



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



PPGBAN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

ALICE PEREIRA

ANÁLISE MORFOLÓGICA E MORFOMÉTRICA DE DUAS ESPÉCIES DE ALBATROZES:
ALBATROZ-DE-SOBRANCELHA (*Thalassarche melanophris*) E ALBATROZ-DE-NARIZ-
AMARELO (*Thalassarche chlororhynchos*) (Procellariiformes: Diomedidae)

PORTO ALEGRE
2018

ALICE PEREIRA

ANÁLISE MORFOLÓGICA E MORFOMÉTRICA DE DUAS ESPÉCIES DE ALBATROZES:
ALBATROZ-DE-SOBRANCELHA (*Thalassarche melanophris*) E ALBATROZ-DE-NARIZ-
AMARELO (*Thalassarche chlororhynchos*) (Procellariiformes: Diomedidae)

Dissertação/Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia Comparada

Orientador: Prof. Dr. Ignacio Benites Moreno

ALICE PEREIRA

ANÁLISE MORFOLÓGICA E MORFOMÉTRICA DE DUAS ESPÉCIES DE ALBATROZES:
ALBATROZ-DE-SOBRANCELHA (*Thalassarche melanophris*) E ALBATROZ-DE-NARIZ-
AMARELO (*Thalassarche chlororhynchos*) (Procellariiformes: Diomedidae)

Aprovada em 24 de maio de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Guilherme Renzo Brito

Dr. Dimas Gianuca

Dr^a. Maria João Ramos Pereira

“(...)
Sí,
no esperes,
dije,
al rey del viento
al ave de los mares,
no esperes
un túmulo
erigido
a tu proeza,
y mientras
tétricos ciudadanos
congregados en torno a tus despojos
te arrancaban
una pluma, es decir,
un pétalo, un mensaje
huracanado,
yo me alejé
para que,
por lo menos,
tu recuerdo,
sin piedra, sin estatua,
en estos versos vuele
por vez postrera contra
la distancia
y quede así cerca del mar tu vuelo.

Oh, capitán oscuro,
derrotado en mí patria,
ojalá que tus alas
orgullosas
sigan volando sobre
la ola final, la ola de la muerte.”

(Ode a un albatros – Pablo Neruda, 1956)

+ AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao Museu de Ciências Naturais – MUCIN/UFRGS e ao seu Setor de Coleções. Não só pela oportunidade de utilizar o seu material científico. Mas pela oportunidade de ali trabalhar por tantos anos. No MUCIN aprendi quase tudo que sei sobre as aves. O Setor de Coleções, visto por muitos como um lugar que tem “cheiro ruim”, tédio, ossos e mais ossos, sem vida. Ledo engano! Nesse lugar eu aprendi sobre a vida das aves e de outros organismos. Se as pessoas pudessem ouvir as histórias que os ossos nos contam! Há que se ter um ouvido atento, ou cientificamente falando, ter um senso de investigador. Horas e horas passadas ali taxidermizando aves, limpando e tombando ossos, minha mente cheia de perguntas corria aos livros para descobrir a biologia e a evolução das espécies e voava junto com as aves (ou nadava com pinguins). Tédio? Nunca. Curiosidade? Sempre. Antes de partir desse lugar tão especial em busca de outros mares, fui brindada com o convite maravilhoso de montar uma exposição sobre as aves do litoral do Rio Grande do Sul. Nunca fiquei tão lisonjeada e agradeço, imensamente por poder aprender mais ainda ao prepara cada painel e taxidermizar cada espécime. Agradeço muito aos museólogos do MUCIN Aline Portella Fernandes e ao Lucas Morates, que venham ainda muitas parcerias!

Agradeço ao curador da Coleção Ornitológica do MUCIN, mas que para mim é meu amigo do peito, Maurício Tavares. Eu não seria nem a metade da bióloga que sou sem os teus ensinamentos e sem a vivência que aprendi contigo. Tu és para mim um exemplo.

Agradeço ao pessoal do CECLIMAR por toda atenção e convivência. As companheiras de monitoramento de praia, Jana Wickert e Bruna Barros. Ao meu motorista de coração, Seu Nunes.

Agradeço ao Conselho Nacional Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo suporte financeiro por meio da bolsa de mestrado.

Agradeço a Carla S. Fontana e ao Glayson A. Bencke por me receberem em suas coleções ornitológicas, no Museu de Ciência e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica (MCT-PUC) e na Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZB/RS), respectivamente.

Agradeço ao Nicholas Winterle Daudt, amigo do coração e parceiro de trabalho, que mesmo atualmente distante, nunca deixamos de conversar e trocar conhecimento sobre as aves marinhas.

Agradeço a Ana Mastella, colega de mestrado, que me faz uma companhia maravilhosa quando vou ao Campus do Vale.

Agradeço ao meu orientador Dr. Ignacio Moreno e ao Laboratório de Sistemática e Ecologia de Aves e Mamíferos Marinhos (LABSMAR) por me receberem.

E, por fim, mas as pessoas mais importantes da minha vida: minha família, Nara, Arno, Mario, Nathan. Obrigado pelo apoio nas horas difíceis, pela motivação em todas as horas de desistência infinita, pelos momentos de descontração de toda a seriedade de uma vida acadêmica, e pelo conhecimento que trocamos. Agradeço aos meus amores felinos: Bastiana, Fêmea, Frel, Udo, Nina, Malu e aos meus amores caninos Boogie, Raposo e Chaves, sem ter a menor ideia vocês fazem da minha vida sempre mais alegre.

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUÇÃO.....	12
Os albatrozes: aspectos gerais.....	12
A osteologia dos albatrozes: o estado da arte.....	16
O sistema de muda dos albatrozes.....	18
A Plataforma Sul e a ocorrência de albatrozes: o albatroz-de-nariz-amarelo e o albatroz-de-sobrancelha.....	19
Monitoramentos de praia e <i>bycatch</i> : respondendo perguntas sobre albatrozes.....	22
II. OBJETIVOS, ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO E PRÓLOGO AOS ARTIGOS.....	25
III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
IV. ARTIGO I: SEPARATING BLACK-BROWED AND ATLANTIC YELLOW-NOSED ALBATROSS SKELETAL REMAINS USING MORPHOMETRIC ANALYSIS.....	32
Abstract.....	33
Introduction.....	34
Methods.....	35
Results.....	38
Discussion.....	40
Acknowledgements.....	42
Literature Cited.....	42
V. ARTIGO II: OSTEOLOGICAL POSTNATAL DEVELOPMENT IN TWO SPECIES OF MOLLYMAWKS AND ITS RELATION TO PLUMAGE.....	48
Abstract.....	49
Introduction.....	50
Materials and Methods.....	51
Results.....	56

Discussion.....	64
Conclusions.....	67
Acknowledgements.....	67
Literature Cited.....	67
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
VII. APÊNDICE.....	72
Supplemental Table 1 (S1)	72
Supplemental Table 2 (S2).....	76
Supplemental Table 3 (S3).....	81

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Table 1: Table 1: Classification results for cross-validation test. Group labels, 1 = Black-browed Albatross, 2 = Atlantic Yellow-nosed Albatross.....	41
Table 2. Classification functions for species identification.....	41
Table 3: Reclassification of the data set ($N=151$) applying the six-measurement discriminant function, where 97.35% of specimens were correctly classified.....	41

ARTIGO II

Table 1. List of osteological characters selected from cranium and postcranium of Black-browed Albatross and Atlantic Yellow-nosed Albatross specimens and the stages of the development numbered from one to four.....	55
Table 2. Classification of the evaluated specimens according to information about plumage and/or bill coloration.....	63
Table 3. Osteological characters and age determined by plumage that complete ossification first appears.....	63

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figure 1: Five measurements established for this work.....	38
Figure 2: Representation of six measurements from the 61 statistically different (confidence level = 95%) by Student's-t test results.....	40

ARTIGO II

Fig 1. Topology of the evaluated characters from Black-browed and Atlantic Yellow-nosed skeletons.....	57
Fig 2. Development of character VI in mollymawk specimens.....	58
Fig 3. Development of character IX in mollymawk crania on lateral view.....	59
Fig 4. Character XVIII in mollymawks synsacra.....	60
Fig 5. Overview from percentages of the stages of development for the 19 osteological characters for Black-browed Albatross.....	61
Fig 6. Overview from percentages of the stages of development for the 19 osteological characters for Atlantic Yellow-nosed Albatross.....	62

RESUMO

Os albatrozes estão amplamente distribuídos ao longo dos oceanos do Hemisfério Sul, com algumas poucas espécies ocorrendo no Hemisfério Norte. A família Diomedidae abrange 22 espécies distribuídas em quatro gêneros: *Diomedea*, *Phoebetria*, *Phoebastria* e *Thalassarche*. Este último apresenta as menores espécies dentre os quatro gêneros. Os albatrozes são reconhecidos pelo seu estilo de voo e grande envergadura. Além disso, são aves marinhas monogâmicas e filopátricas, retornando todos os anos para suas colônias reprodutivas. Indivíduos juvenis e imaturos só retornam após muitos anos em dispersão pelos oceanos onde forrageiam. O albatroz-de-sobrancelha *Thalassarche melanophris* apresenta colônias reprodutivas espalhadas ao longo de ilhas subantárticas nos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico. O albatroz-de-nariz-amarelo *T. chlororhynchos* está restrito ao Atlântico Sul, nidificando unicamente nas ilhas Tristão da Cunha e Gough. Ambas espécies forrageiam no Atlântico Sul e são abundantes em águas brasileiras. São comumente vistos seguindo barcos pesqueiros já que essas aves marinhas se alimentam do descarte e de iscas utilizadas na pesca de espinhel. A captura acidental de albatrozes durante atividades da indústria pesqueira é a maior causa de mortalidade dessas aves. Ao longo da costa sul e sudeste do Brasil, indivíduos de albatroz-de-sobrancelha e albatroz-de-nariz-amarelo podem ser encontrados encalhados. Ambas as espécies podem ser identificadas pelo padrão de plumagem e coloração do bico, a idade de albatrozes jovens e imaturos determinada pelo ciclo de muda. No entanto, durante contagens de aves encalhadas, carcaças sem plumagem ou coloração de bico tem sua identificação restrita à aspectos morfológicos do crânio. A análise morfológica do esqueleto requer conhecimento específico e, na falta do crânio, o pós-crânio não oferece diferenças consistentes para identificação das duas espécies. A identificação a nível específico é fundamental para a coleta de dados sobre as espécies e avaliação dos impactos que sofrem. Assim, avaliando 151 espécimes provenientes de coleções ornitológicas, este estudo estabeleceu uma função discriminante para determinar as espécies por meio de peças anatômicas da asa e esterno. Ademais, este estudo avaliou o desenvolvimento osteológico pós-natal de *T. melanophris* e *T. chlororhynchos*. Após estabelecer os caracteres ligados ao desenvolvimento, o estudo associou-os aos padrões de desenvolvimento da plumagem, ciclo de muda e ciclo de vida até que as espécies tenham atingido a maturidade sexual. A fauna de albatrozes está ameaçada globalmente, assim, qualquer esforço na identificação e conhecimento das aves que frequentam as águas do sul do Brasil é importante.

Palavras-chave: desenvolvimento, esqueleto, osteologia, plumagem, pós-crânio, pós-natal.

ABSTRACT

Albatrosses are widely distributed across Southern Hemisphere oceans, and few species occur along the North Pacific Ocean. The family Diomedidae comprises 22 species distributed in four genera: *Diomedea*, *Phoebastria*, *Phoebastria*, and *Thalassarche*. The species of the last genus are called *mollymawks* and are the smaller species of those genera. Albatrosses are recognized by their flight style and great wingspan, and as other seabirds, albatrosses are monogamic and filopatric, returning every year to their breeding colonies. Juvenile and immature individuals will only return after many years of dispersal within their foraging range. The Black-browed Albatross *Thalassarche melanophris* has breeding colonies spread along subantarctic islands of Atlantic, Pacific and Indian Oceans. The Atlantic Yellow-nosed Albatross *T. chlororhynchos* is restricted to South Atlantic Ocean, breeding in subantarctic islands as Malvinas/Falkland, Gough and Tristan da Cunha Group. Both species forage at Southwestern Atlantic Ocean and are abundant at South Brazilian waters. They usually follow fishing vessels as these seabirds may feed on fish discards or long-line fishery baits. Bycatch of albatrosses during fishing activities are the major cause of mortality within the species. Along South and Southeastern Brazilian coast several individuals of Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross are found beached. Both species are identified by pattern of plumage and bill coloration, and molt cycle determines the age of juvenile and immature albatross species. These features are useful for identifying at-sea individuals. However, carcasses without plumage or rhamphotheca can only be identified through cranial morphology. Morphological analyses require experience, besides when cranium is not available the postcranium material does not provide enough features for species identification. It is important for data collection and further analyses to identify a specimen at species level. In this study, we evaluated 151 specimens of both mollymawks from museum osteological collections searching for morphometric and morphological differences between Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross. We found significant differences between both species skeletal measurements, and we established a discriminant function to identify the species through postcranial osteological pieces. In addition, we evaluated the postnatal osteological development of *T. melanophris* and *T. chlororhynchos*. We associated it to plumage pattern information and the chronological period in which each plumage pattern appears. This morphological analysis showed that osteological development and plumage are not synchronic. However, the osteological sequences of ossification follow what is expected for Aves and for altricial birds. Albatrosses are a globally endangered fauna, then any effort to identify and understand these seabirds attending South Brazilian shelf is important.

Keywords: *development, osteology, plumage, postcranium, postnatal, skeletal.*

I. INTRODUÇÃO¹

Os albatrozes: aspectos gerais

Albatroz é o termo geral dado para as aves que fazem parte da família Diomedidae Gray, 1840, ordem dos Procellariiformes Fürbringer, 1888. Esta família compreende quatro gêneros (Nunn et al. 1996): *Diomedea* (Linnaeus, 1758), *Phoebastria* (Reichenbach, 1853), *Phoebetria* (Reichenbach, 1853) e *Thalassarche* (Reichenbach, 1853). Segundo Carboneras & Bonan (2018), são reconhecidas 22 espécies de albatrozes. O registro fóssil mais antigo da família Diomedidae foi descrito por Mayr & Goedert (2017) como *Diomedavus knapptonensis* e data do Oligoceno tardio (~33,9 milhões de anos). Este registro, descoberto na formação Lincoln Creek, em Washington, Estados Unidos, somado a outros fósseis de formações geológicas subsequentes (Mioceno e Plioceno) como *Tydea septentrionalis* Mayr & Smith, 2012, "*Diomedea*" *milleri* Howard, 1966, "*Diomedea*" *californica* Miller, 1962 e *Phoebastria anglica* Lydekker, 1891, são todos provenientes do Hemisfério Norte, tanto América como Europa (Olson 1985; Mayr and Smith 2012). A abundância de fósseis do Terciário provenientes de formações do Hemisfério Norte sugere uma rica fauna ancestral de albatrozes do Pacífico Norte, com algumas espécies ocorrendo também no Atlântico Norte. Fósseis de albatrozes que representem a fauna do Hemisfério Sul são raros, sendo registrados em formações da Austrália ("*Diomedea*" *thyridata* Wilkinson, 1969), da África do Sul (um fragmento de tarsometatarso da formação *Langebaanweg*) descrito por Olson (1983) e na América do Sul em formações da Argentina (Olson 1984), Chile (Walsh and Hume 2001) e Peru (Stucchi and Urbina 2005).

A distribuição geográfica de albatrozes vivos é oposta aos registros fósseis. Os Diomedidae são abundantes no Hemisfério Sul, em contrapartida somente algumas espécies nidificam no Pacífico Norte e há registros de indivíduos vagantes do Atlântico Norte (Carboneras 1992; Onley and Scofield 2007). Os albatrozes do gênero *Phoebastria* nidificam em ilhas do Pacífico Norte, sendo a espécie *Phoebastria irrorata* (Salvin, 1883) o único de distribuição tropical adjacente as Ilhas Galápagos. Os grandes albatrozes do gênero *Diomedea* compreendem espécies restritas aos oceanos do Hemisfério Sul, podendo apresentar distribuição circumpolar (e.g. *Diomedea exulans* Linnaeus, 1758, *Diomedea*

¹ As referências foram redigidas conforme as normas do periódico *Journal of Ornithology*.

sanfordi Murphy, 1917, *Diomedea epomophora* Lesson, 1825) e subtropical (*Diomedea dabbenena* Mathews, 1929, *Diomedea amsterdamensis* Roux, Jouventin, Mougín, Stahl & Weimerskirch, 1983). Os dois albatrozes do gênero *Phoebetria*, também chamados de “piaus” ou *Sooty Albatross*, apresentam ou distribuição circumpolar em águas antárticas e subantárticas, caso de *Phoebetria palpebrata* Forster, 1785 ou em águas subantárticas mais quentes do Atlântico e Índico, caso de *Phoebetria fusca* Hilsenberg, 1822. Os menores albatrozes ou *mollymawks*, do gênero *Thalassarche*, são amplamente distribuídos pelos oceanos do Hemisfério Sul a exemplo de *Thalassarche chrysostoma* (Forster, 1785), *Thalassarche cauta* (Gould, 1841) e *Thalassarche melanophris* (Temminck, 1828), sendo o último o mais abundante e amplamente distribuído de todos; já algumas espécies são geograficamente mais restritas como *Thalassarche impavida* Mathews, 1912, o albatroz-de-nariz-amarelo-do-atlântico *Thalassarche chlororhynchos* (Gmelin, 1789) e o albatroz-de-nariz-amarelo-do-índico *Thalassarche carteri* (Rothschild, 1903) (Carboneras 1992; Onley and Scofield 2007; Howell 2012).

Dentre as aves marinhas, os albatrozes são as aves de maior massa e envergadura, junto com os petréis-gigantes (*Macronectes* spp.: Procellariidae). Podem pesar entre 2 e 9 kg e atingir envergaduras de 3,5 metros, caso do albatroz-errante (*D. exulans*) (Onley and Scofield 2007). A extensa envergadura fornece área para um grande número de rêmiges secundárias, que combinado ao formato estreito da asa torna os albatrozes aptos ao voo planado dinâmico, que não é exclusivo dos albatrozes, sendo utilizado também por outros os Procellariidae (Sick 2001). É este estilo de voo que permite aos albatrozes longos deslocamentos, como por exemplo, o albatroz-de-cabeça-cinza (*T. chrysostoma*) completar a circum-navegação completa dos oceanos meridionais em 46 dias (Phillips et al. 2005). Incapaz de bater asas, quando na superfície do mar, a ave pedala alguns metros até que a energia dos ventos de superfície a elevem. Com as asas estendidas e inclinado para cima, à medida que sobe em altitude, a velocidade do vento aumenta, elevando a ave continuamente. Por isso, para que mantenham a altitude, viram-se contra o vento buscando correntes de menor velocidade para que novamente subam em altitude virando-se a favor do vento (Pfeifhofer and Tributsch 2014).

A capacidade de voar grandes distâncias com gasto energético pequeno, apenas aproveitando a cinética das correntes de ar, possibilita que os albatrozes nidifiquem ilhas oceânicas e ainda assim alimentem-se em áreas pelágicas distantes (Onley and Scofield

2007). Como outras aves marinhas, os Diomedidae são coloniais. Há algumas vantagens nesse tipo de agregação, como defesa contra predação, estimulação social, centro de informações sobre área de forrageio, entre outros; mas pode haver como elevada competição pelos locais de nidificação (Furness and Monaghan 1987; Warham 1996a). A monogamia apresentada pelos albatrozes contorna esta desvantagem competitiva, à medida que o local escolhido será defendido pelo par, permitindo que os indivíduos possam buscar alimento enquanto outro estará mantendo o ninho seguro (Coulson 2001; Howell 2012). A monogamia também é fator decisivo na criação do filhote que demanda atenção ininterrupta, exigindo cooperação entre ambos do casal e garantindo o sucesso reprodutivo daquela estação. Quanto mais tempo o casal se mantém junto, maior o sucesso reprodutivo a cada estação. Entretanto, uma vez que o casal não obtém sucesso juntos, pode ocorrer a procura por outro par (Furness and Monaghan 1987; Schreiber et al. 2001). Os albatrozes apresentam baixas taxas reprodutivas, colocando um ovo por estação ou a cada duas, mas apresentam uma alta longevidade. Investir numa prole menor, fornecendo-lhe mais provisões, aumenta a chance de sobrevivência dos filhotes, por consequência aumenta a capacidade competitiva desses indivíduos. Uma prole pequena também garante que não falem recursos aos pais, aumentando sua longevidade também. Assim, pode-se dizer que os albatrozes são k-estrategistas (Furness and Monaghan 1987; Weimerskirch 2001). O crescimento dos Diomedidae é lento, permanecem muitos meses no ninho, a incubação pode levar de 9 a 11 semanas e a aquisição completa de voo de 20 a 40 semanas e, para espécies como o albatroz-gigante (*D. exulans*), cerca de um ano. A frequência de alimentação dos filhotes varia de acordo com seu crescimento, assim como o tamanho das porções. São oferecidas porções menores e mais frequentes inicialmente, que diminuem em frequência e tamanho ao longo do desenvolvimento do ninhego, que quando mais velho pode suportar esperar até algumas semanas pelo retorno dos pais com o alimento. Após abandonarem o ninho, podem permanecer até 13 anos sem retornar à colônia, dependendo da espécie (Schreiber et al. 2001; Howell 2012). Os albatrozes apresentam filopatria, retornando todo o ano ao mesmo local de reprodução. Esse longo período até os albatrozes estarem aptos a se reproduzirem está intimamente ligado a aquisição de complexas estratégias de forrageio e conhecimento das áreas mais produtivas que irão, por sua vez, garantir o sucesso na criação dos filhotes (Furness and Monaghan 1987; Weimerskirch 2001). Em algumas espécies nota-se que os jovens tendem a dispersarem-se

a maiores distâncias da colônia reprodutiva do que os adultos. O período reprodutivo dos albatrozes está em perfeita sincronia com a abundância de presas nas áreas no entorno da colônia, para minimizar a necessidade de longos deslocamento pelas aves. Em altas latitudes, o período de disponibilidade máxima de alimento é curto, por isso algumas espécies conseguem reproduzir-se apenas um ano sim, outro não (Furness and Monaghan 1987; Schreiber et al. 2001; Howell 2012).

Os Procellariiformes alimentam-se de uma variedade de presas, como peixes, crustáceos, cefalópodes e outros invertebrados disponíveis no ambiente marinho. Grande parte dessas aves alimentam-se na superfície do mar, utilizando-se da visão e do apurado olfato para a localização das presas. Os albatrozes capturam o alimento na superfície enquanto estão pousados, utilizando-se o robusto bico com a ponta em forma de gancho (Furness and Monaghan 1987; Shealer 2001). A dieta dos albatrozes pode variar conforme a área de alimentação da espécie. O albatroz-de-nariz-amarelo (*Thalassarche chlororhynchos* Gmelin, 1789) e o albatroz-de-sobrancelha (*Thalassarche melanophris* Temminck, 1828) no sul do Atlântico alimentam-se principalmente de peixes, Nas Ilhas Chatham, albatrozes-de-sobrancelha apresentaram cefalópodes como 85% de sua dieta, enquanto só 14% foi composta por peixes (Neves et al. 2006). Já os crustáceos parecem ser secundários na dieta dos albatrozes. No entanto, alguns estudos indicam *Euphasia superba* (Euphasiacea) sendo o item alimentar mais consumido pelo albatroz-de-sobrancelha durante a nidificação (Warham 1996b). McInnes e colaboradores (2017) apresentaram a importância das águas-vivas (Scyphozoa) na dieta do albatroz-de-sobrancelha e no albatroz-de-campbell (*Thalassarche impavida* Mathews, 1912), compondo mais de 80% da dieta dos indivíduos amostrados na ilha Steeple Jackson, nas Ilhas Malvinas/Falkland. O descarte de pesca também é item importante na dieta de muitos albatrozes, principalmente para albatrozes invernando em águas do sul do Brasil (Bugoni et al. 2010).

Segundo a revisão de Phillips et al. (2016) acerca do status populacional, ameaças e prioridades para as 29 espécies de albatrozes e petréis inclusas no ACAP (*Agreement on the Conservation of Albatross and Petrels*), 15 espécies de albatrozes estão listadas com algum grau de ameaça. Além disso, três dessas 15 espécies estão “criticamente ameaçadas” (*critically endangered*, CR) (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources 2017), sendo duas delas de reprodução bianual – o albatroz-de-tristão (*D. dabbenena*) e o albatroz-de-amsterdã (*D. amsterdamensis*). Dos sete albatrozes listados

como “vulneráveis” (*vulnerable*, VU), quatro espécies apresentam declínio populacional pelo último censo realizado em 2013. Somente duas espécies das listadas como “quase ameaçadas” (*near threatened*, NT) demonstraram aumento populacional, sendo o albatroz-de-sobrancelha (*T. melanophris*) e o albatroz-de-pés-negros *Phoebastria nigripes* (Audubon, 1839). As principais ameaças aos albatrozes são a captura incidental durante as atividades pesqueiras (*bycatch*), captura intencional, poluição marinha (resíduos poliméricos, petrechos de pesca, contaminantes orgânicos e inorgânicos vindos do continente, petróleo, bioacumulação via cadeia trófica), patógenos, espécies invasoras nos sítios reprodutivos e eventos relacionados às mudanças climáticas (Gochfeld and Burger 2001; Phillips et al. 2016; ACAP 2017).

A osteologia dos albatrozes: o estado da arte

Os primeiros trabalhos que tratam sobre caracteres anatômicos relativos aos Procellariiformes, com exceção da descrição das espécies em si, começam a aparecer por volta de 1800. O primeiro importante trabalho particularmente sobre os Procellariiformes e que traz detalhes sobre a osteologia dessas aves é o de Forbes (1882), *Report on the anatomy of the Tubinares*, que faz parte dos arquivos da viagem do H.M.S Challenger. Até então, a anatomia dos Procellariiformes havia sido tratada junto da anatomia de outras aves como ferramenta taxonômica de classificação das aves. Um exemplo é o trabalho de Eyton (1867) *Osteologia Avium*, em que o autor descreve brevemente duas espécies de albatrozes (*Diomedea exulans* e *Phoebetria fusca*). Milne-Edwards (1867a; b, 1869), que trata de fósseis, traz alguns comentários sobre a osteologia dos Procellariiformes, como os sesamóides presentes nas asas dessas aves. Pycraft (1899) reúne todas as informações dispersas nas obras citadas acima e outras mais, além de abordar pela primeira vez a morfologia do crânio de Procellariiformes sob a ótica ontogenética. O autor também chega mais próximo da classificação aceita atualmente, modificando aquela lançada por Forbes (1882) ao propor as famílias Procellariidae e Diomedidae para alocar as espécies conhecidas na época. Entretanto, Shufeldt (1907) propõe uma filogenia diferente pela sua análise osteológica, sendo esta composta por quatro famílias – Procellariidae, Puffinidae, Pelecanodidae e Diomedidae. Este estudo também é um dos poucos voltados somente para a osteologia dos Procellariiformes, no entanto ele não traz novidades, apenas as

discordâncias e concordâncias desse autor em relação aos estudos pretéritos. Diferentemente do trabalho anterior de Shufeldt (1888), que apesar não tratar apenas dos Procellariiformes, junto da descrição de *Phoebastria albatrus* (Pallas, 1769) ele faz considerações específicas sobre a osteologia dos Diomedidae, antecipando de certa forma alguns pontos trazidos por Pycraft (1899). Lowe (1925) retorna a questão taxonômica e aborda aspectos osteológicos, porém muito pouco é mencionado sobre os albatrozes. O que se pode notar é que a maioria dos autores não diverge sobre as similaridades entre os albatrozes, mesmo com a subsequente descrição de novas espécies, agrupando-os da mesma forma em todas as classificações e reconhecendo *D. exulans* como o gênero tipo para denominar a família Diomedidae (ou subfamília Diomedinae como sugerem em algumas classificações). Kuroda (1954), apesar de ter focado as suas considerações osteológicas nos petréis, traz alguns apontamentos sobre os albatrozes, além de pranchas em que as peças do esqueleto de albatrozes petréis são comparadas.

A osteologia dos albatrozes, exceto durante a descrição de novos itens fósseis relacionados aos Diomedidae, foi novamente abordada por Denés et al. (2007) e Denés & Silveira (2007). Esses dois trabalhos são importantes por trazerem novamente a questão osteológica para o contexto taxonômico. A taxonomia dos albatrozes vinha passando por uma série de revisões, no entanto, através de abordagens moleculares (e.g. Robertson & Nunn, 1998). Ambos os trabalhos acima citados utilizam a morfologia e morfometria do sínclânio de diferentes espécies de albatrozes como guia para a identificação, além de utilizarem recursos fotográficos para representar as diferenças encontradas.

Ao longo desses trabalhos, a questão do desenvolvimento ontogenético foi abordada brevemente por Pycraft (1899) e somente relação a aspectos do sínclânio. Aspectos morfométricos dos albatrozes já foram abordados em diversos trabalhos e guias, mas sempre por meio de peles taxidermizadas ou espécimes vivos. Referências de medidas feitas a partir do esqueleto de alguns Diomedidae, no que concerne os membros anteriores, foram publicados por Forbes (1882).

A seguir segue uma breve descrição, em linhas gerais, do esqueleto dos albatrozes, baseado em Forbes (1882), Pycraft (1899), Shufeldt (1888, 1907) e Kuroda (1954). **Crânio:** é robusto se comparado ao dos Procellariidae (com exceção de *Macronectes* spp.); A fossa da glândula nasal é profunda e apresenta a borda externa alargada; a pré-maxila em sua

porção rostral é curvada em forma de gancho; as narinas abrem-se lateralmente na maxila; A fossa temporal é rasa e semicircular; o parietal é largo, quadrangular e suavemente curvado; a região occipital é praticamente vertical; a parede caudal às órbitas é ossificada; O processo maxilo-palatino é largo e quase vertical; com um estreito espaço entre eles; o forame magno é oval. **Vértebras:** nas últimas vértebras cervicais e nas torácicas, a hipapófise é ausente ou pouco desenvolvida; torácicas altamente pneumáticas; vértebras caudais não pneumáticas. **Cintura escapular:** o esterno é curto, pneumático; a quilha projeta-se além do manúbrio; processos laterais projetam-se ventralmente além da altura do manúbrio; entre a porção dos processos costais e as trabéculas laterais há uma reentrância semicircular profunda; o coracóide é robusto e largo na base, ocupando grande parte do esterno; na base do coracóide em sua face interna, a depressão para ligação dos músculos é profunda; escápula e fúrcula não pneumáticas. **Membros anteriores:** o úmero é oco e distintamente côncavo na epífise proximal; a diáfise é comprimida ao longo de sua extensão; a crista bicipital é proeminente e côncava; a fossa infracapitular apresenta um grande forame pneumático na extremidade por onde sacos aéreos podem penetrar no úmero; a ulna é mais longa que o úmero. **Cintura pélvica:** a porção anterior do íleo funde-se ou quase na crista neural do sinsacro; a cavidade renal é estreita e profunda; a porção anterior da cintura pélvica também é estreita; sinsacro bastante pneumático em relação aos Procellariidae. **Membros posteriores:** não pneumáticos; crista cnemial no tibiotarso menor que na maioria dos Procellariidae; tarsometatarso cilíndrico; cristas hipotarsais pouco desenvolvidos em relação aos Procellariidae; a superfície troclear é larga e as cótilas rasas; na porção anterior, face dorsal, as margens externas da diáfise são quilhadas; hálux rudimentar; membros anteriores mais curtos em relação aos longos membros anteriores.

○ sistema de muda dos albatrozes

A muda consiste na substituição das penas por meio de um processo cíclico de crescimento dessas estruturas (Howell 2010). O gatilho para o processo de muda varia de acordo com a espécie, a estação do ano, o local em que a espécie vive, ciclos corporais de reprodução e repouso, entre outros fatores (Sick 2001; Gill 2007). Em geral, as aves realizam a muda uma vez ao ano, quando substituem a maioria das penas - plumagem básica, sendo esse tipo de muda chamada de “muda pré-básica”, no inglês *prebasic molt*

(Howell 2010). Além da plumagem básica, é comum em albatrozes e petréis a presença de plumagens intermediárias até que atinjam maturidade (Prince et al. 1993). Os Diomedéidae realizam a muda da plumagem entre os períodos reprodutivos enquanto estão dispersos pelos oceanos (Warham 1996c).

Os albatrozes apresentam um tipo único de muda, em que a muda das rêmiges primárias é dividida em dois ciclos, em que as primárias (p) 8 a 10 são substituídas de fora para dentro, enquanto a partir p7 as primárias são substituídas de dentro para fora, os albatrozes do Hemisfério Norte realizam a muda da p8 a p10 anualmente, no entanto alguns dos albatrozes do Hemisfério Sul realizam esse mesmo processo a cada dois anos. As retrizes e penas de contorno são substituídas simultaneamente às rêmiges (Warham 1996c; Howell 2010; Flood and Fisher 2016). Em alguns casos, as mudas podem não ser simétricas na asa esquerda e direita. No caso de mudas anuais das rêmiges primárias, nem sempre todas acabam sendo substituídas. Harris (1973) encontrou três gerações de penas primárias em indivíduos de albatroz-de-galápagos (*P. irrorata*). Furness (1988) demonstrou que nos indivíduos de albatroz-de-nariz-amarelo (*T. chlororhynchos*) que tiveram sucesso em sua nidificação, uma média de 8 das 20 rêmiges primárias (considerando as duas asas) foram substituídas. Naqueles indivíduos que não obtiveram sucesso reprodutivo, uma média de 10 das 20 rêmiges primárias foram substituídas, número similar aos indivíduos não reprodutivos. Esse tipo de resultado enfatiza que tempo, nutrientes e energia entre as estações reprodutivas restringem a muda naqueles indivíduos que obtêm sucesso reprodutivo na estação anterior.

A Plataforma Sul e a ocorrência de albatrozes: o albatroz-de-nariz-amarelo e o albatroz-de-sobrancelha

No Brasil, a Plataforma Sul está localizada entre o Cabo de Santa Marta em Santa Catarina e Chuí no Rio Grande do Sul. As águas costeiras e oceânicas dessa unidade são influenciadas pela Convergência Subtropical, a confluência da corrente marítima do Brasil, vinda do norte do país, e das Malvinas, vinda do sul da América do Sul. A primeira é uma massa de águas tropicais e a segunda de águas subantárticas. A direção dos fortes ventos que sopram ao longo da costa do Rio Grande do Sul favorece a Corrente das Malvinas a dirigir-se ao norte e em direção ao oceano, gerando a Convergência Subtropical no Atlântico

Sudoeste. A influência desta convergência atinge plataforma continental, o talude e também a zona costeira. Soma-se a influência dos ventos e corrente a descarga de águas continentais. A resultante desta interação são águas ricas em nutrientes, de características oceanográficas únicas (Seeliger and Odebrecht 1998; Odebrecht and Castello 2001; Piola and Matano 2001). A alta produtividade biológica na Plataforma Sul, devido às características oceanográficas supracitadas, torna-a importante área de alimentação para aves marinhas (Vooren and Fernandes 1989; Vooren and Brusque 1999; Neves et al. 2006). Dentre as aves marinhas que utilizam a Plataforma Sul estão aquelas pertencentes à ordem Procellariiformes, composta pelos albatrozes e petréis. Dos 41 registros de Procellariiformes confirmados para o Brasil (Piacentini et al. 2015), ao menos 35 são registrados para o Rio Grande do Sul (Franz et al. 2018). O albatroz-de-sobrancelha (*T. melanophris*) e o albatroz-de-nariz-amarelo (*T. chlororhynchos*) são os mais abundantes no sul do Brasil, o primeiro sendo comum durante o inverno e o último ocorrendo o ano todo (Vooren and Fernandes 1989; Neves et al. 2006).

O albatroz-de-sobrancelha é considerado mais costeiro por Marchant & Higgins (1990), pois a partir de suas colônias esse albatroz se dispersa até plataformas continentais adjacentes em busca de alimento. Com distribuição circumpolar, nidifica em ilhas subantárticas no Oceano Índico (Crozet, Kerguelen, Heard, McDonald), no Oceano Pacífico (Campbell, Snares, Antípodas), Oceano Antártico (Macquaire, Bishop, Clerk), sul do Chile (Diego Ramírez, Ildefonso), Malvinas/Falkland na Argentina e no Oceano Atlântico (Geórgia do Sul e Sandwich do Sul) (Murphy 1936; Neves et al. 2006; Onley and Scofield 2007). As espécies das Malvinas/Falkland, após o período reprodutivo, buscam também a Plataforma Sul para a alimentação, sendo a espécie mais comum durante o inverno pela forte influência da Corrente das Malvinas neste período, principalmente em julho (Vooren and Brusque 1999; Olmos 2002). Os indivíduos imaturos são mais abundantes que os adultos nas águas do sul do Brasil, sendo encontrados com frequência mortos nas praias do Rio Grande do Sul, como também em avistagens à bordo (Vooren and Fernandes 1989; Olmos 1997; Scherer et al. 2011). O período reprodutivo nas Ilhas Malvinas/Falkland começa com os indivíduos chegando em final de agosto e a postura ocorrendo em outubro. Os juvenis deixam a colônia entre março e abril (Neves et al. 2006).

O albatroz-de-sobrancelha adulto apresenta o bico amarelo-alaranjado no culminicórneo, latericórneo e ramicórneo, sendo a unha maxilar e mandibular rósea. O

dorso, a cauda e a parte superior da asa são negros, O ventre, pescoço e cabeça são brancos, com a característica faixa negra no olho (sobrancelha). A porção interna da asa apresenta uma larga faixa branca em quase toda sua extensão. As patas são cinza-azuladas com algumas porções rosadas. O indivíduo juvenil apresenta o bico todo preto, mas torna-se acinzentado ao longo do primeiro ano. A porção dorsal é como a do adulto, no entanto a parte interna da asa é quase toda preta, exceto por uma estreita faixa acinzentada no centro, ao longo da extensão da asa. A cabeça também difere do adulto, pois apresenta nuca e colar acinzentados. Após o primeiro ano, uma série de plumagens intermediárias do indivíduo imaturo se seguem até que o indivíduo atinja a plumagem do adulto. As mudanças mais visíveis no imaturo ao longo dos anos são identificadas no bico, na porção interna das asas e no pescoço. O bico vai do cinza, cinza-amarelado e amarelo-pálido, com a unha maxilar e mandibular passando do preto, ao cinza. A parte interna das asas tem a faixa interna de penas brancas tornando-se cada vez mais larga. O colar e nuca cinza desaparecem gradualmente. Essa série de plumagem do imaturo duram do segundo ano ao quinto, Entre o sexto e o sétimo ano de vida, o albatroz-de-sobrancelha apresenta a plumagem completa do adulto (Vooren and Fernandes 1989; Bugoni and Furness 2009; Flood and Fisher 2016).

O albatroz-de-nariz-amarelo é uma espécie pelágica e concentra-se nas regiões subtropicais e em águas subantárticas mais quentes do Atlântico Sul (Marchant and Higgins 1990). Busca regiões de alta produtividade nas plataformas continentais, como na região da Convergência Subtropical, tanto no período reprodutivo como fora dele (Vooren and Brusque 1999). Nidifica nas Ilhas Gough e arquipélago de Tristão da Cunha (Murphy 1936; Neves et al. 2006). Prefere águas oceânicas mais quentes ao norte da Convergência Subtropical durante o inverno, sendo comum em águas fora da costa sul e sudeste do Brasil. Comum na plataforma continental do Rio Grande do Sul de setembro a maio, quando a Corrente das Malvinas atua com menos intensidade (Vooren and Fernandes 1989; Olmos 1997, 2002; Neves et al. 2006; Bugoni et al. 2008b). O período de maior encalhe nas praias do Rio Grande do Sul coincide com o período de setembro a maio em que a espécie é mais comum na plataforma continental deste Estado (Scherer et al. 2011). Os indivíduos adultos são mais abundantes que os juvenis durante os registros de verão (Olmos 1997). A espécie é severamente afetada pelo *bycatch*, e o fato das fêmeas adultas serem mais afetadas aumenta o declínio populacional já observado em Tristão da Cunha e Gough (Cuthbert et

al. 2003). O período de nidificação começa em agosto/setembro e os jovens deixam as colônias em abril/maio (Elliott 1957; Swales 1965).

O indivíduo adulto de albatroz-nariz-amarelo apresenta o culminicórneo completamente amarelo com a unha maxilar rosa. O latericórneo e ramicórneo são completamente negros. Na cabeça, a coroa e a testa são brancas, enquanto o pescoço, garganta e nuca são cinza-pálido. Também apresenta mancha ao redor do olho, marcadamente negra anteriormente. O dorso, a cauda e o dorso da asa são negros. O ventre é branco, bem como a porção interna do ventre da asa, que é margeada por uma estreita faixa negra. Os adultos reprodutivos apresentam marcante faixa nua de cor amarela nas laterais da base do bico no quinto ano de vida quando estão aptos para reprodução. As patas são cinza-azuladas. O indivíduo juvenil de primeiro ano apresenta o bico todo negro, a cabeça toda branca e mancha negra ao redor do olho é pouco visível. A porção ventral da asa é muito similar àquela do adulto, no entanto a margem negra é um pouco mais larga, sendo que mancha levemente de negro a porção interna branca na região do antebraço. A espécie também apresenta plumagens intermediárias nos indivíduos imaturos. Ao longo do culminicórneo negro do juvenil, a cor amarela vai surgindo aos poucos da base até a unguis maxilar a cada ano. A unguis maxilar só se torna mais rosada ao longo do terceiro ano. Na cabeça, a cor cinza começa a surgir paulatinamente entre o segundo e terceiro ano. O ventre da asa já assemelha-se ao adulto a partir ao longo do segundo ano (Furness 1988; Vooren and Fernandes 1989; Bugoni and Furness 2009; Flood and Fisher 2016).

Monitoramentos de praia e *bycatch*: respondendo perguntas sobre albatrozes

Todos os anos, os albatrozes dispersam-se pelos oceanos, aproximando-se de zonas costeiras e, conforme as necessidades de cada espécie e classe etária, retornam a suas colônias para o período reprodutivo (Weimerskirch et al. 1994; Phillips et al. 2005; Copello et al. 2013). Em suas rotas, interagem com atividades pesqueiras e com contaminantes vindos das mais diversas fontes antrópicas (Huin and Croxall 1996; Arnold et al. 2006; Bugoni et al. 2008a; Colabuono et al. 2009; Seco Pon et al. 2011; Jiménez et al. 2017b). Muitas vezes encalham nas praias vivos, ou são capturados por embarcações pesqueiras e encaminhados a centros de reabilitação (Petry et al. 2012; Faria et al. 2014). Cada vez mais

suas ilhas de destino reprodutivo enfrentam a degradação pela poluição e invasão de espécies exóticas (Dee Boersma et al. 2001; Wanless et al. 2007; Raymond et al. 2011). É sabido que toda a interação com as populações humanas tem causado impactos nas populações de albatrozes e alguns resultados dessas interações estão documentados e riscos/consequências avaliados, bem como medidas mitigatórias propostas (Cairns 1987; Cooper et al. 2006; Seco Pon et al. 2007; Dunn et al. 2007; Gregory 2009; Bugoni et al. 2010; ACAP 2017). Entretanto, há necessidade permanente de buscar conhecimento tanto dos impactos das atividades humanas nessas aves, como alguns aspectos da própria biologia das espécies em si para promover a conservação (Furness and Camphuysen 1997; Dee Boersma et al. 2001; ACAP 2017).

Estudos com as populações de albatrozes fora das colônias reprodutivas são restritos. Em sua dispersão, essas aves estão espalhadas pelas suas rotas ao longo dos oceanos, eventualmente, concentrando-se próximas a barcos pesqueiros em busca de alimento (Ballance 2007). Capturá-las, nesse contexto, também não é tarefa fácil. Contudo, quando as aves encalham nas praias ou são capturadas pelas atividades de pesca, fornecem uma oportunidade ímpar de coleta de amostras e avaliação das possíveis causas (Seys et al. 2002; Newman et al. 2006; Wiese and Elmslie 2006; Newton et al. 2009; Uhart et al. 2017a).

O Acordo Internacional para a Conservação de Albatrozes e Petréis – ACAP é um acordo multilateral que hoje conta com a colaboração de 13 países, entre eles o Brasil. O acordo foi aberto para assinaturas em 2001, entrando em vigor em 2004. Para elaboração do plano de ação internacional, ratificado a cada 4 anos, o ACAP apresenta grupos de pesquisa específicos para cada área sensível: *bycatch* (Seabird Bycatch Working Group – SBWG), status de populações e conservação (Population and Conservation Status Working Group – PCSWG), colônias reprodutivas (Breeding Sites Working Group – BSWG), status e tendências populacionais (Status and Trends Working Group – STWG), taxonomia (Taxonomy Working Group – TWG). O ACAP cobre 31 espécies ameaçadas, as 22 espécies de albatroz reconhecidas mundialmente e 9 espécies de petréis (ACAP 2018). Esses grupos de pesquisa supracitados publicam protocolos específicos para a pesquisa em termos de censo nas áreas de nidificação, mortalidade nas áreas de dispersão, coleta de amostras para investigação de impactos antrópicos, disseminação de doenças, medidas mitigatórias para a mortalidade nas atividades de pesca e erradicação de espécies invasoras

nas colônias reprodutivas (Cooke et al. 2017; Jiménez et al. 2017a; Uhart et al. 2017b). No âmbito nacional, o Plano de Ação Nacional para a Conservação de Albatrozes e Petréis – PLANACAP é estruturado de forma similar ao ACAP, reunindo participantes de diferentes segmentos da sociedade civil e pública e em 2017 encerrou sua primeira fase. Também prevê uma série de ações centradas na pesquisa e monitoramento das espécies de petréis que nidificam no Brasil e das espécies de albatrozes e petréis que utilizam as águas brasileiras para alimentação (CEMAVE/ICMBio 2013).

A PETROBRAS implantou desde 2015 o Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (PMP-BS) como medida de mitigação de impactos da exploração de petróleo na Bacia de Santos. O monitoramento constante das praias tem por objetivo avaliar os possíveis impactos das atividades da empresa sobre aves, mamíferos e tartarugas marinhas. Este projeto monitora aproximadamente 1.041 km de costa entre Ubatuba, São Paulo (23°S) e Laguna, Santa Catarina (28°S). O Relatório 2016-2017 PMP-BS informou 7.595 aves encalhadas de 53 espécies. Esse número é superior ao de encalhe de tartarugas em quase mil espécimes e em quase 6.000 o número registrado para os mamíferos (PETROBRAS 2018). Os animais encalhados mortos são coletados para necropsia e colheita de amostras e os animais encalhados vivos são encaminhados aos centros de reabilitação. Nesse sentido, a identificação precisa das aves encalhadas torna-se fundamental e uma metodologia como a do presente estudo pode otimizar a capacidade de identificação de albatrozes antes deixados apenas a nível de gênero.

Em relação a captura acidental, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) junto ao Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), em 2014, instituiu a Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA nº 7 que dá como medidas mitigatórias permanentes para a pesca de espinhal o uso da linha espanta-aves (*toriline*) e o regime de pesos (relação peso do chumbo x anzol), e como medida mitigatória transitória a largada noturna do espinhel. Além disso, o Projeto Albatroz realiza estimativas de *bycatch* pelas frotas pesqueiras do Sudeste e Sul do Brasil (Neves and Marques 2016).

II. OBJETIVOS, ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO E PRÓLOGO AOS ARTIGOS

O objetivo central desta dissertação é avaliar os aspectos morfológicos e morfométricos das duas espécies de albatrozes mais abundantes na Plataforma Sul, o albatroz-de-sobrancelha (*T. melanophris*) e o albatroz-de-nariz-amarelo (*Thalassarche chlororhynchos*). Os objetivos específicos são: 1) prover instrumentos de identificação osteológica das duas espécies por meio da morfometria; 2) entender o desenvolvimento osteológico pós-natal de *T. melanophris* e *T. chlororhynchos* e sua relação com a plumagem e história de vida dessas espécies.

A estrutura dessa dissertação foi apresentada por meio de uma introdução geral, para que o leitor tome conhecimentos sobre os principais tópicos da biologia, ecologia e anatomia do albatroz-de-sobrancelha e do albatroz-de-nariz-amarelo. A seguir, são apresentados dois artigos a serem submetidos a periódicos científicos, abordando tópicos específicos sobre a morfometria e morfologia das duas espécies. O primeiro artigo “Separating Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross by osteological morphometric analyses” a ser submetido ao periódico *Journal of Field Ornithology*, trata sobre a morfometria dos albatrozes tema desta dissertação. O principal resultado deste trabalho é a possibilidade de diferenciação das duas espécies por medidas do crânio e pós-crânio. É apresentado o range para 65 medidas e uma função discriminante utilizando medidas do esterno, úmero e ulna. O segundo artigo “Osteological postnatal development in two species of mollymawks and its relation to plumage”, a ser submetido ao periódico *Plos One*, trata dos aspectos morfológicos das duas espécies de albatrozes. O principal resultado do trabalho é apresentar como ocorre o desenvolvimento osteológico do crânio e de algumas peças do pós-crânio após ambas as espécies deixarem o ninho. Ainda, relaciona as sequências de ossificação observadas com o padrão de plumagem e discute esses aspectos em relação a história de vida das espécies.

Em relação à formatação dos artigos, apenas as referências bibliográficas estão formatadas de acordo com os periódicos escolhidos, a fim de não quebrar a formatação geral da dissertação. Ademais, as tabelas e figuras estão inseridas ao longo do texto,

facilitando a leitura, diferente do que é solicitado durante o processo de submissão de algumas publicações científicas.

III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As referências foram redigidas conforme as normas do periódico *Journal of Ornithology*, disponíveis em <http://www.springer.com/life+sciences/animal+sciences/journal/10336>.

- ACAP [online]. 2017. Report of the Tenth Meeting of the Advisory Committee. In AC10 Report p. . New Zealand.
- [online]. 2018. About ACAP.
<<https://www.acap.aq/index.php/resources/education/1078-about-acap?lang=en>>
(27 January 2018).
- ARNOLD, J.M., S. BRAULT and J.P. CROXALL. 2006. Albatross populations in peril : a population trajectory for Black-browed Albatrosses at South Georgia. *Ecological Applications* 16: 419–432.
- BALLANCE, L.T. 2007. Understanding seabirds at sea: Why and how? *Marine Ornithology* 35: 127–135.
- BUGONI, L. and R.W. FURNESS. 2009. Age composition and sexual size dimorphism of albatrosses and petrels off Brazil. *Marine Ornithology* 37: 253–260.
- BUGONI, L., P.L. MANCINI, D.S. MONTEIRO, L. NASCIMENTO and T.S. NEVES. 2008a. Seabird bycatch in the Brazilian pelagic longline fishery and a review of capture rates in the southwestern Atlantic Ocean. *Endangered Species Research* 5: 137–147.
- BUGONI, L., R.A.R. MCGILL and R.W. FURNESS. 2010. The importance of pelagic longline fishery discards for a seabird community determined through stable isotope analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 391: 190–200.
- BUGONI, L., T.S. NEVES, N.O. LEITE, D. CARVALHO, G. SALES, R.W. FURNESS, ET AL. 2008b. Potential bycatch of seabirds and turtles in hook-and-line fisheries of the Itaipava Fleet, Brazil. *Fisheries Research* 90: 217–224.
- CAIRNS, D.K. 1987. Seabirds as indicators of marine food supplies. *Biological Oceanography* 5: 261–271.
- CARBONERAS, C. 1992. Albatrosses (Diomedidae). In *Handbook of The Birds of the World* (J. Del Hoyo, A. Elliot & J. Sargatal, eds.), p. . Lynx Edicions, Barcelona.
- CARBONERAS, C. and A. BONAN [online]. 2018. Albatrosses (Diomedidae). In *Handbook of the Birds of the World Alive* (J. Del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D.A. Christie & E. De Juana, eds.), p. . Linx Edicions, Barcelona.
- CEMAVE/ICMbio [online]. 2013. Plano de Ação para a Conservação de Albatrozes e Petréis: Matriz de Planejamento. *PLANACAP*.

- <<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-plano-de-acao/pan-albatrozes/matriz-planejamento-atualizada-planacp-2013.pdf>> (25 January 2018).
- COLABUONO, F.I., V. BARQUETE, B.S. DOMINGUES and R.C. MONTONE [online]. 2009. Plastic ingestion by Procellariiformes in Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 58: 93–96. Elsevier Ltd.
- COOKE, B., K. SPRINGER, L. CAPUCCI and G. MUTZE. 2017. Rabbit haemorrhagic disease: Macquarie Island rabbit eradication adds to knowledge on both pest control and epidemiology. *Wildlife Research* 44: 93–96.
- COOPER, J., G.B. BAKER, M.C. DOUBLE, R. GALES, W. PAPWORTH, M.L. TASKER and S.M. WAUGH. 2006. The Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels: Rationale, history, progress and the way forward. *Marine Ornithology* 34: 1–5.
- COPELLO, S., J.P. SECO PON and M. FAVERO. 2013. Use of marine space by Black-browed albatrosses during the non-breeding season in the Southwest Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 123: 34–38.
- COULSON, J. [online]. 2001. Colonial Breeding in Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 87–113. CRC Press.
- CUTHBERT, R., P.G. RYAN, J. COOPER and G. HILTON. 2003. Demography and population trends of the Atlantic Yellow-nosed Albatross. *The Condor* 105: 439–452.
- DECHAUME-MONCHARMONT, F.-X., K. MONCEAU and F. CÉZILLY. 2011. Sexing Birds Using Discriminant Function Analysis: A Critical Appraisal. *The Auk* 128: 78–86.
- DEE BOERSMA, P., N. HILLGARTH and J. ALAN CLARK [online]. 2001. Seabird Conservation. In *Biology of Marine Birds* pp. 559–579. CRC Press.
- DÉNES, F. V. and L.F. SILVEIRA. 2007. Cranial osteology and taxonomy of albatrosses of genus *Diomedea* Linnaeus, 1758 and *Thalassarche* Reichenbach, 1853 (Procellariiformes: Diomeidae). *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)* 47: 43–61.
- DÉNES, F.V., C.J. CARLOS and L.F. SILVEIRA. 2007. The albatrosses of the genus *Diomedea* Linnaeus, 1758 (Procellariiformes: Diomeidae) in Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 15: 543–550.
- DOUBLE, M.C., R. GALES, T. REID, N. BROTHERS and C.L. ABBOTT. 2003. Morphometric comparison of Australian Shy and New Zealand White-capped Albatrosses. *Emu* 103: 287–294.
- DUNN, E., B. SULLIVAN and C. SMALL [online]. 2007. Albatross conservation: from identifying problems to implementing policy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: S165–S170.
- ELLIOTT, H.F.I. 1957. A contribution to the ornithology of the Tristan da Cunha Group. *Ibis* 99.
- EYTON, T.C. 1867. *Osteologia Avium: A sketch of the osteology of birds*. Hobson, Wellington, Salop, London.
- FARIA, F.A., L.E.T. BURGUEÑO, F.S. WEBER, F.J. SOUZA and L. BUGONI [online]. 2014. Unusual mass stranding of Atlantic yellow-nosed albatross (*Thalassarche*

- chlororhynchos), petrels and shearwaters in southern Brazil. *Waterbirds* 37: 446–450.
- FLOOD, B. and A. FISHER. 2016. *North Atlantic Seabirds: Albatrosses & Fulmarine Petrels. Pelagic Birds & Birding Multimedia Identification Guides*, Hockley, Essex.
- FORBES, W.A. 1882. Report on the anatomy of the Petrels (Tubinares). Report of the Scientific Results of the Exploration Voyage H.M.S. Challenger 1873-1876. *Zoology* 4: 1–64.
- FRANZ, I., C.E. AGNE, G.A. BENCKE, L. BUGONI and R.A. DIAS [online]. 2018. Four decades after Belton: a review of records and evidences on the avifauna of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia* 108.
- FURNESS, R.W. 1988. Influences of status and recent breeding experience on the moult strategy of the yellow-nosed albatross *Diomedea chlororhynchos*. *Journal of Zoology* 215: 719–727.
- FURNESS, R.W. and C.J. CAMPHUYSEN [online]. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 54: 726–737.
- FURNESS, R.W. and P. MONAGHAN. 1987. *Seabird Ecology*. In Chapman & Hall p. .
- GILL, F.B. 2007. *Ornithology*. W. H. Freeman and Company, New York.
- GOCHFELD, M. and J. BURGER [online]. 2001. Effects of Chemicals and Pollution on Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 485–526. CRC Press.
- GREGORY, M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 364: 2013–2025.
- HARRIS, M.P. 1973. The biology of the waved albatross *Diomedea irrorata* of Hood Island, Galapagos. *Ibis* 115: 483–510.
- HOWELL, S. 2010. *Molt in North American Birds*. Houghton Mifflin Harcourt, Boston.
- [online]. 2012. *Petrels, albatrosses, and storm-petrels of North America: a photographic guide*.
- HUIN, N. and J.P. CROXALL. 1996. Fishing gear, oil, and marine bird debris associated with seabirds at Bird Island, South Georgia during 1993/1994. *Marine Ornithology* 24: 1994–1997.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES [online]. 2017. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3*. <<http://www.iucnredlist.org>> (13 October 2017).
- JIMÉNEZ, S., Y. INOUE, C. ACEVEDO, K. OSHIMA, R. COELHO and A. DOMINGO [online]. 2017a. Eighth Meeting of the Seabird Bycatch Working Report of the workshop : Collaborative work to assess seabird bycatch in pelagic longline fleets (South Atlantic and Indian Oceans). In *SBWG8 inf 07 p. . ACAP, New Zealand*.
- JIMÉNEZ, S., J.C. XAVIER, A. DOMINGO, A. BRAZEIRO, O. DEFEIO, M. VIERA, ET AL. 2017b. Inter-specific niche partitioning and overlap in albatrosses and petrels: dietary divergence and the role of fishing discards. *Marine Biology* 164: 1–21. Springer Berlin Heidelberg.

- KURODA, N. 1954. On the classification and phylogeny of the Order Tubinares. Particularly the Shearwaters (*Puffinus*), With Special Considerations on their Osteology and Habit Differentiation. Published by the author, Tokyo.
- LOWE, P.R. 1925. On the Classification of Tubinares or Petrels. Proceedings of the Zoological Society of London XCIV: 1433–1443.
- MARCHANT, S. and P.J. HIGGINS. 1990. Diomedidae. In Handbook of Australian, New Zealand and Antarctic Birds pp. 296–301. Oxford University Press, Melbourne.
- MAYR, G. and J.L. GOEDERT [online]. 2017. Oligocene and Miocene albatross fossils from Washington State (USA) and the evolutionary history of North Pacific Diomedidae. *The Auk* 134: 659–671.
- MAYR, G. and T. SMITH. 2012. A fossil albatross from the Early Oligocene of the North Sea Basin. *The Auk* 129: 87–95.
- MCINNIS, J.C., R. ALDERMAN, M.A. LEA, B. RAYMOND, B.E. DEAGLE, R.A. PHILLIPS, ET AL. 2017. High occurrence of jellyfish predation by black-browed and Campbell albatross identified by DNA metabarcoding. *Molecular Ecology* 26: 4831–4845.
- MILNE-EDWARDS, A.M. 1867a. Recherches Anatomique et Paléontologiques pour servir a L'Histoire des Oiseaux Fossiles de la France: Atlas, Tomo Second. Victor Masson et Fils, Paris.
- . 1867b. Recherches Anatomique et Paléontologiques pour servir a L'Histoire des Oiseaux Fossiles de la France: Atlas, Tomo Primer. Victor Masson et Fils, Paris.
- . 1869. Recherches Anatomique et Paléontologiques pour servir a L'Histoire des Oiseaux Fossiles de la France: Tomo Second. Libraire de G. Masson, Paris.
- MURPHY, R.C. 1936. Oceanic Birds of South America Volumen II. Macmillan Company, New York.
- NEVES, T., L. BUGONI and C.L.D.B. ROSSI-WONGTSCHOWSKI. 2006. Aves oceânicas e suas interações com a pesca na Região Sudeste-Sul do Brasil. In *Dados Revizee-Score Sul* p. . USP, São Paulo.
- NEVES, T.S. and C.A. MARQUES. 2016. Boletim Técnico Científico do Projeto Albatroz.
- NEWMAN, S.H., R.J. HARRIS and F.S. TSENG. 2006. Beach surveys past, present, and future: toward a global surveillance network for stranded seabirds. *Marine Ornithology* 34: 87–90.
- NEWTON, K.M., D.A. CROLL, H.M. NEVINS, S.R. BENSON, J.T. HARVEY and B.R. TERSHY. 2009. At-sea mortality of seabirds based on beachcast and offshore surveys. *Marine Ecology Progress Series* 392: 295–305.
- NUNN, G.B., J. COOPER, P. JOUVENTIN and G.G. ROBERTSON [online]. 1996. Evolutionary Relationships Among Extant Albatrosses (*Procellariiformes*: *Diomedidae*) Established From Complete Cytochrome-B Gene Sequences. *The Auk* 113: 784–801.
- ODEBRECHT, C. and J.P. CASTELLO. 2001. The Convergence Ecosystem in the Southwest Atlantic. In *Coastal and Marine Ecosystems of Latin America* (P.C. Lana, E. Marone, R.M. Lopes, E.C. Machado, U. Seeliger, L.D. Lacerda & B. Kjerfve, eds.), pp. 147–

165. Spring, Berlin.
- OLMOS, F. 1997. Seabirds attending bottom long-line fishing off southeastern Brazil. *Ibis* 139: 685–691.
- . 2002. Non-breeding seabirds in Brazil: A review of band recoveries. *Ararajuba* 10: 31–42.
- OLSON, S.L. 1983. Fossil seabirds and changing marine environments in the Late Tertiary of South Africa. *South African Journal of Science* 79: 399–402.
- OLSON, S.L. 1985. The fossil record of birds. In *Avian Biology* p. .
- OLSON, S.L. [online]. 1984. Evidence of a large albatross in the Miocene of Argentina (Aves: Diomedidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 97: 741–743.
- ONLEY, D. and R.P. SCOFIELD. 2007. *Albatrosses, Petrels and Shearwaters of the world*. Christopher Helm, London.
- PETROBRAS [online]. 2018. Relatório Técnico Anual 2016-2017. In PROJETO DE MONITORAMENTO DE PRAIAS BACIA DE SANTOS - FASE I p. .
- PETRY, M.V., J.F.M. SCHERER and A.L. SCHERER. 2012. Ocorrência, alimentação e impactos antrópicos de aves marinhas nas praias do litoral do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 20: 65–70.
- PFEIFHOFER, G. and H. TRIBUTSCH. 2014. The flight of Albatross - How to transform it into aerodynamic engineering? *Engineering* 6: 427–438.
- PHILLIPS, R.A., R. GALES, G.B. BAKER, M.C. DOUBLE, M. FAVERO, F. QUINTANA, ET AL. 2016. The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. *Biological Conservation*. .
- PHILLIPS, R.A., J.R.D. SILK, J.P. CROXALL, A. VSEVOLOD and V.J. BENNETT. 2005. Summer Distribution and Migration of Nonbreeding Albatrosses : Individual Consistencies and Implications for Conservation. *Ecology* 86: 2386–2396.
- PHILLIPS, R.A., J.R.D. SILK, B. PHALAN, P. CATRY and J.P. CROXALL. 2004. Seasonal sexual segregation in two *Thalassarche* albatross species: competitive exclusion, reproductive role specialization or foraging niche divergence? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 271: 1283–1291.
- PIACENTINI, V. DE Q., A. ALEIXO, C.E. AGNE, G.N. MAURÍCIO, J.F. PACHECO, G.A. BRAVO, ET AL. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee / Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia* 23: 91–298.
- PIOLA, A.R. and R.P. MATANO. 2001. Brazil and Falklands (Malvinas) currents. In *Ocean currents: a derivative of the encyclopedia of ocean sciences* (J.H. Steele, S.A. Thorpe & K.K. Turekian, eds.), pp. 35–43. Elsevier, London.
- PRINCE, P.A., S. RODWELL, M. JONES and P. ROTHERY. 1993. Molt in Black-browed and Grey-headed Albatrosses *Diomedea melanophris* and *D. chrysostoma*. *Ibis* 135: 121–131.
- PYCRAFT, W.P. 1899. *Contribution to the Osteology of Birds. Part III. Tubinares*.

- Proceedings of the Zoological Society of London: 381–411.
- RAYMOND, B., J. MCINNES, J.M. DAMBACHER, S. WAY and D.M. BERGSTROM. 2011. Qualitative modelling of invasive species eradication on subantarctic Macquarie Island. *Journal of Applied Ecology* 48: 181–191.
- SCHERER, J.F.M., A.L. SCHERER and M.V. PETRY. 2011. Ocorrência de carcaças de aves marinhas no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 19: 505–513.
- SCHREIBER, E.A., J. BURGER and K. HAMER [online]. 2001. Breeding Biology, Life Histories, and Life History? Environment Interactions in Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 217–262. CRC Press.
- SECO PON, J.P., O. BELTRAME, J. MARCOVECCHIO and M. FAVERO. 2011. Trace metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of Black-browed Albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf Juan. *Marine Ecology Progress Series* 72: 40–45.
- SECO PON, J.P., P.A. GANDINI and M. FAVERO. 2007. Effect of longline configuration on seabird mortality in the Argentine semi-pelagic Kingclip *Genypterus blacodes* fishery. *Fisheries Research* 85: 101–105.
- SEELIGER, U. and C. ODEBRECHT. 1998. Introdução e Aspectos Gerais. In *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil* (U. Seeliger, C. Odebrecht & J.P. Castello, eds.), pp. 1–4. *Ecocientia*, Rio Grande.
- SEYS, J., H. OFFRINGA, J. VAN WAEYENBERGE, P. MEIRE and E. KUIJKEN. 2002. An evaluation of beached bird monitoring approaches. *Marine Pollution Bulletin* 44: 322–333.
- SHEALER, D. [online]. 2001. Foraging Behavior and Food of Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 137–178. CRC Press.
- SHUFELDT, R.W. 1888. Observations upon the osteology of the order Tubinares and Steganopodes. *Proceedings of the United States Museum*: 253–315.
- . 1907. On the Osteology of the Tubinares. *The American Naturalist* 41: 109–124.
- SICK, H. 2001. *Ornitologia Brasileira*, 4th edition. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- STUCCHI, M. and M. URBINA [online]. 2005. Nuevos Restos De Procellariiformes (Aves) De La Formación Pisco, Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 100: 67–77.
- SWALES, M.K. 1965. The sea-birds of Gough Island. *Ibis* 107: 17–42.
- UHART, M., L. GALLO, E. FRERE and F. QUINTANA [online]. 2017a. Guidelines for sampling tissues from by-caught dead birds (with applicability for fresh beached carcasses). In *PaCSWG4 Inf 23 Agenda Item 13.3* pp. 1–19. ACAP, New Zealand.
- UHART, M., P.P. SERAFINI, B.D. HARDESTY and B. WIENECKE [online]. 2017b. Guidelines to assess potential impacts of plastic and microplastic in ACAP species. In *PaCSWG4 Doc 09 Agenda Item 10.3* p. . ACAP, New Zealand.
- VOOREN, C. and L. BRUSQUE [online]. 1999. As Aves Do Ambiente Costeiro Do Brasil: Biodiversidade E Conservação. In *Avaliação e Ações Prioritárias para a Zona Costeira e Marinha*, p. . Programa Nacional de Diversidade Biológica (PRONABIO), Rio Grande.

- VOOREN, C.M. and C. FERNANDES. 1989. Guia de Albatrozes e Petréis do Sul do Brasil. Sagra, Porto Alegre.
- WALSH, S. A. and J.P. HUME [online]. 2001. A new Neogene marine avian assemblage from north-central Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 21: 484–491.
- WANLESS, R.M., A. ANGEL, R.J. CUTHBERT, G.M. HILTON and P.G. RYAN [online]. 2007. Can predation by invasive mice drive seabird extinctions? *Biology Letters* 3: 241–244.
- WARHAM, J. 1996a. Petrel Populations. In *Behaviour, Population and Physiology of Petrels* pp. 1–62. Academic Press, Christchurch.
- . 1996b. Feeding and Foods. In *Behaviour, Population and Physiology of Petrels* pp. 124–171. Academic Press, Christchurch.
- . 1996c. Anatomical Matters. In *Behaviour, Population and Physiology of Petrels* pp. 424–473. Academic Press, Christchurch.
- WEIMERSKIRCH, H. [online]. 2001. Seabird Demography and Its Relationship with the Marine Environment. In *Biology of Marine Birds* pp. 115–136. CRC Press.
- WEIMERSKIRCH, H., O. CHASTEL, L. ACKERMANN, T. CHAURAND, F. CUENOT-CHAILLET, X. HINDERMEYER and J. JUDAS [online]. 1994. Alternate long and short foraging trips in pelagic seabird parents. *Animal Behaviour*.
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003347284710657>>.
- WIESE, F.K. and K. ELMSLIE. 2006. Underuse and misuse of data from beached bird surveys. *Marine Ornithology* 34: 157–159.

IV. ARTIGO I

SEPARATING BLACK-BROWED AND ATLANTIC YELLOW-NOSED
ALBATROSS BY OSTEOLOGICAL MORPHOMETRIC ANALYSES

Alice Pereira¹, Maurício Tavares^{1,2}, Ignacio Moreno^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves 950, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CECLIMAR/UFRGS. Avenida Tramandaí 976, Centro, CEP 95625-000, Imbé, RS, Brasil.

ABSTRACT

Identifying albatross species involves recognizing plumage pattern and bill coloration. However, skeleton specimens in museums or deteriorated beached carcasses may preclude the identification through external characters. Although it is possible to distinguish Black-browed (*Thalassarche melanophris*) from Atlantic Yellow-nosed Albatross (*T. chlororhynchos*) based upon skull morphology, if the skull is not available the specimen remains unidentified. We measured 96 specimens of Black-browed and 55 Atlantic Yellow-nosed Albatross performing 65 measurements for the entire skeleton. Sixty measurements were based on literature and five new ones were established specifically for this work. To search for morphometric differences, we carried out t-test and discriminant function analysis (DFA). Moreover, we bring a discriminant function derived from the DFA based on six postcranium measurements. Sixty-one measurements (93.85%) of Black-browed Albatross were significantly larger than those from Atlantic Yellow-nosed Albatross. The DFA assigned the species correctly in approximately 96% of the specimens. The discriminant function applying six postcranium measurements correctly identified 97.35% of specimens. This is the first work on osteological morphometric analysis of the entire skeleton for Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatross based on many evaluated specimens.

Keywords: beach survey, discriminant analysis, mollymawk, osteology, *Thalassarche*.

INTRODUCTION

Albatrosses are seabirds widely distributed across Southern Hemisphere oceans, with some species also occurring in the Northern Hemisphere; they are currently divided in four genera: *Diomedea*, *Phoebastria*, *Phoebetria* and *Thalassarche* (Robertson and Nunn 1996). The last are called mollymawks and are the smallest species within those genera (Onley and Scofield 2007). The major threat for mollymawks is bycatch in longline fisheries (Bugoni et al. 2008a; Jiménez et al. 2009; Croxall et al. 2012). Two abundant species of mollymawks in the Southern Atlantic Ocean are Black-browed Albatross, (*Thalassarche melanophris*) and Atlantic Yellow-nosed Albatross, (*Thalassarche chlororhynchos*) (Olmos 1997; Neves et al. 2006). The former breeds in subantarctic islands in Atlantic, Pacific and Indian Oceans, whereas the latter is restricted to Atlantic basin, breeding in Malvinas/Falkland Island, South Georgia and Tristan da Cunha group (Murphy 1936; Marchant and Higgins 1990; Onley and Scofield 2007). During non-breeding season, both species can disperse far from their breeding sites in search of food (Huin 2002; Olmos 2002; Phillips et al. 2005; Neves et al. 2006). South and Southeastern Brazilian waters are important wintering grounds for Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatrosses (Olmos 2002; Phillips et al. 2005; Neves et al. 2006). Southern Brazil presents one of the most productive regions of the world, the Brazil/Malvinas Confluence, which offers great amount of food supplies for seabirds (Seeliger et al. 1997; Piola and Matano 2001). Albatrosses are commonly seen following fishing vessels in this region to feed on fishery discards. In the southern Brazil, they are frequently found beached (Olmos 1997; Bugoni et al. 2008b; Scherer et al. 2011).

Beach surveys are a useful method for collecting information about pelagic birds, because carcasses can provide samples for studies on bird health conditions, mortality, and potential threats (Hamel et al. 2009; Tavares et al. 2016; Uhart et al. 2017). In this sense, ensure that specimens are correctly identified is essential.

For albatrosses, plumage pattern and bill coloration are sufficient to identify species and maturity (Bugoni and Furness 2009; Flood 2014; Bugoni et al. 2015). On beach surveys, carcass deterioration impedes species identification. Frequently, skull features can be used to determine albatross species (Dénes and Silveira 2007; Dénes et al. 2007). However, when the carcass is in advanced decomposition state and the skull is missing, the species remains unidentified due the lack of an alternative method of skeleton identification.

Previous studies showed morphometric differences between both species, based on external biometry of live animals or skin specimens (Marchant and Higgins 1990; Waugh et al. 1999; Bugoni and Furness 2009). Forbes (1882) presented some osteological measurements of hind and forelimbs of Black-browed Albatross and other Procellariiformes. However, studies on morphometrics of the entire skeleton of these two species are unknown. In fact, morphometric studies encompassing osteological material for Procellariiformes are scarce. This work aimed: a) to present morphometric data differences for the complete skeleton of Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross, and b) to establish a reliable method to differentiate Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross through postcranial skeletal measurements.

Thus, we present the first comprehensive osteological morphometric analysis of the entire skeleton for Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatross based on a large sample size. In addition, we present a comparative analysis of the morphometry of both species.

METHODS

Specimens. We evaluated 151 specimens, 96 *T. melanophris* and 55 *T. chlororhynchos*. Three ornithological collections from Rio Grande do Sul State (southern Brazil) were visited: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZBRS), Museu de Ciências Naturais (MUCIN) from Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), and Museu de Ciência e Tecnologia (MCT) from Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) (Supplemental Table S1 – *Apêndice 1 desta dissertação*). The examined material comprised 83 complete skeletons, 35 incomplete skeletons, 21 complete skulls and 11 incomplete skulls (e.g. lacking pterygoids or lachrymals, but not influencing on measurements). We confirmed the museum label identification of specimens by cranial morphology based on Denés and Silveira (2007), before proceeding all the analyses.

Measurements. Sixty measurements were based on Spring (1971), Livezey and Humphrey (1984) and Livezey (1989). We added five new measurements, specifically for this work: internarial width, interorbital width, keel length, maximum sternal length, and nasal gland fossa width (see Supplemental Table S2 - *Apêndice 1 desta dissertação*, Figure 1). All

measurements were taken by AP with an electronic caliper Starrett EC799A-12/300 model with 0-300 mm range and 0.01 mm accuracy.

Statistical analysis. We tested the normality of each measurement using Shapiro-Wilk W test, and compared the data between Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatrosses by Student's-t test. We defined a significance level of $P \leq 0.05$ for all statistical analyses. To distinguish the albatross species, we carried out discriminant function analysis (DFA). It consists in applying mathematical functions through combination of predictors capable of classifying observed data within a population with known parameters. The highest value resulting from functions assigns the group (i.e. the species). Some skeletons were not complete, thus we proceeded with single imputation by regression. We applied discriminant analysis method for specimens using all 65 measurements. To test the power of the analysis, we used cross-validation technique by leave-one-out method 10000 rounds. This methodology consists in resampling the entire data set removing one sample (e.g. specimen) in each turn. Observations on carcasses during beach surveys led us to choose some specific measurements from postcranium. In this sense, we selected six measurements from sternum and wing bones: total sternal length (TSL), maximum sternal length (MSL), least sternal width (LSW), anterior sternal width (ASW), humerus length (HL) and ulna length (UL). The analysis provided coefficients for each measurement and one constant for each species. To calculate a classification score for Black-browed Albatross and Atlantic Yellow-nosed Albatross we used the original morphometric data and classification coefficients derived from the DFA:

$$\text{Classification score} = \text{constant} + c_1(\text{TSL}) + c_2(\text{MSL}) + c_3(\text{LSW}) + c_4(\text{ASW}) + c_5(\text{HL}) + c_6(\text{UL}),$$

where $c_1, c_2 \dots$ are the classification coefficients for each measurement retained in the DFA. Each specimen was assigned to the group that gave the highest classification score. We applied the derived discriminant function for the entire data set to test its discriminatory power. We carried out normality test and DFA in SPSS 18.0 (Carver and Nash 2011), and for t-test we used R 3.4.0 (R Core Team 2017).

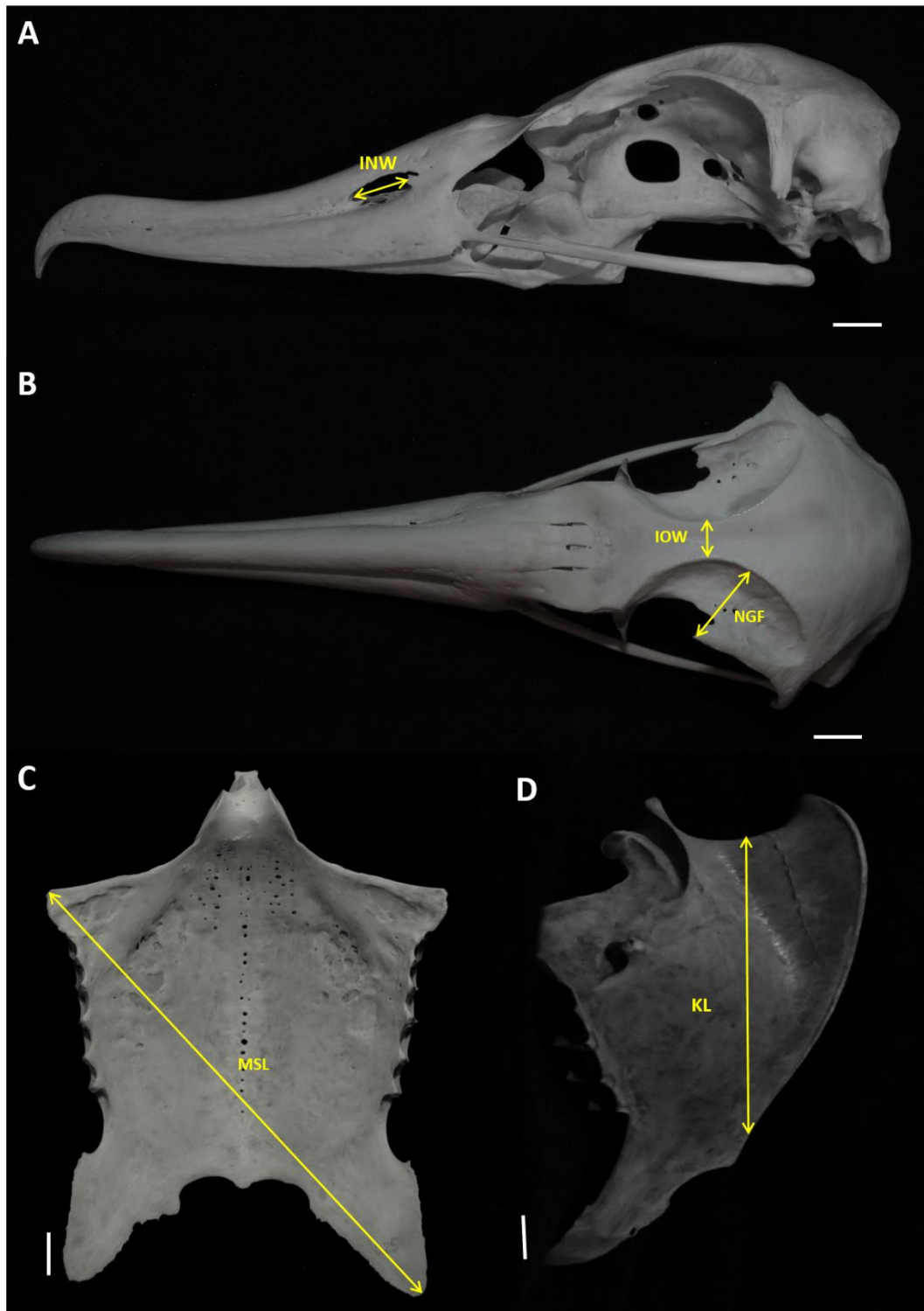


Figure 1: Five measurements established for this work. A. INW = internarial width. B. IOW = Interorbital width, NGF = nasal gland fossa. C. MSL = maximum sternal length. D. KL = keel length. White bar = 1 cm.

RESULTS

Sixty-one measurements (93.85%) of Black-browed Albatross were significantly larger than that from Atlantic Yellow-nosed Albatross (Supplemental Table S3 – *Apêndice I desta dissertação*, Figure 2). In only one measurement, the interorbital width, Atlantic Yellow-nosed Albatross was significantly larger than Black-browed Albatross (Figure 2). Three measurements were not statistically significant: dorsal width of upper mandible's base, manubrium length, and sternal length posterior to keel.

The DFA (n=65 measurements) identified correctly 148 (98.01%) of 151 specimens. The misclassified cases were three *T. chlororhynchos* specimens (MUCIN 832, MUCIN 833 and MCT 624a) that grouped to *T. melanophris*. When we performed the DFA with only the six measurements, it could classify 149 (98.68%) from 151 specimens correctly. The two misclassified cases were the same specimens from MUCIN ornithological collection of the previous analysis (MUCIN 832 and MUCIN 833).

The result for cross-validation test was like the results of the DFA applying the six measurements (Table 1). Cross-validation predicted 96% of specimens correctly. The classification function coefficients (Table 2) of the six-measurement discriminant function correctly identified 97.35% (147 of 151) of all specimens (Table 3).

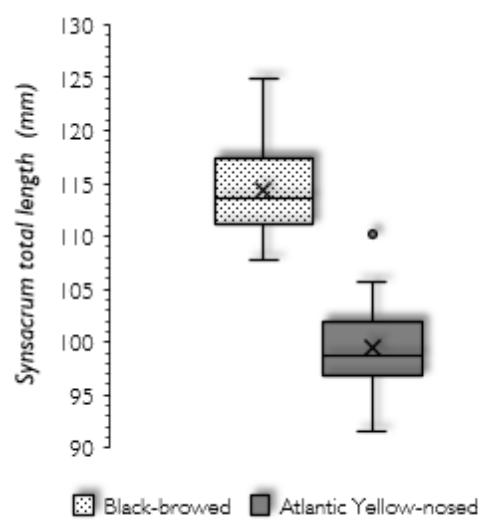
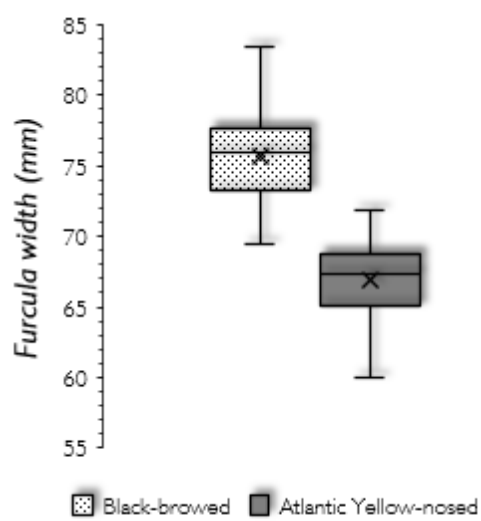
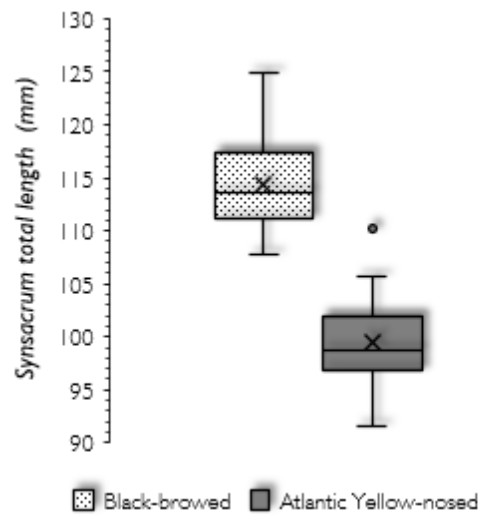
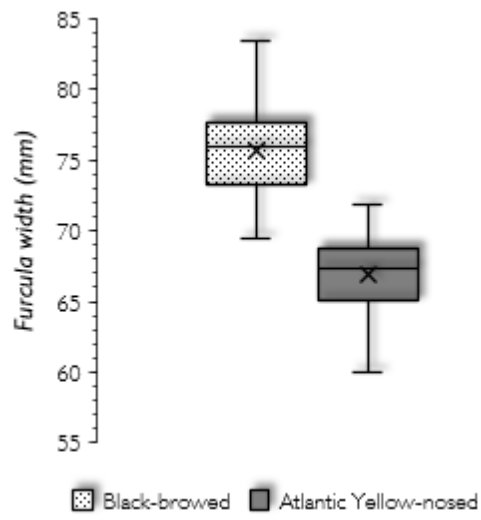
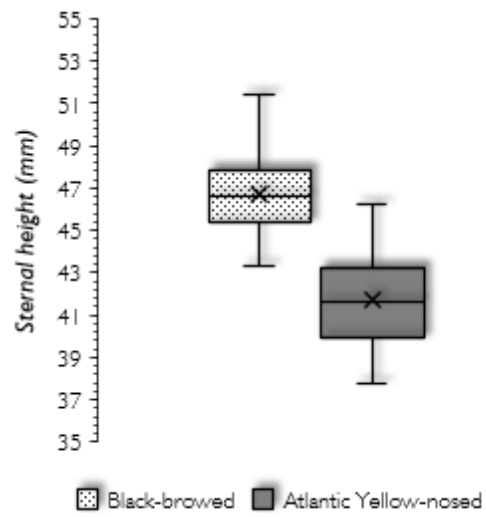
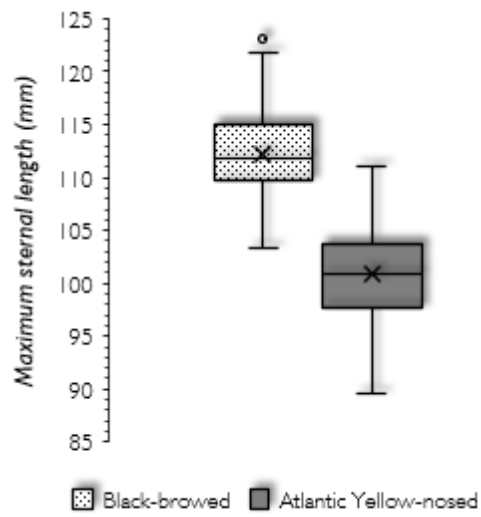


Figure 2: Boxplots of six measurements from the 61 statistically different (confidence level = 95%) by Student's-t test results. Legend: box = interquartile range, box midline = median, dots = outliers, x = mean, whiskers = measurements range.

Table 1. Classification results for cross-validation test. Group labels, 1 = Black-browed Albatross, 2 = Atlantic Yellow-nosed Albatross.

	Species	Predicted Group Membership ^b		Total	
		1	2		
		Cross-validated ^a	<i>n</i>		1
		2	4	51	55
	%	1	97.9	2.1	100.0
		2	7.3	92.7	100.0

a. 96.00% of original grouped cases correctly classified.

Table 2. Classification functions for species identification.

Osteological Measures	Classification Coefficients	
	Black-browed Albatross	Atlantic Yellow-nosed Albatross
TSL	1.928	0.634
MSL	0.685	0.806
LSW	-0.981	-1.182
ASW	0.883	1.089
HL	0.288	0.238
UL	4.586	4.693
(Constant)	-784.362	-702.322

Table 3: Reclassification of the data set (N=151) applying the six-measurement discriminant function, where 97.35% of specimens were correctly classified.

Actual group membership	Predicted group membership	
	Black-browed Albatross	Atlantic Yellow-nosed Albatross
Black-browed Albatross	96	0
Atlantic Yellow-nosed Albatross	4	55

DISCUSSION

Morphometric studies of live animals and/or skin specimens among Procellariiformes are the commonest approach to access the species differences (Waugh et al. 1999; Bugoni

and Furness 2009; Judge et al. 2014), and studies on osteological morphometrics are uncommon, especially concerning postcranium (Forbes 1882; Porcasi 1999; Olson 2008; Mayr and Smith 2012). For paleontology approaches, postcranium is already an important, and sometimes the only part of skeleton available to distinguish between different species or sexes (Dodson 1975; Dawson 1994; Chinnery 2004). Among other groups of birds, there are works that deal with skeletons for discussing phylogeny, adaptations and fossil record, but they are also few (Spring 1971; Livezey 1989; Holdaway and Worthy 1993). Osteological morphometry offers several potential advantageous applications (e.g. identifying museum skeletons, beached carcasses, sex differentiation and others). Correctly identifying museum material is crucial for carrying out populational studies through museum specimens (Burgman et al. 1995), studies on systematics (Olson 2003), and inventories (Cooper and Steinheimer 2003).

Alternative methods to identify albatrosses as proposed in this study is helpful to improve the accuracy of the data presented on beach survey accounts. Brazil shows an increasing of beach surveys programs (e.g. Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos – PMP-BS). This project funded by PETROBRAS monitors approximately 1041 km of coastline, between Ubatuba, São Paulo State (23°S) and Laguna, Santa Catarina State (28°S). The 2016-2017 PMP-BS annual report informed 7595 beached birds of 53 species. This number overcame in almost one thousand specimens considering the numbers of beached turtles, and almost 6,000 the number of beached marine mammals (PETROBRAS 2018).

Discriminant function analysis was also used for identifying alive White-capped (*Thalassarche steadi*) and Shy (*T. cauta*) Albatrosses (Double et al. 2003), as well as for identifying Wandering (*Diomedea exulans*) and Tristan (*D. dabbenena*) Albatrosses (Cuthbert et al. 2003). The former study showed 89% of correct identification of species and the later 98%. The present study showed 98% of precision using 65 osteological measurements and 98.7% for the six postcranium measurements. Now, it should be necessary to carry out morphometric skeletal analysis for White-capped and Shy Albatross, and for Grey-headed Albatross (*T. chrysostoma*), as these three congeners occur in the same areas as Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross. In fact, to perform osteological morphometric analysis for all the species of genus *Thalassarche* is required, as the five species of this genus occur in Southern Brazil, Uruguay and Argentina (Costa et al. 2011; Pon and Tamini 2013;

Jiménez et al. 2015). However, the osteological material of albatrosses is scarce in scientific collections, especially for White-capped and Shy Albatross, and for Grey-headed Albatross.

Sexual size dimorphism (SSD) is present in *Thalassarche* species, males are larger than females (Double et al. 2003; Phillips et al. 2004). SSD has important effect in results of a discriminant analysis and can explain the variance in a data set (Dechaume-Moncharmont et al. 2011). It is reasonable that our results are influenced by SSD, and the overlapping region of our results can be explained by similarities in size of Black-browed Albatross females and Atlantic Yellow-nosed males. Further studies involving specimens of known gender information can confirm it.

This work presents the first osteological morphometric analysis of the complete skeleton for Black-browed and Atlantic-Yellow-nosed, and hitherto for Diomedidae species. The results here presented brings the possibility to identify Black-browed and Atlantic-Yellow-nosed specimens through any osteological piece from the entire skeleton, providing a valuable tool for museum curators, beach surveys coordinators and other interested researchers. Even though there is an overlap in measurements between the two species, the multiple measurement options and the discriminant function can offer some result out of the overlap region. Besides, the morphometric analysis can be combined to cranial morphology analysis (e.g. Denés and Silveira 2007) to enhance the results.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Glayson A. Bencke from Fundação Zoobotânica (FZBRS) and Carla Suertegaray Fontana from Museu de Ciência e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica (MCT -PUCRS) for access to the ornithological collections. We also would like to thank Doctor Jandyra Maria Guimarães Fachel of Instituto de Matemática e Estatística (IME) from Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) for the assistance in statistical methods. We are very grateful to all CECLIMAR team for the logistical support. Thanks to Nicholas W. Daudt for his valuable suggestions. A.P. was supported by a scholarship of Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

LITERATURE CITED

- ACAP [online]. 2017. Report of the Tenth Meeting of the Advisory Committee. In AC10 Report p. . New Zealand.
- [online]. 2018. About ACAP.
<<https://www.acap.aq/index.php/resources/education/1078-about-acap?lang=en>> (27 January 2018).
- ARNOLD, J.M., S. BRAULT and J.P. CROXALL. 2006. Albatross populations in peril : a population trajectory for Black-browed Albatrosses at South Georgia. *Ecological Applications* 16: 419–432.
- BALLANCE, L.T. 2007. Understanding seabirds at sea: Why and how? *Marine Ornithology* 35: 127–135.
- BUGONI, L. and R.W. FURNESS. 2009. Age composition and sexual size dimorphism of albatrosses and petrels off Brazil. *Marine Ornithology* 37: 253–260.
- BUGONI, L., P.L. MANCINI, D.S. MONTEIRO, L. NASCIMENTO and T.S. NEVES. 2008a. Seabird bycatch in the Brazilian pelagic longline fishery and a review of capture rates in the southwestern Atlantic Ocean. *Endangered Species Research* 5: 137–147.
- BUGONI, L., R.A.R. MCGILL and R.W. FURNESS. 2010. The importance of pelagic longline fishery discards for a seabird community determined through stable isotope analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 391: 190–200.
- BUGONI, L., T.S. NEVES, N.O. LEITE, D. CARVALHO, G. SALES, R.W. FURNESS, ET AL. 2008b. Potential bycatch of seabirds and turtles in hook-and-line fisheries of the Itaipava Fleet, Brazil. *Fisheries Research* 90: 217–224.
- CAIRNS, D.K. 1987. Seabirds as indicators of marine food supplies. *Biological Oceanography* 5: 261–271.
- CARBONERAS, C. 1992. Albatrosses (Diomedidae). In *Handbook of The Birds of the World* (J. Del Hoyo, A. Elliot & J. Sargatal, eds.), p. . Lynx Edicions, Barcelona.
- CARBONERAS, C. and A. BONAN [online]. 2018. Albatrosses (Diomedidae). In *Handbook of the Birds of the World Alive* (J. Del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D.A. Christie & E. De Juana, eds.), p. . Linx Edicions, Barcelona.
- CEMAVE/ICMBIO [online]. 2013. Plano de Ação para a Conservação de Albatrozes e Petréis: Matriz de Planejamento. *PLANACAP*.
<<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-plano-de-acao/pan-albatrozes/matriz-planejamento-atualizada-planacp-2013.pdf>> (25 January 2018).
- COLABUONO, F.I., V. BARQUETE, B.S. DOMINGUES and R.C. MONTONE [online]. 2009. Plastic ingestion by Procellariiformes in Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 58: 93–96. Elsevier Ltd.
- COOKE, B., K. SPRINGER, L. CAPUCCI and G. MUTZE. 2017. Rabbit haemorrhagic disease: Macquarie Island rabbit eradication adds to knowledge on both pest control and epidemiology. *Wildlife Research* 44: 93–96.
- COOPER, J., G.B. BAKER, M.C. DOUBLE, R. GALES, W. PAPWORTH, M.L. TASKER and S.M. WAUGH. 2006. The Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels: Rationale, history, progress and the way forward. *Marine Ornithology* 34: 1–5.

- COPELLO, S., J.P. SECO PON and M. FAVERO. 2013. Use of marine space by Black-browed albatrosses during the non-breeding season in the Southwest Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 123: 34–38.
- COULSON, J. [online]. 2001. Colonial Breeding in Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 87–113. CRC Press.
- CUTHBERT, R., P.G. RYAN, J. COOPER and G. HILTON. 2003. Demography and population trends of the Atlantic Yellow-nosed Albatross. *The Condor* 105: 439–452.
- DECHAUME-MONCHARMONT, F.-X., K. MONCEAU and F. CÉZILLY. 2011. Sexing Birds Using Discriminant Function Analysis: A Critical Appraisal. *The Auk* 128: 78–86.
- DEE BOERSMA, P., N. HILLGARTH and J. ALAN CLARK [online]. 2001. Seabird Conservation. In *Biology of Marine Birds* pp. 559–579. CRC Press.
- DÉNES, F. V. and L.F. SILVEIRA. 2007. Cranial osteology and taxonomy of albatrosses of genus *Diomedea* Linnaeus, 1758 and *Thalassarche* Reichenbach, 1853 (Procellariiformes: Diomeidae). *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)* 47: 43–61.
- DÉNES, F.V., C.J. CARLOS and L.F. SILVEIRA. 2007. The albatrosses of the genus *Diomedea* Linnaeus, 1758 (Procellariiformes: Diomeidae) in Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 15: 543–550.
- DOUBLE, M.C., R. GALES, T. REID, N. BROTHERS and C.L. ABBOTT. 2003. Morphometric comparison of Australian Shy and New Zealand White-capped Albatrosses. *Emu* 103: 287–294.
- DUNN, E., B. SULLIVAN and C. SMALL [online]. 2007. Albatross conservation: from identifying problems to implementing policy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: S165–S170.
- ELLIOTT, H.F.I. 1957. A contribution to the ornithology of the Tristan da Cunha Group. *Ibis* 99.
- EYTON, T.C. 1867. *Osteologia Avium: A sketch of the osteology of birds*. Hobson, Wellington, Salop, London.
- FARIA, F.A., L.E.T. BURGUEÑO, F.S. WEBER, F.J. SOUZA and L. BUGONI [online]. 2014. Unusual mass stranding of Atlantic yellow-nosed albatross (*Thalassarche chlororhynchos*), petrels and shearwaters in southern Brazil. *Waterbirds* 37: 446–450.
- FLOOD, B. and A. FISHER. 2016. *North Atlantic Seabirds: Albatrosses & Fulmarine Petrels. Pelagic Birds & Birding Multimedia Identification Guides*, Hockley, Essex.
- FORBES, W.A. 1882. Report on the anatomy of the Petrels (Tubinares). Report of the Scientific Results of the Exploration Voyage H.M.S. Challenger 1873–1876. *Zoology* 4: 1–64.
- FRANZ, I., C.E. AGNE, G.A. BENCKE, L. BUGONI and R.A. DIAS [online]. 2018. Four decades after Belton: a review of records and evidences on the avifauna of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia* 108.
- FURNESS, R.W. 1988. Influences of status and recent breeding experience on the moult strategy of the yellow-nosed albatross *Diomedea chlororhynchos*. *Journal of Zoology*

215: 719–727.

- FURNESS, R.W. and C.J. CAMPHUYSEN [online]. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 54: 726–737.
- FURNESS, R.W. and P. MONAGHAN. 1987. Seabird Ecology. In Chapman & Hall p. .
- GILL, F.B. 2007. Ornithology. W. H. Freeman and Company, New York.
- GOCHFELD, M. and J. BURGER [online]. 2001. Effects of Chemicals and Pollution on Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 485–526. CRC Press.
- GREGORY, M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings-- entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 364: 2013–2025.
- HARRIS, M.P. 1973. The biology of the waved albatross *Diomedea irrorata* of Hood Island, Galapagos. *Ibis* 115: 483–510.
- HOWELL, S. 2010. Molt in North American Birds. Houghton Mifflin Harcourt, Boston.
- [online]. 2012. Petrels, albatrosses, and storm-petrels of North America: a photographic guide.
- HUIN, N. and J.P. CROXALL. 1996. Fishing gear, oil, and marine bird debris associated with seabirds at Bird Island, South Georgia during 1993/1994. *Marine Ornithology* 24: 1994–1997.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES [online]. 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. <<http://www.iucnredlist.org>> (13 October 2017).
- JIMÉNEZ, S., Y. INOUE, C. ACEVEDO, K. OSHIMA, R. COELHO and A. DOMINGO [online]. 2017a. Eighth Meeting of the Seabird Bycatch Working Report of the workshop : Collaborative work to assess seabird bycatch in pelagic longline fleets (South Atlantic and Indian Oceans). In SBWG8 inf 07 p. . ACAP, New Zealand.
- JIMÉNEZ, S., J.C. XAVIER, A. DOMINGO, A. BRAZEIRO, O. DEFEO, M. VIERA, ET AL. 2017b. Inter-specific niche partitioning and overlap in albatrosses and petrels: dietary divergence and the role of fishing discards. *Marine Biology* 164: 1–21. Springer Berlin Heidelberg.
- KURODA, N. 1954. On the classification and phylogeny of the Order Tubinares. Particularly the Shearwaters (*Puffinus*), With Special Considerations on their Osteology and Habit Differentiation. Published by the author, Tokyo.
- LOWE, P.R. 1925. On the Classification of Tubinares or Petrels. *Proceedings of the Zoological Society of London XCIV*: 1433–1443.
- MARCHANT, S. and P.J. HIGGINS. 1990. Diomedidae. In *Handbook of Australian, New Zealand and Antarctic Birds* pp. 296–301. Oxford University Press, Melbourne.
- MAYR, G. and J.L. GOEDERT [online]. 2017. Oligocene and Miocene albatross fossils from Washington State (USA) and the evolutionary history of North Pacific Diomedidae. *The Auk* 134: 659–671.

- MAYR, G. and T. SMITH. 2012. A fossil albatross from the Early Oligocene of the North Sea Basin. *The Auk* 129: 87–95.
- MCINNIS, J.C., R. ALDERMAN, M.A. LEA, B. RAYMOND, B.E. DEAGLE, R.A. PHILLIPS, ET AL. 2017. High occurrence of jellyfish predation by black-browed and Campbell albatross identified by DNA metabarcoding. *Molecular Ecology* 26: 4831–4845.
- MILNE-EDWARDS, A.M. 1867a. Recherches Anatomique et Paléontologiques pour servir a L'Histoire des Oiseaux Fossiles de la France: Atlas, Tomo Second. Victor Masson et Fils, Paris.
- . 1867b. Recherches Anatomique et Paléontologiques pour servir a L'Histoire des Oiseaux Fossiles de la France: Atlas, Tomo Primer. Victor Masson et Fils, Paris.
- . 1869. Recherches Anatomique et Paléontologiques pour servir a L'Histoire des Oiseaux Fossiles de la France: Tomo Second. Libraire de G. Masson, Paris.
- MURPHY, R.C. 1936. *Oceanic Birds of South America Volumen II*. Macmillan Company, New York.
- NEVES, T., L. BUGONI and C.L.D.B. ROSSI-WONGTSCHOWSKI. 2006. Aves oceânicas e suas interações com a pesca na Região Sudeste-Sul do Brasil. In *Dados Revizee-Score Sul* p. . USP, São Paulo.
- NEVES, T.S. and C.A. MARQUES. 2016. *Boletim Técnico Científico do Projeto Albatroz*.
- NEWMAN, S.H., R.J. HARRIS and F.S. TSENG. 2006. Beach surveys past, present, and future: toward a global surveillance network for stranded seabirds. *Marine Ornithology* 34: 87–90.
- NEWTON, K.M., D.A. CROLL, H.M. NEVINS, S.R. BENSON, J.T. HARVEY and B.R. TERSHY. 2009. At-sea mortality of seabirds based on beachcast and offshore surveys. *Marine Ecology Progress Series* 392: 295–305.
- NUNN, G.B., J. COOPER, P. JOUVENTIN and G.G. ROBERTSON [online]. 1996. Evolutionary Relationships Among Extant Albatrosses (Procellariiformes: Diomedidae) Established From Complete Cytochrome-B Gene Sequences. *The Auk* 113: 784–801.
- ODEBRECHT, C. and J.P. CASTELLO. 2001. The Convergence Ecosystem in the Southwest Atlantic. In *Coastal and Marine Ecosystems of Latin America* (P.C. Lana, E. Marone, R.M. Lopes, E.C. Machado, U. Seeliger, L.D. Lacerda & B. Kjerfve, eds.), pp. 147–165. Springer, Berlin.
- OLMOS, F. 1997. Seabirds attending bottom long-line fishing off southeastern Brazil. *Ibis* 139: 685–691.
- . 2002. Non-breeding seabirds in Brazil: A review of band recoveries. *Ararajuba* 10: 31–42.
- OLSON, S.L. 1983. Fossil seabirds and changing marine environments in the Late Tertiary of South Africa. *South African Journal of Science* 79: 399–402.
- OLSON, S.L. 1985. The fossil record of birds. In *Avian Biology* p. .
- OLSON, S.L. [online]. 1984. Evidence of a large albatross in the Miocene of Argentina (Aves: Diomedidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 97: 741–743.

- ONLEY, D. and R.P. SCOFIELD. 2007. Albatrosses, Petrels and Shearwaters of the world. Christopher Helm, London.
- PETROBRAS [online]. 2018. Relatório Técnico Anual 2016-2017. In PROJETO DE MONITORAMENTO DE PRAIAS BACIA DE SANTOS - FASE I p. .
- PETRY, M.V., J.F.M. SCHERER and A.L. SCHERER. 2012. Ocorrência, alimentação e impactos antrópicos de aves marinhas nas praias do litoral do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 20: 65–70.
- PFEIFHOFER, G. and H. TRIBUTSCH. 2014. The flight of Albatross - How to transform it into aerodynamic engineering? *Engineering* 6: 427–438.
- PHILLIPS, R.A., R. GALES, G.B. BAKER, M.C. DOUBLE, M. FAVERO, F. QUINTANA, ET AL. 2016. The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. *Biological Conservation*. .
- PHILLIPS, R.A., J.R.D. SILK, J.P. CROXALL, A. VSEVOLOD and V.J. BENNETT. 2005. Summer Distribution and Migration of Nonbreeding Albatrosses : Individual Consistencies and Implications for Conservation. *Ecology* 86: 2386–2396.
- PHILLIPS, R.A., J.R.D. SILK, B. PHALAN, P. CATRY and J.P. CROXALL. 2004. Seasonal sexual segregation in two *Thalassarche* albatross species: competitive exclusion, reproductive role specialization or foraging niche divergence? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 271: 1283–1291.
- PIACENTINI, V. DE Q., A. ALEIXO, C.E. AGNE, G.N. MAURÍCIO, J.F. PACHECO, G.A. BRAVO, ET AL. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee / Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia* 23: 91–298.
- PIOLA, A.R. and R.P. MATANO. 2001. Brazil and Falklands (Malvinas) currents. In *Ocean currents: a derivative of the encyclopedia of ocean sciences* (J.H. Steele, S.A. Thorpe & K.K. Turekian, eds.), pp. 35–43. Elsevier, London.
- PRINCE, P.A., S. RODWELL, M. JONES and P. ROTHERY. 1993. Molt in Black-browed and Grey-headed Albatrosses *Diomedea melanophris* and *D. chrysostoma*. *Ibis* 135: 121–131.
- PYCRRAFT, W.P. 1899. Contribution to the Osteology of Birds. Part III. Tubinares. *Proceedings of the Zoological Society of London*: 381–411.
- RAYMOND, B., J. MCINNES, J.M. DAMBACHER, S. WAY and D.M. BERGSTROM. 2011. Qualitative modelling of invasive species eradication on subantarctic Macquarie Island. *Journal of Applied Ecology* 48: 181–191.
- SCHERER, J.F.M., A.L. SCHERER and M.V. PETRY. 2011. Ocorrência de carcaças de aves marinhas no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia* 19: 505–513.
- SCHREIBER, E.A., J. BURGER and K. HAMER [online]. 2001. Breeding Biology, Life Histories, and Life History?ÀEnvironment Interactions in Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 217–262. CRC Press.
- SECO PON, J.P., O. BELTRAME, J. MARCOVECCHIO and M. FAVERO. 2011. Trace metals (Cd,

- Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of Black-browed Albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf Juan. *Marine Ecology Progress Series* 72: 40–45.
- SECO PON, J.P., P.A. GANDINI and M. FAVERO. 2007. Effect of longline configuration on seabird mortality in the Argentine semi-pelagic Kingclip *Genypterus blacodes* fishery. *Fisheries Research* 85: 101–105.
- SEELIGER, U. and C. ODEBRECHT. 1998. Introdução e Aspectos Gerais. In *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil* (U. Seeliger, C. Odebrecht & J.P. Castello, eds.), pp. 1–4. *Ecoscientia*, Rio Grande.
- SEYS, J., H. OFFRINGA, J. VAN WAEYENBERGE, P. MEIRE and E. KUIJKEN. 2002. An evaluation of beached bird monitoring approaches. *Marine Pollution Bulletin* 44: 322–333.
- SHEALER, D. [online]. 2001. Foraging Behavior and Food of Seabirds. In *Biology of Marine Birds* pp. 137–178. CRC Press.
- SHUFELDT, R.W. 1888. Observations upon the osteology of the order Tubinares and Steganopodes. *Proceedings of the United States Museum*: 253–315.
- . 1907. On the Osteology of the Tubinares. *The American Naturalist* 41: 109–124.
- SICK, H. 2001. *Ornitologia Brasileira*, 4th edition. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- STUCCHI, M. and M. URBINA [online]. 2005. Nuevos Restos De Procellariiformes (Aves) De La Formación Pisco, Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 100: 67–77.
- SWALES, M.K. 1965. The sea-birds of Gough Island. *Ibis* 107: 17–42.
- UHART, M., L. GALLO, E. FRERE and F. QUINTANA [online]. 2017a. Guidelines for sampling tissues from by-caught dead birds (with applicability for fresh beached carcasses). In *PaCSWG4 Inf 23 Agenda Item 13.3* pp. 1–19. ACAP, New Zealand.
- UHART, M., P.P. SERAFINI, B.D. HARDESTY and B. WIENECKE [online]. 2017b. Guidelines to assess potential impacts of plastic and microplastic in ACAP species. In *PaCSWG4 Doc 09 Agenda Item 10.3* p. . ACAP, New Zealand.
- VOOREN, C. and L. BRUSQUE [online]. 1999. As Aves Do Ambiente Costeiro Do Brasil: Biodiversidade E Conservação. In *Avaliação e Ações Prioritárias para a Zona Costeira e Marinha*, p. . Programa Nacional de Diversidade Biológica (PRONABIO), Rio Grande.
- VOOREN, C.M. and C. FERNANDES. 1989. *Guia de Albatrozes e Petréis do Sul do Brasil*. Sagra, Porto Alegre.
- WALSH, S. A. and J.P. HUME [online]. 2001. A new Neogene marine avian assemblage from north-central Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 21: 484–491.
- WANLESS, R.M., A. ANGEL, R.J. CUTHBERT, G.M. HILTON and P.G. RYAN [online]. 2007. Can predation by invasive mice drive seabird extinctions? *Biology Letters* 3: 241–244.
- WARHAM, J. 1996a. Petrel Populations. In *Behaviour, Population and Physiology of Petrels* pp. 1–62. Academic Press, Christchurch.
- . 1996b. Feeding and Foods. In *Behaviour, Population and Physiology of Petrels* pp. 124–171. Academic Press, Christchurch.

- . 1996c. Anatomical Matters. In *Behaviour, Population and Physiology of Petrels* pp. 424–473. Academic Press, Christchurch.
- WEIMERSKIRCH, H. [online]. 2001. Seabird Demography and Its Relationship with the Marine Environment. In *Biology of Marine Birds* pp. 115–136. CRC Press.
- WEIMERSKIRCH, H., O. CHASTEL, L. ACKERMANN, T. CHAURAND, F. CUENOT-CHAILLET, X. HINDERMEYER and J. JUDAS [online]. 1994. Alternate long and short foraging trips in pelagic seabird parents. *Animal Behaviour*.
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003347284710657>>.
- WIESE, F.K. and K. ELMSLIE. 2006. Underuse and misuse of data from beached bird surveys. *Marine Ornithology* 34: 157–159.

V. ARTIGO II

OSTEOLOGICAL POSTNATAL DEVELOPMENT IN TWO SPECIES OF MOLLYMAWKS AND ITS RELATION TO PLUMAGE

Alice Pereira¹, Maurício Tavares^{1,2}, Ignacio Moreno^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves 950, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CECLIMAR/UFRGS. Avenida Tramandaí 976, Centro, CEP 95625-000, Imbé, RS, Brasil.

ABSTRACT

Mollymawks are the smallest albatrosses of genus *Thalassarche* widely distributed along Southern Hemisphere oceans, exclusively breeding in subantarctic islands. Non-breeders remain disperse at sea, returning to land only when they are sexually mature. For albatrosses, bill coloration, plumage and molt are used to establish age groups and maturity. Skeletal sequences of ossification may also be informative when associated to other external features as plumage and molt. However, there is no description of ossification sequences specifically for Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatrosses yet. Here, we describe sequences of ossification for cranial and postcranial characters for both species. We also compare osteological development for the two mollymawks with established patterns of plumage for juveniles, immatures and adults. Black-browed and Atlantic Yellow-nosed specimens showed clear sequences of ossification, but they present different time for ossification. Plumage and osteological development were not synchronic.

Keywords: *morphology, ontogeny, skeleton.*

INTRODUCTION

Mollymawks (genus *Thalassarche*) are the smallest albatrosses of Diomedidae, with a black dorsal and white ventral pattern of plumage [1]. Black-browed Albatross (*Thalassarche melanophris*) is widely distributed over Southern oceans, whereas Atlantic Yellow-nosed Albatross (*Thalassarche chlororhynchos*) is restricted to South Atlantic Ocean [2]. These mollymawks breed in subantarctic islands, and they only return after 5 or 13 years old to breed [3,4]. During non-breeding period, Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatrosses feed in wintering grounds [5–7]. In Brazilian waters, South and Southeastern regions are important wintering areas for both species [7–9]. In southern Brazil, specially Rio Grande do Sul State, there is one of the most energetic regions of the Southwestern Atlantic Ocean (SWA) called Brazil/Malvinas Confluence, that offers a nutrient rich marine environment for seabird fauna [10,11]. Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatrosses from different age classes attend southern Brazilian waters [7]. Plumage is a reliable method to determine age classes in Aves [12,13]. Among albatrosses, bill coloration, plumage and molt are critical to identify age groups [2,14]. Both Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatrosses change plumage and bill coloration in year cycles (e.g. juvenile, immature, and adult) [15,16].

Osteological sequences of development can also evidence age classes. Several authors described postnatal sequences of fusions in the cranium and postcranium based upon the Red Jungle fowl (*Gallus gallus*) [17–23] and the Mexican Macaws (*Ara militaris* and *Ara macao*) [24]. According to these authors, the development of the cranium starts with fusions along the basicranium (*os basioccipitale* and *os palati*), following to the back of the skull (*os occipitale*), to the top (*os parietale* and *os frontale*) and to the rostral end (*os nasale* and *os premaxillare*). The internal portion comprising the bony layer caudal to the orbits is the last structure to ossify [22,24]. Postcranial development is distinguishable in shoulder and pelvic girdle, vertebrae and by the porosity of long bones [17,23].

Ossification patterns can be useful to know which age stages are more common or uncommon to see a bird in a geographical range, particularly when studying it associated to plumage information. Thus, we aimed to understand how osteological development undergoes in Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatrosses, and if it exhibits synchrony with plumage cycles. Here, we describe osteological postnatal development of

the two mollymawks species and its relation to patterns of plumage, molt cycle, and bill coloration.

MATERIAL AND METHODS

Specimens and provenance. We evaluated 93 specimens of Black-browed Albatross (89 crania and 61 postcrania) and 54 specimens of Atlantic Yellow-nosed Albatross (52 crania and 33 postcrania). The examined material is housed in three museums of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZBRS), Museu de Ciências Naturais (MUCIN) from Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), and Museu de Ciência e Tecnologia (MCT-PUCRS) from Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (SI Table - *Apêndice I desta dissertação*).

External morphology. We classified the information about plumage pattern, molt and bill color of the evaluated specimens according to Bugoni et al. [16], Flood et al. [2], Furness [32] and Howell [13]. Black-browed and Atlantic Yellow-nosed albatrosses present three main stages of plumage – juvenile, immature and adult. In Black-browed Albatross, the immature plumage has five cycles (one per year) until it molts to adult plumage [15]. In Atlantic Yellow-nosed Albatross, immature plumage has three cycles (one per year) before presenting the adult plumage [16]. Juvenile plumage lasts one cycle in both species [2]. We classified the plumage of the evaluated osteological specimens through the dry rhamphotheca, pictures, and/or skins. Some specimens presented only the mandibular rhamphotheca or picture that did not include all portions of plumage needed for specifying the plumage cycle. Thus, we classified those specimens as immatures between third and fifth cycle.

Osteological characters. An exploratory analysis was carried out on the entire skeleton of both mollymawks to select characters related to development. It resulted in 19 osteological characters, 12 for the cranium and seven for the remaining axial skeleton (Table 1). Limbs did not become part of this study because they were completely developed in all evaluated specimens. For each step of development that was observed in the exploratory analysis, it was attributed a number from one to four. In addition, we based upon Pycraft [26], Shufeldt [27], and Denés et al. [28] to choose characters specifically of albatross osteology. For ossification sequences, we followed Jollie [18], Hargrave [24], Hogg [19,20,22], Maxwell [28,29], Maxwell et al. [30], and Thomas et al. [23]. For osteological

nomenclature, we followed Baumel [33]. The topology of the evaluated cranial and postcranial regions is given on Fig 1. Examples of steps of development are on Fig 2 to Fig 4.

Table 1. List of osteological characters selected from cranium and postcranium of Black-browed Albatross and Atlantic Yellow-nosed Albatross specimens and the stages of the development numbered from one to four.

Osteological characters	Stages of development
CRANIUM	
I – Zona flexoria craniofacialis	(1) <i>processus nasalis</i> of <i>os premaxillare</i> just inserted below the <i>processus premaxillaris</i> of <i>os nasale</i> rostral sinus (2) <i>processus nasalis</i> of <i>os premaxillare</i> and <i>processus premaxillaris</i> of <i>os nasale</i> are fused to each other but still exhibit individual markings (3) the area is in synostosis
II – Processus nasalis of os premaxillare	(1) right and left plates of <i>processus nasalis</i> are fused to each other only at <i>rostrum maxillare</i> region (2) right and left sides of <i>processus nasalis</i> are fused to each other but they exhibit a suture of variable extension between each other along <i>os premaxillare</i> (3) <i>os premaxillare</i> are in synostosis, except for a gap anterior to <i>zona flexoria craniofacialis</i> that never fuses
III – Os nasale and os premaxillare	(1) internal edge of the pair of <i>processus premaxillaris</i> of <i>os nasale</i> and external edges of the pair of <i>processus nasalis</i> of <i>os premaxillare</i> are not fused to each other or may exhibit a suture from the anterior end of <i>apertura nasi ossea</i> to <i>zona flexoria craniofacialis</i> (2) synostosis
IV – Os nasale and os frontale	(1) posterior end of <i>os nasale</i> and anterior end of <i>os frontale</i> are not completely fused to each other (2) synostosis between <i>os nasale</i> and <i>os frontale</i>
V – Os nasale	(1) pair of <i>os nasale</i> still exhibits a trace between them (2) synostosis between the pair of <i>os nasale</i>
VI – Foramina nervi cranialis	(1) the <i>foramen opticum</i> (cranial nerve II) is almost defined and <i>foramen nervi trochlearis</i> (cranial nerve IV) is already delimited (2) the <i>foramen opticum</i> is now delimited together with <i>foramen nervi trochlearis</i> (cranial nerve IV), except for <i>foramen nervi oculomotorius</i> (cranial nerve III) and <i>foramen nervi abducens</i> (cranial nerve VI) (3) or cranial nerve III or cranial nerve VI may still be open or large (4) all cranial nerves foramina are delimited
VII – Paries caudalis orbitae	(1) a large pair of <i>fonticuli orbitocraniales</i> is present (2) a single <i>fonticulum</i> or a tiny pair of <i>fonticuli orbitocraniales</i> is present (3) the caudal wall of the orbit is in synostosis
VIII – Area muscularis aspera	(1) a foramen is present (2) foramen is absent
IX – Foramen nervi olfactorii	(1) is a single opening

	(2) a bony ridge rises from the top of <i>septum interorbitale</i> , but still not touch the <i>lamina dorsalis</i> of <i>os mesethmoidale</i>
	(3) the <i>foramen nervi olfactorii</i> is divided laterally, building a new foramen
X – Septum nasale osseum	(1) perforated
	(2) imperforated
XI – Ossa maxillae et palati	(1) the <i>processus maxillaris</i> of <i>os palatinum</i> and the <i>processus maxillopalatinus</i> of <i>os maxillare</i> exhibit a suture between each other
	(2) synostosis along the ventral surface of the upper jaw
XII – Os supraoccipitale	(1) perforated
	(2) imperforated

POSTCRANIUM

XIII – Atlas	(1) the <i>arcus atlantis</i> presents a gap in its middle
	(2) it exhibits a trace of recent merging
	(3) synostosis
XIV – Third cervical vertebra	(1) the foramina at each face of the vertebra dorsal face are open
	(2) the foramina are closed
XV – Fourth cervical vertebra	(1) the foramina at each face the vertebra dorsal face are still open
	(2) the foramina are closed
XVI – Thoracic vertebrae of synsacrum	(1) trace of merging between the two thoracic vertebrae
	(2) synostosis
XVII – Processus transversus of thoracic-lumbar vertebra	(1) the transverse process is not merged to <i>ala preacetabularis illi</i>
	(2) the transverse process is fused to <i>ala preacetabularis illi</i>
XVIII – First sacral vertebra	(1) absent
	(2) vestigial
	(3) developed
XIX – Caudal vertebrae of synsacrum	(1) the last caudal vertebra is merged to the anterior vertebra only for its center and transverse processes of caudal vertebrae present sutures between <i>ala ischii</i>
	(2) the last two caudal vertebrae exhibit sutures on the transverse process
	(3) all caudal vertebrae fused are fused to each other and to synsacrum

Albatross (MUCIN 100), atlas on caudal view, the circle highlights character XIII stage one. (G) Atlantic Yellow-nosed Albatross (MUCIN 581), third cervical vertebra on dorsal view, the circle highlights character XIV stage two. Abbreviations: BA = *os basisphenoidale*; BO = *os basioccipitale*; Ca 1-Ca4 = first to fourth caudal vertebrae; E = *os ectethmoidale*; EX = *os exoccipitale*; F = *os frontale*; GN = *fossa glandulae nasalis*; IL = *ala preacetabularis ilii*; IS = *ala ischii*; J = *os jugale*; L1-L3 = first to third lumbar vertebrae; M = *os maxillare*; N = *os nasale*; OB = *os orbitosphenoidale*; OM = *os mesethmoidale*; OP = *os palati*; P = *os parietale*; PM = *os premaxillare*; PMP = *processus maxilopalatinus*; PrM = *processus maxillaris*; PU = *os pubis*; S = *os squamosale*; S1-S2 = first and second sacral vertebrae; SO = *os supraoccipitale*; T6-T7 = sixth and seventh thoracic vertebrae; TL1-TL4 = first to fourth thoracic-lumbar vertebrae; VO = *os vomeris*. Characters: I = stage one, II = stage one, III = stage one, IV = stage one, V = stage one, VII = stage three, VIII = stage two, X = stage two, XI = stage one, XII = stage one, circles highlight foramina at SO. White bars from A to E = 1 cm, F and G = 0.5 cm.

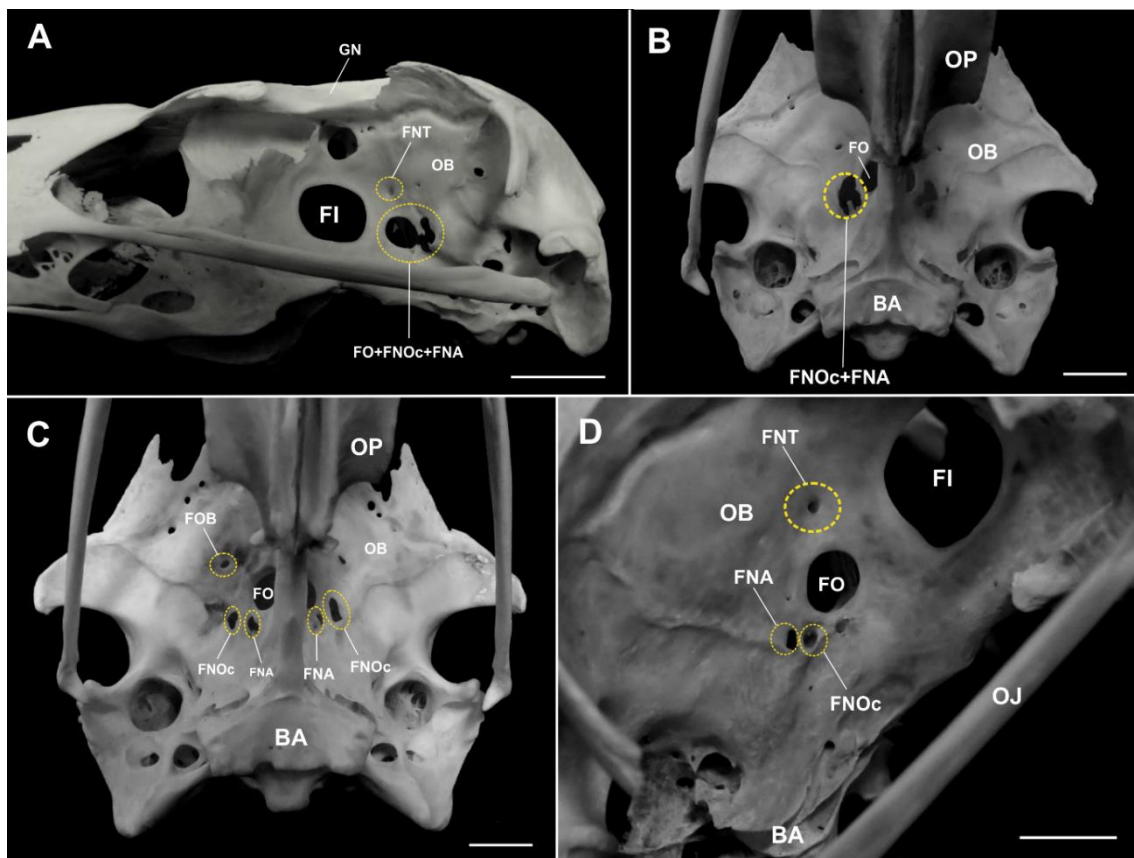


Fig 2. Development of character VI in mollymawk specimens. (A) Black-browed Albatross cranium on lateral view, stage one (MUCIN 100). (B) Black-browed albatross cranium on ventral view, stage two (MUCIN 026). (C) Black-browed albatross cranium on ventral view, stage three (MUCIN 116). (D) Atlantic-yellow nosed Albatross on lateral dorsal view, stage four (MUCIN 317). Abbreviations: BA = *os basisphenoidale*; FI = *foramen interorbitalis*; FNA = *foramen nervi abducens* or cranial nerve VI; FNOc = *foramen nervi oculomotorius* or cranial nerve III; FNT = *foramen nervi trochlearis* or cranial nerve IV; FO = *foramen opticum* or cranial nerve II; FOB = *fonticulum obrotocranialis*; GN = *fossae glandulae nasalis*; OB = *os orbitosphenoidale*, OJ = *os jugale*. White bar = 1 cm.

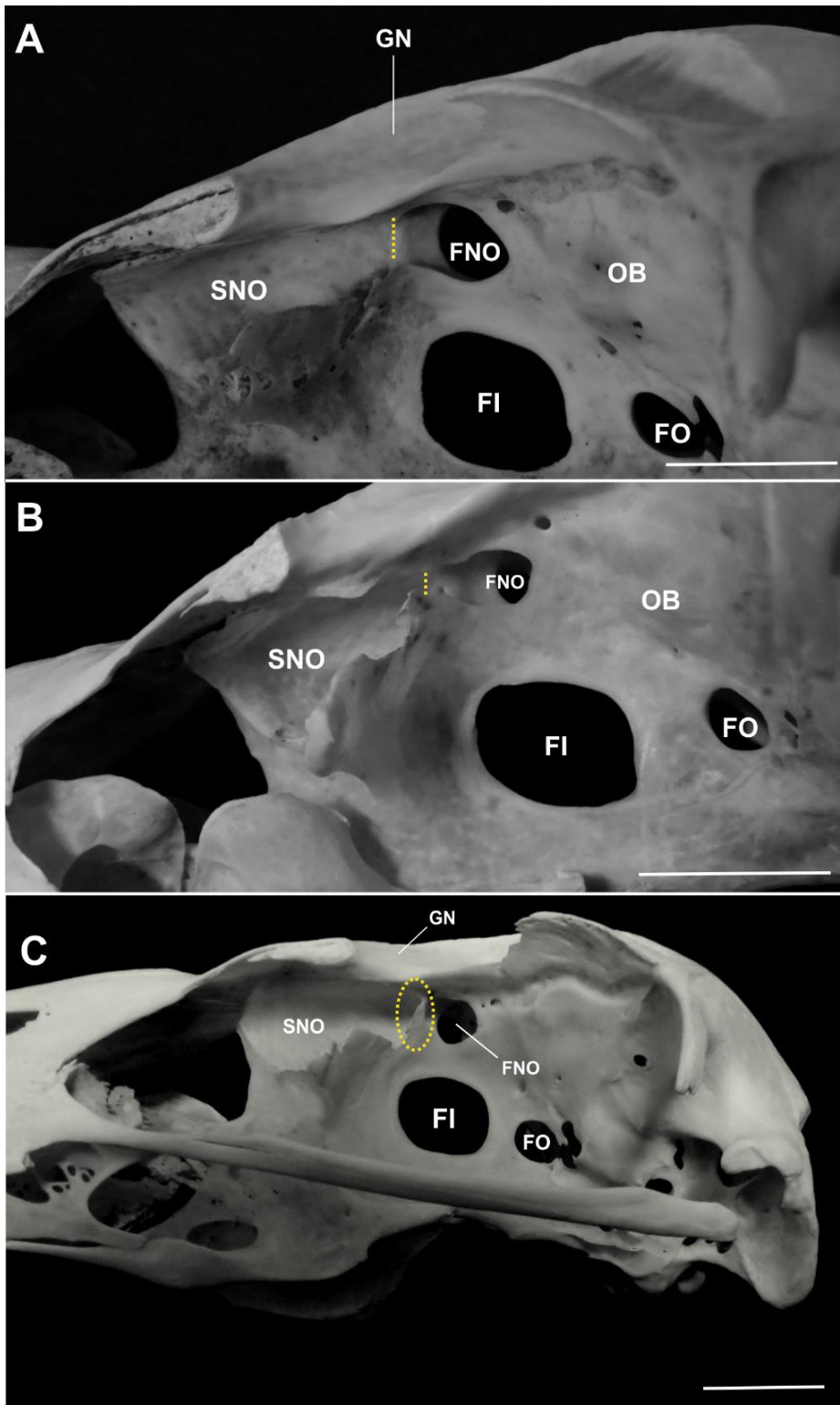


Fig 3. Development of character IX in mollymawk crania on lateral view. (A) Black-browed Albatross, stage one (MUCIN 580). (B) Black-browed Albatross, stage two (MUCIN 317). (C) Atlantic Yellow-nosed Albatross, stage three. Abbreviations: FI = *foramen interorbitalis*; FO = *foramen opticum*; GN = *fossae glandulae nasalis*; OB = *os orbitosphenoidale*; SNO = *septum nasale osseum* (MUCIN 033). White bar = 1 cm.

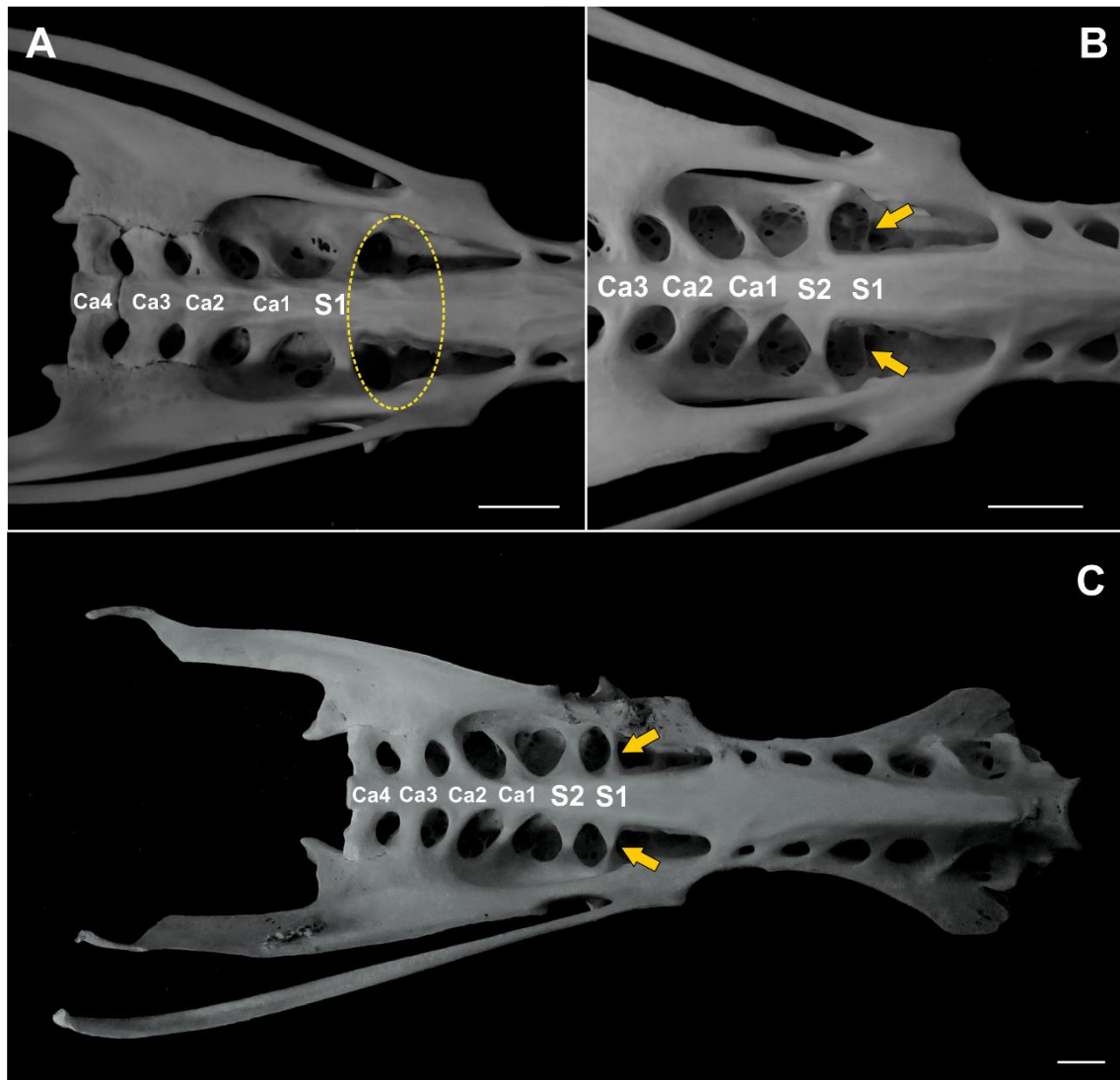


Figure 4. Character XVIII in mollymawks synsacra. (A) Atlantic Yellow-nosed albatross, stage one (MUCIN 087). (B) Black-browed Albatross, stage two (MUCIN 094). (C) Black-browed Albatross, stage three (MUCIN 100). Abbreviations: Ca 1-4 = caudal vertebrae 1-4, S1 and S2 = sacral vertebrae one and two. White bar = 1 cm.

RESULTS

Mollymawk osteological development

The results of Black-browed Albatross osteological characters development are on Fig 5, and the results for Atlantic Yellow-nosed specimens are on Fig 6.

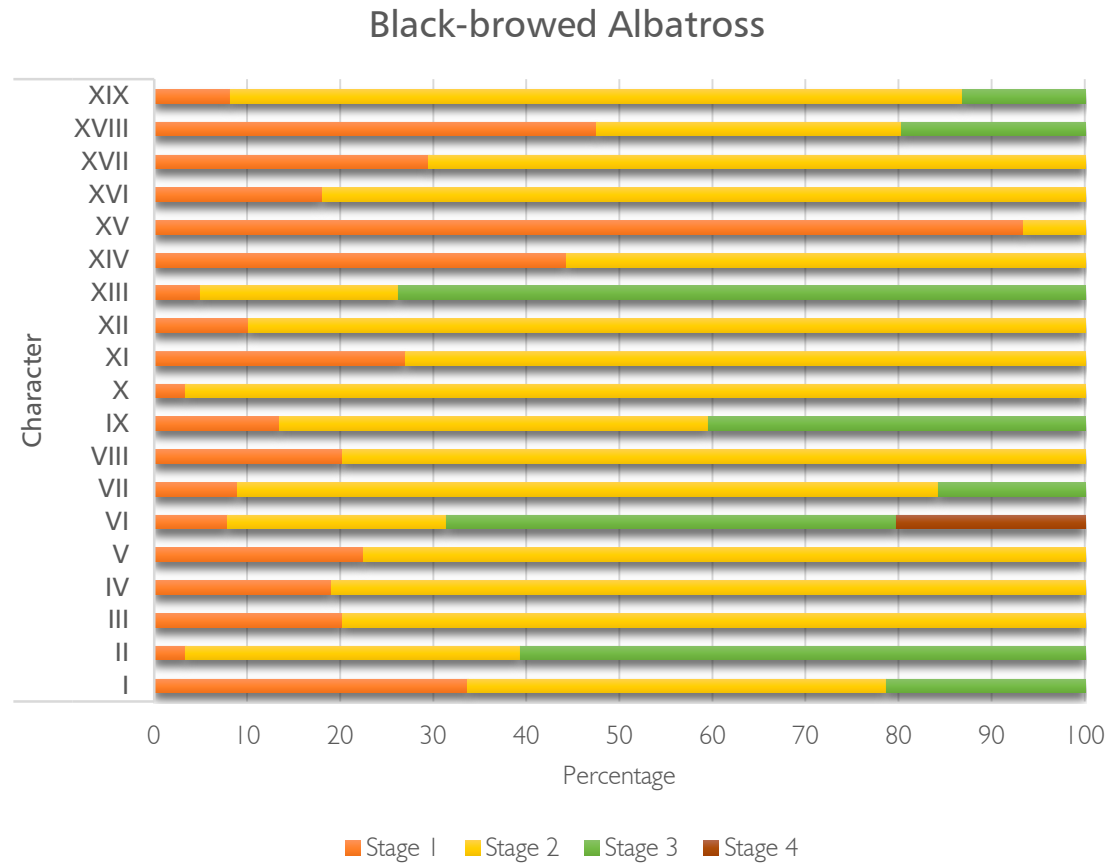


Fig 5. Overview from percentages of the stages of development for the 19 osteological characters for Black-browed Albatross. I to XII are cranial characters, and XIII to XIX are the postcranial characters. Stages of development varied from one to four.

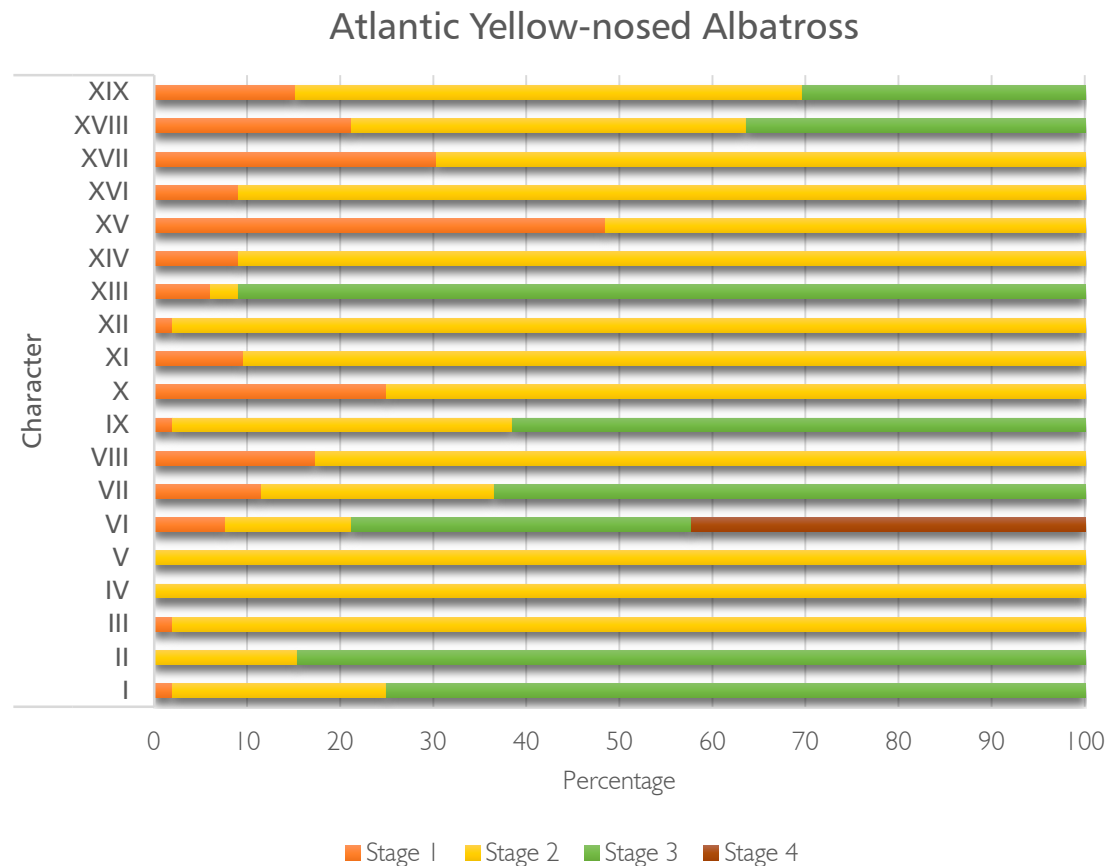


Fig 6. Overview from percentages of the stages of development for the 19 osteological characters for Atlantic Yellow-nosed Albatross. I to XII are cranial characters, and XIII to XIX are the postcranial characters. Stages of development varied from one to four.

Atlantic Yellow-nosed Albatross exhibited fewer cranial characters in the first stage of development (Fig 3) than Black-browed Albatross (Fig 2). The *os supraoccipitale* (character XII), *os frontale/os nasale* (IV, V), and *zona flexoria* region (II) in their first stage appeared in less than 10.00% of the Black-browed specimens (Fig 2), whereas in Atlantic Yellow-nosed Albatross crania, the characters II, IV and V did not show its first stage (Fig 3). Only one Atlantic Yellow-nosed specimen presented foramina in *os supraoccipitale*. In Black-browed albatrosses, the caudal wall posterior to orbits completely ossified appeared in only 15.73% of the specimens, and completely delimited cranial nerve foramina (Fig 3D) appeared in 20.22% of the crania. In Atlantic Yellow-nosed crania, the postorbital wall was in synostosis in most specimens – characters VI in stage four = 42.31% and VII in stage three = 63.46%. The palatal region was in synostosis in most specimens of both mollymawks (character XI, Fig 2 and 3).

Among postcranial development results, stages two or three were prevalent for both mollymawk specimens, more within Atlantic Yellow-nosed specimen. Caudal vertebra attached to synsacrum (XIX) were an exception, with more specimens in stage two in both species.

External morphology

We classified the plumage and bill coloration of 55 Black-browed and 37 Atlantic Yellow-nosed albatrosses (Table 2). Fourteen Black-browed albatrosses we classified as immature between 3rd and 5th cycle, because we could not access any information about molt. Among Atlantic Yellow-nosed specimens, one specimen we identified as juvenile or immature, because we had only the mandibular rhamphotheca. Two Black-browed Albatross specimens that carried an egg we classified as breeding.

Table 2. Classification of the evaluated specimens according to information about plumage and/or bill coloration.

Juvenile	Immature cycles						Adult*	Adult (prebreeding)	Adult (breeding)
	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th				
BLACK-BROWED ALBATROSS									
7	7	7	3	3	2	12	-	2	
ATLANTIC YELLOW-NOSED ALBATROSS									
6	5	3	-	-	-	8	8	6	

Plumage information predicting ossification time

Using the information about plumage cycles in our evaluated specimens as a parameter, the minimum age for complete cranial ossification was between five months and one year old for Atlantic Yellow-nosed Albatross. We did not record any specimen in cranial synostosis with information about plumage. The age in which complete ossification of each character first appears in both mollymawks is on Table 3.

Table 3. Osteological characters and age determined by plumage that complete ossification first appears. Cranial characters from I to XII and postcranial from XIII to XIX, m = months and y = years.

Character	Age (range)	
	Black-browed Albatross	Atlantic Yellow-nosed Albatross
I	5y – 6y	5m – 1y
II	1y – 2y	5m – 1y
III	5m – 1y	5m – 1y
IV	5m – 1y	5m – 1y
V	5m – 1y	5m – 1y
VI	1y – 2y	5m – 1y
VII	5m – 1y	5m – 1y
VIII	5m – 1y	5m – 1y
IX	1y – 2y	5m – 1y
X	5m – 1y	5m – 1y
XI	5m – 1y	5m – 1y
XII	5m – 1y	5m – 1y
XIII	5m – 1y	5m – 1y
XIV	5m – 1y	5m – 1y
XV	-	5m – 1y
XVI	5m – 1y	5m – 1y
XVII	5m – 1y	5m – 1y
XVIII	2y – 3y	5m – 1y
XIX	-	5m – 1y

The two specimens that carried an egg presented open foramina in postorbital wall, but the other cranial characters appeared in synostosis. However, the postcranial characters appeared in first stages of development.

DISCUSSION

According to Jollie [18] the synostosis in Domestic Fowl (Galliformes) starts by the occipital region (Fig 1D) 75 days after hatching and spreads upward (squamosal-parietal region) and forward (frontal-nasal region) (Fig 1A) until all sutures are closed around 100 days. Hogg [20] describes the last structures to close as frontal-mesethmoid region (Fig 1B), mesethmoid-orbitosphenoid and orbitosphenoid-pleurosphenoid regions (Fig 4 and 5). In fact, the last structure to undergo ossification in Domestic Fowl is the orbitosphenoid region at 70 days after hatching; all other cranial centers of ossifications begin ossifying before or at hatch [22]. The description of these authors agrees with the sequences of sutures we

observed in the two mollymawks. Generally, when specimens presented deficiencies in *occipitale*, the dorsal structures of cranium also exhibited sutures (*os frontale*, *os nasale* and *os premaxillare*). However, we observed exceptions for that closure pattern in some specimens, as none Atlantic Yellow-nosed specimens showed sutures in frontal-nasal region, but one specimen presented foramina in supraoccipital region. The postorbital wall (*os orbitosphenoidale/os mesethmoidale* region) exhibited different closure sequence in some specimens than the description of Hogg [20] for the Domestic Fowl, with some specimens of both mollymawks presenting the last stages of development for this region, when the dorsal structures in the cranium presented sutures. Thomas et al. [23] compared after hatching sequences of ossification between cross-bred Jungle Fowl and the improved breeds of Domestic Fowl evaluated by Hogg [20,22]. The osteological development of the cross-bred fowls took more time to complete (from 24 weeks) than that of domestic fowls (from 16 weeks), but sequences of ossification were the same. Anseriformes share similar sequences of ossification prior to hatching with Galliformes [29]; however, a subarctic migrant species, the Common Eider Duck (*Somateria mollissima*) presents an earlier cranial and postcranial ossification before hatching than other duck species. The orbitosphenoid region starts to ossify before hatching and even before supraoccipital region. Even though we do not have information about albatross development *in ovo*, the postnatal ossification shows that the orbitosphenoid region is as developed as other cranial regions. Besides, Common Eider Duck is also a migrant species nesting in high latitudes as mollymawks. Mexican macaws also show longer period of postnatal osteological development like other Procellariiformes [37] and unlike Galliformes or Anseriformes. Hargrave [24] describes the complete ossification of cranium for Military and Scarlet Macaw in four months, except for the *lamina dorsalis* at mesethmoid-orbitosphenoid region that exhibits large paired fenestrae. These fenestrae are almost closed when macaws are about three years old, and completely ossified at breeding age (up to four years old).

Among Procellariiformes, Sugimori et al. [33] evaluated the postnatal ossification of Short-tailed Shearwater (*Puffinus tenuirostris*) from one month to up than five years and their results were similar to what we have found to mollymawks. The sutures along *processus nasalis* of *os premaxillare* and *zona flexoria* region takes almost the same time to reach synostosis, around six or seven years old. However, the other two anterior stages of these characters were more variable in mollymawks in relation to their age than for Short-tailed

shearwaters, in which stage one of these characters is seen only until three months old. The authors did not observe the articulation of neurocranial components from about three months old in Short-tailed shearwaters. Based on chronological age informed by plumage, the same occurs for mollymawks, as we could not track neurocranial articulations in juvenile specimens (that are at least five months old). The *fonticuli orbitocraniales*, fenestrae present in the first two stages of development of the orbitosphenoid, were present in all ages of the two species of mollymawks, but in adults were not common.

Diomedidae birds are considered as altricial chicks type I, even though they incubate for long periods (>70 days) [34]. Time and sequences of ossification for precocial and altricial birds are almost the same, but the difference is within the extent of cartilaginous areas at hatchings [29,34]. Altricial birds are less ossified at hatching than precocial birds (Galliformes and Anseriformes), as the supraoccipital and the prootic bones ossify after hatching and articulations between cranial structures are much cartilaginous [29,35]. In addition, the postcranial skeleton is more cartilaginous in altricial than precocial birds. The lesser ossification at hatching is related to increased growth rates in altricial birds, as well as, no need of improved locomotor capability at hatching, different of active precocial birds [34,36]. It agrees with the mollymawk postnatal ossification brought by our work: the cranium is not entirely ossified in some specimens (i.e. sutures in *os supraoccipitale* and *os orbitosphenoidale*), however the bird have reached its full size and body mass. Though altricial birds as albatrosses and precocials as fowls present some differences in ossified areas, the feeding apparatus (*os palati*, *os premaxillare* and *os maxillare*) ossifies sooner than any feeding activity in all birds, because of retained ancestral condition [28,29]. It can be observed in Black-browed and Atlantic Yellow-nosed specimens (characters I, II, III and XI).

Postcranial elements, mainly fore and hindlimbs ossify prior to some cranial structures in altricial and precocial, and this is characteristic is maintained through class Aves [34]. However, the extent of cartilaginous areas also changes, especially because of the high growth rates; so, when the bird is in its final body size, limbs are completely ossified.

CONCLUSIONS

Regardless the discrete differences between Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross in ossification period, the life history of these mollymawks are similar: incubation period, age of fledgling, age at first breeding, survival rates, long-lived individuals, and foraging niche do not change much between these two congeners [3]. The driver for the earlier ossification in Atlantic Yellow-nosed albatrosses than in Black-browed Albatross is not clear, as external selection in altricial birds are not determinant [34,36], and even though it was, life history parameters are similar for both. One possible argument may be linked to the specific physiology of tissue maturation in nestlings and histogenetic functions of skeletal growth in each species, the drivers of differences in growth rates in altricials [34].

Plumage and ossification sequences are not in synchrony, and there was a wide range in age one character appears ossified. While the plumage cycles for both mollymawks are precise through time, the ossification is highly variable. A possible explanation for this is once cranium and postcranium are enough developed to fulfil its functions, plumage maintenance and renewal becomes more urgent in the energy budget. Plumage is constrained by shortage of time, nutrients and breeding effort [32], and in long-lived birds that spend most of their life on the wing, mortality costs of molt is considered [37].

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Glayson A. Bencke from Fundação Zoobotânica (FZBRS) and Carla Suertegaray Fontana from Museu de Ciência e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica (MCT -PUCRS) for access to the ornithological collections. We are very grateful to all CECLIMAR team for the logistical support. A.P. is supported by a scholarship of Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

LITERATURE CITED

1. Onley D, Scofield RP. Albatrosses, Petrels and Shearwaters of the world. London: Christopher Helm; 2007.
2. Flood B, Fisher A. North Atlantic Seabirds: Albatrosses & Fulmarine Petrels. Hockley,

- Essex: Pelagic Birds & Birding Multimedia Identification Guides; 2016.
3. Cuthbert R, Ryan PG, Cooper J, Hilton G. Demography and population trends of the Atlantic Yellow-nosed Albatross. *Condor*. 2003;105: 439–452.
 4. Prince PA, Rothery P, Croxall JP, Wood AG. Population dynamics of Black-browed and Grey-headed albatross *Diomedea melanophris* and *D. chrysotoma* at Bird Island, South Georgia. *Ibis (Lond 1859)*. 1994;136: 50–71.
 5. Phillips RA, Silk JRD, Croxall JP, Vsevolod A, Bennett VJ. Summer Distribution and Migration of Nonbreeding Albatrosses : Individual Consistencies and Implications for Conservation. *Ecology*. 2005;86: 2386–2396.
 6. Huin N. Foraging distribution of the Black-browed albatross, *Thalassarche melanophris*, breeding in the Falkland Islands. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst*. 2002;12: 89–99. doi:10.1002/aqc.479
 7. Olmos F. Non-breeding seabirds in Brazil: A review of band recoveries. *Ararajuba*. 2002;10: 31–42.
 8. Bugoni L, Mancini PL, Monteiro DS, Nascimento L, Neves TS. Seabird bycatch in the Brazilian pelagic longline fishery and a review of capture rates in the southwestern Atlantic Ocean. *Endangered Species Research*. 2008. pp. 137–147. doi:10.3354/esr00115
 9. Scherer JFM, Scherer AL, Petry MV. Ocorrência de carcaças de aves marinhas no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev Bras Ornitol*. 2011;19: 505–513.
 10. Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP. Subtropical Convergence Environments. Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP, editors. Berlin, Heidelberg: Springer; 1997. doi:10.1007/978-3-642-60467-6
 11. Piola AR, Matano RP. Brazil and Falklands (Malvinas) currents. In: Steele JH, Thorpe SA, Turekian KK, editors. *Ocean currents: a derivative of the encyclopedia of ocean sciences*. London: Elsevier; 2001. pp. 35–43.
 12. Humphrey PS, Parkes KC. An Approach to the Study of Molts and Plumages. *Auk*. 1959;76: 1–31.
 13. Howell S. *Molt in North American Birds*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt; 2010.
 14. Marchant S, Higgins PJ. Diomedidae. *Handbook of Australian, New Zealand and Antarctic Birds*. Melbourne: Oxford University Press; 1990. pp. 296–301.
 15. Flood RL, Fisher EA, Gale J. Ageing criteria for the Black-browed Albatross. *Br Birds*.

- 2015;108: 279–285.
16. Bugoni L, Furness RW. Ageing immature Atlantic Yellow-nosed *Thalassarche chlororhynchos* and Black-browed *T. melanophris* albatrosses in wintering grounds using bill colour and moult. *Mar Ornithol.* 2009;37: 249–252.
 17. Latimer HB. Postnatal growth of the chicken skeleton. *Am J Anat.* 1927;40: 1–57.
 18. Jollie MT. The head skeleton of the chicken and remarks on the anatomy of this region in other birds. *J Morphol.* 1957;100: 389–436.
doi:10.1002/jmor.1051000302
 19. Hogg DA. Fusions occurring in the postcranial skeleton of the Domestic Fowl. *J Anat.* 1982;135: 501–512.
 20. Hogg DA. The articulations of the neurocranium in the postnatal skeleton of the Domestic Fowl (*Gallus gallus domesticus*). *J Anat.* 1978;127: 53–63.
 21. Hogg DA. Ossification of the laryngeal, tracheal and syringeal cartilages in the Domestic Fowl. *J Anat.* 1982;134: 57–71.
 22. Hogg DA. A re-investigation of the centres of ossification in the avian skeleton at and after hatching. *J Anat.* 1980;130: 725–743.
 23. Thomas R, Sadler P, Cooper J. Developmental Osteology of Cross-bred Red Junglefowl (*Gallus gallus* L. 1758) and the Implications for Ageing Chickens from Archaeological Sites. *Int J Osteoarchaeol.* 2016;26: 176–188. doi:10.1002/oa.2417
 24. Hargrave LL. Mexican Macaws. Comparative Osteology and Survey of Remains from the Southwest. Anthropological Papers of the University of Arizona. Tucson: The University of Arizona Press; 1970.
 25. Pycraft WP. Contribution to the Osteology of Birds. Part III. Tubinares. *Proc Zool Soc London.* 1899; 381–411. doi:10.1038/154714a0
 26. Shufeldt RW. On the Osteology of the Tubinares. *Am Nat.* 1907;41: 109–124.
 27. Dénes F V., Silveira LF. Cranial osteology and taxonomy of albatrosses of genus *Diomedea* Linneaus, 1758 and *Thalassarche* Reichenbach, 1853 (Procellariiformes: Diomeidae). *Papéis Avulsos Zool (São Paulo).* 2007;47: 43–61.
 28. Maxwell EE. Comparative ossification and development of the skull in palaeognathous birds (Aves: Palaeognathae). *Zool J Linn Soc.* 2009; doi:10.1111/j.1096-3642.2009.00480.x
 29. Maxwell EE. Ossification sequence of the avian order anseriformes, with comparison

- to other precocial birds. *J Morphol.* 2008; doi:10.1002/jmor.10644
30. Maxwell EE, Harrison LB. Ossification sequence of the common tern (*Sterna hirundo*) and its implications for the interrelationships of the Lari (Aves, Charadriiformes). *J Morphol.* 2008; doi:10.1002/jmor.10633
 31. Baumel JJ. Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium. Publ Nuttall Ornithol Club (USA) no 23. 1993;
 32. Furness RW. Influences of status and recent breeding experience on the moult strategy of the yellow-nosed albatross *Diomedea chlororhynchos*. *J Zool.* 1988;215: 719–727. doi:10.1111/j.1469-7998.1988.tb02406.x
 33. Sugimori F, Oka N, Ishibashi Y. The degree of skull ossification and mean aging of Short-tailed Shearwater. *J Yamashina Inst Ornithol.* 1985;17: 159–165.
 34. Starck JM. Evolution of Avian Ontogenies. *Curr Ornithol.* 1993;10: 275–366. doi:10.1007/978-1-4615-9582-3_6
 35. Ricklefs RE, White S, Cullen J. Postnatal development of Leach's Storm Petrel. *Auk.* 1980;97: 768–781.
 36. Ricklefs RE. Adaptation, Constraint, and Compromise in Avian Postnatal Development. *Biol Rev.* 1979;54: 269–290. doi:10.1111/j.1469-185X.1979.tb01013.x
 37. Langston NE, Rohwer S. Molt-Breeding Tradeoffs in Albatrosses: Life History Implications for Big Birds. *Oikos.* 1996;76: 4

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferenças morfométricas entre albatroz-de-nariz-amarelo e do albatroz-de-sobrancelha mostraram-se significativas para 61 das 65 medidas realizadas nos espécimes, mesmo havendo sobreposição nos menores valores de *T. melanophris* e nos maiores valores de *T. chlororhynchos*. Assim, mesmo que ao medir um espécime uma medida selecionada mostre um valor dentro da sobreposição das duas espécies, pode-se tentar as demais até que se possa encontrar um valor que as diferencie. Também existe a possibilidade de se aplicar a função discriminante desenvolvida por este trabalho utilizando medidas do esterno, úmero e ulna.

Ainda quanto a diferenciação morfométricas de *T. melanophris* e *T. chlororhynchos*, seria válido que os demais congêneres, o albatroz-de-cabeça branca (*T. steadi*) e o albatroz-arisco (*T. cauta*), ambos com registros confirmados no Brasil, e o albatroz-de-cabeça-cinza (*T. chrysostoma*), com registro potencial, fossem avaliados morfometricamente pelos mesmos métodos deste estudo. Também seria fundamental analisar espécimes com informações sobre o sexo, assim poderia ser esclarecido o quanto as diferenças que vemos entre as espécies são influenciadas pelo dimorfismo sexual.

Os resultados da análise do desenvolvimento pós-natal mostram que ambas espécies ao saírem do ninho já estão quase totalmente desenvolvidas osteologicamente, mesmo com discretas diferenças entre as duas. Embora a idade em que abandonam o ninho e os locais de invernada sejam os mesmos, o albatroz-de-nariz-amarelo apresenta a ossificação do crânio, sinsacro e vértebras mais ossificadas em relação ao albatroz-de-sobrancelha.

O desenvolvimento de filhotes altriciais, que é o caso dos albatrozes, é regulado por condições fisiológicas intrínsecas aos organismos. Assim, o tamanho menor e a ossificação mais rápida do albatroz-de-nariz-amarelo em relação ao albatroz-de-sobrancelha, seriam controlados por fatores fisiológicos e não por diferenças em fatores ambientais primordialmente. Esta ideia é coerente com o fato de ambas as espécies compartilharem mesma área de forrageio no Atlântico Sul e possuírem histórias de vida similares em relação a incubação, idade em que deixam o ninho e que estão aptos a se reproduzirem, taxas de sobrevivência e expectativa de vida.

Estudos sobre o desenvolvimento das duas espécies a partir do ovo são necessárias para entender o processo de ossificação mais profundamente, como por exemplo, a ossificação dos apêndices locomotores. Além disso, a análise de esqueletos com idade conhecida (e.g. que tenham sido anilhados no ninho) é importante para que se possa comparar com os resultados obtidos pela comparação com os estágios de plumagem.

VII. APÊNDICES

S1: List of evaluated specimens with their respective collection number, date of collection, and locality. The acronyms MCN, MCT, and MUCIN refer to, respectively, Museu de Ciências Naturais from Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Museu de Ciência e Tecnologia from Pontifícia Universidade Católica of Rio Grande do Sul, and Museu de Ciências Naturais from Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PR = Paraná State; RS = Rio Grande do Sul State; SC = Santa Catarina State.

SPECIMEN	DATE	MATERIAL	LOCALITY
Black-browed Albatross (<i>Thalassarche melanophris</i>)			
MCN 005	05 Aug 1991	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 006	05 Aug 1991	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 007	06 Aug 1991	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 044	23 Oct 1991 28 – 31 Oct 1991	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 045	30 Apr 1993	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 193	02 May 1993	complete skeleton	Tavares, RS
MCN 194	12 Jul 1993	complete skeleton	Tavares, RS
MCN 238	12 Aug 1993	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 239	–	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 265	18 Sep 1994	complete skeleton	Santa Vitória do Palmar, RS
MCN 388	18 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 389	19 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 390	17 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 391	19 Sep 1994	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 408	19 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 413	19 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 414	19 Sep 1994	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 415	19 Sep 1994	complete skeleton	Rio Grande, RS
MCN 416	17 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 417	19 Sep 1994	complete skeleton	Santa Vitória do Palmar, RS
MCN 419	19 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 420	19 Sep 1994	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MCT 573	07 Sep 1999	incomplete skeleton	Palmares do Sul, RS
MCT 846	20 Nov 2000	incomplete skeleton	Tavares, RS
MCT 1034	29 Apr 2001	incomplete skeleton	Palmares do Sul, RS
MCT 1090	24 Apr 2001	incomplete skeleton	Cidreira, RS
MCT 1126	15 Apr 2004	incomplete skeleton	Imbé, RS
MCT 1544	15 Apr 2004	incomplete skeleton	Cidreira, RS
MCT 1549	16 Apr 2004	incomplete skeleton	Cidreira, RS
MCT 1610	02 Jan 2009	complete skeleton	Capão da Canoa, RS
MCT 2435	21 Nov 2010	complete skeleton	Capão da Canoa, RS

MCT 3123	11 Aug 2005	complete skull	Torres, RS
MCT 4124	11 Jul 2010	incomplete skeleton	Cidreira, RS
MCT 4200	04 Oct 2010	incomplete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 025	27 Nov 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 026	27 May 2010	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 030	21 Dec 2010	incomplete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 031	19 may 2009	complete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 032	26 May 2010	complete skull	Mostardas, RS
MUCIN 033	03 Oct 2011	complete skull	Cidreira, RS
MUCIN 034	22 Oct 2009	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 035	03 Oct 2011	complete skull	Tramandaí, RS
MUCIN 037	27 Nov 2010	complete skull	Mostardas, RS
MUCIN 082	24 Set 2010	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 094	11 Set 2012	complete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 097	17 May 2011	complete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 100	15 May 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 116	14 Nov 2012	complete skull	Osório, RS
MUCIN 117	06 Nov 2012	complete skeleton	Balneário Pinhal, RS
MUCIN 118	11 Oct 2012	complete skeleton	Arroio do Sal, RS
MUCIN 141	27 May 2010	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 178	06 Nov 2012	complete skull	Palmares do Sul, RS
MUCIN 195	14 Nov 2012	incomplete skull	Arroio do Sal, RS
MUCIN 208	13 Set 2012	complete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 209	06 Set 2012	incomplete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 222	14 Nov 2012	complete skull	Imbé, RS
MUCIN 226	06 Set 2012	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 231	23 Oct 2009	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 233	22 Dec 2012	complete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 314	06 Nov 2012	complete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 320	06 Nov 2012	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 356	06 Jun 2013	complete skull	Imbé, RS
MUCIN 365	26 Oct 2009	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 414	30 Oct 2009	complete skeleton	Litoral Norte, RS
MUCIN 415	27 Nov 2010	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 416	28 Mar 2013	complete skeleton	São José do Norte, RS
MUCIN 417	27 May 2010	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 418	27 May 2010	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 423	15 May 2010	complete skeleton	Litoral Norte, RS
MUCIN 425	15 May 2010	complete skeleton	Litoral Norte, RS
MUCIN 426	26 Oct 2009	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 428	06 Set 2012	complete skull	Palmares do Sul, RS
MUCIN 524	08 Aug 2013	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 525	30 Oct 2013	complete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 580	27 Nov 2010	complete skull	Mostardas, RS

MUCIN 585	31 May 2011	complete skull	Mostardas, RS
MUCIN 588	07 Set 2009	complete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 589	30 Oct 2013	complete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 590	21 May 2014	complete skeleton	Tramandaí, RS
MUCIN 648	30 May 2011	complete skull	Mostardas, RS
MUCIN 649	21 May 2014	complete skull	Tramandaí, RS
MUCIN 665	27 Nov 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 668	08 Aug 2013	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 713	21 Aug 2013	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 714	26 May 2010	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 715	30 May 2011	complete skull	Cidreira, RS
MUCIN 718	13 Set 2012	complete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 740	21 Aug 2013	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 741	10 Oct 2013	complete skeleton	Xangri-lá, RS
MUCIN 838	1990	incomplete skeleton	Litoral do Paraná, PR
MUCIN 839	1992	incomplete skeleton	Pontal do Sul, PR
MUCIN 848	1990	complete skeleton	Litoral do Paraná, PR
MUCIN 849	1990	complete skeleton	Litoral do Paraná, PR
MUCIN 850	1990	complete skeleton	Litoral do Paraná, PR
MUCIN 851	08 Mar 1993	complete skeleton	Pontal do Sul, PR

Atlantic Yellow-nosed Albatross (*Thalassarche chlororhynchos*)

MCN 357	19 Sep 1994	complete skeleton	Mostardas, RS
MCN 558	16 Sep 1995	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MCT 108	20 Oct 1986	complete skull	Tavares, RS
MCT 114	Oct 1997	incomplete skeleton	Florianópolis, SC
MCT 624a	02 Jan 2001	incomplete skeleton	Capão da Canoa, RS
MCT 624b	02 Jan 2001	incomplete skeleton	Capão da Canoa, RS
MCT 817	16 Apr 2000	complete skeleton	Litoral Norte, RS
MCT 822	30 Mar 2000	complete skeleton	Litoral Norte, RS
MCT 3185	–	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MCT 3381	03 Oct 2010	incomplete skeleton	Florianópolis, SC
MCT 4132	04 Oct 2010	incomplete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 027	21 Dec 2009	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 039	23 Oct 2010	incomplete skull	Palmares do Sul, RS
MUCIN 040	25 Nov 2009	incomplete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 041	17 Oct 2008	complete skull	Tramandaí, RS
MUCIN 042	04 Jan 2009	complete skull	Capão da Canoa, RS
MUCIN 043	23 Oct 2009	complete skull	Palmares do Sul, RS
MUCIN 044	26 Oct 2009	incomplete skull	Balneário Pinhal, RS
MUCIN 045	22 Oct 2002	complete skull	Litoral Norte, RS
MUCIN 087	27 Nov 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 095	23 Nov 2006	complete skeleton	Capão da Canoa, RS
MUCIN 098	24 Set 2009	complete skeleton	Palmares do Sul, RS

MUCIN 214	15 May 2010	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 223	06 Nov 2012	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 225	16 Aug 2012	incomplete skeleton	Xangri-lá, RS
MUCIN 228	26 Oct 2009	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 256	27 Nov 2012	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 260	26 Oct 2009	incomplete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 288	14 Nov 2012	complete skull	Arroio do Sal, RS
MUCIN 317	14 Nov 2012	incomplete skull	Arroio do Sal, RS
MUCIN 360	16 Oct 2012	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 419	24 Sep 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 420	26 May 2010	incomplete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 421	19 Mar 2013	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 422	22 Apr 2010	complete skeleton	Tavares, RS
MUCIN 424	30 Dec 2011	incomplete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 427	25 Oct 2009	complete skeleton	Palmares do Sul, RS
MUCIN 429	01 Aug 2013	complete skeleton	Osório, RS
MUCIN 579	27 Nov 2010	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 581	27 Nov 2010	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 582	27 Nov 2010	complete skull	Mostardas, RS
MUCIN 583	27 Nov 2010	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 584	30 May 2011	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 586	12 Dec 2013	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 587	25 Oct 2013	complete skeleton	Imbé, RS
MUCIN 646	27 Nov 2010	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 664	27 Nov 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 666	27 Nov 2010	incomplete skull	Mostardas, RS
MUCIN 667	27 Nov 2010	complete skeleton	Mostardas, RS
MUCIN 669	29 Dec 2012	complete skeleton	Capão da Canoa, RS
MUCIN 813	17 Mar 2013	complete skeleton	Cidreira, RS
MUCIN 832	10 Oct 1992	incomplete skeleton	Pontal do Sul, PR
MUCIN 833	28 Jul 1993	incomplete skeleton	Pontal do Sul, PR
MUCIN 836	28 Jul 1993	incomplete skeleton	Pontal do Sul, PR
MUCIN 837	16 Jul 1993	incomplete skeleton	On Board at Pontal do Sul, PR

S2: Measurements applied in the present study for morphometric analysis of Black-browed Albatross and Atlantic yellow-nosed Albatross.

Measurement	Description	Reference
1 Total skull length	From the tip of premaxilla to <i>proeminentia cerebellaris</i> at occipital region.	Spring 1971
2 Cranial length	From the anterior end of nasal bone, at <i>zona flexoria craniofacialis</i> to <i>proeminentia cerebellaris</i> at occipital region.	Spring 1971
3 Upper mandible length	Total skull length minus cranial length.	Spring 1971
4 Minimum width of the cranium	Measured at parietal region, right after <i>processus postorbitalis</i> and anterior to <i>os squamosale</i> .	Spring 1971
5 Maximum width of cranium	Measured at <i>processus postorbitalis</i> .	Spring 1971
6 Cranial height	Maximum vertical distance in median sagittal plane, measured from basal tubercles at <i>os basioccipitale</i> to the top of cranial vault at the region of <i>eminentia</i> .	Spring 1971
7 Ventral width of upper mandible's base	From the lateral of mandible at the point of encounter of nasal process and posterior process of premaxilla to the opposite side in its maximum distance.	Spring 1971
8 Height of upper mandible's base	Vertical distance from the apex of upper mandible, at an <i>eminentia</i> where posterior end of the rhamphotheca lies, to the point directly ventral.	Spring 1971
9 Dorsal width of upper mandible's base	Maximum width of plate directly dorsal to external nares	Spring 1971
10 Antorbital width	Maximum distance across the lacrimal bones insertion region.	Livezey and Humphrey 1984
11 Postorbital width	Measured from the squamosal region to the opposite, at its maximum distance.	Livezey and Humphrey 1984

12	Frontonasal width	Measured at <i>zona flexoria craniofacialis</i> region from the edge where lacrimal are articulated to the opposite side.	Livezey and Humphrey 1984
13	Interorbital width	Measurement of the distance between the orbits on dorsal face of the skull at its midpoint.	This study
14	Nasal gland fossa width	Maximum width of salt gland concavity.	This study
15	Bill width	Measured along the plane of the <i>eminentia</i> where posterior end of the rhamphotheca lies at the upper mandible, from the lateral of the mandible and encompassing the jugal bar to the opposite side.	Livezey and Humphrey 1984
16	Bill height	With the lower mandible positioned, from <i>eminentia</i> where posterior end of the rhamphotheca lies at the upper mandible to the ventral opposite site at lower mandible.	Livezey and Humphrey 1984
17	Internarial width	Maximum horizontal width of the inner portion nasal aperture.	This study
18	Total sternal length	From the anterior extremity of the manubrium to posterior, medial extremity of the sternum.	Spring 1971
19	Maximum sternal length	Anterior extremity of the manubrium to posterior end of <i>trabecula lateralis</i> .	This study
20	Sternal length less manubrium	From the horizontal plane of dorsal lip of coracoid sulcus in sternum medial point to posterior, medial extremity of the sternum.	Spring 1971
21	Manubrium length	Total sternal length minus sternal length less manubrium.	Spring 1971
22	Sternal length posterior to keel	From the posterior end of the keel where it fuses to sternum to the end of the posterior, medial extremity of the sternum (it is not necessary consider curvature).	Spring 1971
23	Anterior sternal width	From the external edge of <i>processus lateralis</i> to the opposite side at its maximum distance.	Spring 1971
24	Posterior sternal width	From the external, medial point of <i>trabecula lateralis</i> to the opposite side at its maximum distance.	Spring 1971

25	Anterior sternal height	At the medial plane, from the higher edge of keel to the ventral face of manubrium that is directly ventral.	Spring 1971
26	Least sternal width	From the margin of <i>incisura lateralis</i> - recess located between the posterior end of <i>margo costalis</i> (at ribs insertion) and the anterior end of <i>trabecula lateralis</i> , to the opposite side.	Livezey and Humphrey 1984
27	Keel length	Anterior border of the keel where it is inserted in sternum to the posterior end where it disappears in sternum not considering curvature.	This study
28	Anterior height of keel	Measured along line perpendicular to keel, from anterior dorsal edge of keel to intersection region with ventral border of keel.	Spring 1971
29	Coracoid length	From the top of coracoid at <i>processus acrocoracideus</i> to its base at <i>facies articularis sternalis</i> in a medial plane at its maximum distance.	Spring 1971
30	Width of coracoid case	From one side to another along the <i>facies articularis sternalis</i> .	Spring 1971
31	Furcula height	From <i>apophysis furculae</i> to its posterior end at <i>processus acromialis</i> .	Spring 1971
32	Furcula width	From lateral extent coracoidal facet on one side to the corresponding point on other side.	Spring 1971
33	Scapula length	From acromion process to its caudal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
34	Humerus length	From humerus head to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
35	Dorsoventral width of humerus	At its midpoint.	Livezey 1989
36	Anteroposterior width of humerus	At its midpoint.	Livezey 1989
37	Radius length	From radius head to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
38	Ulna length	From ulna head to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
39	Carpometacarpus length	From <i>trochlea carpalis</i> to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
40	Anteroposterior width of metacarpal II of carpometacarpus	At its midpoint.	Livezey 1989

41	Dorsoventral width of metacarpal II of carpometacarpus	At its midpoint.	Livezey 1989
42	Pollex length	From proximal to distal end at its maximum distance.	Spring 1971
43	Proximal phalanx length of major digit	From proximal to distal end at its maximum distance.	Spring 1971
44	Distal phalanx length of major digit	From proximal to distal end at its maximum distance.	Spring 1971
45	Wing total length	Sum of measurements of humerus length, ulna length, and carpometacarpus length, proximal phalanx length of major digit and distal phalanx length of major digit.	Spring 1971
46	Anterior pelvic width	Maximum distance between anterior iliac plates (<i>ala preacetabularis illi</i>).	Spring 1971
47	Medial pelvic width	(=acetabular width) lateral extent of antitrochanter on one side to corresponding point on opposite side.	Spring 1971
48	Posterior pelvic width	Maximum width from caudal extremity of posterior iliac plates (<i>ala postacetabularis illi</i>) to the opposite side.	Spring 1971
49	Synsacrum total length	From the rostral margin of <i>ala preacetabularis illi</i> to the caudal extremity of <i>ala postacetabularis illi</i> .	Livezey 1989
50	Anterior synsacrum length	From the rostral margin of <i>ala preacetabularis illi</i> to the anterior margin of <i>foramen acetabuli</i> .	Spring 1971
51	Posterior synsacrum length	From the posterior margin of <i>foramen acetabuli</i> to the caudal extremity of <i>ala postacetabularis illi</i> .	Spring 1971
52	Femur length	From the top of <i>crista trochanteris</i> to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
53	Femur anteroposterior width	At its midpoint.	Livezey 1989
54	Femur lateromedial width	At its midpoint.	Livezey 1989
55	Tibiotarsus length plus cnemial crest	From the top of <i>crista cnemialis</i> to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971

56	Tibiotarsus length less cnemial crest	From proximal articular surface (<i>facies articularis medialis</i>) to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
57	Tarsometatarsus length	From the top of <i>eminentia intercotylaris</i> to its distal extremity, at its maximum distance.	Spring 1971
58	Anteroposterior width of tarsometatarsus	At its midpoint.	Livezey 1989
59	Lateromedial width of tarsometatarsus	At its midpoint.	Livezey 1989
60	Total leg length	Sum of measurements of femur length, tibiotarsus length less cnemial crest and tarsometatarsus length	Spring 1971
61	Proximal phalanx length of middle toe	From proximal to distal end at its maximum distance.	Livezey 1989
62	Medial phalanx length of middle toe	From proximal to distal end at its maximum distance.	Livezey 1989
63	Distal phalanx length of middle toe	From proximal to distal end at its maximum distance.	Livezey 1989
64	Middle toe length	Sum of measurements of middle toe phalanx lengths.	Livezey 1989

S3: Total specimens (*N*), minimum and maximum values, mean, standard deviation (*SD*) in millimeters for Black-browed and Atlantic Yellow-nosed Albatross. All measurements presented morphometric differences between species statistically significant (Level of confidence = 95%), except for those followed by this symbol (*), which were not statistically different ($p > 0.05$).

Measurement (mm)	<i>N</i>	Black-browed Albatross				Atlantic Yellow-nosed Albatross				
		min	max	Med	<i>SD</i>	<i>N</i>	min	max	med	<i>SD</i>
1 TSKL	84	169.08	197.03	182.15	5.8	52	161.21	185.44	174.53	5.66
2 CL	88	56.59	68.44	61.40	5.78	52	52.49	62.02	57.83	2.00
3 UML	86	109.94	134.68	120.84	5.07	52	106.38	128.06	116.70	5.12
4 MWC	90	37.73	44.33	40.70	1.36	52	35.45	40.83	38.15	1.17
5 MXWC	89	50.52	65.84	60.09	2.66	52	52.50	58.83	56.29	1.62
6 CH	89	36.11	42.84	39.10	1.45	52	35.27	39.51	37.13	1.12
7 VWUMB	89	21.5	29.62	25.01	1.47	51	21.47	27.33	24.23	1.10
8 HUMB	89	28.72	35.40	32.13	1.59	51	26.43	37.96	29.31	1.80
9 DWUMB*	89	11.61	21.14	19.58	1.29	51	16.82	21.10	19.41	0.85
10 AW	76	20.72	34.65	30.37	3.00	47	21.10	31.28	26.94	1.94
11 FNW	90	19.25	33.94	22.16	1.60	51	18.20	27.37	20.59	1.30
12 IOW	90	3.87	12.91	6.36	1.26	52	2.26	10.31	7.52	1.45
13 NGFW	89	8.18	15.95	13.06	1.39	52	6.92	14.63	10.79	1.22
14 INW	89	12.95	29.37	16.65	2.83	52	10.87	17.57	13.04	1.23
15 BW	89	24.39	33.25	28.74	1.55	51	22.50	29.78	26.23	1.55
16 BH	87	36.58	46.58	41.73	1.98	51	34.20	40.72	37.81	1.54
17 TSL	72	88.23	103.73	94.06	3.31	35	75.70	92.35	82.79	4.24
18 MSL	72	103.42	123.03	112.29	4.68	35	89.63	111.04	100.28	5.17
19 SLLM	74	76.67	91.17	83.25	3.19	35	65.61	79.84	72.43	3.59
20 ML*	72	5.25	14.63	10.81	1.55	35	8.18	13.14	10.36	1.50
21 SLPK*	72	4.09	13.68	7.87	2.21	35	3.54	15.92	8.03	2.47

22 ASW	70	72.92	96.11	83.13	4.18	34	70.61	83.12	75.39	3.29
23 PSW	70	62.92	81.86	72.63	4.55	33	55.26	69.74	62.97	3.31
24 SH	73	43.34	51.44	46.73	1.76	36	37.77	46.27	41.72	2.24
25 LSW	61	54.36	72.09	62.75	3.04	34	48.56	65.11	54.96	3.42
26 KL	73	70.48	93.72	77.34	3.60	36	57.49	78.54	66.69	4.37
27 AHK	73	26.69	46.70	31.09	2.78	36	22.96	33.11	27.52	2.30
28 COL	75	50.81	60.26	55.12	2.04	37	46.24	56.25	49.85	2.58
29 WCOB	75	22.05	27.99	24.86	1.33	37	18.35	25.54	21.92	1.64
30 FH	69	45.61	68.44	57.18	4.48	37	42.07	58.18	50.19	3.61
31 FW	68	69.43	83.50	75.73	3.24	36	60.06	71.91	66.98	2.70
32 SL	76	84.81	96.69	90.35	2.78	36	76.34	92.12	82.95	3.58
33 HL	75	253.25	271.74	266.38	6.87	37	233.83	266.84	248.26	7.64
34 DVWH	74	7.86	10.00	9.00	0.41	37	7.21	8.86	8.14	0.43
35 APWH	74	10.89	15.55	12.33	0.65	37	9.94	12.23	11.14	0.63
36 RL	74	248.69	277.10	263.01	6.68	34	231.95	266.84	247.75	8.38
37 UL	74	252.55	280.24	266.68	6.52	35	235.04	269.22	250.84	8.35
38 CML	68	83.36	110.30	102.22	3.90	32	87.67	104.03	95.77	3.83
39 APWC	68	4.74	6.80	5.91	0.37	32	4.49	6.15	5.33	0.39
40 DVWC	68	5.25	6.82	5.93	0.29	32	4.73	5.90	5.37	0.30
41 POL	61	41.86	51.56	46.60	2.07	31	38.66	46.68	41.84	1.96
42 PPL	67	46.83	57.39	51.38	1.85	32	42.51	52.39	47.27	2.20
43 DPL	66	42.28	58.01	52.39	3.05	31	37.30	53.61	47.79	3.27
44 WTL	65	699.40	782.50	739.35	19.44	31	638.48	736.75	689.90	23.27
45 APW	71	31.03	41.86	36.57	2.27	35	24.79	36.70	31.36	2.81
46 MPW	71	34.87	40.87	37.83	1.43	35	31.66	38.81	35.86	1.43
47 PPW	71	24.25	32.88	27.44	1.92	34	16.11	30.30	25.24	2.69
48 STL	71	107.80	124.87	114.36	3.79	34	91.65	110.76	99.47	4.28
49 ASL	71	50.74	61.28	55.67	2.02	35	45.86	54.02	49.41	1.84
50 PSL	71	46.19	53.58	49.92	1.86	34	38.62	48.82	42.51	2.19

51 FL	71	71.65	84.65	78.28	2.77	35	65.38	76.65	72.57	2.58
52 APWF	71	6.43	8.36	7.22	0.36	35	5.63	7.38	6.49	0.39
53 LMWF	71	7.14	8.66	7.76	0.34	35	6.10	7.60	6.69	0.40
54 TLPC	70	157.90	178.64	167.10	4.69	35	141.86	163.18	151.49	5.53
55 TLLC	70	141.94	160.21	151.38	4.22	35	129.70	149.03	138.34	5.18
56 TML	76	80.58	97.64	85.14	2.79	34	75.55	87.57	80.89	2.66
57 APWT	76	5.82	7.03	6.51	0.28	33	5.26	6.63	5.84	0.29
58 LMWT	76	6.00	7.68	6.88	0.38	33	5.29	6.74	6.20	0.42
59 TLL	70	296.50	236.15	314.68	8.96	32	271.13	303.20	291.57	10.11
60 PPLM	70	46.72	54.12	50.07	1.47	33	38.03	49.77	45.55	2.09
61 MPLM	70	32.02	36.67	34.07	1.03	33	28.24	33.32	30.10	1.22
62 DPLM	68	21.64	27.74	24.03	1.06	33	19.39	23.39	21.39	1.07
63 MTL	67	101.28	117.43	108.18	3.07	33	91.02	106.26	97.04	3.79
