORRIS, K. S. Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: Implications for sound generation. **Journal of Morphology**, v. 228, n. 3, p. 223–285, 1996.
- CUTLER, D. R. et al. Random Forests for Classification in Ecology Published by : Ecological Society of America. **Ecology**, v. 88, n. 11, p. 2783–2792, 2007.
- DEECKE, V. B. et al. The structure of stereotyped calls reflects kinship and social affiliation in resident killer whales (*Orcinus orca*). **Naturwissenschaften**, v. 97, n. 5, p. 513–518, 2010.
- DO AMARAL, K. B. et al. Historical Biogeography of Delphininae Dolphins and Related Taxa (Artiodactyla: Delphinidae). **Journal of Mammalian Evolution**, v. 25, n. 2, p. 241–259, 2016.
- ERBS, F.; ELWEN, S. H.; GRIDLEY, T. Automatic classification of whistles from coastal dolphins of the southern African subregion. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 141, n. 4, p. 2489–2500, 2017.
- ESFAHANIAN, M.; ZHUANG, H.; ERDOL, N. On contour-based classification of dolphin whistles by type. **Applied Acoustics**, v. 76, p. 274–279, 2014.
- FRASIER, K. E. et al. Automated classification of dolphin echolocation click types from the Gulf of Mexico. **PLoS Computational Biology**, v. 13, n. 12, p. 1–23, 2017.
- FRASIER, K. E. et al. Automated identification and clustering of subunits within delphinid vocalizations. **Marine Mammal Science**, v. 32, n. 3, p. 911–930, 2016.
- GANNIER, A. et al. Performance of a contour-based classification method for whistles of mediterranean delphinids. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 11, p. 1063–1069, 2010.
- GATESY, J. Whales and even-toed ungulates. **The Timetree of life**, p. 511–515, 2009.
- GEISLER, J. H. Cetartiodactyla. **Encyclopedia of Marine Mammals**, p. 189–191, 2018.

- GORDON, J.; TYACK, P. L. Sound and Cetaceans. *Marine Mammals*, p. 139–196, 2002.
- HASSANIN, A. et al. Pattern and timing of diversification of Cetartiodactyla (Mammalia, Laurasiatheria), as revealed by a comprehensive analysis of mitochondrial genomes. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 335, n. 1, p. 32–50, 2012.
- HERZING, D. L. Acoustics and Social Behavior of Wild Dolphins: Implications for a Sound Society. p. 225–272, 2000.
- HOOKER, S. K. Toothed Whales (Odontoceti). **Encyclopedia of Marine Mammals**, n. 2013, p. 1004–1010, 2018.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2018. **Guia de monitoramento da biota marinha em atividades de aquisição de dados sísmicos**. Versão de outubro de 2018. Disponível on-line em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-egas/diretrizes/2018-11-01-ibama-guia_de_monitoramento_da_biota_marinha_outubro.pdf. Acesso em 18 JUL. 2020.
- JIANG, J. JIA et al. Whistle detection and classification for whales based on convolutional neural networks. **Applied Acoustics**, v. 150, p. 169–178, 2019.
- KAPLAN, M. B. et al. Repeated call types in Hawaiian melon-headed whales (*Peponocephala electra*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 136, n. 3, p. 1394–1401, 2014.
- KURODA, M.; MIKI, N.; MATSUIISHI, T. F. Determinants of echolocation click frequency characteristics in small toothed whales: recent advances from anatomical information. **Mammal Review**, v. 50, n. 4, p. 413–425, 2020.
- LIN, T.-H.; CHOU, L.-S. Automatic classification of delphinids based on the representative frequencies of whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 2, p. 1003–1011, 2015.
- LUO, W.; YANG, W.; ZHANG, Y. Convolutional neural network for detecting odontocete echolocation clicks. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 145, n. 1, p. EL7–EL12, 2019.
- MANCIA, A. On the revolution of cetacean evolution. **Marine Genomics**, v. 41, n. July, p. 1–5, 2018.
- MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. **BMC Evolutionary Biology**, v. 7, p. 1–20, 2007.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the atlantic ocean: Factors promoting whistle variation. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 5, p. 1229–1240, 2008.
- MCKENNA, M. F. et al. Morphology of the odontocete melon and its implications for acoustic function. **Marine Mammal Science**, v. 28, n. 4, p. 690–713, 2012.
- MELLINGER, D. K. et al. An overview of fixed passive acoustic observation methods for Cetaceans. **Oceanography**, v. 20, n. SPL.ISS. 4, p. 36–45, 2007.

- MERCADO, E. et al. Sound production by singing humpback whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2678–2691, 2010.
- MIRANDA, A.; VIEIRA, L. DE; OLIVEIRA, F. DE; SOUSA, G.P. DE; FRUET, P.F.; ZANONI, S.; APARECIDA, S. Guia Ilustrado de Identificação de Cetáceos e Sirênios do Brasil. Brasília: ICMBio/CMA. 2019.
- NEMIROFF, L.; WHITEHEAD, H. A. L. Bioacoustics : The International Journal of Animal Sound and its Recording STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF PULSED CALLS OF LONG- FINNED PILOT WHALES *Globicephala melas*. **Bioacoustics**, v. 19, n. January 2013, p. 67–92, 2009.
- NUMMELA, S. et al. Sound transmission in archaic and modern whales: Anatomical adaptations for underwater hearing. **Anatomical Record**, v. 290, n. 6, p. 716–733, 2007.
- OSWALD, J. N. Development of a Classifier for the Acoustic Identification of Delphinid Species in the Northwest Atlantic Ocean. n. 760, p. 1–58, 2013.
- OSWALD, J. N. et al. A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 1, p. 587–595, 2007.
- OSWALD, J. N.; BARLOW, J.; NORRIS, T. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 108, n. 5, p. 2635–2635, 2003.
- PESO PARADA, P.; CARDENAL-LÓPEZ, A. Using Gaussian mixture models to detect and classify dolphin whistles and pulses. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 6, p. 3371–3380, 2014.
- PILLERI, G. Adaptation to water and the evolution of echolocation in the cetacea. **Ethology Ecology and Evolution**, v. 2, n. 2, p. 135–163, 1990.
- PRICE, S. A.; BININDA-EMONDS, O. R. P.; GITTLEMAN, J. L. A complete phylogeny of the whales, dolphins and even-toed hoofed mammals (Cetartiodactyla). **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 80, n. 3, p. 445–473, 2005.
- RANKIN, S. et al. Acoustic classification of dolphins in the California Current using whistles, echolocation clicks, and burst pulses. **Marine Mammal Science**, v. 33, n. 2, p. 520–540, 2017.
- REIDENBERG, J. S. Terrestrial, semiaquatic, and fully aquatic mammal sound production mechanisms. **Acoustics Today**, v. 13, n. 2, p. 35–43, 2017.
- REIDENBERG, J. S.; LAITMAN, J. T. Discovery of a low frequency sound source in mysticeti (baleen whales): Anatomical establishment of a vocal fold homolog. **Anatomical Record**, v. 290, n. 6, p. 745–759, 2007.
- RENDELL, L. E. et al. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. **Journal of Zoology**, v. 249, n. 4, p. 403–410, 1999.

- RISCH, D. et al. Minke whale acoustic behavior and multi-year seasonal and diel vocalization patterns in Massachusetts Bay, USA. **Marine Ecology Progress Series**, v. 489, p. 279–295, 2013.
- ROBINSON, N. E. et al. Is passive acoustic monitoring during seismic surveys a valuable tool for mitigation? **Bioacoustics**, v. 17, n. 1–3, p. 265–267, 2008.
- ROCH, M. A. et al. Classification of echolocation clicks from odontocetes in the Southern California Bight. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 1, p. 467–475, 2011.
- ROCH, M. A. et al. Gaussian mixture model classification of odontocetes in the Southern California Bight and the Gulf of California. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 121, n. 3, p. 1737–1748, 2007.
- SAYIGH, L. et al. Repeated call types in short-finned pilot whales, *Globicephala macrorhynchus*. **Marine Mammal Science**, v. 29, n. 2, p. 312–324, 2013.
- SILVA, T. L. et al. Whistle characteristics and daytime dive behavior in pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) in Hawai'i measured using digital acoustic recording tags (DTAGs). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 140, n. 1, p. 421–429, 2016.
- SOLDEVILLA, M. S. et al. Classification of Risso's and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 124, n. 1, p. 609–624, 2008.
- SOLDEVILLA, M. S. et al. Risso's and Pacific white-sided dolphin habitat modeling from passive acoustic monitoring. **Marine Ecology Progress Series**, v. 423, p. 247–260, 2011.
- SOUSA-LIMA, R. S. et al. A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. **Aquatic Mammals**, v. 39, n. 1, p. 23–53, 2013.
- SOUSA-LIMA, R.S. et al. Acoustic ecology of humpback whales in Brazilian waters investigated with basic and sophisticated passive acoustic technologies over 17 years. *West Indian Ocean J Mar Sci. Special Issue* v. 1, p. 23–40, 2018
- STEINER, W. W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 9, n. 4, p. 241–246, 1981.
- TODD, N. R. E. et al. Using passive acoustic monitoring to investigate the occurrence of cetaceans in a protected marine area in northwest Ireland. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 232, n. December 2019, p. 106509, 2020.
- USMAN, A. M.; OGUINDILE, O. O.; VERSFELD, D. J. J. Review of Automatic Detection and Classification Techniques for Cetacean Vocalization. **IEEE Access**, v. 8, p. 105181–105206, 2020.
- VERFUSS, U. K. et al. Comparing methods suitable for monitoring marine mammals in low visibility conditions during seismic surveys. **Marine Pollution Bulletin**, v. 126, p. 1–18, 2018.

WATWOOD, S. L. et al. Deep-diving foraging behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). **Journal of Animal Ecology**, v. 75, n. 3, p. 814–825, 2006.

WEBSTER, T. A. et al. Temporal variation in the vocal behaviour of southern right whales in the Auckland Islands, New Zealand. **Royal Society Open Science**, v. 6, n. 3, p. 1–15, 2019.

WELLARD, R. et al. Vocalisations of killer whales (*Orcinus orca*) in the Bremer Canyon, Western Australia. **PLoS ONE**, v. 10, n. 9, p. 1–26, 2015.

YANG, W.; LUO, W.; ZHANG, Y. Classification of odontocete echolocation clicks using convolutional neural network. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 147, n. 1, p. 49–55, 2020.

YURK, H. et al. Cultural transmission within maternal lineages: Vocal clans in resident killer whales in southern Alaska. **Animal Behaviour**, v. 63, n. 6, p. 1103–1119, 2002.

ZIMMER, W. M. X. *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans*. Cambridge University Press, Cambridge, 2011.

CAPÍTULO II

Use of whistles in acoustic identification of delphinids (Odontoceti: Delphinidae) in the western South Atlantic Ocean

Abstract

Cetaceans are vocally active animals which rely almost exclusively on sound to survive in the marine environment. Delphinids present a complex acoustic repertoire, comprised of echolocation clicks, burst pulses and whistles. Among these, whistles may be used in the process of acoustic identification, due to their species-specific parameter properties. In this study, we used these vocalizations to classify delphinids which were not visually identified in South and Southeast Brazil. The classification analysis was carried out through the Random Forest algorithm. Correct and incorrect classification percentages, global accuracy, balanced accuracy and p-value were used for the evaluation of the models. In general, ROC curves and their respective area under the curve demonstrated models with a good adjustment for the definition of species, while Gini values and decrease in accuracy indicated that duration, centre frequency, delta frequency and ending frequency were the parameters which better contributed to the classification. The exclusively acoustic encounters were classified as with species usually sighted along the southern and southeastern continental slope of Brazil, such as *Delphinus delphis*, *Stenella frontalis* and *Stenella longirostris*, confirming occurrence and distribution of these species in the study area, as well as the efficiency of the classification system for the western South Atlantic Ocean based on the acoustic parameters of whistles.

Keywords: Acoustic classification; cetaceans; odontocete; Random Forest; bioacoustics; western South Atlantic Ocean

1 INTRODUÇÃO

A infraordem Cetacea, que inclui baleias e golfinhos, apresenta sistemas acústicos complexos que evoluíram frente às limitações visuais e peculiaridades acústicas impostas pelo ambiente em que se encontram (TYACK & CLARK, 2000; JANIK, 2014). Devido às características físicas do ambiente aquático, a propagação do som é mais eficiente nesse meio (BULLOCK et al. 1968; NUMMELA et al. 2007; BALLANCE, 2018; ANDRIOLO et al. 2018). Sendo assim, o som é o principal recurso utilizado pelos cetáceos, que contam com uma variedade de sinais acústicos para realização de diversas atividades, tais como comunicação e forrageamento (GORDON & TYACK, 2002).

Dentre os cetáceos, Delphinidae (Cetacea: Odontoceti) destaca-se como o maior grupo em termos de representatividade, possuindo 37 espécies reconhecidas, organizadas em 17 a 19 gêneros (COMMITTEE ON TAXONOMY, 2016) e pela diversidade de seus sinais acústicos (STEINER, 1981; OSWALD et al. 2003; FRASIER et al. 2016; RANKIN et al. 2017). De acordo com Oswald et al. (2007), os sons produzidos por delfínídeos podem ser colocados em três categorias distintas: cliques de ecolocalização, pulsos explosivos e assobios. Esses sons formam o repertório acústico dessa família de golfinhos (HERZING, 2014).

Os assobios, caracterizados como emissões tonais de banda estreita modulados em frequência e emitidos em contextos sociais (JANIK & SLATER, 1998; HERZING, 2000; MAY-COLLADO et al. 2007), vêm sendo utilizados no processo de identificação e classificação acústica para delfínídeos (GANNIER et al. 2010; ESFAHANIAN et al. 2014; LIN & CHOU, 2015; ERBS et al. 2017; AMORIM et al. 2019). Em um ambiente vasto como o oceano, em que espécies de golfinhos coabitam e estão amplamente dispersas, esses sons tonais são necessários para manutenção da coesão de grupo, identificação de indivíduos, populações e outras espécies de cetáceos (RENDELL et al. 1999; HERZING, 2000).

Condições evolutivas relacionadas às modificações da estrutura do crânio podem ter refletido na grande variabilidade e diversidade dos parâmetros acústicos dos assobios entre as espécies de delfínídeos (MEAD, 1972; EVANS & MADERSON, 1973; FITCH, 2000). Além da divergência genética, condições ambientais, diferenças culturais e nível de ruído ambiental podem contribuir com a diversidade dos assobios entre os delfínídeos (ANSMANN et al. 2007; JANIK & SLATER, 2000). Em espécies simpátricas, essas variações podem ter se originado também como forma de isolamento reprodutivo comportamental, em que as vocalizações

sociais devem apresentar características espectrais e temporais distintas capazes de reduzir a probabilidade de formação de espécies híbridas (STEINER, 1981).

Ao carregarem informações espécie-específicas, parâmetros acústicos dos assobios podem compor classificadores acústicos autônomos utilizados no Monitoramento Acústico Passivo (MAP) de odontocetos (DATTA & STURTIVANT, 2002). O MAP, além de ser uma ferramenta menos invasiva (ERBE, 2013), tem a capacidade de monitorar acusticamente o ambiente marinho em condições desfavoráveis do mar e em qualquer horário do dia (MELLINGER et al. 2007; SOLDEVILLA et al. 2011; BINDER & HINES, 2014), sendo amplamente utilizado para gerar informações sobre distribuição, densidade e abundância de cetáceos (ZIMMER, 2011; SILVA, 2016).

A automatização da classificação acústica pode contribuir com decisões de pesquisas, otimizando tempo, uso de recursos (OSWALD et al. 2007; ABBOT et al. 2010) e ser útil em períodos noturnos ou quando condições meteorológicas adversas limitam ou dificultam a avistagem de cetáceos para a identificação de espécies (MELLINGER et al. 2007). Contudo, para que os resultados do MAP sejam analisados e interpretados com precisão, é necessário que sejam desenvolvidos e aprimorados algoritmos de classificação robustos que forneçam confiança na identificação de espécies com base apenas no registro acústico (OSWALD, 2013). Sendo assim, esses classificadores devem ser capazes de discriminar as vocalizações entre mamíferos marinhos, detectando sua presença e identificando a qual espécie esses sinais acústicos pertence (BINDER & HINES, 2014).

Considerando o potencial de classificação de espécies por meio dos assobios, o objetivo deste trabalho foi classificar acusticamente espécies de delfínidos registrados no oceano Atlântico Sul ocidental por meio da associação entre os parâmetros acústicos de espécies visualmente identificadas. A partir da classificação e identificação acústica será possível gerar bases para futuras caracterizações da distribuição e ocorrência desses cetáceos no litoral brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA E COLETA DOS ENCONTROS EXCLUSIVAMENTE ACÚSTICOS

A coleta de dados ocorreu entre 2013 a 2015 nos taludes sul e sudeste brasileiro durante o Projeto Talude, uma parceria entre a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), o Instituto Aqualie e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Essa pesquisa, conduzida a bordo do navio R/V Atlântico Sul, seguiu em zigue-zague transectos pré-planejados desde a região do Chuí (33,7° S) até o Estado do Rio de Janeiro (22,9° S) e combinou informações visuais e acústicas dos grupos de golfinhos registrados. Somente os encontros exclusivamente acústicos (EEA), detectados acusticamente e não identificados pelo monitoramento visual, foram selecionados como alvos da classificação acústica nesse trabalho (Figura 1). A Tabela 1 sumariza os registros exclusivamente acústicos selecionados para as análises de classificação.

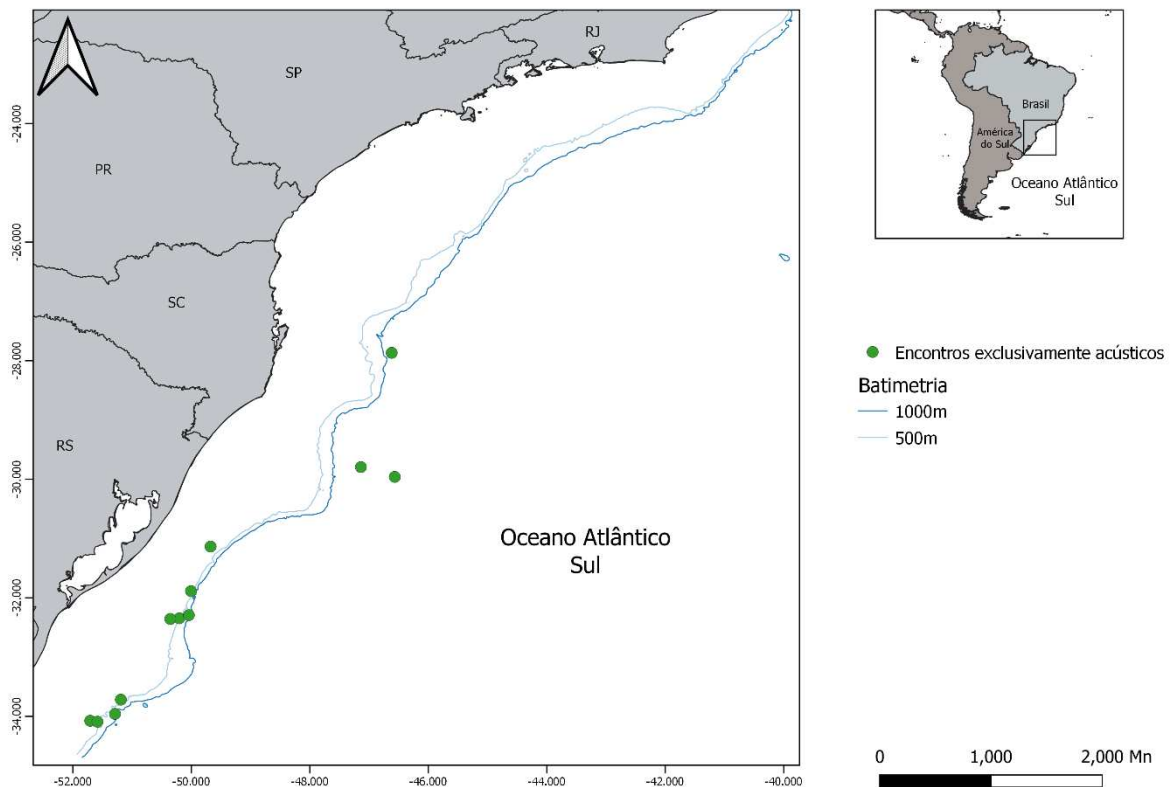


Figura 1. Área de coleta e distribuição dos doze encontros exclusivamente acústicos pelos taludes sul e sudeste brasileiro.

Tabela 1. Encontros exclusivamente acústicos selecionados como alvos da classificação acústica. Valores de latitude e longitude se referem à posição do navio no momento do registro. EEA: encontros exclusivamente acústicos.

EEA	Data	Horário de registro	Latitude	Longitude	Taxa de amostragem (kHz)
n1	13 Mai 2013	07:06	- 34.07389	- 51.70806	96
n2	13 Mai 2014	19:39	- 32.3449	- 50.2044	48
n3	14 Nov 2014	05:30	- 34.09028	- 51.58472	96
n4	14 Nov 2014	9:39	- 33.95778	- 51.29	96
n5	14 Nov 2014	13:52	- 33.71694	- 51.19056	96
n6	20 Nov 2014	13:38	- 32.35639	- 50.35667	96
n7	20 Nov 2014	16:28	- 32.29194	- 50.04306	96
n8	21 Nov 2014	9:01	- 31.88778	- 50.00694	96
n9	25 Nov 2014	7:34	- 31.13556	- 49.67639	96
n10	10 Mai 2015	12:56	- 29.9607	- 46.5671	96
n11	10 Mai 2015	17:48	- 29.7952	- 47.1381	96
n12	15 Mai 2015	16:26	- 27.86806	- 46.61861	96

O MAP ocorreu por meio de três modelos de matrizes Auset®, todas constituídas por três elementos (hidrofonos) omnidirecionais, variando entre si no comprimento total (250 a 300 m) e na distância entre os hidrofones (3 a 10 m). As taxas de amostragem adotadas foram de 96 kHz e 48 kHz / 24 bits e as detecções acústicas foram arquivadas em formato (“.wav”) em um disco rígido. As diferenças nas taxas de amostragem não interferiram na extração dos parâmetros acústicos dos assobios, visto que esses sinais foram registrados na totalidade do seu contorno e duração, não sendo limitados pela frequência do equipamento.

Os arquivos correspondentes aos encontros sem informação visual foram inspecionados aural e visualmente usando-se o programa *Raven Pro 1.5* (Cornell Laboratory of Ornithology, Cornell University, NY, USA) com a seguinte configuração: *Hann window* de 1024 *samples*, DFT de 2048 *samples* e 80% de *overlap*. Somente um canal foi utilizado para a extração dos parâmetros acústicos. Apenas os assobios que não estavam sobrepostos e possuíam início e fim claros (SNR > 10 dB) foram considerados. Os seguintes parâmetros acústicos foram medidos: frequência mínima (lf), frequência máxima (hf), variação de frequência (df), frequência central (cf), frequência inicial (bf), frequência final (ef) e duração (dt).

2.2 ANÁLISES DE CLASSIFICAÇÃO

As análises de classificação consistiram na criação de modelos, com 500 árvores, pelo algoritmo *Random Forest* (RF) (pacote *randomForest*) por meio do software estatístico R 3.5 (*R Development Core Team*, 2019). Essa análise, proposta por Breiman (2001), configura-se como uma abordagem de máquina de aprendizado supervisionado em que uma coleção de árvores de decisão cresce usando partição binária dos dados com base nas variáveis utilizadas na classificação (LU et al. 2013; OSWALD, 2013). Deste modo, utilizamos da média do decréscimo da acurácia e da diminuição média do coeficiente de Gini para avaliar quais parâmetros acústicos melhor contribuíram com a classificação.

Os EEA foram adicionados separadamente em uma biblioteca de dados construída com base nos parâmetros acústicos dos assobios de delfínidos registrados visual e acusticamente no oceano Atlântico Sul ocidental e depositados no Laboratório de Ecologia Comportamental e Bioacústica (LABEC) da UFJF. Devido às diferenças no número de assobios entre os registros, foi feito um sorteio aleatório sem reposição para equilibrar as amostras usadas no modelo, o que minimizou o efeito e a tendência da classificação para espécies mais vocalmente ativas ou frequentemente registradas.

A biblioteca de assobios é composta pelas seguintes espécies: *Delphinus delphis* (Dd), *Stenella attenuata* (Sa), *Stenella longirostris* (Sl), *Stenella clymene* (Sc), *Stenella frontalis* (Sf), *Sotalia guianensis* (Sg), *Grampus griseus* (Gg), *Globicephala melas* (Gm), *Orcinus orca* (Oo), *Peponocephala electra* (Pe), *Tursiops truncatus* (Tt) e *Steno bredanensis* (Sb). Os registros da mesma espécie em contextos ou regiões distintas foram considerados separadamente nessa análise. Por exemplo, para *S. longirostris*, os grupos foram separados de acordo com a área de registro ao longo da costa (MORON et al. 2015), sendo divididos em Sl_N (para aqueles registrados no Nordeste) e Sl_S (para aqueles registrados nos taludes sul e sudeste do Brasil). Para a espécie *T. truncatus*, também houve separação da espécie em dois contextos. O primeiro registro trata-se de um grupo misto com outros delfínidos (Tt), enquanto a segunda refere-se a um grupo registrado isoladamente, sem compor um grupo misto (Tt_I). Deste modo, ao todo quatorze classes de odontocetos compuseram o classificador acústico. A figura 2 indica os locais de registro dos golfinhos que tiveram seus parâmetros acústicos extraídos e integraram a biblioteca de assobios. Informações relacionadas à coleta desses dados acústicos, como

coordenadas geográficas e taxa de amostragem do equipamento utilizado, estão descritas na tabela 2.

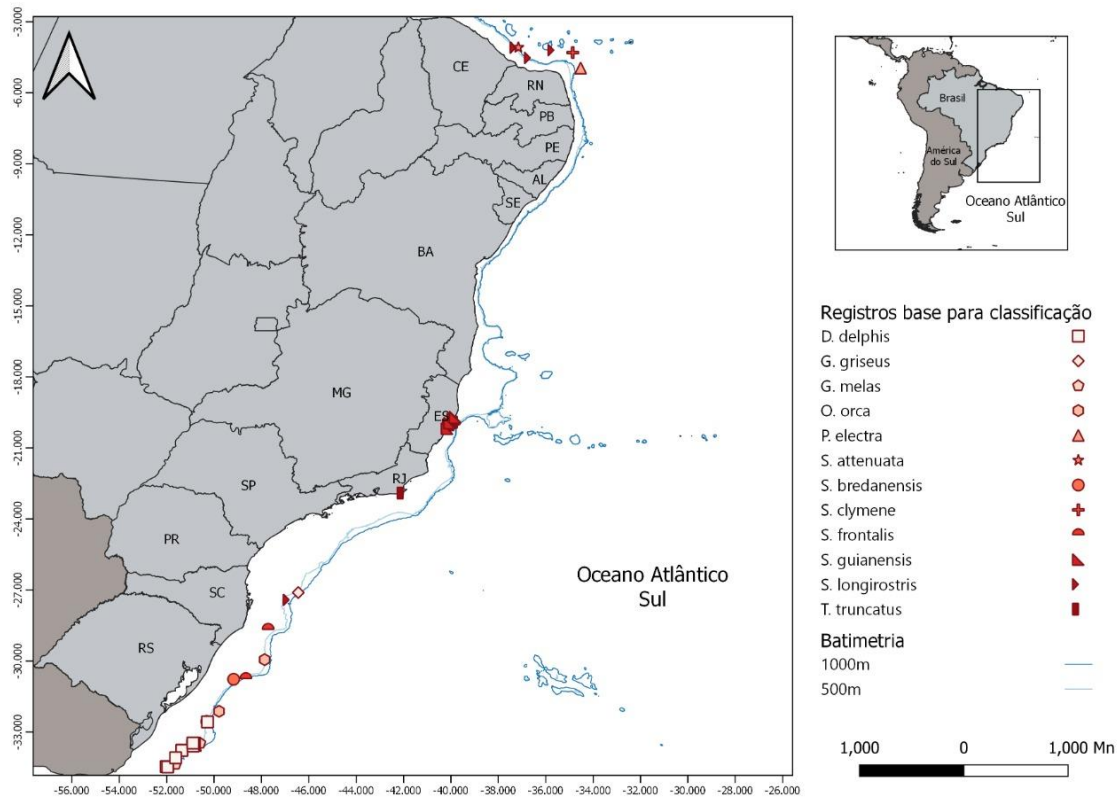


Figura 2. Mapa que indica os locais em que os registros visuais e acústicos de delphinídeos foram realizados.

Tabela 2. Espécies de delphinídeos registrados visual e acusticamente que compuseram o classificador. Valores de latitude e longitude se referem à posição do navio no momento do registro. Id: Tipo de identificação, Lat: Latitude, Long: Longitude.

Espécies	Id	Data	Horário de registro	Lat	Long	Taxa de amostragem (kHz)
<i>G. griseus</i>	Visual/Acústica	04 Jun 2013	7:06	- 27.10889	- 46.44528	96
<i>G. melas</i>	Visual/Acústica	12 Mai 2014	8:05	- 33.47306	- 50.58639	48
<i>G. melas</i>	Visual/Acústica	12 Nov 2014	16:10	- 34.36194	- 51.62167	96
<i>O. orca</i>	Visual/Acústica	24 Mai 2013	9:10	- 29.94222	- 47.86667	96
<i>O. orca</i>	Visual/Acústica	21 Nov 2014	5:52	- 32.12556	- 49.78889	96
<i>S. bredanensis</i>	Visual/Acústica	25 Nov 2014	16:38	- 30.77167	- 49.17528	96
<i>S. bredanensis</i>	Visual/Acústica	18 Mai 2015	14:46	- 32.55389	- 50.30917	96
<i>S. clymene</i>	Visual/Acústica	09 Jun 2019	11:40	- 4.302461	-34.85846	500
<i>S. frontalis</i>	Visual/Acústica	22 Mai 2013	6:36	- 30.74111	- 48.65833	96
<i>S. frontalis</i>	Visual/Acústica	14 Nov 2014	16:10	- 33.81083	- 50.79222	96
<i>S. frontalis</i>	Visual/Acústica	05 Dez 2014	10:17	- 28.66	- 47.71833	96

<i>S. longirostris</i>	Visual/Acústica	12 Dez 2017	13:16	- 4.529686	-36.65359	192
<i>S. longirostris</i>	Acústica *	11 Dez 2017	23:24	- 4.0917	- 37.25979	192
<i>S. longirostris</i>	Acústica *	18 Jun 2019	10:18	- 4.20009	- 35.6648	500
<i>S. longirostris</i>	Visual/Acústica	03 Jun 2013	8:29	- 27.41639	- 46.83472	96
<i>T. truncatus</i>	Visual/Acústica	12 Mai 2014	8:05	- 33.47306	- 50.58639	48
<i>T. truncatus</i>	Visual/Acústica	14 Jun 2013	13:31	- 22.907	- 42.025	96
<i>S. attenuata</i>	Visual/Acústica	18 Dez 2017	11:14	- 4.08662	-37.15661	192
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	14 Mai 2013	9:38	- 33.56889	- 50.91028	96
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	08 Mai 2014	14:05	- 33.76889	- 51.35972	48
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	13 Mai 2014	17:13	- 32.57472	- 50.28	48
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	12 Nov 2014	10:48	- 34.4625	- 52.02361	96
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	14 Nov 2014	10:50	- 33.77694	- 51.35972	96
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	18 Out 2015	9:38	- 34.47667	- 51.95806	192
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	21 Out 2015	11:40	- 34.0875	- 51.62222	192
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	22 Out 2015	12:28	- 33.59333	- 50.885	192
<i>D. delphis</i>	Visual/Acústica	22 Out 2015	14:32	- 33.46667	- 50.89389	192
<i>P. electra</i>	Visual/Acústica	02 Mar 2020	10:06	- 4.95527	- 34.52666	500
<i>T. truncatus</i>	Visual/Acústica	23 Fev 2019	10:37	- 19.91525	- 39.73706	500
<i>T. truncatus</i>	Visual/Acústica	14 Mar 2019	06:16	- 20.14188	- 40.02310	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	17 Abr 2019	16:15	- 20.02353	- 40.11625	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	14 Mai 2019	07:32	- 20.18497	- 40.16234	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	22 Mai 2019	10:06	- 19.69423	- 39.82205	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	22 Mai 2019	12:46	- 19.77613	- 39.85716	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	22 Mai 2019	14:30	- 19.77045	- 39.92736	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	18 Mar 2019	16:34	- 19.95173	- 40.05464	500
<i>S. guianensis</i>	Visual/Acústica	22 Mai 2019	06:08	- 19.71527	- 39.82657	500

*Registros classificados acusticamente para outros estudos desenvolvidos no LABEC que compuseram o classificador.

Os dados foram divididos em conjuntos de treinamentos e teste. As árvores construídas utilizaram entre cinquenta a sessenta por cento dos dados para treinamento e o erro *Out Of Bag* (OOB) foi calculado para cada modelo de classificação. As matrizes de confusão geradas ao fim da análise avaliaram erros e acertos cruzados entre as classes. Observamos, deste modo, o erro gerado pela matriz de confusão quanto ao encontro não identificado com outra espécie, não deixando de se avaliar o quanto cada espécie se classificou com ela mesma, o que confere segurança ao processo classificatório. Quando uma primeira matriz resultante não foi possível designar diretamente a qual espécie o EEA pertence, uma segunda análise foi realizada utilizando somente as espécies com que o encontro obteve maior erro de classificação.

Para avaliação do desempenho da classificação, além da porcentagem associada à matriz, alguns critérios gerados a partir da RF foram considerados, como Acurácia global, Acurácia balanceada e *p-value* (nível de significância alfa igual a 0.05). Adicionalmente, *Receiver Operating Characteristic Curve* (ROC) e suas respectivas áreas abaixo da curva (AUC) foram geradas para verificar a eficácia do modelo final para cada espécie, incluindo aqueles EEA alvos da classificação.

Além da RF, utilizamos de uma análise de dispersão que resultou em *clusters* que serviram para visualizar como os dados se posicionaram dentro de um espaço multivariado. Por meio desse gráfico, foi possível visualizar a proximidade multidimensional entre os EEA e as espécies de delfínídeos com que obtiveram maior porcentagem de erro de classificação no modelo final. Os eixos de coordenadas principais (PCOA) 1 e 2 foram selecionados para representar a dispersão dos dados acústicos e a distância euclidiana foi usada como método de cálculo. Todas as estatísticas envolvidas nesse estudo foram realizadas por meio do software R (*R Development Core Team, 2019*).

3 RESULTADOS

Doze EEA, entre 2013 e 2015, foram selecionados para a classificação, totalizando 1479 assobios. Quatorze registros visuais e acústicos compuseram o banco de dados usado no classificador, que contou com 1967 assobios. O número de assobios para cada registro, bem como as estatísticas descritivas estão demonstradas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Encontros exclusivamente acústicos, número de assobios e estatística descritiva (mediana e percentis 10 e 90, respectivamente) dos parâmetros acústicos selecionados. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

Encontros	Assobios						
	lf	hf	df	cf	bf	ef	dt
	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(s)
n1	10.25	18.03	4.84	11.95	12.40	13.78	0.44
N = 78	(7.46 - 17.62)	(11.86 - 23.96)	(1.32 - 11.77)	(8.84 - 19.71)	(8.38 - 19.51)	(9.50 - 22.45)	(0.19 - 1.05)
n2	9.63	12.63	3.27	11.67	9.72	11.90	0.75
N = 57	(7.33 - 11.46)	(10.82 - 14.56)	(1.09 - 5.52)	(9.01 - 12.65)	(7.72 - 12.07)	(9.29 - 14.33)	(0.43 - 1.01)
n3	8.92	14.17	5.01	10.87	11.67	12.07	0.71
N = 157	(5.96 - 11.43)	(11.25 - 18.38)	(2.42 - 8.71)	(7.61 - 15.37)	(7.03 - 15.21)	(7.74 - 16.22)	(0.34 - 1.08)
n4	10.93	13.97	2.96	12.09	11.63	13.05	0.52
N = 108	(8.81 - 13.24)	(11.37 - 17.30)	(1.21 - 5.50)	(10.24 - 14.97)	(9.17 - 14.69)	(10.20 - 17.18)	(0.29 - 0.86)
n5	10.44	14.27	3.85	12.0	13.26	12.30	0.53
N = 104	(9.01 - 12.33)	(12.55 - 17.81)	(1.72 - 6.80)	(10.5 - 13.8)	(9.58 - 17.15)	(9.30 - 15.04)	(0.26 - 0.89)
n6	8.69	14.57	5.26	11.25	9.61	13.01	0.38
N = 168	(6.36 - 11.74)	(10.25 - 19.12)	(1.91 - 9.57)	(8.75 - 14.43)	(6.58 - 14.71)	(8.99 - 18.03)	(0.17 - 0.72)
n7	10.29	17.08	6.48	13.68	11.52	15.48	0.80
N = 306	(7.59 - 13.36)	(13.83 - 21.0)	(3.17 - 11.07)	(10.87 - 16.68)	(7.65 - 16.64)	(10.50 - 20.41)	(0.37 - 1.25)
n8	8.38	16.23	7.28	11.15	10.35	15.54	0.41
N = 124	(6.23 - 12.54)	(12.43 - 20.55)	(3.50 - 10.57)	(9.05 - 14.56)	(6.93 - 17.21)	(10.43 - 19.91)	(10.43 - 19.98)
n9	9.37	14.23	4.28	11.2	9.76	13.63	0.44
N = 137	(5.91 - 12.12)	(10.97 - 16.39)	(2.24 - 7.66)	(8.43 - 13.64)	(6.53 - 13.20)	(9.68 - 16.32)	(0.25 - 0.83)
n10	10.3	15.83	4.98	12.44	12.97	15.05	0.75
N = 70	(8.50 - 13.7)	(12.96 - 18.24)	(2.13 - 7.62)	(10.81 - 15.14)	(8.74 - 15.71)	(11.24 - 17.91)	(0.26 - 1.31)
n11	10.33	13.97	3.39	11.92	10.66	13.75	0.52
N = 92	(8.0 - 12.91)	(11.29 - 16.66)	(1.60 - 6.45)	(9.05 - 14.05)	(8.10 - 13.66)	(11.14 - 16.57)	(0.26 - 1.04)
n12	8.98	12.44	3.35	10.73	10.06	12.16	0.46
N = 78	(7.09 - 11.61)	(10.11 - 15.66)	(1.45 - 5.97)	(8.47 - 12.94)	(7.71 - 12.59)	(7.84 - 15.17)	(0.23 - 0.86)

Tabela 4. Espécies presentes no classificador, número de assobios e estatística descritiva (mediana e percentis 10 e 90, respectivamente) dos parâmetros acústicos selecionados. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

Espécies	Assobios						
	lf	hf	df	cf	bf	ef	dt
	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(kHz)	(s)
Dd	9.67	13.41	3.47	11.71	11.03	12.10	0.70
N = 200	(6.82 - 12.21)	(9.83 - 16.29)	(0.99 - 6.75)	(8.15 - 13.97)	(8.53 - 15.31)	(7.93 - 15.51)	(0.386 - 1.08)
Gg	7.1	15.4	7.7	11	10.7	9.7	0.69
N = 247	(2.15 - 11.17)	(3.49 - 18.66)	(1.07 - 11.64)	(2.53 - 14.43)	(2.78 - 14.72)	(2.48 - 15.69)	(0.22 - 1.38)
Gm	4.6	6.9	2.0	5.8	4.5	5.5	0.50
N = 105	(2.26 - 10.03)	(3.58 - 13.99)	(0.62 - 5.56)	(3.0 - 11.97)	(2.60 - 13.12)	(2.84 - 13.09)	(0.23 - 0.87)
Oo	3.9	8.2	4.1	7.1	4.3	8	0.30
N = 70	(2.09 - 14.98)	(4.16 - 24.40)	(1.66 - 9.15)	(3.37 - 19.95)	(1.95 - 24.30)	(3.81 - 15.76)	(0.11 - 0.82)
Pe	6.5	12.3	5.6	9.5	7.8	8.5	0.54
N = 200	(4.76 - 8.57)	(9.19 - 16.53)	(2.14 - 9.67)	(7.32 - 11.71)	(5.15 - 14.94)	(5.79 - 14.09)	(0.26 - 0.99)
Sa	7.6	19.0	10.0	12.1	8.1	17.1	0.6
N = 75	(6.33 - 11.63)	(12.89 - 24.71)	(4.49 - 17.36)	(8.83 - 15.24)	(6.90 - 14.85)	(10.90 - 23.93)	(0.18 - 0.91)
Sb	5.8	8.1	2.2	6.9	6.3	7.6	0.41
N = 113	(4.08 - 8.23)	(6.82 - 10.05)	(0.60 - 4.66)	(5.57 - 8.74)	(4.13 - 8.73)	(5.98 - 9.86)	(0.13 - 0.95)
Sc_N	9.12	13.79	5.44	12.81	10.07	9.77	0.43
N = 21	(6.78 - 9.90)	(11.97 - 15.65)	(4.15 - 7.35)	(8.78 - 14.64)	(9.29 - 13.64)	(6.88 - 13.01)	(0.12 - 0.89)
Sf	8.21	15.58	7.25	11.15	9.1	14.25	0.42
N = 200	(5.69 - 10.77)	(12.02 - 20.17)	(3.73 - 11.53)	(8.04 - 14.45)	(6.20 - 12.88)	(7.98 - 19.63)	(0.18 - 0.91)
Sg	7.9	14.28	5.11	10.03	8.68	14.01	0.15
N = 200	(5.23 - 13.64)	(9.66 - 23.31)	(1.68 - 12.60)	(7.44 - 15.51)	(5.43 - 14.57)	(9.64 - 22.70)	(0.05 - 0.39)
Sl_N	9.29	15.07	5.31	11.76	10.18	13.72	0.38
N = 200	(6.28 - 11.92)	(11.54 - 19.10)	(2.70 - 11.06)	(9.46 - 14.73)	(6.78 - 13.85)	(9.98 - 17.31)	(0.09 - 0.90)
Sl_S	9.91	15.85	4.49	13.47	11.82	13.63	0.66
N = 150	(6.60 - 15.08)	(10.53 - 20.90)	(1.39 - 9.29)	(9.44 - 16.27)	(7.03 - 17.25)	(8.66 - 18.62)	(0.2 - 1.40)
Tt	9.7	16.2	5.57	12.04	12.55	13.81	0.37
N = 163	(7.22 - 14.48)	(12.64 - 19.58)	(2.0 - 9.74)	(10.08 - 17.90)	(8.82 - 16.29)	(8.40 - 17.49)	(0.14 - 0.93)
Tt_I	6.61	14.72	8.15	9.75	8.4	7.47	0.67
N = 23	(2.83 - 9.11)	(8.30 - 17.58)	(1.30 - 14.11)	(4.95 - 13.12)	(5.41 - 13.26)	(2.83 - 14.88)	(0.25 - 1.61)

Dentre os doze EEA selecionados como alvos da classificação acústica, cinco se classificaram com a espécie *D. delphis* (n3, n4, n5, n11 e n12), dois com o gênero *Stenella* (n1 e n9), dois com a espécie *S. longirostris*, um com a espécie *S. frontalis* (n8) e dois encontros permaneceram sem identificação (n2 e n6). A tabela 5 reúne os resultados encontrados através da análise RF e por meio das matrizes de confusão geradas ao fim de cada modelo de classificação para cada um dos EEA.

Tabela 5. Resultados dos modelos finais de classificação para cada um dos doze encontros exclusivamente acústicos selecionados. EEA: encontros exclusivamente acústicos, Erro de classificação (%): indica a maior porcentagem de erro que o encontro obteve com alguma espécie de delfínido no modelo final de classificação, Ac. global (%): acurácia global, Ac. balanceada (%): acurácia balanceada.

EEA	Erro de classificação (%)	Ac. global (%)	Ac. balanceada (%)	<i>p-value</i>	Classificado como
n1	15.4	49.78	61.89	< 0.05	<i>Stenella sp.</i>
n2	22.2	45.79	68.98	< 0.05	-
n3	23.9	42.81	79.19	< 0.05	<i>D. delphis</i>
n4	25.0	54.23	64.86	< 0.05	<i>D. delphis</i>
n5	30.0	41.33	76.08	< 0.05	<i>D. delphis</i>
n6	26.2	40.52	53.18	< 0.05	-
n7	16.6	46.34	71.27	< 0.05	<i>S. longirostris</i>
n8	51.4	56.25	57.29	> 0.05	<i>S. frontalis</i>
n9	24.1	52.73	70.02	< 0.05	<i>Stenella sp.</i>
n10	34.8	57.3	63.58	< 0.05	<i>S. longirostris</i>
n11	33.3	43.27	59.14	< 0.05	<i>D. delphis</i>
n12	22.7	63.48	56.77	< 0.05	<i>D. delphis</i>

Dentre os sete parâmetros avaliados, observamos quais foram os três parâmetros mais importantes nos modelos de classificação criados com base no coeficiente de Gini e no decréscimo médio da acurácia (Tabela 6). De acordo com esses índices, duração, variação de frequência, frequência final e frequência central foram os parâmetros que mais contribuíram com os processos de classificação.

Tabela 6. Decréscimo médio do coeficiente de Gini e decréscimo médio da acurácia indicaram quais, dos sete parâmetros, foram os mais utilizados na repartição das árvores para os modelos finais de classificação gerados para cada um dos EEA. Os três mais importantes foram selecionados para compor essa tabela. EEA: encontros exclusivamente acústicos, lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

EEA	Decréscimo médio do coeficiente de Gini	Decréscimo médio da acurácia
n1	df	df
	dt	lf
	lf	dt
n2	dt	dt
	ff	ff
	cf	hf
n3	lf	lf
	dt	cf
	cf	ff
n4	dt	dt
	df	df
	cf	cf
n5	dt	dt
	lf	lf
	ff	df
n6	dt	dt
	ff	hf
	hf	ff
n7	dt	dt
	lf	lf
	ff	cf
n8	fi	ff
	ff	hf
	dt	fi
n9	dt	dt
	df	df
	cf	cf
n10	df	df
	cf	cf
	dt	hf
n11	dt	dt
	ff	ff
	cf	hf
n12	hf	hf
	df	df
	dt	dt

3.1 ETAPAS DAS ANÁLISES CLASSIFICAÇÃO

As análises de classificação para cada EEA estão representadas separadamente e detalhadamente abaixo:

3.1.1 ENCONTRO n1

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 7). Desta forma, as espécies com que n1 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *G. griseus*, *S. attenuata*, *S. frontalis*, *S. longirostris* Sul/Sudeste e *T. truncatus* contexto grupo misto, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n1 obteve um maior erro de classificação com as espécies do gênero *Stenella*, principalmente com a espécie *S. frontalis* (15.4%) (Tabela 8).

Tabela 7. Matriz de confusão gerada em porcentagem considerando os assobios das espécies de delfinídeos e o encontro n1. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n1	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	53.1	5.2	2.1	2.1	0.0	6.3	0.0	0.0	2.1	5.2	1.0	6.3	9.4	7.3	0.0
Gg	6.4	46.8	4.3	1.1	0.0	6.4	2.1	1.1	3.2	11.7	1.1	3.2	4.3	5.3	3.2
Gm	0.0	11.5	53.8	3.8	3.8	3.8	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	7.7
n1	7.7	7.7	0.0	34.6	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	11.5	3.8	3.8	11.5	11.5	0.0
Oo	0.0	0.0	0.0	0.0	83.3	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	0.0
Pe	6.6	7.5	0.9	2.8	2.8	44.3	2.8	4.7	1.9	7.5	0.9	4.7	7.5	3.8	0.9
Sa	3.6	10.7	0.0	3.6	0.0	0.0	46.4	0.0	0.0	21.4	3.6	10.7	0.0	0.0	0.0
Sb	8.6	5.2	1.7	0.0	1.7	13.8	0.0	58.6	0.0	1.7	6.9	1.7	0.0	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	0.0	4.6	0.0	0.0	1.5	3.1	6.2	0.0	1.5	35.4	10.8	21.5	3.1	12.3	0.0
Sg	0.0	2.2	0.0	2.2	0.0	6.7	4.5	4.5	0.0	10.1	53.9	9.0	2.2	4.5	0.0
Sl_N	1.3	8.0	1.3	1.3	1.3	4.0	2.7	0.0	5.3	14.7	12.0	28.0	13.3	4.0	2.7
Sl_S	19.1	8.5	2.1	10.6	4.3	4.3	2.1	0.0	0.0	2.1	0.0	8.5	31.9	4.3	2.1
Tt	8.3	9.7	4.2	2.8	0.0	5.6	1.4	2.8	0.0	9.7	8.3	4.2	5.6	37.5	0.0
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

OOB = 58.19

Ac. global = 0.45

Ac. balanceada n1 = 0.6557

p-value < 0.05

Tabela 8. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n1 mais obteve erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sa: *Stenella attenuata*, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

	Dd	Gg	n1	Sa	Sf	Sl_S	Tt
Dd	48.6	8.1	7.2	0.9	3.6	22.5	9.0
Gg	5.2	58.3	1.7	2.6	11.3	13.9	7.0
n1	0.0	7.7	61.5	7.7	15.4	7.7	0.0
Sa	4.2	8.3	8.3	45.8	25.0	8.3	0.0
Sf	9.4	7.1	7.1	9.4	47.1	7.1	12.9
Sl_S	11.8	17.6	8.8	0.0	11.8	38.2	11.8
Tt	7.8	18.8	4.7	3.1	14.1	6.3	45.3

OOB = 52.92

Ac. global = 0.4978

Ac. balanceada n1 = 0.61896

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 3). O decréscimo médio da acurácia indicou que variação de frequência (df), frequência mínima (lf) e duração (dt) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n1. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que variação de frequência (df), duração (dt) e frequência mínima (lf) foram os parâmetros que melhor contribuíram com esse processo (Figura 4).

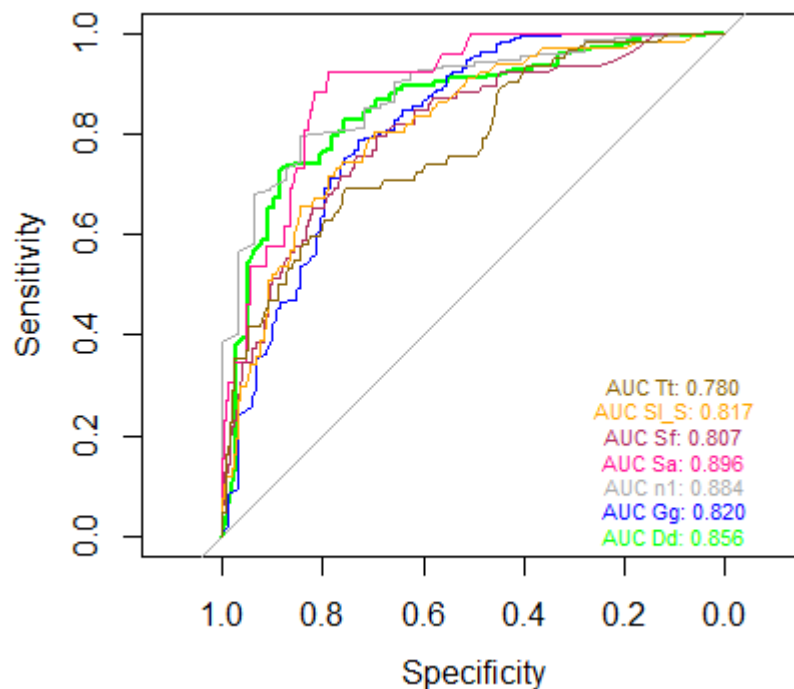


Figura 3. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n1. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sa: *Stenella*

attenuata, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

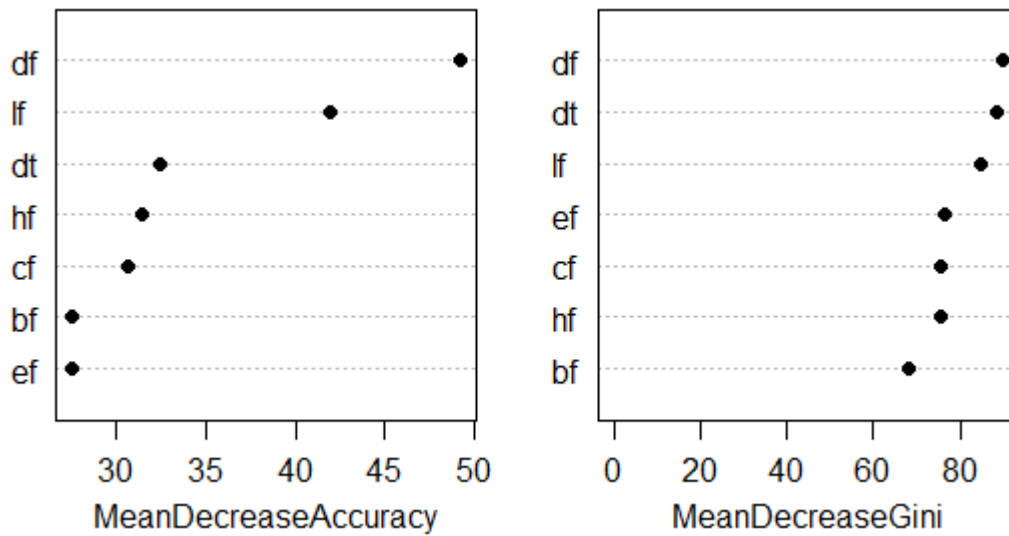


Figura 4. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n1. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 5) gerado somente com as espécies com que n1 obteve erro de classificação indicou proximidade multidimensional entre esse encontro e as espécies do gênero *Stenella*, corroborando a porcentagem apresentada nas matrizes de confusão e identificando o encontro como uma espécie desse gênero.

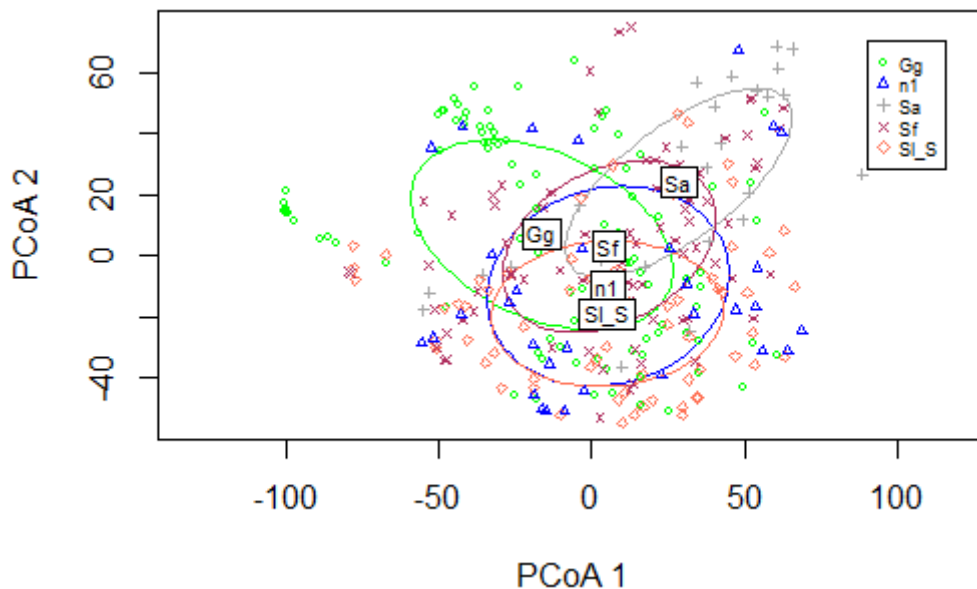


Figura 5. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n1 e as espécies com que obteve maior erro de classificação, principalmente espécies do gênero *Stenella*. Gg: *Grampus griseus*, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Sa: *Stenella attenuata*.

3.1.2 ENCONTRO n2

A matriz de confusão (40% de validação) demonstrou que o encontro n2 teve 22.2% de erro de classificação com a espécie *D. delphis* (Tabela 9). Como esse primeiro modelo gerou uma boa porcentagem de erro de classificação, sendo capaz de indicar a qual espécie o encontro pertence, não foi necessária uma análise posterior.

Tabela 9. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delphinídeos e o encontro n2. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n2	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	49.0	6.0	7.0	5.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	4.0	0.0	5.0	15.0	3.0	0.0
Gg	4.3	55.4	2.2	0.0	0.0	5.4	2.2	1.1	2.2	3.3	3.3	5.4	8.7	6.5	0.0
Gm	0.0	0.0	57.9	0.0	10.5	5.3	0.0	21.1	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
n2	22.2	0.0	0.0	50.0	0.0	5.6	0.0	0.0	5.6	5.6	0.0	5.6	5.6	0.0	0.0
Oo	0.0	0.0	8.7	0.0	87.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pe	3.5	0.9	0.0	1.7	1.7	43.5	0.0	8.7	3.5	16.5	0.9	5.2	5.2	7.8	0.9
Sa	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	18.8	56.3	0.0	0.0	12.5	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Sb	11.9	2.4	4.8	2.4	2.4	9.5	0.0	52.4	0.0	7.1	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	4.3	10.0	0.0	1.4	4.3	2.9	5.7	2.9	0.0	40.0	8.6	15.7	2.9	1.4	0.0
Sg	2.0	1.0	0.0	1.0	0.0	12.2	7.1	6.1	0.0	8.2	46.9	7.1	3.1	5.1	0.0
Sl_N	2.5	7.6	1.3	1.3	0.0	1.3	3.8	0.0	3.8	10.1	17.7	34.2	6.3	8.9	1.3
Sl_S	14.0	14.0	2.0	2.0	0.0	2.0	4.0	4.0	0.0	6.0	0.0	8.0	36.0	4.0	4.0
Tt	13.4	11.9	3.0	3.0	0.0	4.5	6.0	0.0	1.5	9.0	6.0	3.0	9.0	29.9	0.0
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	33.3

OOB = 54.66

Ac. global = 0.4572

Ac. balanceada n2 = 0.68982

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$), com exceção da classe Tt_I (Figura 6). O decréscimo médio da acurácia indicou que duração (dt), frequência final (ef) e frequência máxima (hf) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n2. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que duração (dt), frequência final (ef) e frequência central (cf) foram os que mais contribuíram com esse processo (Figura 7).

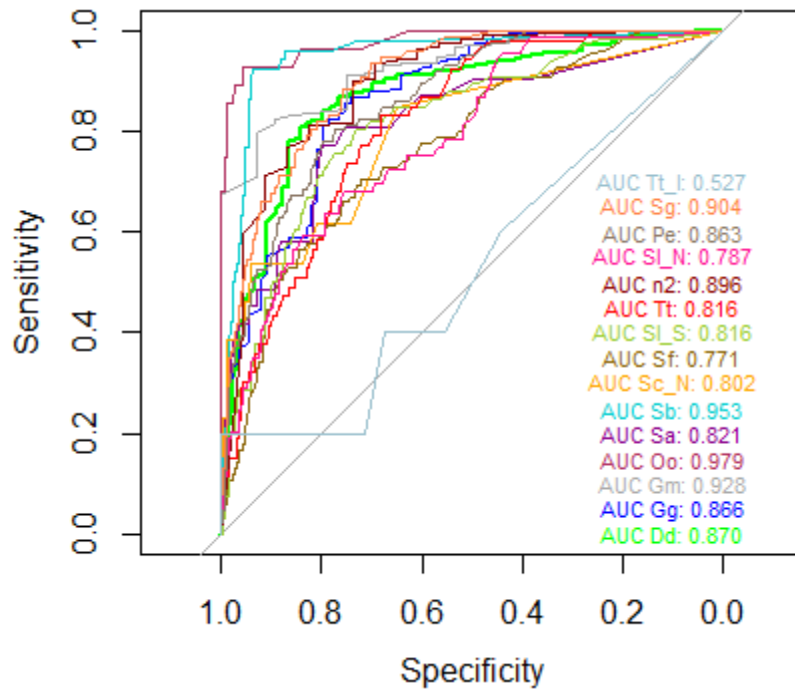


Figura 6. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o primeiro modelo referente ao encontro n2. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

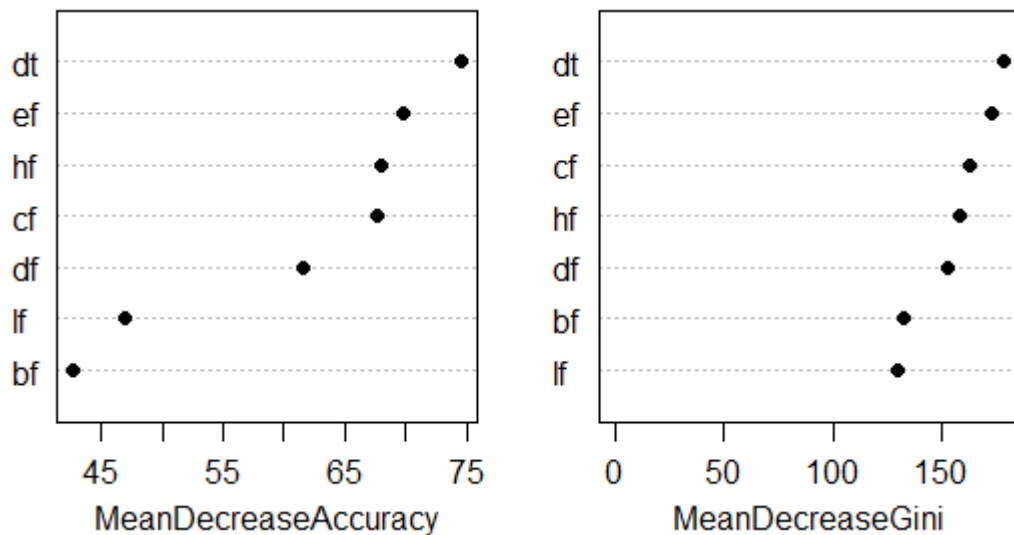


Figura 7. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do primeiro modelo para o encontro n2. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 8), somente com as espécies com que n2 obteve maior erro de classificação, indicou proximidade multidimensional entre o encontro n2 com as espécies *D. delphis* e *S. clymene*.

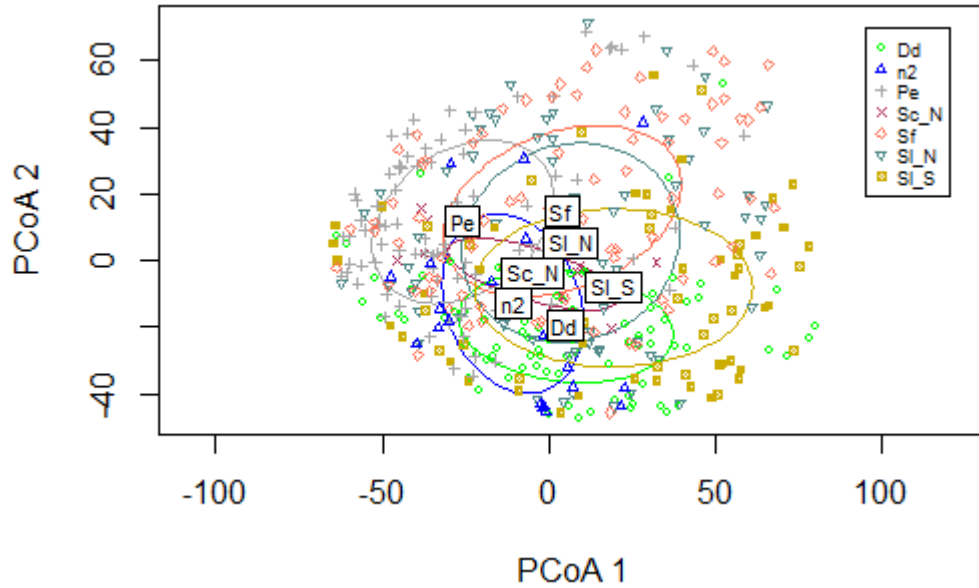


Figura 8. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n2 e as espécies com que obteve erro de classificação. Pe: *Peponocephala electra*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Dd: *Delphinus delphis*, SI_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, SI_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*.

3.1.3 ENCONTRO n3

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 10). Desta forma, as espécies com que n3 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *G. griseus*, *P. electra*, *S. attenuata*, *S. longirostris* Sul/Sudeste e *T. truncatus* contexto grupo misto, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n3 obteve um erro de classificação de 23.9% com *D. delphis* (Tabela 11).

Tabela 10. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínidos e o encontro n3. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global, acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n3	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	38.4	4.0	3.0	12.1	0.0	2.0	0.0	2.0	1.0	9.1	1.0	5.1	10.1	11.1	1.0
Gg	2.1	52.1	3.2	2.1	0.0	7.4	2.1	1.1	2.1	3.2	3.2	8.5	8.5	3.2	1.1
Gm	4.3	4.3	52.2	4.3	4.3	0.0	0.0	13.0	0.0	4.3	0.0	4.3	4.3	4.3	0.0
n3	12.1	6.9	1.7	58.6	0.0	5.2	3.4	0.0	0.0	1.7	0.0	1.7	3.4	5.2	0.0
Oo	0.0	4.0	8.0	0.0	76.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pe	6.7	9.6	3.8	2.9	1.0	37.5	1.0	3.8	3.8	10.6	2.9	4.8	5.8	5.8	0.0
Sa	4.5	0.0	0.0	0.0	4.5	9.1	31.8	0.0	0.0	27.3	0.0	13.6	9.1	0.0	0.0
Sb	3.4	8.5	3.4	5.1	1.7	10.2	0.0	54.2	0.0	1.7	8.5	0.0	3.4	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0
Sf	2.8	11.1	0.0	4.2	2.8	1.4	2.8	0.0	1.4	37.5	5.6	13.9	11.1	5.6	0.0
Sg	2.9	3.8	0.0	1.0	1.0	7.7	2.9	1.9	1.0	12.5	38.5	15.4	2.9	7.7	1.0
Sl_N	1.6	9.8	0.0	3.3	3.3	1.6	4.9	0.0	4.9	8.2	1.6	34.4	13.1	11.5	1.6
Sl_S	22.2	15.6	0.0	0.0	4.4	4.4	0.0	4.4	0.0	2.2	0.0	8.9	31.1	6.7	0.0
Tt	8.1	12.9	3.2	8.1	0.0	4.8	1.6	0.0	0.0	9.7	4.8	6.5	4.8	35.5	0.0
Tt_I	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

OOB = 59.47

Ac. global = 0.4281

Ac. balanceada n3 = 0.74195

p-value < 0.05

Tabela 11. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n3 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

	Dd	Gg	n3	Pe	Sa	Sl_S	Tt
Dd	41.5	8.5	14.9	6.4	1.1	12.8	14.9
Gg	6.0	56.0	6.0	11.0	7.0	5.0	9.0
n3	23.9	13.0	54.3	4.3	0.0	0.0	4.3
Pe	8.8	7.1	6.2	50.4	2.7	12.4	12.4
Sa	5.9	17.6	17.6	11.8	35.3	11.8	0.0
Sl_S	12.7	18.2	5.5	0.0	5.5	41.8	16.4
Tt	1.9	7.7	19.2	1.9	7.7	13.5	48.1

OOB = 59.47

Ac. global = 0.4281

Ac. balanceada n3 = 0.74195

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo (AUC > 0.7) (Figura 9). O decréscimo médio da acurácia indicou que frequência mínima (lf), frequência central (cf) e frequência final (ef) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n3. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que frequência mínima (lf), duração (dt) e frequência central (cf) foram os parâmetros que mais contribuíram com esse processo (Figura 10).

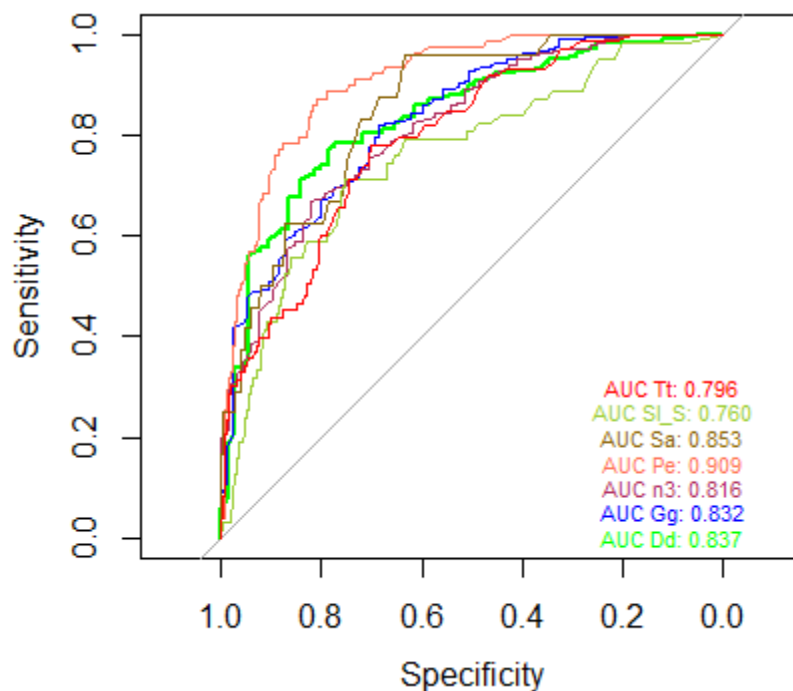


Figura 9. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n3. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Pe:

Peponocephala electra, Sa: *Stenella attenuata*, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

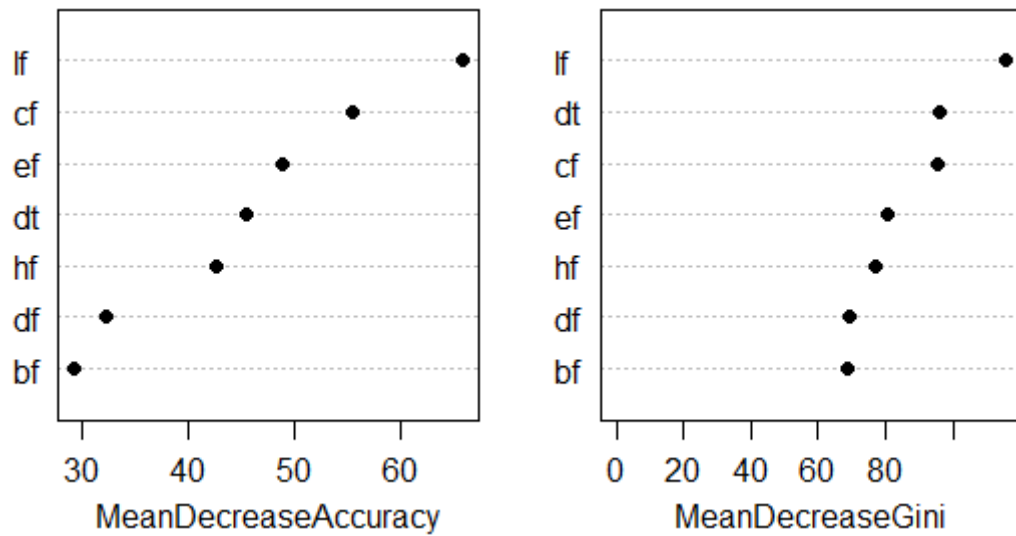


Figura 10. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n3. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 11), somente com as espécies com que n3 obteve maior erro de classificação, indicou proximidade multidimensional entre o encontro n3 e *D. delphis*, corroborando os resultados das matrizes de confusão.

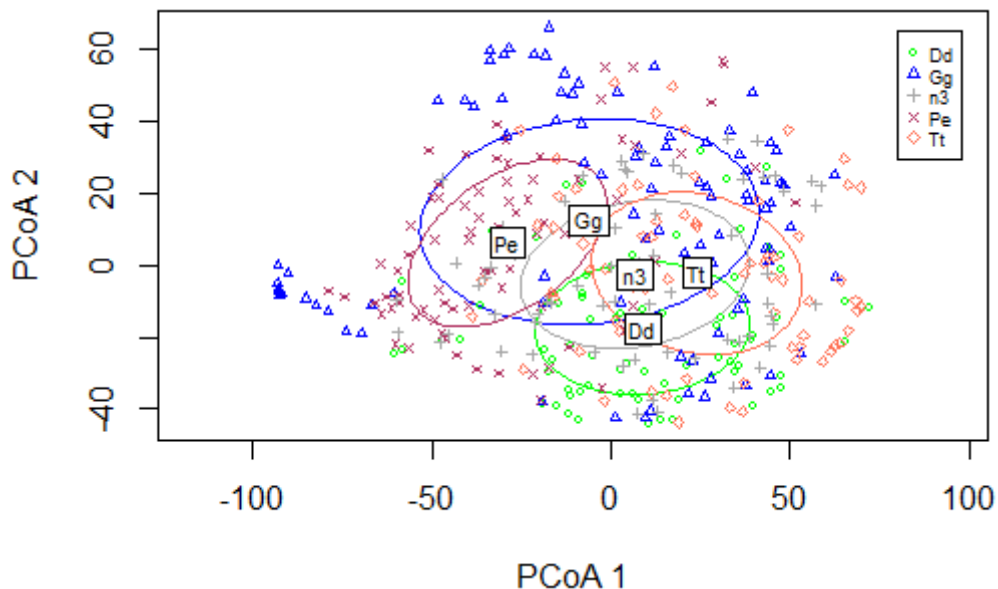


Figura 11. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n3 e as espécies com que obteve erro de classificação. Pe: *Peponocephala electra*, Gg: *Grampus griseus*, Dd: *Delphinus delphis*, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

3.1.4 ENCONTRO n4

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 12). Desta forma, as espécies com que n4 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *S. frontalis*, *S. longirostris* Nordeste e *S. longirostris* Sul/Sudeste, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n4 obteve um erro de classificação de 25% com *D. delphis* (Tabela 13).

Tabela 12. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delphinídeos e o encontro n4. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n4	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	34.7	8.9	5.0	11.9	0.0	4.0	0.0	2.0	2.0	7.9	3.0	5.0	5.9	8.9	1.0
Gg	2.0	54.9	1.0	1.0	0.0	9.8	1.0	3.9	0.0	9.8	1.0	2.0	3.9	7.8	2.0
Gm	0.0	0.0	81.8	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0
n4	17.8	6.7	4.4	33.3	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	8.9	11.1	6.7	0.0
Oo	0.0	0.0	16.0	0.0	76.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
Pe	12.2	4.1	2.0	1.0	0.0	35.7	4.1	5.1	1.0	11.2	4.1	4.1	10.2	4.1	1.0
Sa	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	8.3	58.3	0.0	0.0	12.5	0.0	4.2	12.5	0.0	0.0
Sb	3.4	0.0	8.6	1.7	1.7	15.5	0.0	58.6	0.0	1.7	5.2	0.0	3.4	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	0.0	5.7	1.4	4.3	2.9	10.0	10.0	0.0	0.0	30.0	14.3	12.9	1.4	7.1	0.0
Sg	2.2	2.2	1.1	1.1	0.0	5.6	4.4	2.2	0.0	16.7	50.0	10.0	0.0	4.4	0.0
Sl_N	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	4.9	1.2	2.5	2.5	16.0	8.6	38.3	6.2	6.2	2.5
Sl_S	17.1	12.2	0.0	2.4	4.9	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	41.5	7.3	0.0
Tt	9.4	9.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.0	1.6	15.6	7.8	9.4	9.4	29.7	0.0
Tt_I	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3

OOB = 57.17

Ac. global = 0.4324

Ac. balanceada n4 = 0.74195

p-value < 0.05

Tabela 13. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n4 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

	Dd	n4	Sf	Sl_N	Sl_S
Dd	59.3	16.0	9.9	7.4	7.4
n4	25.0	46.9	9.4	12.5	6.3
Sf	4.5	9.1	63.6	13.6	9.1
Sl_N	6.8	2.9	32.0	45.6	12.6
Sl_S	29.5	8.2	9.8	9.8	42.6

OOB = 50.39

Ac. global = 0.5423

Ac. balanceada n4 = 0.64867

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 12). O decréscimo médio da acurácia e a diminuição média do coeficiente de Gini demonstraram que os parâmetros de duração (dt), variação de frequência (df) e frequência central (cf) foram os mais importantes na classificação de n4 (Figura 13).

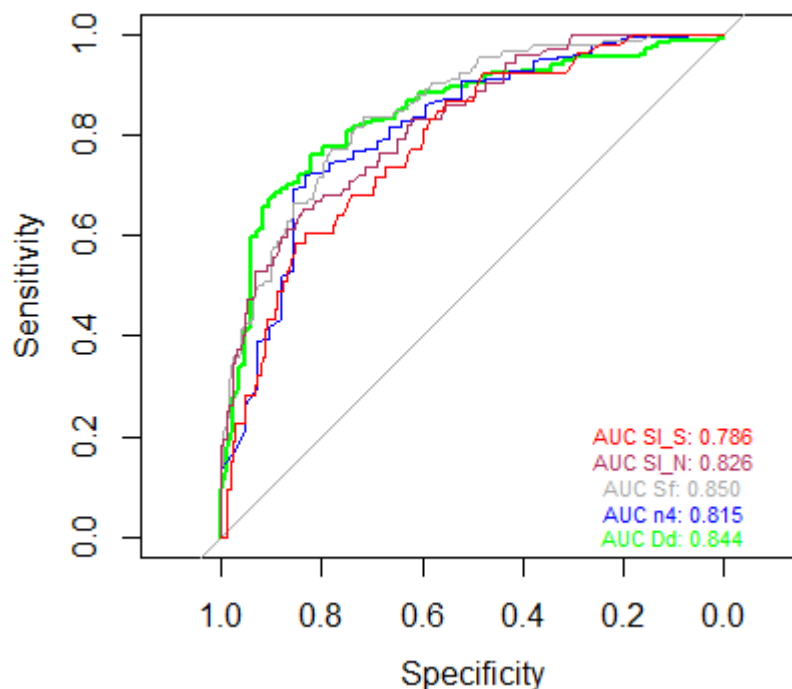


Figura 12. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n4. Dd: *Delphinus delphis*, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

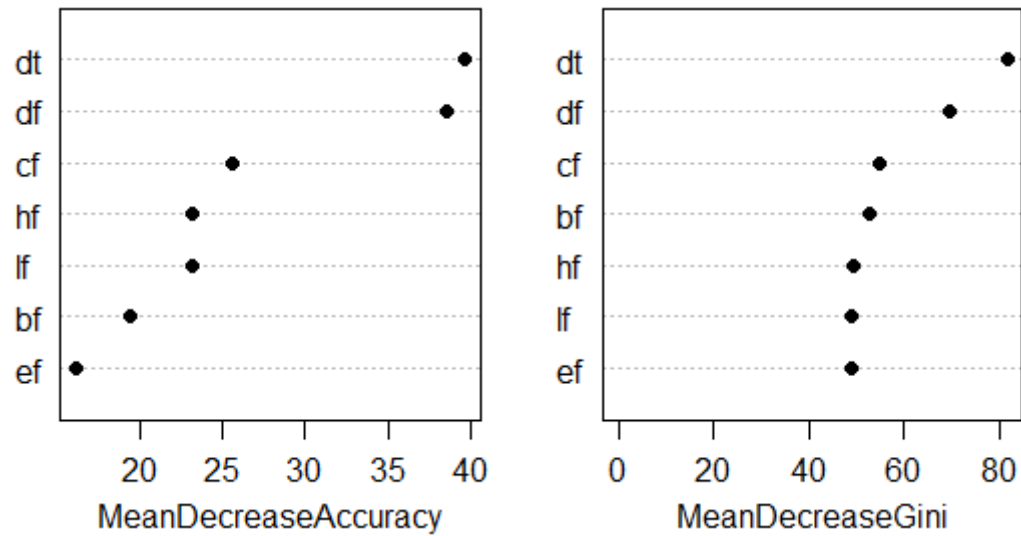


Figura 13. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n4. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 14), somente com as espécies com que n4 obteve maior erro de classificação, indicou proximidade multidimensional entre o encontro n4 e *D. delphis*, corroborando os resultados das matrizes de confusão.

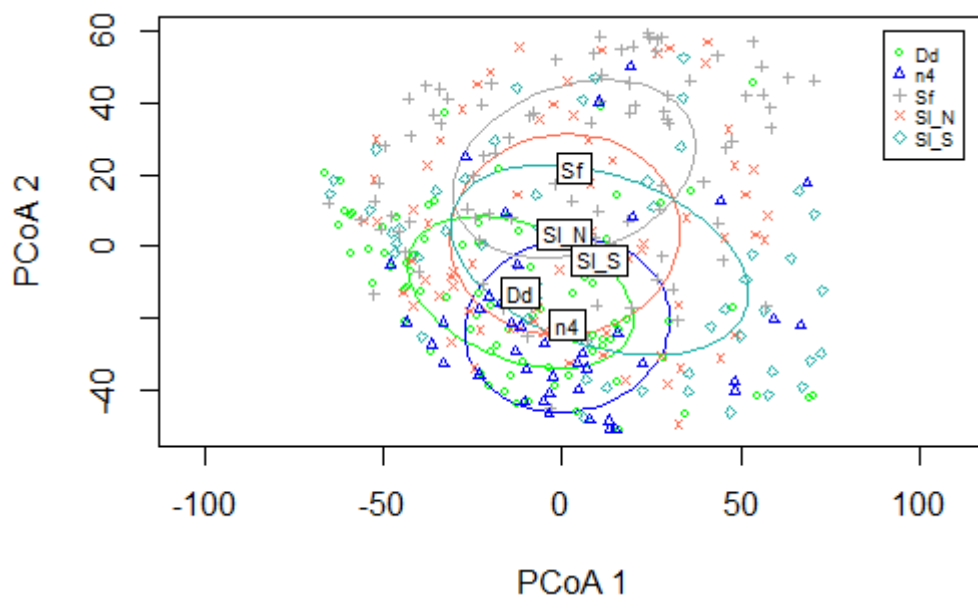


Figura 14. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n4 e as espécies com que obteve erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Sf: *Stenella frontalis*, SI_N: *Stenella longirostris* Nordeste, SI_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

3.1.5 ENCONTRO n5

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 14). Desta forma, as espécies com que n5 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *G. griseus*, *S. longirostris* Nordeste e *T. truncatus* contexto grupo misto, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n5 obteve um erro de classificação de 30.0% com *D. delphis* (Tabela 15).

Tabela 14. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfinídeos e o encontro n5. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n5	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	45.1	6.1	1.2	9.8	0.0	2.4	1.2	0.0	3.7	4.9	1.2	6.1	12.2	6.1	0.0
Gg	1.0	49.0	5.0	0.0	1.0	5.0	2.0	0.0	2.0	6.0	2.0	7.0	11.0	8.0	1.0
Gm	0.0	11.1	55.6	3.7	7.4	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	3.7	3.7	0.0	3.7
n5	16.7	10.4	0.0	39.6	0.0	4.2	0.0	2.1	0.0	4.2	2.1	10.4	2.1	8.3	0.0
Oo	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	8.7	0.0	0.0
Pe	7.4	5.3	0.0	0.0	2.1	48.4	1.1	6.3	1.1	10.5	2.1	4.2	2.1	7.4	2.1
Sa	4.8	4.8	0.0	0.0	0.0	4.8	61.9	0.0	0.0	14.3	4.8	0.0	4.8	0.0	0.0
Sb	10.9	3.6	5.5	0.0	1.8	14.5	0.0	52.7	0.0	0.0	7.3	1.8	1.8	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	0.0	6.3	0.0	1.3	1.3	7.5	8.8	1.3	0.0	21.3	17.5	13.8	5.0	13.8	2.5
Sg	0.0	4.9	1.0	0.0	0.0	6.9	3.9	6.9	0.0	16.7	38.2	13.7	3.9	2.9	1.0
Sl_N	2.9	1.5	0.0	1.5	0.0	2.9	7.4	1.5	2.9	8.8	14.7	33.8	14.7	7.4	0.0
Sl_S	24.4	6.7	0.0	4.4	2.2	11.1	0.0	4.4	0.0	4.4	0.0	8.9	24.4	8.9	0.0
Tt	6.3	15.6	3.1	3.1	1.6	3.1	1.6	0.0	0.0	10.9	9.4	7.8	10.9	26.6	0.0
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

OOB = 55.37

Ac. global = 0.4133

Ac. balanceada n5 = 0.76080

p-value < 0.05

Tabela 15. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n5 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

	Dd	Gg	n5	Sl_N	Tt
Dd	53.8	6.5	16.1	12.9	10.8
Gg	10.9	63.0	4.3	12.0	9.8
n5	30.0	10.0	50.0	0.0	10.0
Sl_N	4.3	19.1	6.4	48.9	21.3
Tt	10.5	15.8	10.5	10.5	52.6

OOB = 55.37

Ac. global = 0.4133

Ac. balanceada n5 = 0.76080

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 15). O decréscimo médio da acurácia indicou que duração (dt), frequência mínima (lf) e variação de frequência (df) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n5. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que os parâmetros duração (dt), frequência mínima (lf) frequência final (ef) foram os parâmetros que mais contribuíram com esse processo (Figura 16).

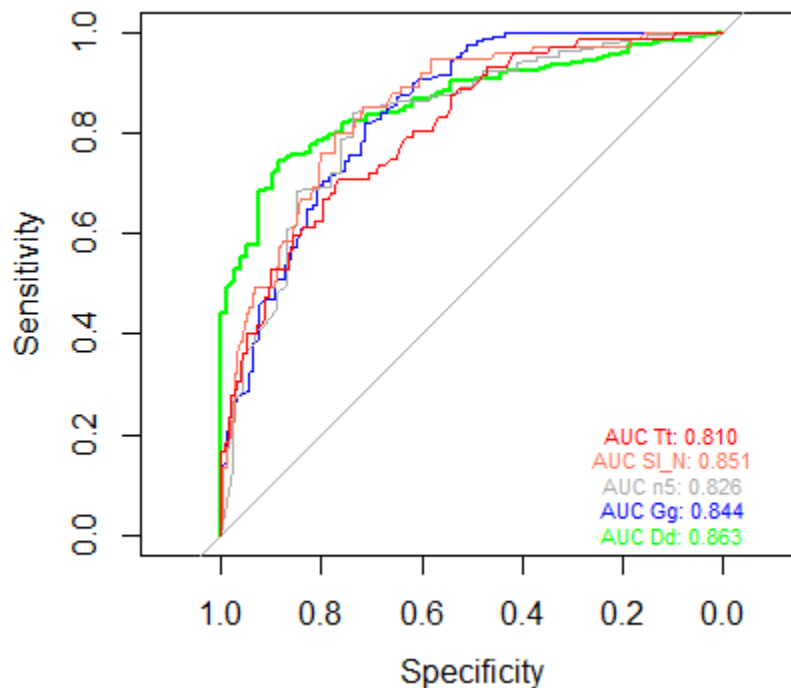


Figura 15. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n5. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

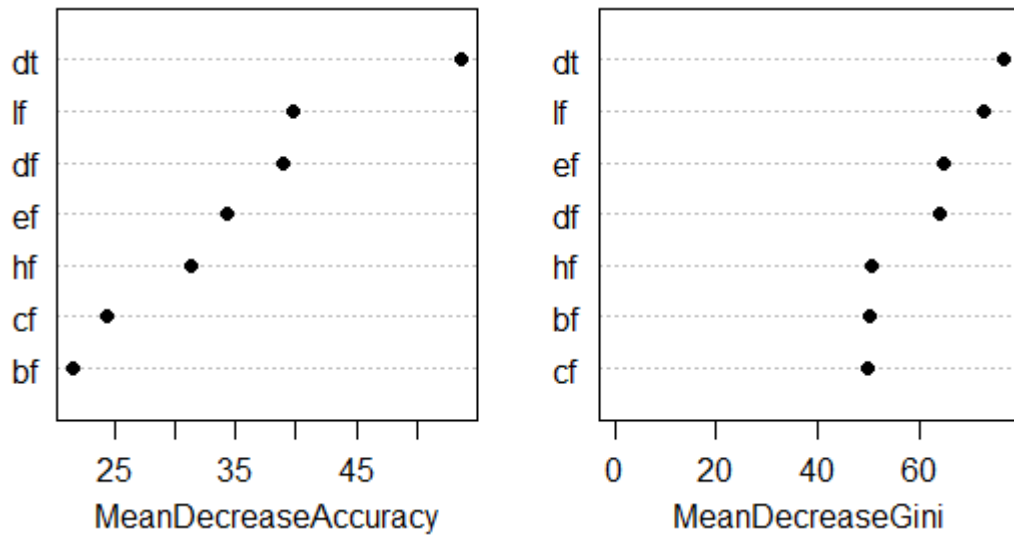


Figura 16. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n5. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 17), somente com as espécies com que n5 obteve maior erro de classificação, indicou proximidade multidimensional entre o encontro n5 e *D. delphis*, corroborando os resultados das matrizes de confusão.

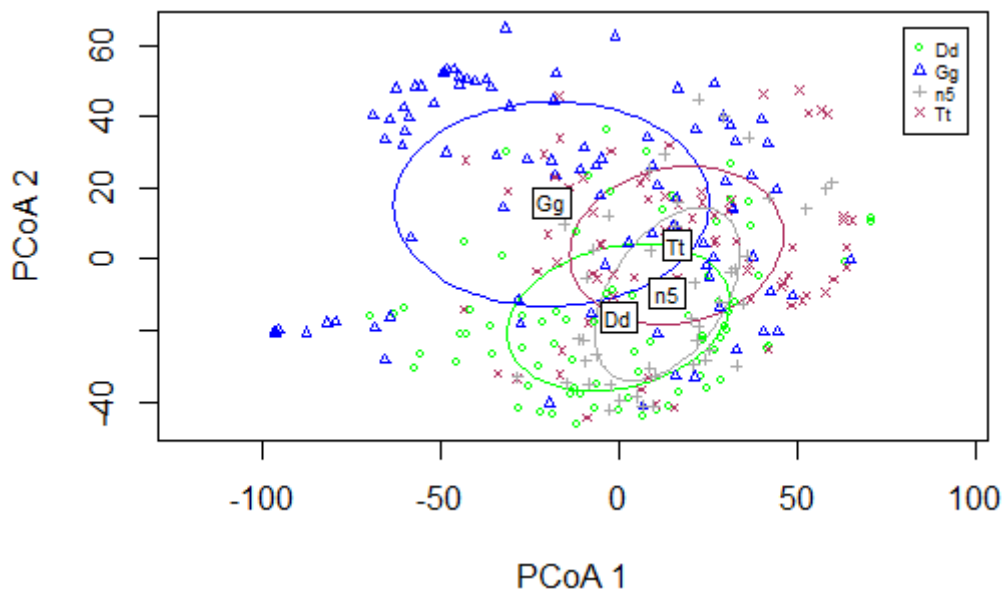


Figura 17. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n5 e as espécies com que obteve erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

3.1.6 ENCONTRO n6

A matriz de confusão (40% de validação) demonstrou que o encontro n6 teve 26.2% de erro de classificação com a espécie *S. frontalis* (Tabela 16). Como esse primeiro modelo gerou uma boa porcentagem de erro de classificação, sendo capaz de indicar a qual espécie o encontro pertence, não foi necessária uma análise posterior.

Tabela 16. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfinídeos e o encontro n6. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n6	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	36.7	5.6	2.2	17.8	0.0	5.6	2.2	1.1	1.1	2.2	0.0	6.7	13.3	5.6	0.0
Gg	8.0	47.2	0.8	1.6	0.0	7.2	2.4	0.8	3.2	5.6	2.4	9.6	2.4	8.0	0.8
Gm	0.0	7.7	53.8	3.8	3.8	3.8	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	3.8	3.8	3.8	3.8
n6	7.1	2.4	4.8	19.0	0.0	9.5	2.4	2.4	0.0	26.2	9.5	4.8	4.8	7.1	0.0
Oo	0.0	4.8	4.8	0.0	76.2	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	4.8	0.0	0.0
Pe	6.9	2.9	1.0	5.9	2.0	44.1	1.0	4.9	1.0	10.8	3.9	2.9	3.9	7.8	1.0
Sa	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	6.7	40.0	0.0	0.0	26.7	6.7	0.0	6.7	0.0	0.0
Sb	4.3	2.9	7.1	7.1	2.9	10.0	0.0	51.4	0.0	4.3	2.9	0.0	4.3	2.9	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	1.1	11.6	0.0	14.7	0.0	7.4	4.2	0.0	0.0	22.1	12.6	14.7	3.2	8.4	0.0
Sg	0.0	2.3	0.0	10.2	0.0	3.4	1.1	2.3	0.0	11.4	47.7	15.9	4.5	1.1	0.0
Sl_N	3.4	5.2	0.0	10.3	1.7	1.7	5.2	0.0	3.4	0.0	10.3	39.7	3.4	15.5	0.0
Sl_S	13.2	13.2	0.0	9.4	3.8	1.9	0.0	0.0	1.9	3.8	1.9	15.1	24.5	9.4	1.9
Tt	8.0	12.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	10.0	10.0	4.0	6.0	44.0	2.0
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

OOB = 58.39

Ac. global = 0.4052

Ac. balanceada n6 = 0.531832

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva, com exceção de n6, demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 18). O decréscimo médio da acurácia indicou que duração (dt), frequência máxima (hf) e frequência final (ef), nesta ordem, foram os parâmetros mais importantes na classificação de n6. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que os parâmetros duração (dt), frequência final (ef) e frequência máxima (hf) foram os que mais contribuíram com esse processo (Figura 19).

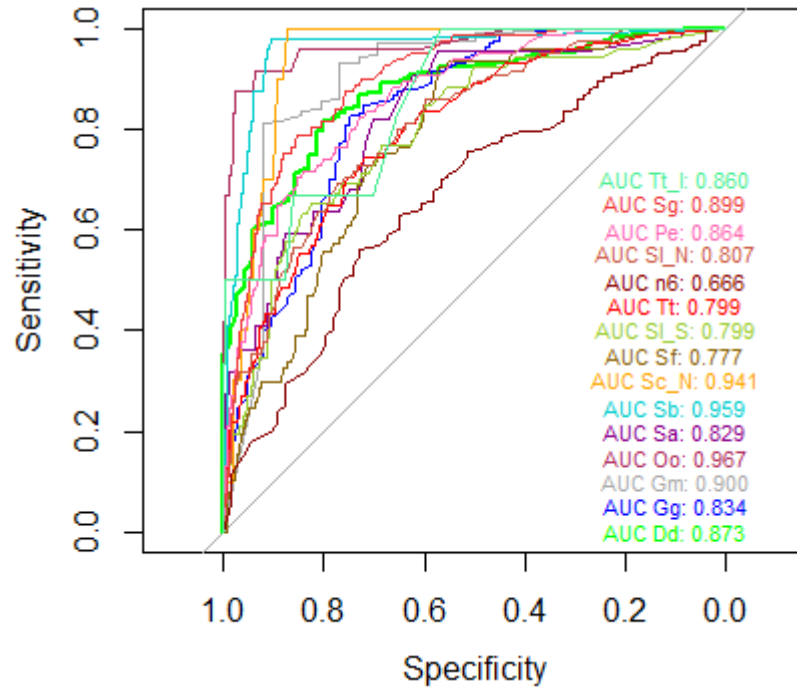


Figura 18. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o primeiro modelo referente ao encontro n6. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

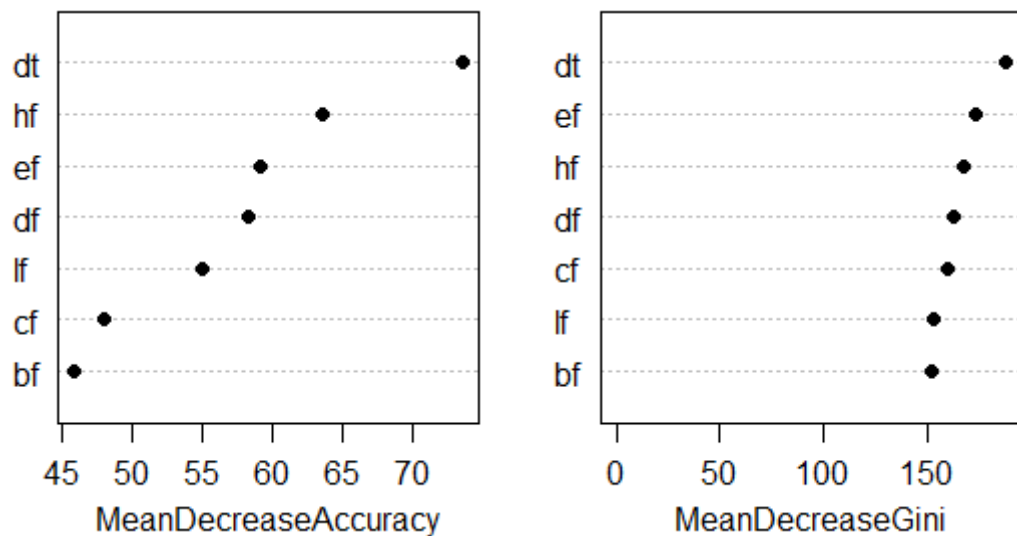


Figura 19. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do primeiro modelo para o encontro n6. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 20), somente com as espécies com que n6 mais obteve maior erro de classificação, não foi capaz de esclarecer a qual espécie o encontro pertence.

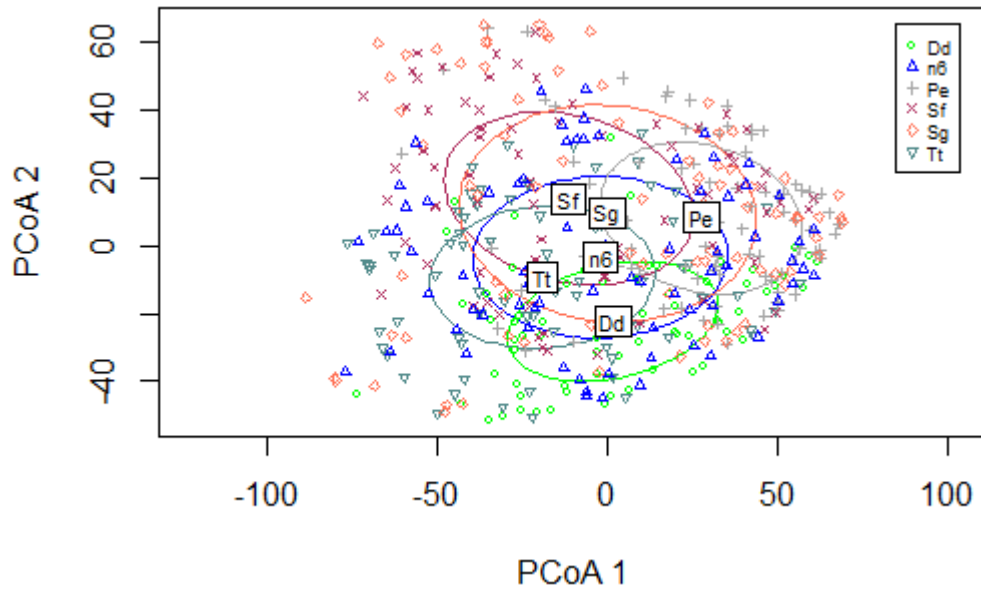


Figura 20. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n6 e as espécies com que obteve erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Sg: *Sotalia guianensis*, Sf: *Stenella frontalis*, Pe: *Peponocephala electra*.

3.1.7 ENCONTRO n7

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 17). Desta forma, as espécies com que n7 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *G. griseus*, *S. frontalis*, *S. longirostris* Nordeste, *S. longirostris* Sul/Sudeste e *T. truncatus* contexto grupo misto, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n7 obteve um erro de classificação de 16.6% com *S. longirostris* Sul/Sudeste (Tabela 18).

Tabela 17. Matriz de confusão gerada em porcentagem considerando os assobios das espécies de delphinídeos e o encontro n7. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n7	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	46.1	5.6	3.4	12.4	1.1	2.2	0.0	1.1	3.4	6.7	1.1	4.5	6.7	5.6	0.0
Gg	5.5	52.7	4.4	6.6	1.1	7.7	0.0	1.1	2.2	2.2	3.3	4.4	2.2	5.5	1.1
Gm	0.0	7.4	51.9	0.0	14.8	14.8	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
n7	6.7	7.4	0.0	46.6	0.0	0.0	3.1	0.0	1.2	8.0	1.2	8.6	11.0	5.5	0.6
Oo	0.0	0.0	0.0	5.3	89.5	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pe	7.6	5.4	2.2	3.3	0.0	41.3	2.2	3.3	4.3	6.5	5.4	5.4	4.3	7.6	1.1
Sa	0.0	6.3	0.0	18.8	0.0	6.3	56.3	0.0	0.0	6.3	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Sb	4.3	6.4	4.3	0.0	2.1	12.8	0.0	55.3	0.0	6.4	4.3	0.0	2.1	2.1	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	0.0	8.3	1.4	11.1	1.4	6.9	8.3	0.0	0.0	27.8	9.7	19.4	0.0	4.2	1.4
Sg	0.8	0.0	0.8	3.2	0.8	4.0	4.8	4.8	0.8	12.0	42.4	15.2	2.4	8.0	0.0
Sl_N	3.3	9.8	0.0	14.8	0.0	1.6	6.6	0.0	1.6	9.8	8.2	27.9	3.3	11.5	1.6
Sl_S	27.3	9.1	0.0	22.7	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	9.1	13.6	9.1	0.0
Tt	12.5	7.8	1.6	7.8	0.0	6.3	0.0	0.0	1.6	12.5	3.1	6.3	7.8	32.8	0.0
Tt_I	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	40.0

OOB = 55.67

Ac. global = 0.4318

Ac. balanceada n7 = 0.73079

p-value < 0.05

Tabela 18. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n7 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sf: *Stenella frontalis*, SI_N: *Stenella longirostris* Nordeste, SI_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

	Dd	Gg	n7	Sf	SI_N	SI_S	Tt
Dd	47.2	8.5	15.1	1.9	9.4	11.3	6.6
Gg	4.5	67.2	6.0	7.5	3.0	3.0	9.0
n7	6.6	7.9	49.0	9.3	6.0	16.6	4.6
Sf	1.2	12.2	13.4	41.5	15.9	4.9	11.0
SI_N	2.6	10.4	11.7	22.1	42.9	5.2	5.2
SI_S	17.6	20.6	17.6	2.9	11.8	20.6	8.8
Tt	2.9	14.3	7.1	14.3	10.0	10.0	41.4

OOB = 53.47

Ac. global = 0.4634

Ac. balanceada n7 = 0.7127

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 21). O decréscimo médio da acurácia indicou que duração (dt), frequência mínima (lf) e frequência central (cf) foram os mais importantes na classificação de n7. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que duração (dt), frequência mínima (lf) e frequência final (ef) foram os parâmetros que mais contribuíram com esse processo (Figura 22).

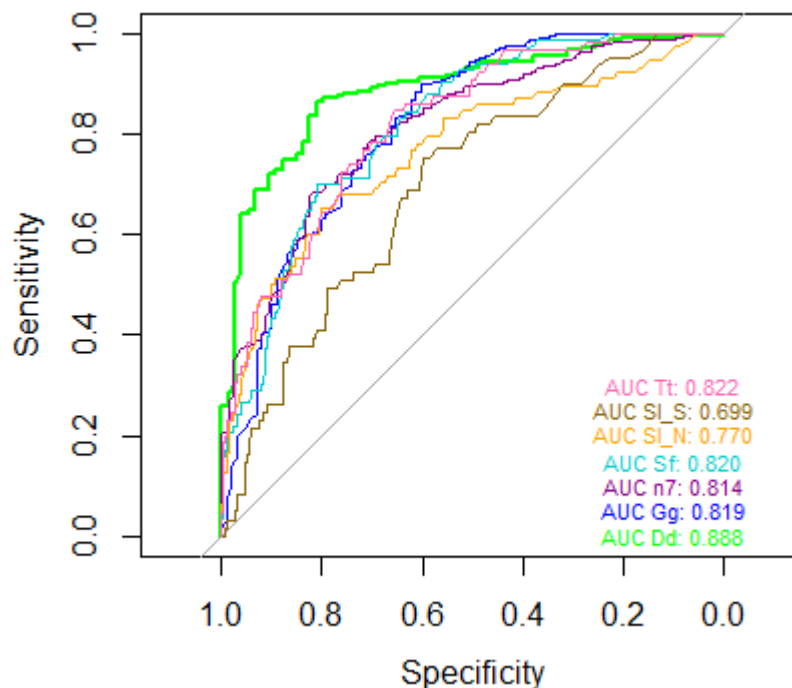


Figura 21. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n7. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

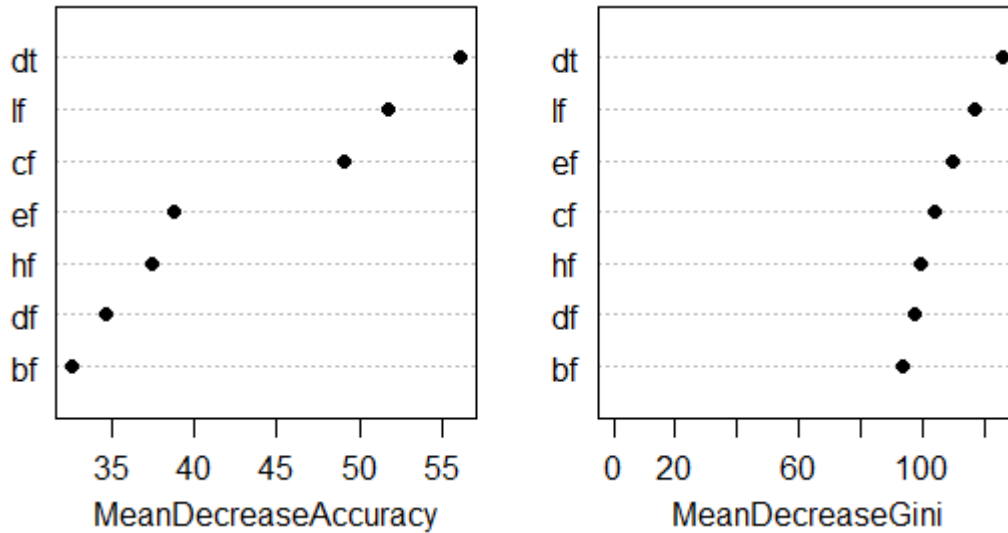


Figura 22. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n7. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 23), somente com as espécies com que n7 obteve maior erro de classificação demonstrou proximidade multidimensional entre n7 e *S. longirostris* registrado nos taludes Sul/Sudeste.

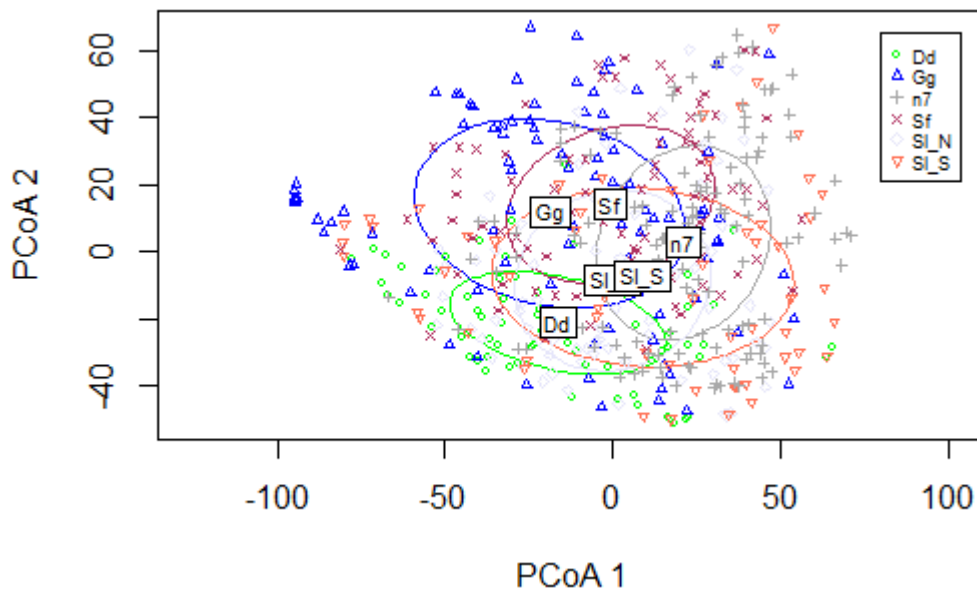


Figura 23. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n7 e as espécies com que obteve maior erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sf: *Stenella frontalis*, Sl_N:

Stenella longirostris Nordeste, SI_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto.

3.1.8 ENCONTRO n8

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 19). Desta forma, as espécies com que n8 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *S. frontalis* e *S. attenuata*, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n8 obteve um erro de classificação de 51.4% com *S. frontalis* (Tabela 20).

Tabela 19. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfínidos e o encontro n8. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n8	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	45.5	2.7	3.6	0.9	0.0	5.4	0.0	0.9	1.8	4.5	0.9	8.0	17.0	8.0	0.9
Gg	2.3	60.5	2.3	4.7	0.0	4.7	0.0	1.2	1.2	3.5	2.3	4.7	5.8	7.0	0.0
Gm	13.0	17.4	34.8	0.0	0.0	13.0	0.0	13.0	0.0	0.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0
n8	0.0	3.2	0.0	29.0	0.0	3.2	12.9	6.5	0.0	22.6	3.2	6.5	3.2	6.5	3.2
Oo	0.0	8.3	16.7	0.0	62.5	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0
Pe	8.9	8.9	4.0	4.0	3.0	35.6	1.0	2.0	2.0	12.9	2.0	3.0	4.0	7.9	1.0
Sa	0.0	9.5	0.0	9.5	0.0	4.8	42.9	0.0	0.0	19.0	9.5	4.8	0.0	0.0	0.0
Sb	2.9	2.9	1.5	2.9	5.9	19.1	0.0	48.5	0.0	1.5	5.9	1.5	5.9	0.0	1.5
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0
Sf	1.4	9.5	0.0	13.5	0.0	6.8	2.7	0.0	0.0	31.1	12.2	8.1	1.4	13.5	0.0
Sg	0.0	3.2	0.0	6.5	1.1	3.2	3.2	2.2	0.0	14.0	46.2	14.0	2.2	4.3	0.0
Sl_N	0.0	11.8	1.2	1.2	1.2	4.7	3.5	0.0	2.4	12.9	5.9	37.6	12.9	3.5	1.2
Sl_S	11.1	15.6	0.0	2.2	0.0	6.7	0.0	2.2	2.2	4.4	0.0	8.9	37.8	6.7	2.2
Tt	5.8	7.7	7.7	7.7	0.0	9.6	1.9	3.8	5.8	7.7	3.8	5.8	1.9	30.8	0.0
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

OOB = 59.39

Ac. global = 0.4239

Ac. balanceada n8 = 0.58812

p-value < 0.05

Tabela 20. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínidos com que n8 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Sa: *Stenella attenuata*, Sf: *Stenella frontalis*.

	n8	Sa	Sf
n8	43.2	5.4	51.4
Sa	35.7	53.6	10.7
Sf	23.2	14.7	62.1

OOB = 43.93
 Ac. global = 0.5625
 Ac. balanceada n8 = 0.5729
p-value > 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$), com exceção do n8 (Figura 24). O decréscimo médio da acurácia indicou que frequência final (ef), frequência máxima (hf) e frequência inicial (bf) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n8. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que os parâmetros frequência inicial (bf), frequência final (ef) e duração (dt) foram os parâmetros que mais contribuíram com esse processo (Figura 25).

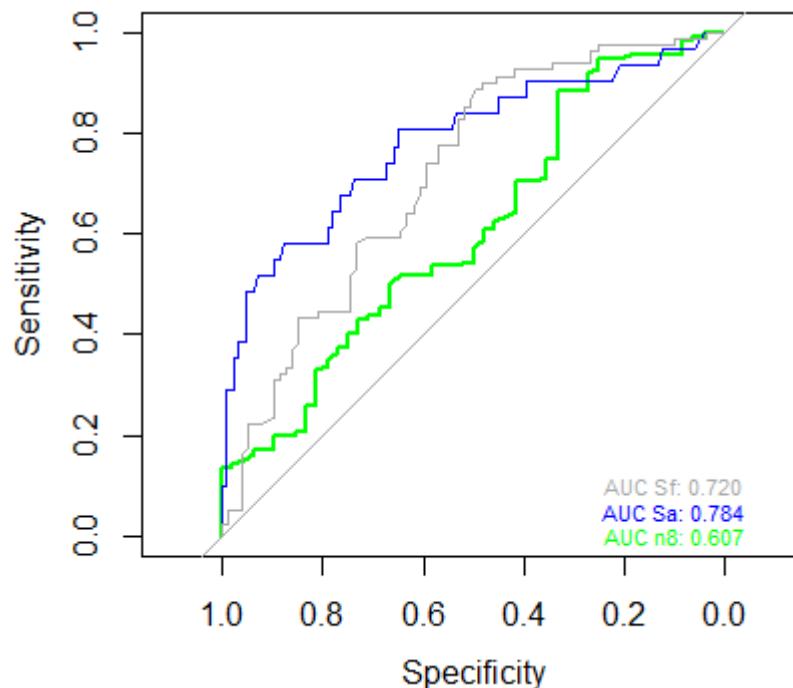


Figura 24. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n8. Sa: *Stenella attenuata*, Sf: *Stenella frontalis*.

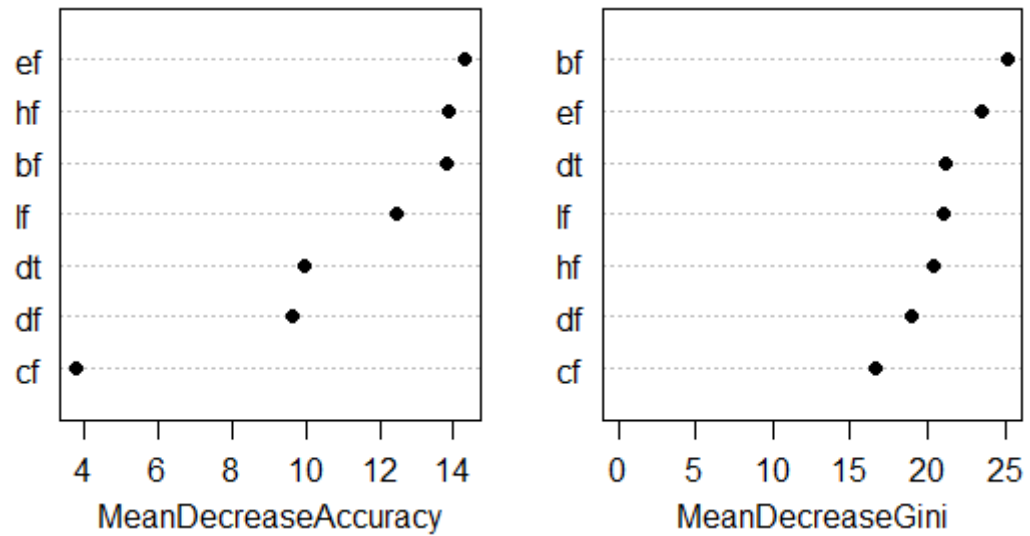


Figura 25. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n8. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 26), somente com as espécies com que n8 obteve maior erro de classificação demonstrou proximidade multidimensional entre n8 e *S. frontalis*, corroborando os resultados das matrizes de confusão.

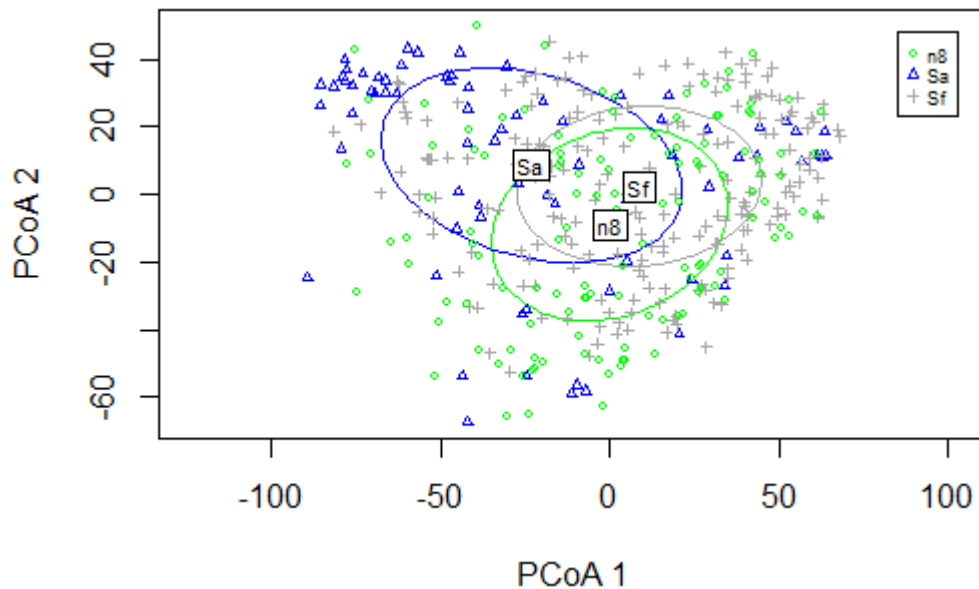


Figura 26. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n8 e as espécies com que obteve erro de classificação, principalmente espécies do gênero *Stenella*. Sa: *Stenella attenuata*, Sf: *Stenella frontalis*.

3.1.9 ENCONTRO n9

Uma primeira matriz de confusão (40% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 21). Desta forma, as espécies com que n9 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *S. frontalis*, *S. longirostris* Nordeste e *S. longirostris* Sul/Sudeste, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n9 obteve um erro de classificação de 24.1% com *S. frontalis* (Tabela 22).

Tabela 21. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfíneos e o encontro n9. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n9	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	43.9	7.1	2.0	7.1	0.0	2.0	1.0	4.1	1.0	5.1	3.1	4.1	10.2	9.2	0.0
Gg	1.8	50.0	5.4	0.9	0.0	4.5	0.9	0.9	0.9	9.8	6.3	3.6	6.3	8.9	0.0
Gm	0.0	6.3	62.5	0.0	6.3	12.5	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
n9	3.3	6.6	4.9	31.1	0.0	4.9	1.6	0.0	1.6	14.8	1.6	16.4	8.2	3.3	1.6
Oo	0.0	0.0	8.3	0.0	66.7	0.0	8.3	4.2	0.0	0.0	4.2	0.0	8.3	0.0	0.0
Pe	5.8	9.6	1.0	3.8	1.0	32.7	1.9	10.6	2.9	9.6	3.8	4.8	4.8	7.7	0.0
Sa	0.0	9.5	0.0	14.3	0.0	4.8	42.9	0.0	0.0	14.3	4.8	4.8	4.8	0.0	0.0
Sb	6.5	2.2	4.3	4.3	6.5	13.0	0.0	54.3	0.0	4.3	2.2	0.0	2.2	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	0.0	1.8	1.8	9.1	1.8	5.5	0.0	0.0	1.8	36.4	14.5	16.4	5.5	5.5	0.0
Sg	2.4	3.6	0.0	0.0	0.0	7.1	2.4	7.1	0.0	14.3	46.4	8.3	3.6	3.6	1.2
Sl_N	3.4	3.4	1.1	6.9	0.0	5.7	3.4	1.1	1.1	9.2	12.6	34.5	9.2	6.9	1.1
Sl_S	19.7	11.5	1.6	4.9	1.6	0.0	4.9	1.6	0.0	1.6	1.6	6.6	31.1	8.2	4.9
Tt	4.0	10.0	0.0	4.0	0.0	4.0	2.0	0.0	0.0	10.0	14.0	8.0	2.0	42.0	0.0
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0

OOB = 59.39

Ac. global = 0.4177

Ac. balanceada n9 = 0.65556

p-value < 0.05

Tabela 22. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delfínidos com que n9 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Sf: *Stenella frontalis*, SI_N: *Stenella longirostris* Nordeste, SI_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

	n9	Sf	SI_N	SI_S
n9	53.4	24.1	10.3	12.1
Sf	20.0	51.3	22.5	6.3
SI_N	10.5	27.6	47.4	14.5
SI_S	6.6	11.5	21.3	60.7

OOB = 45.87

Ac. global = 0.5273

Ac. balanceada n9 = 0.7002

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 27). O decréscimo médio da acurácia e a diminuição média do coeficiente de Gini demonstraram que os parâmetros de duração (dt), variação de frequência (df) e frequência central (cf) foram os mais importantes na classificação de n9 (Figura 28).

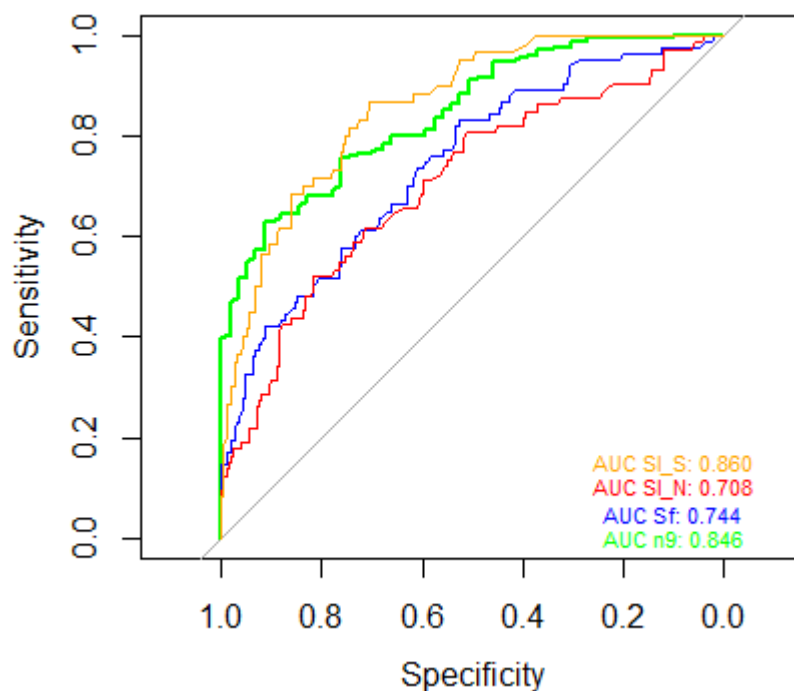


Figura 27. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n9. Sf: *Stenella frontalis*, SI_N: *Stenella longirostris* Nordeste, SI_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

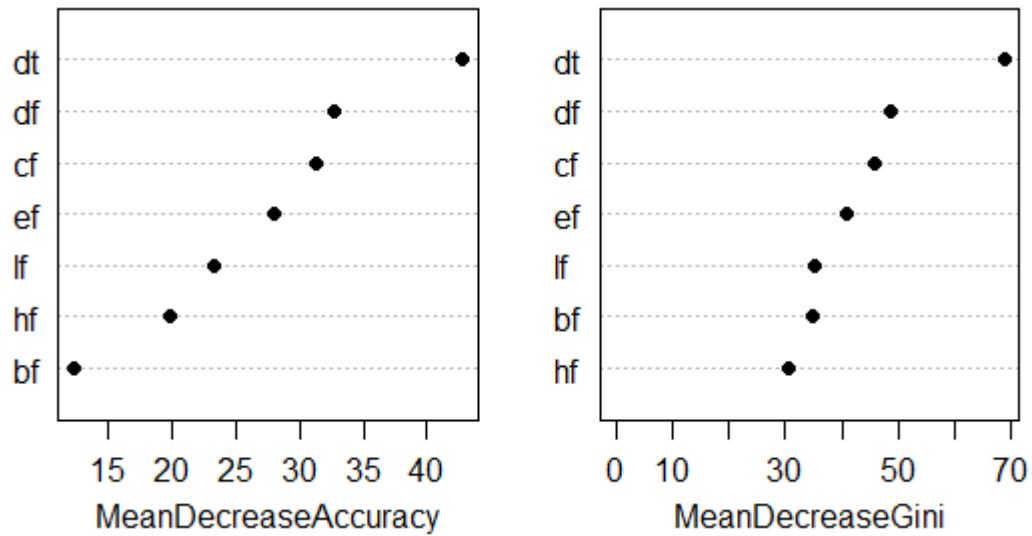


Figura 28. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n9. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 29), somente com as espécies com que n9 obteve maior erro de classificação demonstrou proximidade multidimensional entre n9 e as espécies do gênero *Stenella*.

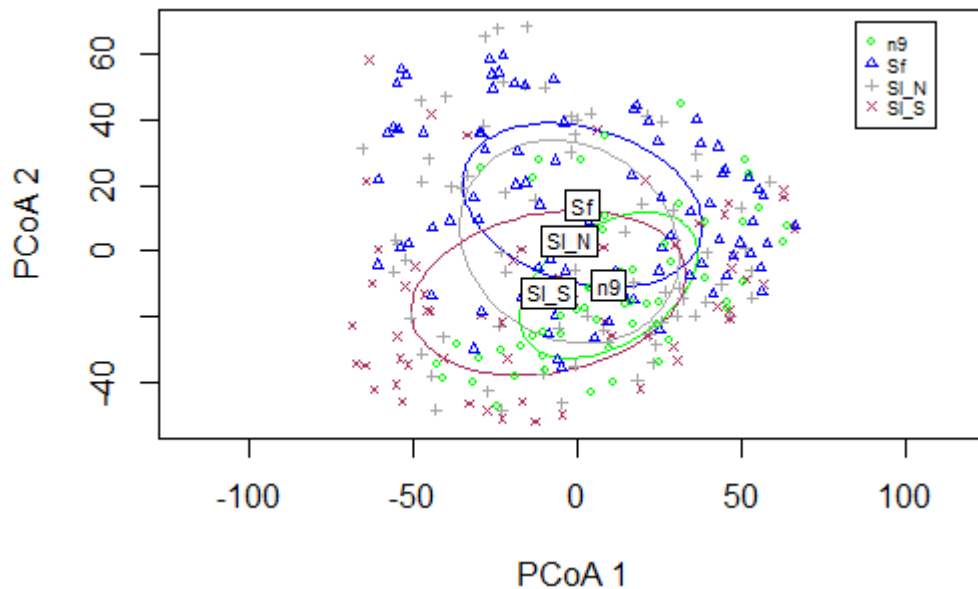


Figura 29. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n9 e as espécies com que obteve erro de classificação, principalmente espécies do gênero *Stenella*. Sf: *Stenella frontalis*, SL_N: *Stenella longirostris* Nordeste, SL_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

3.1.10 ENCONTRO n10

Uma primeira matriz de confusão (50% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 23). Desta forma, as espécies com que n10 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *G. griseus* e *S. longirostris* Sul/Sudeste, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n10 obteve um erro de classificação de 34.8% com *S. longirostris* Sul/Sudeste (Tabela 24).

Tabela 23. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delphinídeos e o encontro n10. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n10	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	45.4	3.1	2.1	6.2	0.0	6.2	0.0	0.0	2.1	5.2	0.0	9.3	12.4	7.2	1.0
Gg	4.8	46.2	3.8	1.9	0.0	4.8	1.0	1.9	0.0	5.8	3.8	3.8	8.7	9.6	3.8
Gm	0.0	4.8	61.9	0.0	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	0.0	4.8
n10	13.0	8.7	0.0	52.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	4.3	17.4	0.0	0.0
Oo	0.0	0.0	9.5	0.0	76.2	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0
Pe	6.7	4.8	0.0	1.0	0.0	46.7	1.0	4.8	3.8	10.5	4.8	3.8	5.7	5.7	1.0
Sa	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	53.8	0.0	0.0	7.7	7.7	7.7	15.4	0.0	0.0
Sb	4.3	5.8	7.2	0.0	2.9	13.0	0.0	55.1	0.0	4.3	1.4	2.9	1.4	1.4	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	3.9	6.6	1.3	1.3	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	27.6	17.1	14.5	2.6	14.5	1.3
Sg	0.0	1.1	0.0	2.3	0.0	4.6	4.6	3.4	0.0	11.5	51.7	11.5	1.1	8.0	0.0
Sl_N	6.4	10.3	0.0	2.6	1.3	3.8	3.8	0.0	2.6	12.8	6.4	37.2	9.0	3.8	0.0
Sl_S	20.8	16.7	0.0	14.6	0.0	2.1	2.1	0.0	0.0	2.1	4.2	6.3	22.9	6.3	2.1
Tt	6.1	12.2	2.0	2.0	2.0	4.1	4.1	0.0	4.1	10.2	4.1	2.0	10.2	34.7	2.0
Tt_I	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	16.7	50.0

OOB = 57.35

Ac. global = 0.445

Ac. balanceada n10 = 0.66929

p-value < 0.05

Tabela 24. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n10 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*; Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

	Dd	Gg	n10	Sl_S
Dd	52.7	18.7	11.0	17.6
Gg	8.5	78.7	1.1	11.7
n10	17.4	13.0	34.8	34.8
Sl_S	20.3	32.2	8.5	39.0

OOB = 36.75

Ac. global = 0.573

Ac. balanceada n10 = 0.63580

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 30). O decréscimo médio da acurácia indicou que variação de frequência (df), frequência central (cf) e frequência máxima (hf) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n10. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que variação de frequência (df), frequência central (cf) e duração (dt) foram os parâmetros que mais contribuíram com esse processo (Figura 31).

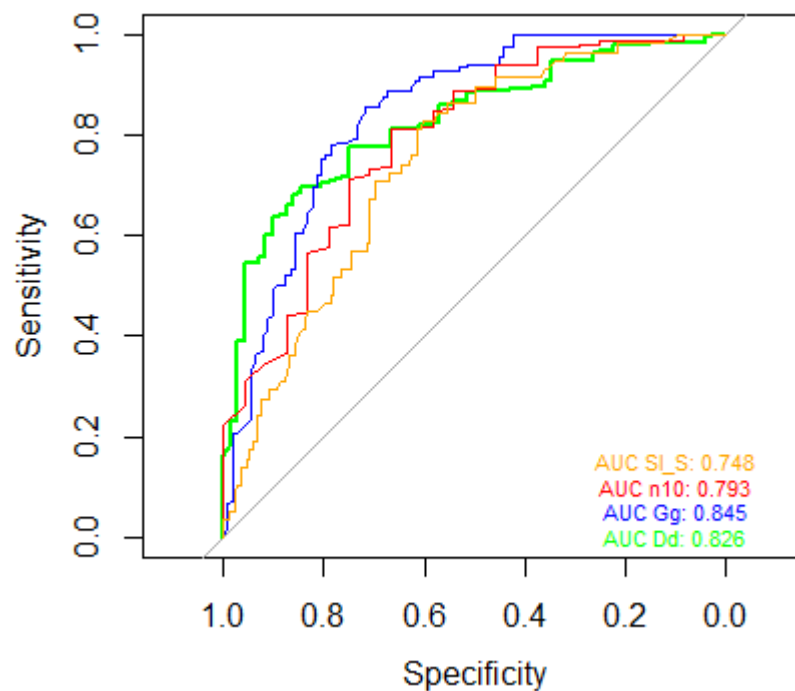


Figura 30. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n10. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*; Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

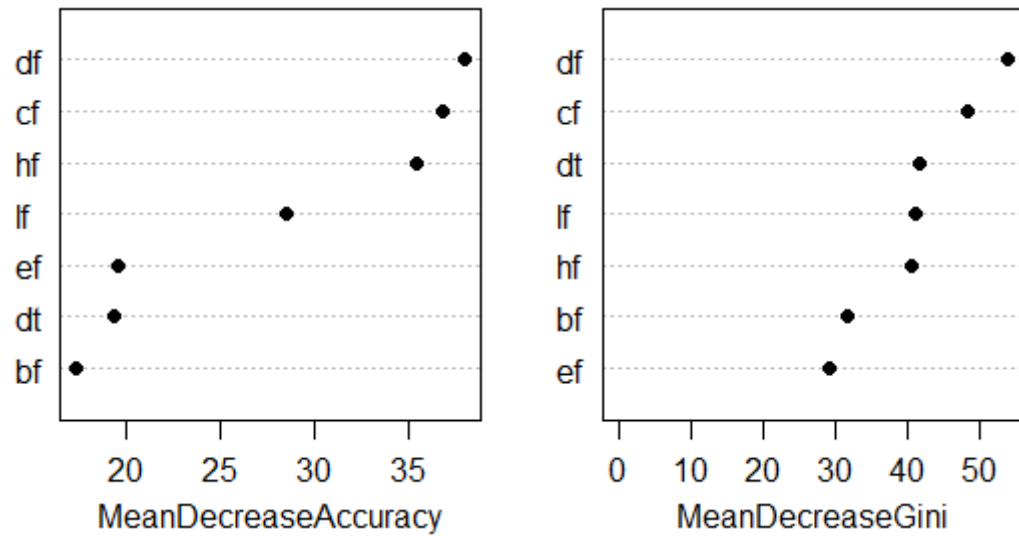


Figura 31. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n10. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 32), somente com as espécies com que n10 obteve maior erro de classificação demonstrou proximidade multidimensional entre n10, *D. delphis* e *S. longirostris* Sul/Sudeste.

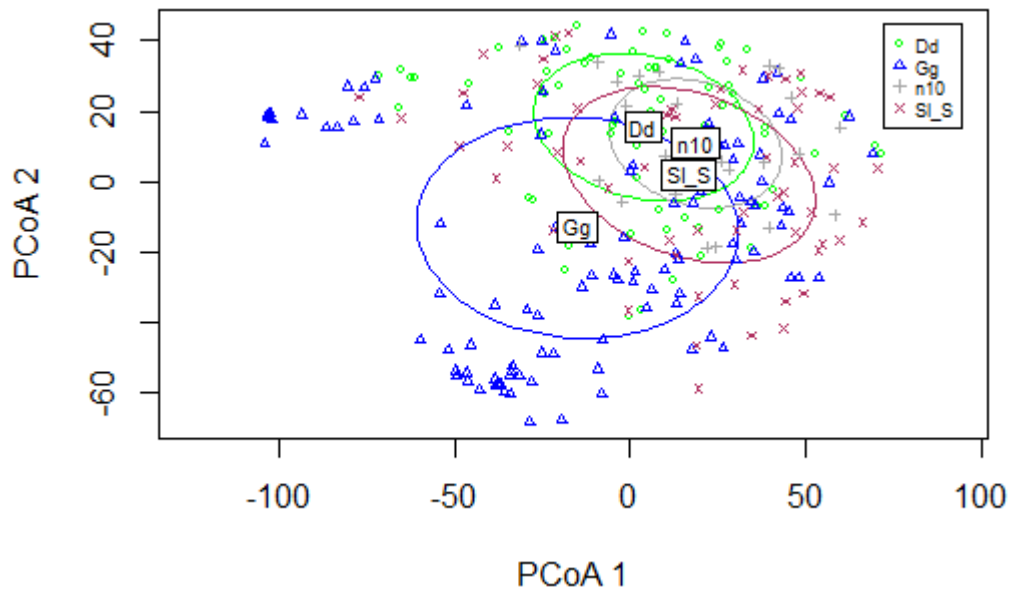


Figura 32. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n10 e as espécies com obteve erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*; Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste.

3.1.11 ENCONTRO n11

A matriz de confusão (50% de validação) demonstrou que o encontro n11 teve 33.0% de erro de classificação com a espécie *D. delphis* (Tabela 25). Como esse primeiro modelo gerou uma boa porcentagem de erro de classificação, sendo capaz de indicar a qual espécie o encontro pertence, não foi necessária uma análise posterior.

Tabela 25. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfinídeos e o encontro n11. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n11	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	39.7	5.2	3.4	6.0	0.0	6.9	0.9	0.9	0.0	4.3	1.7	6.9	12.1	11.2	0.9
Gg	4.2	48.6	4.2	2.8	0.0	4.2	2.1	1.4	3.5	8.3	2.8	4.9	6.3	6.3	0.7
Gm	8.3	8.3	66.7	0.0	4.2	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
n11	33.3	0.0	0.0	30.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	10.0	10.0	6.7	0.0
Oo	0.0	0.0	3.2	0.0	83.9	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	3.2	0.0	3.2	0.0	0.0
Pe	2.4	4.8	1.6	1.6	2.4	41.9	2.4	3.2	0.0	16.9	2.4	4.8	4.0	8.9	2.4
Sa	0.0	3.3	0.0	3.3	0.0	0.0	63.3	0.0	0.0	13.3	0.0	3.3	13.3	0.0	0.0
Sb	10.5	1.3	3.9	0.0	2.6	13.2	0.0	57.9	0.0	2.6	0.0	1.3	6.6	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0
Sf	3.8	10.0	0.0	7.5	1.3	2.5	5.0	0.0	2.5	38.8	7.5	7.5	3.8	10.0	0.0
Sg	2.6	1.7	0.9	0.9	0.0	8.7	3.5	5.2	0.0	13.9	44.3	13.0	0.9	3.5	0.9
Sl_N	1.9	9.4	0.0	4.7	0.0	3.8	4.7	0.0	2.8	13.2	6.6	32.1	11.3	9.4	0.0
Sl_S	17.2	14.1	0.0	6.3	3.1	0.0	1.6	4.7	1.6	1.6	7.8	7.8	25.0	9.4	0.0
Tt	1.6	8.2	3.3	8.2	0.0	9.8	1.6	1.6	1.6	8.2	11.5	8.2	4.9	31.1	0.0
Tt_I	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0

OOB = 58.12

Ac. global = 0.4327

Ac. balanceada n11 = 0.591403

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo ($AUC > 0.7$) (Figura 33). O decréscimo médio da acurácia indicou que duração (dt), frequência final (ef) e frequência máxima (hf) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n11. Enquanto a diminuição média do coeficiente de Gini demonstrou que os parâmetros duração (dt), frequência final (ef) e frequência central (cf) foram os parâmetros que mais contribuíram com esse processo (Figura 34).

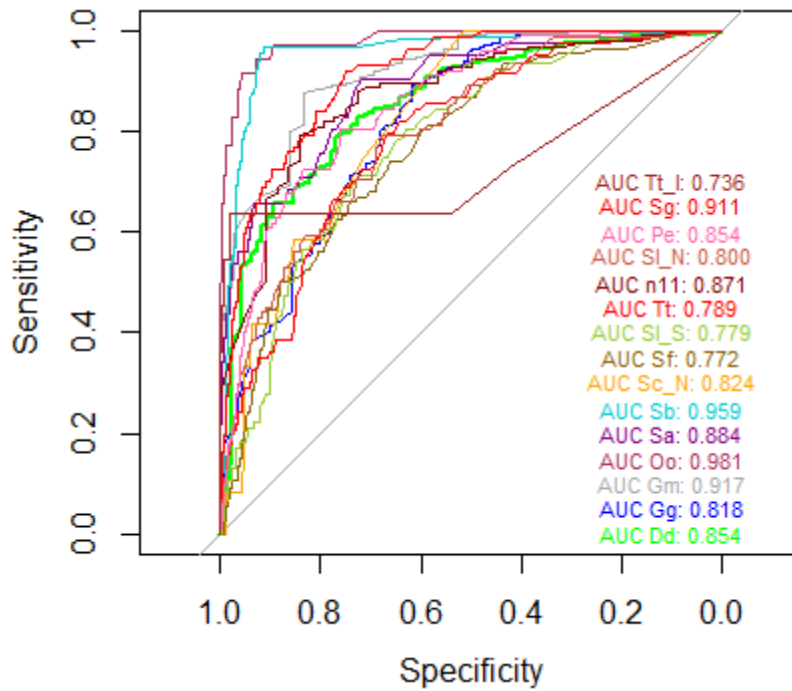


Figura 33. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o primeiro modelo referente ao encontro n11. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

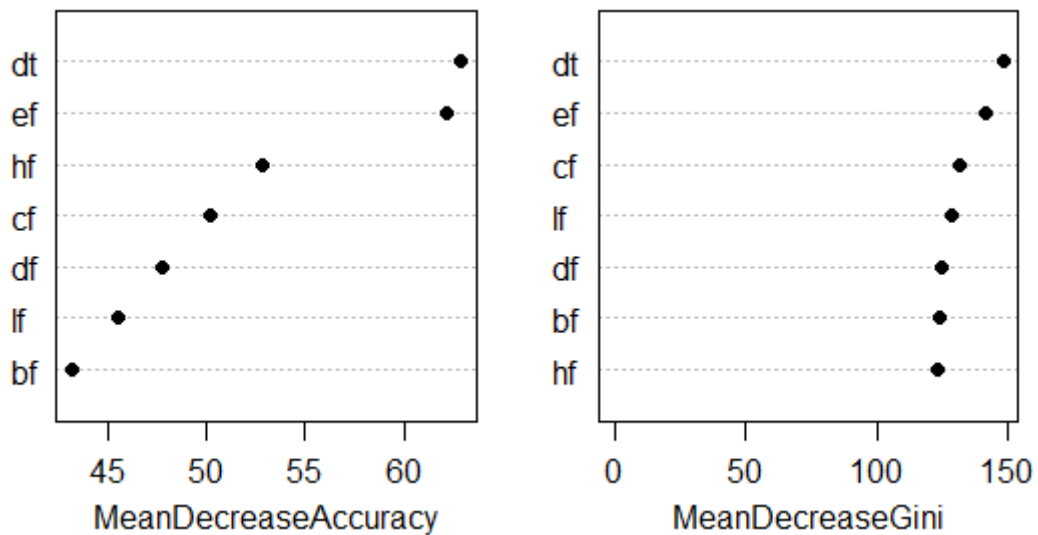


Figura 34. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do primeiro modelo para o encontro n11. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 35), somente com as espécies com que n11 obteve maior erro de classificação demonstrou proximidade multidimensional entre n11 e *D. delphis*.

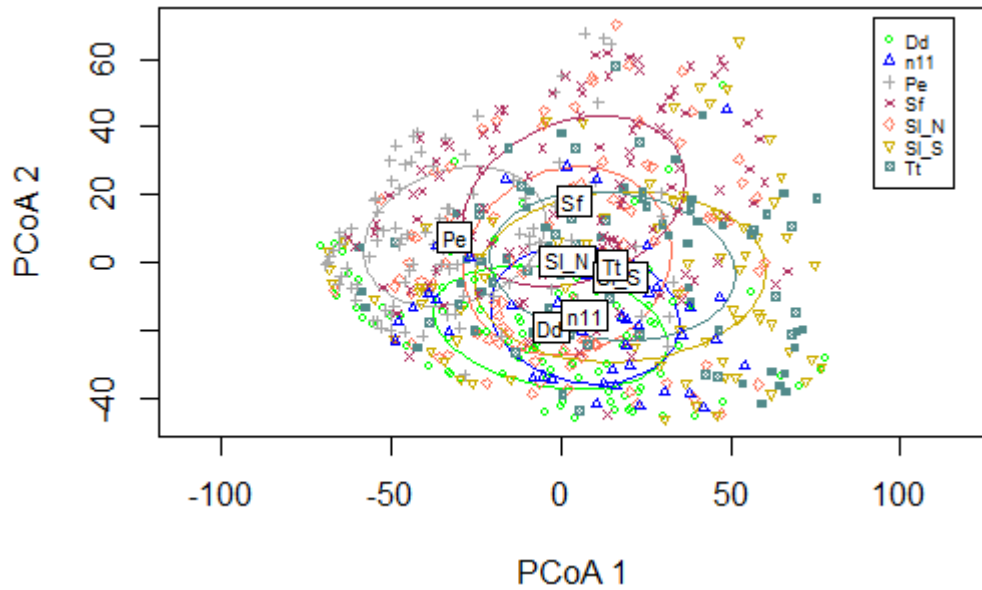


Figura 35. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n11 e as espécies com que obteve erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Pe: *Peponocephala electra*, SI_N: *Stenella longirostris* Nordeste, *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Sf: *Stenella frontalis*.

3.1.12 ENCONTRO n12

Uma primeira matriz de confusão (50% de validação) não foi capaz de determinar uma única espécie a qual este encontro pertence (Tabela 26). Desta forma, as espécies com que n12 apresentou maior porcentagem de erro associado, como *D. delphis*, *G. griseus*, *S. bredanensis* e *S. frontalis*, foram elencadas para um segundo modelo. Nesta segunda matriz, n12 obteve um erro de classificação de 22.7% com *D. delphis* (Tabela 27).

Tabela 26. Matriz de confusão em porcentagem gerada considerando os assobios das espécies de delfinídeos e o encontro n12. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Gm: *Globicephala melas*, Oo: *Orcinus orca*, Pe: *Peponocephala electra*, Sa: *Stenella attenuata*, Sb: *Steno bredanensis*, Sc_N: *Stenella clymene* Nordeste, Sf: *Stenella frontalis*, Sg: *Sotalia guianensis*, Sl_N: *Stenella longirostris* Nordeste, Sl_S: *Stenella longirostris* Sul/Sudeste, Tt: *Tursiops truncatus* contexto grupo misto, Tt_I: *Tursiops truncatus* contexto isolado.

	Dd	Gg	Gm	n12	Oo	Pe	Sa	Sb	Sc_N	Sf	Sg	Sl_N	Sl_S	Tt	Tt_I
Dd	43.2	5.0	2.2	11.5	0.0	3.6	0.0	2.2	1.4	4.3	1.4	5.8	9.4	10.1	0.0
Gg	4.9	43.4	6.6	0.8	0.0	4.1	4.1	0.8	1.6	12.3	0.8	4.1	8.2	5.7	2.5
Gm	2.9	5.9	50.0	2.9	5.9	8.8	0.0	8.8	0.0	2.9	2.9	0.0	0.0	2.9	5.9
n12	13.6	13.6	0.0	22.7	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0	13.6	4.5	0.0	0.0	9.1	4.5
Oo	0.0	3.7	0.0	0.0	81.5	0.0	3.7	7.4	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Pe	3.3	8.3	1.7	3.3	3.3	43.0	3.3	2.5	1.7	9.9	0.8	7.4	6.6	4.1	0.8
Sa	3.3	6.7	0.0	0.0	3.3	3.3	50.0	0.0	0.0	13.3	6.7	10.0	3.3	0.0	0.0
Sb	7.7	3.1	4.6	1.5	1.5	15.4	0.0	58.5	0.0	0.0	6.2	0.0	1.5	0.0	0.0
Sc_N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sf	2.4	2.4	0.0	2.4	2.4	6.1	8.5	0.0	1.2	37.8	9.8	17.1	3.7	6.1	0.0
Sg	0.0	4.7	0.0	0.9	0.0	7.5	1.9	6.6	0.0	7.5	51.9	9.4	2.8	6.6	0.0
Sl_N	1.0	12.0	2.0	3.0	2.0	4.0	1.0	1.0	4.0	12.0	13.0	29.0	9.0	5.0	2.0
Sl_S	21.0	6.5	0.0	1.6	4.8	4.8	1.6	0.0	0.0	3.2	4.8	6.5	32.3	11.3	1.6
Tt	3.4	10.1	1.1	1.1	0.0	9.0	3.4	0.0	1.1	11.2	7.9	7.9	3.4	39.3	1.1
Tt_I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	33.3

OOB = 60.02

Ac. global = 0.4327

Ac. balanceada n12 = 0.560654

p-value < 0.05

Tabela 27. Segunda matriz de confusão em porcentagem gerada com as espécies de delphinídeos com que n12 obteve maior erro de classificação. Valores de OOB, *p-value*, acurácia global e acurácia balanceada estão apresentados. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sb: *Steno bredanensis*, Sf: *Stenella frontalis*.

	Dd	Gg	n12	Sb	Sf
Dd	62.4	11.0	15.6	0.9	10.1
Gg	12.1	66.4	3.4	5.2	12.9
n12	22.7	18.2	31.8	9.1	18.2
Sb	14.3	4.8	6.3	68.3	6.3
Sf	4.6	22.9	7.3	0.0	65.1

OOB = 6.02

Ac. global = 0.6348

Ac. balanceada n12 = 0.56771

p-value < 0.05

Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva demonstraram uma boa adequação ao modelo (AUC > 0.7) (Figura 36). O decréscimo médio da acurácia e a diminuição média do coeficiente de Gini demonstraram que frequência máxima (hf), variação de frequência (df) e duração (dt) foram os parâmetros mais importantes na classificação de n12 (Figura 37).

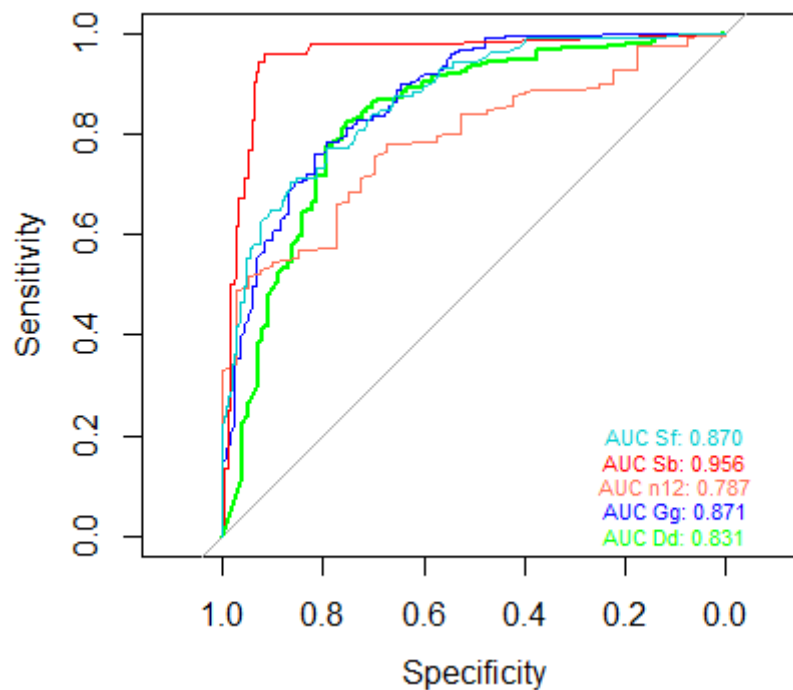


Figura 36. Curvas ROC e suas respectivas áreas abaixo da curva para as espécies que compuseram o segundo modelo referente ao encontro n12. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sb: *Steno bredanensis*, Sf: *Stenella frontalis*.

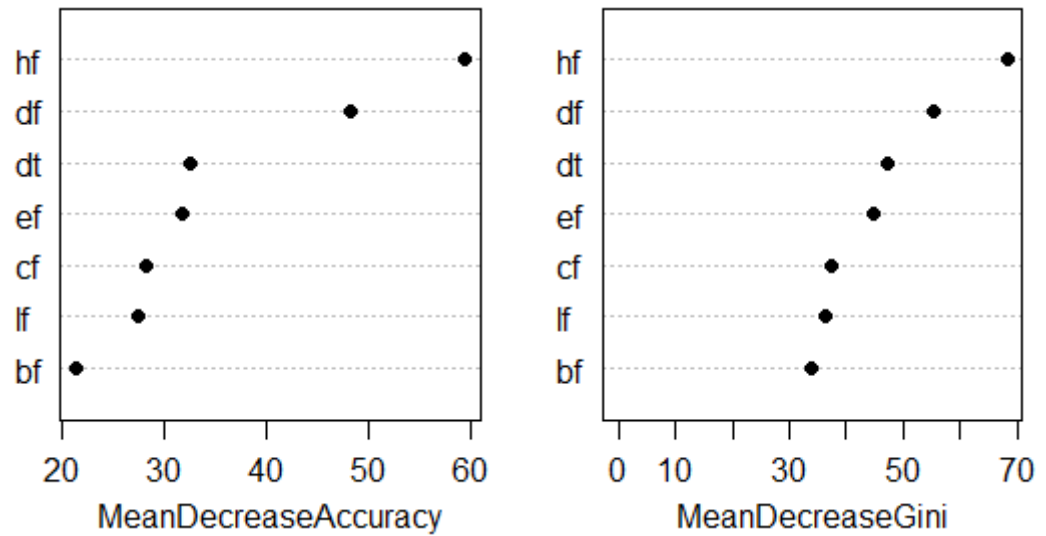


Figura 37. Diminuição média da acurácia e diminuição média de Gini indicam quais variáveis foram as mais importantes na classificação do segundo modelo para o encontro n12. lf: frequência mínima, hf: frequência máxima, df: variação de frequência, cf: frequência central, bf: frequência inicial, ef: frequência final, dt: duração.

O gráfico de dispersão (Figura 38), somente com as espécies com que n12 obteve maior erro de classificação demonstrou proximidade multidimensional entre n12 e *D. delphis*, corroborando o resultado da última matriz de confusão gerada.

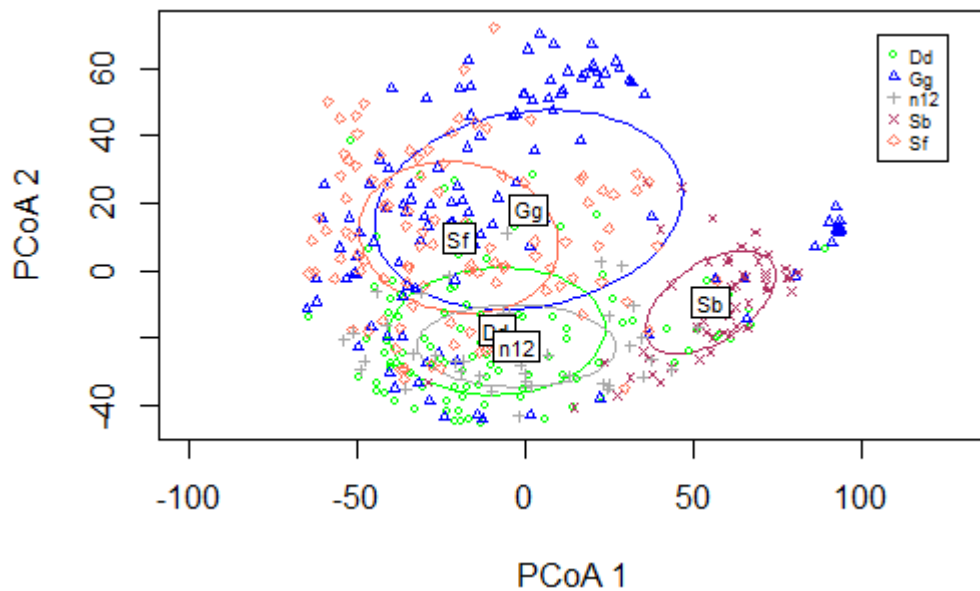


Figura 38. Dispersão multivariada através da distância euclidiana entre n12 e as espécies com que obteve erro de classificação. Dd: *Delphinus delphis*, Gg: *Grampus griseus*, Sb: *Steno bredanensis*, Sf: *Stenella frontalis*.

4 DISCUSSÃO

As classificações acústicas encontradas por meio deste estudo estão de acordo com os padrões de distribuição e com a diversidade de cetáceos encontrada por Di Tullio et al. (2016) para as regiões sul e sudeste do Brasil (~23°S a ~34°S). Na pesquisa, que reúne dados de levantamentos entre as estações de primavera e outono de 2009 a 2014, 21 espécies de cetáceos foram observadas em 503 avistagens. Destas 21 espécies avistadas, 14 foram visualmente identificadas como delfinídeos.

Dentre os doze EEA utilizados como alvos da classificação, três encontros se classificaram acusticamente com espécies do gênero *Stenella*, como *S. longirostris* (n7 e n10) e *S. frontalis* (n8) (Tabela 5). *S. longirostris* é uma espécie de delfinídeo cosmopolita, com ampla distribuição em águas tropicais e subtropicais (ANDREWS et al. 2010) e com ocorrência em regiões da plataforma continental, talude e águas profundas (MORENO et al. 2005). No oceano Atlântico Sul, uma região conhecida como Baía dos Golfinhos, situada no arquipélago de Fernando de Noronha, concentra grandes populações dessa espécie (SILVA-JR et al. 2005). Registros mais ao sul do Atlântico Sul têm demonstrado uma ampla distribuição dessa espécie pelo litoral brasileiro.

Secchi & Siciliano (1995), por exemplo, registraram uma população de *S. longirostris* no litoral do Paraná (latitude 25°35'S), enquanto Zerbini & Kotas (1998) observaram, por meio de capturas acidentais, que essa espécie pode ocorrer no litoral do Rio Grande do Sul (30°02'S, 46°17'W). Moron et al. (2015) utilizou de registros acústicos desses golfinhos coletados no litoral de Santa Catarina (27°24'S, 046°50'W) para verificar a existência de variação geográfica entre as populações do Atlântico Sul. Di Tullio et al. (2016) registraram duas populações de *S. longirostris* na região sul durante a primavera, e treze grupos dessa espécie na região sudeste, o que sugere uma preferência desse delfinídeo por um habitat mais tropical.

Os EEA classificados acusticamente como *S. longirostris* foram coletados na região sul. O encontro n10 registrado no litoral de Santa Catarina (29°49'S, 47°02'W), enquanto o encontro n7 foi registrado em área de talude no litoral do Rio Grande do Sul (32°17'S, 50°01'W). Os movimentos desses golfinhos em direção ao sul podem ser explicados por ações da Corrente do Brasil, que exerce grandes influências sobre os padrões de distribuição dessa espécie no Atlântico Sul (SECCHI & SICILIANO, 1995). Um limite de distribuição ao sul para essa espécie pode estar entre as latitudes 33 e 40°S, que demarcam o encontro da Corrente do

Brasil com a Corrente das Malvinas, dando origem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (MORENO et al. 2005; DO AMARAL et al. 2016).

O encontro n8 se classificou acusticamente com *S. frontalis*, uma espécie endêmica de águas tropicais, subtropicais e temperadas do oceano Atlântico (PERRIN, 2002; BRAULIK & JEFFERSON, 2018). Embora ocupe preferencialmente águas costeiras (MORENO et al. 2005; DO AMARAL et al. 2016), esse delfínido também tem sido registrada na quebra da plataforma continental (PERRIN et al. 1994) e em águas oceânicas (LOPES et al. 2012; MÉNDEZ-FERNANDEZ et al. 2020). Para o Atlântico Sul, Moreno et al. (2005) observaram que os registros de *S. frontalis* estão restritos ao norte de 6°S e entre as latitudes 21 e 33°S. Dessa forma, diferentemente de *S. longirostris*, *S. frontalis* apresenta uma distribuição descontínua em águas brasileiras (MORENO et al. 2005; DO AMARAL et al. 2016).

Di Tullio et al. (2016) registraram cerca de 40 avistagens para *S. frontalis* entre 2009 e 2014, sendo que a maior densidade observada para essa espécie ocorreu próximo a latitude de 32°S. O EEA classificado acusticamente como *S. frontalis* foi coletado no litoral do Rio Grande do Sul (31°53'S, 50°00'W), coincidindo com a distribuição observada por Di Tullio et al. (2016) para o Atlântico Sul para esse delfínido. Populações dessa espécie podem estar limitadas ao sul, assim como *S. longirostris*, pelas confluências da quente Corrente do Brasil e da fria Corrente das Malvinas (PARO et al. 2014; DO AMARAL et al. 2016). Capturais acidentais em redes de emalhe (ZARBINI & KOTAS, 1998) e pesquisas de abundância de cetáceos têm demonstrado que *S. frontalis* ocorre com frequência nas regiões sul e sudeste do Brasil, sendo um dos cetáceos mais comuns nessas áreas (ZARBINI & KOTAS, 1998; ZARBINI et al. 2004; DO AMARAL et al. 2016; DI TULLIO et al. 2016).

Dois EEA classificaram acusticamente como pertencentes ao gênero *Stenella* (n1 e n9). O gênero *Stenella* compreende cinco espécies: *S. longirostris*, *S. attenuata*, *S. frontalis*, *S. clymene* e *S. coeruleoalba* (RICE, 1998). Destas, apenas *S. coeruleoalba* não compõe a biblioteca de assobios, sendo essa a espécie menos conhecida do gênero no Atlântico Sul (MORENO et al. 2005). Informações de encalhe e de avistagens têm indicado que essa espécie se encontra distribuída em águas do norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil, podendo estar associada a águas mais temperadas do Atlântico Sul (OTT & DANILEWICZ, 1996; ZARBINI & KOTAS, 1998; MORENO et al. 2005). Os dois registros identificados como *Stenella* foram coletados no litoral do Rio Grande do Sul (encontro n1: 34°03'S, 51°41'W e encontro n9: 31°07'S, 49°39'W). Segundo Moreno et al. (2005), encalhes ocorreram com mais frequência

entre as latitudes 30 e 38°S. Di Tullio et al. (2016) avistaram somente duas populações desse delfínido que estavam restritas a região sul do Brasil. Sendo assim, de acordo com a distribuição dessa espécie no litoral sul brasileiro, é possível que esses dois registros pertençam a populações desse delfínido.

As outras espécies do mesmo gênero, como *S. attenuata* e *S. clymene*, compuseram o classificador, porém os EEA não se classificaram com essas espécies. Di Tullio et al. (2016) avistaram, entre 2009 a 2014, sete populações de *S. attenuata*, todas concentradas na região sudeste, e apenas três populações de *S. clymene*, entre as regiões sul e sudeste. Essas avistagens coincidem com os padrões de distribuição mais tropical relatados para ambas as espécies. Segundo Moreno et al. (2005), *S. attenuata* e *S. clymene* têm sido registradas com mais frequência na região nordeste do Brasil. Como os EEA foram coletados nas regiões sul e sudeste, era esperado que estes não se classificassem com espécies com distribuição mais ao norte do Atlântico Sul.

Esses dois encontros (n1 e n9) podem estar associados também com a ocorrência de grupos mistos. Bearzi (2005) levantou um grande número de associações e interações entre espécies da família Delphinidae em diferentes bacias oceânicas. Para o Atlântico Sul, De Lima et al. (2021) registraram cerca de 28 grupos mistos entre 2009 e 2014. Dentre esses, espécies do gênero *Stenella* estavam em associação com outros delfínidos em 12 registros, sendo *S. frontalis* e *T. truncatus* (6 registros), *S. frontalis* e *D. delphis* (1 registro) e *S. attenuata* e *S. longirostris* (5 registros). Neste último caso, os 5 registros se concentraram entre as latitudes (23 e 24° S), onde ocorre uma sobreposição na distribuição entre essas espécies do gênero *Stenella*. Um registro mais austral entre *S. frontalis* e *S. longirostris* foi relatado por Do Amaral et al. (2016). Segundo Gannier et al. 2010, a ocorrência de grupos mistos configura-se como um grande desafio à classificação acústica.

Estudos com cetáceos têm demonstrado como habitats distintos propiciam condições únicas que influenciam diretamente no comportamento acústico desses animais (MORON et al. 2019). Desse modo, variações nos parâmetros dos sons produzidos pelos cetáceos podem surgir como resultado de adaptações acústicas ao habitat circundante (AU & HASTINGS, 2008). Para delfínidos do gênero *Stenella*, por exemplo, Baron et al. (2008) encontraram diferenças acústicas para *S. frontalis* costeiros e oceânicos no oeste do oceano Atlântico Norte. Para o Atlântico Sul, Moron et al. (2015) demonstraram a existência de variação geográfica para a espécie *S. longirostris*. Essa informação foi utilizada, inclusive, para diferenciar os registros de

S. longirostris que compuseram o classificador acústico. Os encontros n7 e n10, ao se classificarem acusticamente com populações de *S. longirostris* detectadas nas regiões sul e sudeste, corroboram a existência de variação geográfica para *S. longirostris* registrada em águas brasileiras. Desta forma, a existência de variação geográfica nas vocalizações de delfínídeos pode comprometer a classificação acústica (GILLESPIE et al. 2013) e demonstra a necessidade de os classificadores acústicos serem treinados usando dados da região de interesse a fim de reduzir qualquer possível viés na análise.

Cinco EEA classificaram acusticamente como *D. delphis* (n3, n4, n5, n11 e 12). Os encontros n3, n4 e n5 foram registrados na mesma data, dia 14 de novembro de 2014, porém em horários distintos. Uma avistagem de *D. delphis* foi realizada para esse mesmo dia do ano, às 10:50 da manhã. Sendo assim, provavelmente o mesmo grupo estava presente na área, mas não se aproximou da embarcação de forma que permitisse uma identificação visual confiável. De acordo com Neumann (2001), esses delfínídeos apresentam alta instabilidade em seus agrupamentos, resultando em uma sociedade do tipo fissão-fusão. A fluidez presente nessas populações pode resultar em uma alta variação intraespecífica dos parâmetros espectrais e temporais dos assobios para essa espécie (PAGLIANI et al. 2021).

Golfinhos do gênero *Delphinus* estão entre os cetáceos mais amplamente distribuídos, ocorrendo em águas temperadas, tropicais e subtropicais (EVANS, 1994) e ocupando diferentes habitats, desde águas mais rasas até águas mais profundas (FERRERO & WALKER, 1995). Segundo Tavares et al. (2010), esses golfinhos apresentam distribuição ao norte e ao sul e sudeste do Brasil, estando geralmente associados à áreas de alta produtividade. Regiões costeiras e oceânicas sul-sudeste do Brasil são influenciadas por uma ramificação da Corrente das Malvinas, que propicia alta concentração de nutrientes e grande produtividade biológica (MUELBERT et al. 2008; CRESPO, 2009), atraindo diversos predadores, como os cetáceos. Di Tullio et al. (2016) registraram 27 avistagens para essa espécie, sendo que todas essas concentraram-se na região sul do Brasil. As maiores densidades dos registros visuais ocorreram ao sul de 32°S.

Dois EEA (n2 e n6) permaneceram sem identificação. Como cerca de 20 espécies de delfínídeos são reconhecidas como de ocorrência em águas brasileiras, esses encontros não identificados podem estar associados às espécies que não compuseram a biblioteca de assobios utilizada nesse estudo. Trabalhos futuros podem considerar o aprimoramento do classificador acústico, incluindo parâmetros acústicos de outras espécies que ocorrem ao longo do oceano

Atlântico Sul ocidental. Contudo, à medida que mais espécies vão sendo incorporadas ao classificador, maior é a probabilidade de que as taxas de classificação incorretas aumentem devido à sobreposição de parâmetros dos assobios (GILLESPIE et al. 2013). Sendo assim, além de adicionar parâmetros acústicos de espécies que não compuseram a biblioteca, trabalhos posteriores podem abordar um classificador que inclua parâmetros de cliques de ecolocalização (SOLDEVILLA et al. 2008; ROCH et al. 2011; FRASIER et al. 2017; LUO et al. 2019) ou uma combinação dos parâmetros dos sinais acústicos normalmente produzidos por esses animais (RANKIN et al. 2017; AMORIM et al. 2019). Segundo Amorim et al. (2019), parâmetros de assobios e cliques, quando associados, aumentam a robustez da classificação acústica.

Os resultados encontrados por meio desse estudo corroboram as informações de que parâmetros acústicos dos assobios podem ser utilizados para discriminar acusticamente as espécies de delfínidos (OSWALD et al. 2003; GANNIER et al. 2010; ESFAHANIAN et al. 2014; LIN & CHOU, 2015; ERBS et al. 2017; AMORIM et al. 2019). Dentre os sete parâmetros avaliados, o decréscimo médio da acurácia e o decréscimo médio do coeficiente de Gini indicaram que duração (dt), frequência central (cf), variação de frequência (df) e frequência final (ef) foram os mais utilizados na repartição das árvores. Azzolin et al. (2014) combinaram variáveis acústicas na discriminação de odontocetos do mar Mediterrâneo e seus resultados demonstraram que os parâmetros de frequência podem contribuir mais com o processo de classificação. De acordo com Rendell et al. (1999), parâmetros espectrais contribuem mais na avaliação de características acústicas interespecíficas, enquanto variações intraespecíficas são mais bem discriminadas com base em parâmetros temporais.

Pesquisas visuais tradicionais de golfinhos podem cobrir grandes áreas espaciais e são essenciais em pesquisas que buscam entender uma variedade de parâmetros populacionais (CARUSO et al. 2020) e tem contribuído significativamente para o desenvolvimento do conhecimento sobre a biologia e o comportamento dos cetáceos (GONZALEZ, 1994). Porém, essas pesquisas são limitadas pelo seu alto custo, disponibilidade de embarcações, pessoas qualificadas na área e pelas dificuldades associadas à coleta de dados à noite, em condições climáticas adversas ou quando os animais estão embaixo d'água (CARUSO et al. 2020). Nesse aspecto, a identificação acústica mostra-se como um método fundamental para o estudo de cetáceos.

Com base nisso, nossos resultados podem contribuir com o aperfeiçoamento de sistemas de classificadores acústicos autônomos utilizados no MAP de odontocetos em águas brasileiras.

O MAP tem se tornado cada vez mais importante no manejo da conservação marinha (LAIOLO, 2010) por ser uma ferramenta menos invasiva (ROCH et al. 2011; ERBE, 2013) e útil para acrescentar informações sobre distribuição e abundância de cetáceos em grandes áreas oceânicas. De acordo com Erbs et al. (2017), a classificação acústica precisa das espécies é fundamental para que esse monitoramento se torne ainda mais eficiente e conduza mais esforços à conservação de cetáceos.

5 CONCLUSÃO

O classificador acústico utilizado nesse estudo, ao discriminar acusticamente as espécies de delfínídeos, corrobora a informação de que os assobios carregam propriedades acústicas espécie-específicas e que os parâmetros dessas vocalizações podem ser utilizados em classificadores acústicos utilizados no MAP de pequenos cetáceos em águas brasileiras. Ao associar os EEA registrados nos taludes sul e sudeste brasileiro às espécies com distribuição reconhecidas para sudoeste do oceano Atlântico, o classificador indica sua eficiência e seu bom poder de predição, sendo capaz de abrir novas abordagens que ampliem os estudos com cetáceos para o oceano Atlântico Sul ocidental.

6 REFERÊNCIAS

- ABBOT, T. A.; PREMUS, V. E.; ABBOT, P. A. A real-time method for autonomous passive acoustic detection-classification of humpback whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 5, p. 2894–2903, 2010.
- AMORIM, T. O. S. et al. Integrative bioacoustics discrimination of eight delphinid species in the western South Atlantic Ocean. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1–17, 2019.
- ANDREWS, K. R. et al. Rolling stones and stable homes: Social structure, habitat diversity and population genetics of the Hawaiian spinner dolphin (*Stenella longirostris*). **Molecular Ecology**, v. 19, n. 4, p. 732–748, 2010.
- ANDRIOLO, A.; CASTRO, F.R.; AMORIM, T.; MIRANDA, G.; DI TULLIO, J.; MORON, J.; RIBEIRO, B.; RAMOS, G.; MENDES, R.R. Marine Mammal Bioacoustics Using Towed Array Systems in the Western South Atlantic Ocean. In: ROSSI-SANTOS, M.R.; FINKL, C.W. (EDs). *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America: Technological Innovation and Conservation*. Springer International Publishing, p. 113, 2018.
- ANSMANN, I. C. et al. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 87, n. 1, p. 19–26, 2007.
- AU, W.W.L.; HASTINGS, M.C. Principles of marine bioacoustics. **Springer**, New York, 2008.
- AZZOLIN, M. et al. Combining whistle acoustic parameters to discriminate Mediterranean odontocetes during passive acoustic monitoring. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 1, p. 502–512, 2014.
- BALLANCE, L. T. Cetacean Ecology. **Encyclopedia of Marine Mammals**, n. 1991, p. 172–180, 2018.
- BARON, S. C. et al. Differences in acoustic signals from Delphinids in the western North Atlantic and northern Gulf of Mexico. **Marine Mammal Science**, v. 24, n. 1, p. 42–56, 2008.
- BEARZI, M. Dolphin sympatric ecology. **Marine Biology Research**, v. 1, n. 3, p. 165–175, 2005.
- BINDER, C. M.; HINES, P. C. Automated aural classification used for inter-species discrimination of cetaceans. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 135, n. 4, p. 2113–2125, 2014.
- BRAULIK, G. & JEFFERSON, T. A. 2018. *Stenella frontalis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e. T20732A50375312. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T20732A50375312.en>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2021.
- BREIMAN, L. Method Random Forest. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.
- BULLOCK, T. H. et al. Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans. **Zeitschrift für Vergleichende Physiologie**, v. 59, n. 2, p. 117–156, 1968.

- CARUSO, F. et al. Monitoring of a Nearshore Small Dolphin Species Using Passive Acoustic Platforms and Supervised Machine Learning Techniques. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, n. April, 2020.
- COMMITTEE ON TAXONOMY. List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy, www.marinemammalogy.org (website). 2016.
- CRESPO, E. A. South American Aquatic Mammals. **Encyclopedia of Marine Mammals**, p. 1071–1076, 2009.
- DATTA, S.; STURTIVANT, C. Dolphin whistle classification for determining group identities.pdf - Google Documents. **Signal Processing**, v. 82, n. 2, p. 251–258, 2002.
- DE LIMA, R. C. et al. Delphinid Mixed-Species Associations in the Oceanic Waters of the Western South Atlantic. **Aquatic Mammals**, v. 47, n. 1, p. 53–62, 2021.
- DI TULLIO, J. C. et al. Diversity and distribution patterns of cetaceans in the subtropical Southwestern Atlantic outer continental shelf and slope. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. 1–24, 2016.
- DO AMARAL, K. B. et al. Historical Biogeography of Delphininae Dolphins and Related Taxa (Artiodactyla: Delphinidae). **Journal of Mammalian Evolution**, v. 25, n. 2, p. 241–259, 2016.
- ERBE, C. Underwater Passive Acoustic Monitoring & Noise Impacts on Marine Fauna - A Workshop Report. **Acoustics Australia**, v. 41, n. 1, p. 211–217, 2013.
- ERBS, F.; ELWEN, S. H.; GRIDLEY, T. Automatic classification of whistles from coastal dolphins of the southern African subregion. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 141, n. 4, p. 2489–2500, 2017.
- ESFAHANIAN, M.; ZHUANG, H.; ERDOL, N. On contour-based classification of dolphin whistles by type. **Applied Acoustics**, v. 76, p. 274–279, 2014.
- EVANS, W. E.; MADERSON, P. F. A. Mechanisms of sound production in delphinid cetaceans: A review and some anatomical considerations. **Integrative and Comparative Biology**, v. 13, n. 4, p. 1205–1213, 1973.
- EVANS, W.E. Common Dolphin, white-bellied porpoise, *Delphinus delphis* Linnaeus, 1758. In: Ridgeway, Harrison. *Biology of Marine Mammals*, Vol. 5. Academic Press, San Diego, 1994.
- FERRERO, R. C.; WALKER, W. A. Growth and reproduction of the common dolphin, *Delphinus delphis* Linnaeus, in the offshore waters of the North Pacific Ocean. **Fishery Bulletin**, v. 93, n. 3, p. 483–494, 1995.
- FITCH, W. T. Skull dimensions in relation to body size in nonhuman mammals: The causal bases for acoustic allometry. **Zoology**, 2000.
- FRASIER, K. E. et al. Automated classification of dolphin echolocation click types from the Gulf of Mexico. **PLoS Computational Biology**, v. 13, n. 12, p. 1–23, 2017.
- FRASIER, K. E. et al. Automated identification and clustering of subunits within delphinid vocalizations. *Marine Mammal Science*, v. 32, n. 3, p. 911–930, 2016.

- GANNIER, A. et al. Performance of a contour-based classification method for whistles of mediterranean delphinids. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 11, p. 1063–1069, 2010.
- GILLESPIE, D. et al. Automatic detection and classification of odontocete whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 134, n. 3, p. 2427–2437, 2013.
- GONZALEZ, F. T. the Use of Photoidentification To Study the Amazon River Dolphin, *Inia geoffrensis*, in the Colombian Amazon. **Marine Mammal Science**, v. 10, n. 3, p. 348–353, 1994.
- GORDON, J.; TYACK, P. L. Sound and Cetaceans. **Marine Mammals**, p. 139–196, 2002.
- HERZING, D. L. Acoustics and Social Behavior of Wild Dolphins: Implications for a Sound Society. p. 225–272, 2000.
- HERZING, D. L. Clicks, whistles and pulses: Passive and active signal use in dolphin communication. **Acta Astronautica**, v. 105, n. 2, p. 534–537, 2014.
- JANIK, V. M. Cetacean vocal learning and communication. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 28, p. 60–65, 2014.
- JANIK, V. M.; SLATER, P. J. B. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. **Animal Behaviour**, v. 56, n. 4, p. 829–838, 1998.
- JANIK, V. M.; SLATER, P. J. B. The different roles of social learning in vocal communication. **Animal Behaviour**, v. 60, n. 1, p. 1–11, 2000.
- LAIOLO, P. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. **Biological Conservation**, v. 143, n. 7, p. 1635–1645, 2010.
- LIN, T.-H.; CHOU, L.-S. Automatic classification of delphinids based on the representative frequencies of whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 2, p. 1003–1011, 2015.
- LOPES, X. M. et al. Feeding habits of the atlantic spotted dolphin, *Stenella frontalis*, in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, n. 2, p. 189–198, 2012.
- LU, Y.; MELLINGER, D.; KLINCK, H. Joint classification of whistles and echolocation clicks from odontocetes. **Proceedings of Meetings on Acoustics**, v. 19, 2013.
- LUO, W.; YANG, W.; ZHANG, Y. Convolutional neural network for detecting odontocete echolocation clicks. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 145, n. 1, p. EL7–EL12, 2019.
- MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. **BMC Evolutionary Biology**, v. 7, p. 1–20, 2007.
- MEAD, J. G. 1972. On the anatomy of the external nasal passages and facial complex in the family Delphinidae of the order Cetacea. Doctoral Thesis, Univ. of Chicago.
- MELLINGER, D. K. et al. An overview of fixed passive acoustic observation methods for Cetaceans. **Oceanography**, v. 20, n. SPL.ISS. 4, p. 36–45, 2007.

- MÉNDEZ-FERNANDEZ, P. et al. Population structure of the Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*) inferred through ecological markers. **Aquatic Ecology**, v. 54, n. 1, p. 21–34, 2020.
- MORENO, I. B. et al. Distribution and habitat characteristics of dolphins of the genus *Stenella* (Cetacea: Delphinidae) in the southwest Atlantic Ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 300, n. June 2014, p. 229–240, 2005.
- MORON, J. R. et al. Spinner dolphin whistle in the Southwest Atlantic Ocean: Is there a geographic variation? **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 4, p. 2495–2498, 2015.
- MORON, J. R. et al. Whistle variability of Guiana dolphins in South America: Latitudinal variation or acoustic adaptation? **Marine Mammal Science**, v. 35, n. 3, p. 843–874, 2019.
- MUELBERT, J. H. et al. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1662–1673, 2008.
- NEUMANN, D. Activity budget of free-ranging common dolphins (*Delphinus delphis*) in the northwestern Bay of Plenty, New Zealand. **Aquatic Mammals**, v. 27, n. 2, p. 121–136, 2001.
- NUMMELA, S. et al. Sound transmission in archaic and modern whales: Anatomical adaptations for underwater hearing. **Anatomical Record**, v. 290, n. 6, p. 716–733, 2007.
- OSWALD, J. N. Development of a Classifier for the Acoustic Identification of Delphinid Species in the Northwest Atlantic Ocean. n. 760, p. 1–58, 2013.
- OSWALD, J. N. et al. A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 1, p. 587–595, 2007.
- OSWALD, J. N.; BARLOW, J.; NORRIS, T. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 108, n. 5, p. 2635–2635, 2003.
- OTT, P. H.; DANILEWICZ, D. Southward range extension of *Steno bredanensis* in the Southwest Atlantic and new records of *Stenella coeruleoalba* for Brazilian waters. **Aquatic Mammals**, v. 223, n. January 2015, p. 185–189, 1996.
- PAGLIANI, B. et al. Intraspecific variation in short-beaked common dolphin's whistle repertoire. **Bioacoustics**, v. 00, n. 00, p. 1–16, 2021.
- PARO, A. D.; ROJAS, E.; WEDEKIN, L. L. Southernmost record of the Atlantic spotted dolphin, *Stenella frontalis* in the south-west Atlantic Ocean. **Marine Biodiversity Records**, v. 7, n. August, 2014.
- PERRIN, W. F. *Stenella frontalis*. **Mammalian Species**, v. 702, n. 702, p. 1–6, 2002.
- PERRIN, W.F. Atlantic spotted dolphin: *Stenella frontalis*. **Encycl Mar Mamm.** (August): 54–6, 1994.
- R CORE TEAM (2019). R: a language and environment for statistical computing. Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.

- RANKIN, S. et al. Acoustic classification of dolphins in the California Current using whistles, echolocation clicks, and burst pulses. **Marine Mammal Science**, v. 33, n. 2, p. 520–540, 2017.
- RENDELL, L. E. et al. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. **Journal of Zoology**, v. 249, n. 4, p. 403–410, 1999.
- RICE, D.W. Marine mammals of the world: systematics and distribution. Society for Marine Mammalogy Special Publication 4:1–231, 1998.
- ROCH, M. A. et al. Automated extraction of odontocete whistle contours. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 4, p. 2212–2223, 2011.
- SECCHI, E. R.; SICILIANO, S. Comments on the southern range of the spinner dolphin (*Stenella longirostris*) in the Western South Atlantic. **Aquatic Mammals**, v. 21, n. 2, p. 105–108, 1995.
- SILVA, T. L. et al. Whistle characteristics and daytime dive behavior in pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) in Hawai‘i measured using digital acoustic recording tags (DTAGs). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 140, n. 1, p. 421–429, 2016.
- SILVA-JR, J. M.; SILVA, F. J. L.; SAZIMA, I. Rest, nurture, sex, release, and play: diurnal underwater behaviour of the spinner dolphin at Fernando de Noronha Archipelago, SW Atlantic. **aqua, Journal of Ichthyology and Aquatic Biology**, v. 9, n. 4, p. 161–176, 2005.
- SOLDEVILLA, M. S. et al. Classification of Risso’s and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 124, n. 1, p. 609–624, 2008.
- SOLDEVILLA, M. S. et al. Risso’s and Pacific white-sided dolphin habitat modeling from passive acoustic monitoring. **Marine Ecology Progress Series**, v. 423, p. 247–260, 2011.
- STEINER, W. W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 9, n. 4, p. 241–246, 1981.
- TAVARES, M. et al. Biogeography of common dolphins (genus *Delphinus*) in the southwestern Atlantic Ocean. **Mammal Review**, v. 40, n. 1, p. 40–64, 2010.
- TYACK, P. L.; CLARK, C. W. Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales. n. Urick 1983, p. 156–224, 2000.
- ZERBINI, A. N.; KOTAS, J. E. A Note on Cetacean Bycatch in Pelagic Driftnetting off Southern Brazil. **Reports of the International Whaling Commission**, v. 48, n. 1995, p. 519–524, 1998.
- ZERBINI, A.N. et al. Distribuição e abundância relativa de cetáceos na Zona Econômica Exclusiva na Região Sudeste-Sul do Brasil. Série Documentos Revizee — Score Sul. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2004.
- ZIMMER, W.M.X. Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans. Cambridge University Press, Cambridge, 2011.