

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA**

**BIOLOGIA POPULACIONAL DO TUBARÃO-
AZUL, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758)
(CARCHARHINIDAE), NA REGIÃO
SUDOESTE DO OCEANO ATLÂNTICO.**

SANTIAGO MONTEALEGRE-QUIJANO

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de DOUTOR.

Orientador: Dr. Carolus Maria Vooren

RIO GRANDE
Dezembro de 2007

*Dedico este fruto de mi esfuerzo a mis padres Rafael y Socorro,
a mis hermanos Rafa y Luisa, a toda mi pequeña familia
y en especial a los más nuevos integrantes de nuestro Clan,
mi esposa Cristiana y mi hijo Lucas.*

AGRADECIMIENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer ao Brasil, esse belo país que me acolheu de braços abertos desde que pisei suas terras, lá no norte de Roraima, quando estava vindo atrás de um sonho, conhecer à SBEEL e estudar tubarões.

Agradeço muito especialmente ao Prof. Dr. Carolus M. Vooren, meu orientador e amigo, que acreditou na idéia louca de estudar a biologia populacional do tubarão-azul, uma espécie oceânica, cuja vasta distribuição geográfica a torna um desafio para a ciência. Muito obrigado Prof. Vooren por todos os seus ensinamentos profissionais e de vida, eles irão me acompanhar por sempre.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da FURG, seu corpo docente e discente, assim como ao pessoal todo que colabora de uma ou outra forma com o excelente funcionamento do Curso.

À CAPES pela concessão da Bolsa de Estudos que permitiu a minha dedicação exclusiva ao trabalho.

Ao Prof. Jules Soto, Curador e Diretor do Museu Oceanográfico do Vale do Itajaí, (MOVI – UNIVALI); grande amigo, sem sua colaboração e apoio esse estudo não poderia ter sido realizado.

Às tripulações dos barcos de pesca YAMAYA III e MACEDO IV. A alegria do dia-a-dia, as brincadeiras, os papos “cabeça” e “não cabeça”, e todo o apoio facilitou que tantas horas de mar pareçam hoje apenas uns poucos segundos da vida.

À empresa de pesca Com. e Ind. de Pescados Kowalski Ltda., que permitiu os embarques e acesso às amostras.

Aos estudantes da graduação que colaboraram no desenvolvimento trabalho, Cristina Iepsen, Vitória Chaves, Alice Lins, Mauro Koga, Raissa Carvalho, Rayd Nunes e Amilques Rodrigues.

Aos membros da Banca Examinadora Profs (as), Drs (as). Rosângela Lessa, Paul G. Kinas, Manuel Haimovici, Jorge P. Castello, Mônica B. Peres pelas valiosas sugestões e correções apontadas.

À Vera e ao Votto, secretários da PPGOB e do Depto. de Oceanografia, por sua amizade e colaboração a qualquer momento que fosse preciso.

Aos amigos Michel Donatto e Fernanda Colabouno, meus irmãos e agora padrinhos, e a todos os amigos e companheiros que passaram pelo Laboratório de Elasmobrânquios e Aves Marinhas, durante esses anos.

Ao pessoal do MOVI, em especial ao Mike Mincarone, por todo o apoio e amizade que facilitaram o trabalho.

À minha esposa Cristiana Ferreira, minha grande amiga e companheira, que sempre com sua visão otimista e crítica, me deu forças para enfrentar esses últimos dois anos de trabalho. TE AMO Cris, muito obrigado.

E por fim quero agradecer ao Senhor Deus, Criador do Universo, pois somente graças a Ele é que conheci todas essas pessoas maravilhosas, consegui realizar meu sonho e hoje consigo culminar mais uma fase dessa longa jornada que empreendi, que é ajudar a conservar a natureza.

MUITO OBRIGADO.

ÍNDICE

	Pg.
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xx
RESUMO	xxii
SUMMARY	xxiv
INTRODUÇÃO	1
CAPITULO 1	
DISTRIBUIÇÃO, ABUNDÂNCIA E COMPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO.	
1.1 INTRODUÇÃO.....	5
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
1.2.1 Área de estudo e método de pesca.....	6
1.2.2 Desenho amostral.....	7
1.2.3 Composição das capturas.....	9
1.2.4 Índices de abundância.....	10
1.3. RESULTADOS.....	11
1.3.1 Composição das Capturas.....	11
1.3.2 Índices de abundância.....	14
1.4 DISCUSSÃO.....	15
TABELAS.....	25
FIGURAS.....	30
CAPITULO 2	
TAMANHO DE MATURAÇÃO, FECUNDIDADE E CICLO REPRODUTIVO.	
2.1 INTRODUÇÃO.....	46
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
2.3 RESULTADOS.....	53
2.3.1 Tamanho corporal na primeira maturação sexual.....	53
2.3.2 Fecundidade Uterina.....	57
2.3.3 Ciclo Reprodutivo.....	58
2.4 DISCUSSÃO.....	
2.4.1 Tamanhos na maturidade sexual e fecundidade uterina.....	61
2.4.3 Ciclo reprodutivo.....	67
TABELAS.....	70
FIGURAS.....	74
CAPITULO 3	
CRESCIMENTO, IDADE E ESTRUTURA ETÁRIA	
3.1 INTRODUÇÃO.....	90
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	91
3.3 RESULTADOS.....	95
3.4 DISCUSSÃO.....	101
TABELAS.....	112
FIGURAS.....	117
CAPITULO 4	
TAXAS DE MORTALIDADE E ANÁLISE DEMOGRÁFICA	
4.1 INTRODUÇÃO.....	131
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	133
4.2.1 Mortalidade e sobrevivência.....	134
4.2.2 Parâmetros reprodutivos.....	136
4.2.3 Tabelas de vida.....	136
4.3 RESULTADOS.....	137
4.3.1 Mortalidade e sobrevivência.....	137
4.3.2 Tabelas de vida.....	139
4.4 DISCUSSÃO.....	141
TABELAS.....	148
FIGURAS.....	153
CONCLUSÕES	158
BIBLIOGRAFIA	161
ANEXOS	180

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1

Tabela 1.1 Características dos cruzeiros realizados em 2004 – 2006, no Atlântico Sudoeste, em dois barcos de pesca comercial de espinhel do sul do Brasil. TSM = média da Temperatura de Superfície do Mar; TP = Tempo de Pesca em horas; TP/TM = Tempo de pesca como proporção do tempo de mar; RO = Região Oceânica Internacional; TS = Talude Continental do Sul do Brasil.....25

Tabela 1.2 Número de indivíduos das espécies de peixes capturados em sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel, realizados em 2004 – 2006, no talude continental do sul do Brasil (junho a setembro) e na região oceânica internacional adjacente (dezembro – março). As espécies são apresentadas em ordem decrescente, primeiro segundo o número de cruzeiros em que a espécie ocorreu e em seguida, de acordo ao número total de indivíduos capturados.....26

Tabela 1.3 Relação entre o comprimento furcal (CF) médio em cm e a captura por unidade de esforço (CPUE_n) em número de indivíduos por cada 1000 anzóis lançados, com a latitude e a temperatura de superfície do mar, observadas em sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel pelágico na região sudoeste do Oceano Atlântico, em 2004 – 2006. N = número de indivíduos capturado, n = número de indivíduos medidos; s = desvio padrão; AD(%), proporção de adultos em porcentagem (*i.e.* CF \geq 180 cm).....27

Tabela 1.4 Distribuição sazonal e espacial das médias das capturas por unidade de esforço em número (CPUE_n), em número por hora de pesca (CPUE_n/h) e em peso em quilos (CPUE_p), total e por sexo, de *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste, nos

cruzeiros de pesca comercial realizados na região sudoeste do Oceano Atlântico em 2004 – 2006.....28

Tabela 1.5 Resultados das análises da variância entre cruzeiros em relação aos índices de abundância relativa dos sexos nas duas subáreas em separado, o talude sul do Brasil e a região oceânica internacional adjacente. F: valor do estatístico; p: nível de significância.28

Tabela 1.6 Variação sazonal da CPUE_n de fêmeas e machos de *P. glauca* nas diferentes fases do ciclo de vida. N: número de tubarões capturado; n: porcentagem de tubarões que tiveram o comprimento furcal medido (CF); **JU**: juvenis (CF < 120cm); **SA**: subadultos (CF = 120-169cm); **AD**: adultos (CF = 170-209 cm); **GA**.: grandes adultos (CF ≥ 210 cm).29

CAPITULO 2

Tabela 2.1 Resultados do teste *t*-Student para comparar entre os sexos o comprimento furcal (CF) de embriões de *P. glauca*, de um mesmo útero ou ninhada. O número de cada espécie representa uma identificação aleatória do indivíduo. d = útero direito, e = útero esquerdo, d + e = ninhada toda, n = número de embriões; p = nível de significância das diferenças.....70

Tabela 2.2 Número de tubarões (n) e amplitude de comprimento furcal dos indivíduos de *P. glauca* que tiveram dados e/ou amostras coletadas para o estudo dos aspectos reprodutivos. CF = comprimento furcal em cm; s = desvio padrão.....71

Tabela 2.3 Cronograma (a.) e distribuição latitudinal (b.) dos eventos e processos do ciclo reprodutivo das fêmeas de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, com base nos resultados do presente estudo e nas observações de Amorim (1992), Hazin *et al.* (1994b;

2000), Legat (2001) e Azevedo (2003). As casas em preto denotam as principais épocas e áreas.....72

CAPITULO 3

Tabela 3.1 Valores médios, por grupo de marca e total, dos índices de precisão utilizados na avaliação da reprodutibilidade das interpretações das marcas de crescimento nas seções vertebrais de *P. glauca*. IAPE = índice de erro médio em porcentagem; CV = coeficiente de variação; D = índice de precisão; n = número de indivíduos.....112

Tabela 3.2 Parâmetros de crescimento do modelo de von Bertalanffy (1938) estimados para *P. glauca* em outras localidades do mundo e no presente estudo. Os dados de tamanhos e de L_{∞} de todos os estudos foram convertidos a comprimento furcal (CF). As letras na primeira coluna identificam as curvas da Figura 3.15. ASW: Atlântico Sudoeste; ANW: Atlântico Noroeste; AN: Atlântico Norte; ANE: Atlântico Nordeste; PNE: Pacífico Nordeste; PNW: Pacífico Noroeste; ♀: fêmeas; ♂: machos; B: ambos os sexos; L_{∞} : comprimento máximo teórico; k: constante de crescimento; t_0 : idade teórica no comprimento zero; n: numero de exemplares analisado.....113

Tabela 3.3 Valores médios dos comprimentos furcais retrocalculados e observdos por marca de crescimento (R_i), para os sexos combinados de *P. glauca* capturados no Atlântico Sudoeste. MN = marca de nascimento.....114

Tabela 3.4 Comprimentos furcais estimados (CF) e taxas de crescimento ($\Delta CF/\Delta t$) nas idades em anos completos, segundo as curvas de crescimento geradas para os sexos em separados a partir dos comprimentos observados, de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste.....115

Tabela 3.5 Chave idade-comprimento de *P. glauca* para o Atlântico Sudoeste. Os números no corpo da tabela representam o total de indivíduos de cada classe de comprimento furcal (CF) nas diferentes classes etárias.....116

CAPITULO 4

Tabela 4.1 Coeficientes instantâneos de mortalidade natural (M) estimados por métodos indiretos baseados nas características de história de vida de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, estimados nos Capítulos 2 e 3. S = taxa de sobrevivência.....148

Tabela 4.2. Estimativas dos coeficientes instantâneos de mortalidade total (Z) e por pesca (F), e das taxas de sobrevivência (S) e de exploração (E), a partir das curvas de captura estabelecidas por sexo para cada cruzeiro, considerando as classes etárias superiores à idade de pleno recrutamento à arte de pesca (t_p), e o valor médio dos coeficientes instantâneos de mortalidade natural obtidos pelos métodos indiretos. s.d.= sem dados suficientes.....149

Tabela 4.3 Tabela de vida de *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste na situação hipotética de ausência da pesca, com taxas de mortalidade natural idade-específica estimadas pelo método de Peterson e Wroblewski (1984). x = idade; g_x = proporção de fêmeas grávidas; f_x = número de filhotes de sexo feminino por fêmea grávida; m_x = fertilidade em número de fêmeas *per capita*; M = taxa de mortalidade natural durante o ano; l_x = taxa de sobrevivência; R_0 = taxa líquida reprodutiva; G = tempo de geração; r = taxa de crescimento populacional; e^r = taxa finita de crescimento populacional.....150

Tabela 4.4 Resultados das tabelas de vida avaliando a capacidade de crescimento populacional do tubarão-azul *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste sob condições de

ausência da pesca e com diferentes taxas de sobrevivência durante o 1º ano de vida (S_0). Z_0 = mortalidade inicial; Z_{juv} = mortalidade durante as idades não recrutadas; Z_{rp} = mortalidade a partir do recrutamento pesqueiro; R_0 = taxa líquida reprodutiva; G = tempo de geração; r = taxa de crescimento populacional; e^r = taxa finita de incremento populacional. P&W = taxas de mortalidade natural idade-específica, estimadas pelo método de Peterson e Wroblewski (1984).....151

Tabela 4.5 Tabelas de vida para a população do tubarão-azul *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste sob diferentes cenários de mortalidade, sobrevivência, e idades de recrutamento pesqueiro (t_{rp}). S_0 =sobrevivência no primeiro ano de vida; Z_0 = mortalidade inicial; Z_{juv} = mortalidade dos jovens; Z_{rp} = mortalidade a partir do recrutamento pesqueiro; R_0 = taxa líquida reprodutiva; G = tempo de geração; r = taxa de crescimento populacional; e^r = taxa finita de incremento populacional.....152

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.1** Área de estudo e localização geográfica dos lances de espinhel, amostrados em sete cruzeiros de pesca comercial no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.30
- Figura 1.2** Conformação do espinhel pelágico de superfície utilizado pelos dois barcos de pesca comercial em que foram realizadas as amostragens nos sete cruzeiros realizados em 2004 – 2006, no Atlântico Sudoeste, e ilustração da forma como foi registrado o comprimento furcal (CF) dos tubarões.....31
- Figura 1.3.** Porcentagem de fêmeas de *P. glauca* capturadas em cada um dos sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel, realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006. Os números indicam a proporção sexual (machos:fêmeas).....32
- Figura 1.4** Porcentagem de fêmeas *P. glauca* por classe de comprimento furcal, na região oceânica internacional (RO), no talude continental do sul do Brasil (TS) e na área de estudo com um todo. Os números representam o total de tubarões (*i.e.* machos e fêmeas) por classe de comprimento, capturados em toda a área de estudo.....33
- Figura 1.5** Distribuição de frequência absoluta (**acima**) e relativa (**abaixo**) de comprimento furcal de machos (**esquerda**) e fêmeas (**direita**) de *P. glauca*, amostrados em sete cruzeiros de pesca comercial na Região Sudoeste do Oceano Atlântico em 2004 – 2006 (**a e b**), e para cada uma das duas subáreas, O Talude Continental do Sul do Brasil (TS) e a Região Oceânica Internacional adjacente (RO) (**c. e d.**). Os números nas abscissas representam o limite inferior da classe de comprimento. As setas e as linhas

verticais delimitam os estágios de desenvolvimento: **JU**: juvenis; **SA**: subadultos; **AD**: adultos; **GA**: grandes adultos..... 34

Figura 1.6 Distribuição de frequência de comprimento dos sexos de *P. glauca*, observadas em cada um dos sete cruzeiros de pesca comercial na Região Sudoeste do Oceano Atlântico em 2004 – 2006. As setas delimitam os estágios de desenvolvimento: **JU**: juvenis; **SA**: subadultos; **AD**: adultos; **GA**: grandes adultos.....35

Figura 1.7 Variação da temperatura de superfície do mar (TSM) em função da posição latitudinal nos lances de pesca realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.....36

Figura 1.8 Gráficos de dispersão que relacionam o comprimento furcal de machos (acima) e fêmeas (abaixo) de *P. glauca*, com a latitude no Atlântico Sudoeste. Cada ponto representa um indivíduo.....37

Figura 1.9 Gráficos de dispersão entre o comprimento furcal de machos (acima) e fêmeas (abaixo) de *P. glauca*, em relação à temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste. Cada ponto representa um indivíduo.....38

Figura 1.10 Abundância relativa de fêmeas (acima) e machos (embaixo) de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, indicada pelo número de tubarões capturados por cada 1000 anzóis (CPUE_n), em sete cruzeiros de pesca comercial de 2004 a 2006. Os pontos são o valor da mediana; os limites inferior e superior das caixas são os percentis 25% e 75%, respectivamente; e as barras mostram a amplitude entre os valores mínimo e máximo.39

Figura 1.11 Distribuição espacial da captura por unidade de esforço em número de indivíduos (CPUE_n) de fêmeas (acima) e machos (embaixo) de *P. glauca*, observadas

em sete cruzeiros de pesca comercial de espinhel no Atlântico Sudoeste no período de em 2004 a 2006.	40
Figura 1.12 Variação sazonal do $\ln(\text{CPUEn}+1)$ de fêmeas (a.) e machos (b.) de <i>P. glauca</i> nas diferentes fases do ciclo de vida em sete cruzeiros de pesca comercial no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.....	41
Figura 1.13 Relação entre a densidade (CPUEn) de <i>P. glauca</i> e a temperatura de superfície do mar (T.S.M.), registrados em cada um dos 111 lances de pesca comercial realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 - 2006. Os lances são apresentados em ordem cronológica correspondente com as estações do ano.....	42
Figura 1.14 Variação da densidade (CPUEn) de machos e fêmeas de <i>P. glauca</i> nos lances de pesca, em relação à temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.....	43
Figura 1.15 Variação da densidade (CPUEn) de machos e fêmeas de <i>P. glauca</i> nos lances de pesca, em relação à latitude no Atlântico Sudoeste.....	44
Figura 1.16 Variação mensal das capturas de <i>P. glauca</i> em peso, desembarcadas pela frota de espinhel no Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil, nos anos de 2000 a 2006. a. Peso desembarcado de <i>P. glauca</i> . b. Percentual representado por <i>P. glauca</i> do total de peixe desembarcado. Os pontos são as médias; as caixas representam o desvio padrão; e as barras mostram a amplitude entre os valores mínimo e máximo (Dados extraídos de: http://www.univali.br/gep em outubro de 2007).....	45

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Localização da área de pesca no Atlântico Sudoeste (área sombreada) e posição inicial dos lances de espinhel realizados em 2004 – 2006, classificados por

estação do ano.	73
Figura 2.2 Variação do CF dos embriões por sexo, encontrados nas ninhadas de 13 fêmeas grávidas, identificadas com números aleatórios. Em a e b se apresentam a mediana (ponto), o intervalo interquartilico (caixa) e a amplitude (linhas) de comprimento furcal em cm, e números os indicam o tamanho da amostra. Em c e d se apresentam os escores Z para cada embrião, em relação ao comprimento furcal médio da ninhada, os números indicam o desvio padrão.....	74
Figura 2.3 Variação do crescimento dos claspers em função do crescimento corporal. a. Gráfico de dispersão entre o tamanho dos claspers e o CF. b. Relação entre índice de comprimento do clasper (ICL) e o CF, e ajuste das equações de regressão dividida para o calculo do ponto de quebra.....	75
Figura 2.4 Variação do comprimento (a.) e do peso (b.) de testículos de <i>P. glauca</i> em função do tamanho corporal.....	76
Figura 2.5 Relações entre o peso dos ovários e o diâmetro do maior folículo ovariano (a.) e entre o peso e o diâmetro das glândulas nidamentárias (b.) de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste.....	77
Figura 2.6 Variação do peso dos ovários (a.), do diâmetro do maior folículo ovariano (b.) e do diâmetro e peso das glândulas nidamentárias (c. e d.) de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste.	78
Figura 2.7 Ajuste da distribuição normal cumulativa e da função logística aos dados de proporção de machos maduros de <i>P. glauca</i> , por classe de CF, classificados com base na presença de claspers rígidos e $\geq 11,0$ cm, para cálculo do L_{50}	79

Figura 2.8 Ajuste da distribuição normal cumulativa e da função logística aos dados de proporção de fêmeas maduras (a.) e grávidas (b.) de <i>P. glauca</i> , para cálculo do L_{50} e do L_{mat} , respectivamente.	80
Figura 2.9 a. Distribuição de freqüências de CF de fêmeas imaturas e maduras com “marcas de cópula”. b. Distribuição de freqüências de CF das fêmeas adultas, segundo o estado dos úteros. c. Proporção de fêmeas maduras, por classes de comprimento de 10 cm, nos quatro estágios do ciclo reprodutivo da fêmea.	81
Figura 2.10 Relação entre a fecundidade uterina (LS) e o comprimento furcal das fêmeas grávidas de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste.....	82
Figura 2.11 a. Variação sazonal da proporção de fêmeas com $CF \geq 160$ cm com marcas de cópula e de fêmeas grávidas. b. Variação sazonal no diâmetro do maior folículo ovariano (DFO) de fêmeas não grávidas com marcas de cópula e de fêmeas grávidas. c. Variação sazonal do CF dos embriões. As barras representam a amplitude, os pontos o valor médio e os números o tamanho das amostras.....	83
Figura 2.12 Variação sazonal e espacial do tamanho médio de embriões de <i>P. glauca</i>	84
Figura 2.13 Relação entre o diâmetro do maior folículo ovariano (DFO) e o CF dos embriões presentes em uma mesma fêmea grávida no Atlântico Sudoeste.	85
Figura 2.14 a. Variação do índice hepatossomático em função do tamanho do corpo das fêmeas em três estados reprodutivos. b. Variação mensal do índice hepatossomático de machos e fêmeas maduros.....	86

Figura 2.15 Variação sazonal do índice gonadossomático de fêmeas e machos de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste. Os números indicam o tamanho amostral em cada cruzeiro.	87
Figura 2.16 Variação mensal da média de peso do ovário, do diâmetro do maior folículo ovariano, do peso e maior largura das glândulas nidamentárias e do peso e comprimento de testículos de <i>P. glauca</i> do Atlântico Sudoeste.....	88
Figura 2.17 a. Ciclo reprodutivo de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste, com os eventos e processos apresentados em quadrantes por estação do ano. b. Esquema da distribuição espacial dos eventos e processo do ciclo reprodutivo.	89

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Distribuição espacial e sazonal dos lances de pesca onde foi realizada a coleta de dados e amostras de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste.....	117
Figura 3.2. Seções vertebrais de <i>P. glauca in natura</i> (a.) e corada com Alizarina (b.), observadas com aumento 10X e luz transmitida. O limite externo das bandas opacas, indicado com setas, são as marcas de crescimento. MN = marca de nascimento; R_i = raio da marca do grupo de idade i ; VR, raio da vértebra; MI = incremento marginal.....	117
Figura 3.3. Distribuição de freqüências relativa de comprimento (%) de <i>P. glauca</i> por sexo para o total de tubarões medido nas capturas e para a amostra que teve vértebras analisadas.	118
Figura 3.4. Relação entre o comprimento furcal (CF) e o raio da vértebra (RV) de <i>P. glauca</i> amostrados no Atlântico Sudoeste. No ajuste da regressão não foram incluídos	

os dados dos embriões. CFN = comprimento furcal no nascimento; R_{MN} = raio médio da marca de nascimento.119

Figura 3.5. Gráfico de comparação de leituras das seções vertebrais de *P. glauca* realizadas em dois momentos. Os pontos e as barras representam a média \pm o desvio padrão do número de marcas identificadas no segundo momento para todos os exemplares pertencentes ao mesmo grupo de número de marcas lidas no primeiro momento. A bissetriz representa a ausência de discrepâncias entre as duas leituras. Os números na diagonal são o total de indivíduos de cada grupo de número de marcas na primeira leitura.120

Figura 3.6. Distribuição de frequência relativa (%) da largura do incremento marginal para os sexos em separado e combinados, nos sete cruzeiros realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.....121

Figura 3.7. Distribuição de frequência relativa (%) de incremento marginal de *P. glauca*, com os sexos combinados, para grupos com o mesmo número de marcas de crescimento (0 – 2; 3 – 5; 6 – 8 e 9 – 13), nos sete cruzeiros de pesca comercial realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.....122

Figura 3.8 Variação mensal da mediana do incremento marginal de *P. glauca*, com os sexos combinados, para grupos com o mesmo número de marcas de crescimento (0 – 2; 3 – 5; 6 – 8 e 9 – 13), nos sete cruzeiros de pesca comercial realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006. Os quadros representam o intervalo interquartilico e as linhas a amplitude.123

Figura 3.9. Variação mensal da média do incremento marginal por grupos com o mesmo número de marcas de crescimento (**a.**), e para toda a amostra em conjunto (**b.**). As barras representam o desvio padrão. As letras identificam os meses pertencentes a

um mesmo grupo homogêneo, identificados no teste <i>a posteriori</i> de Tuckey.	124
Figura 3.10 Curvas de crescimento de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste por sexo, segundo modelo de von Bertalanffy (1938), ajustadas aos dados de idade e comprimento furcal observado (a.) e retrocalculado (b.). Em ambos os gráficos a nuvem de pontos são os comprimentos observados.....	125
Figura 3.11 Intervalo de confiança bidimensional de 95%, da coordenada cartesiana (L_{∞} , K) por sexo, para os parâmetros estimados a partir dos comprimentos observados. A título de comparação, apresenta-se também para ambos os sexos, a coordenada dos parâmetros obtidos a partir dos comprimentos retrocalculados.....	126
Figura 3.12. Estrutura etária das capturas de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste, estimada com base em 2742 tubarões medidos durante sete cruzeiros de pesca comercial, e a partir da chave comprimento-idade elaborada segundo a amostra 823 seções vertebrais. São indicadas as idades de primeira maturação sexual (t_{50}) e de primeira maternidade (t_{Mat}).....	127
Figura 3.13. Estrutura etária das capturas por cruzeiro. t_{50} = idade de primeira maturação; t_{Mat} = idade de primeira reprodução ou primeira maternidade.....	128
Figura 3.14 Relação peso total – comprimento furcal (a.) e curvas de crescimento em peso (b.) para ambos os sexos de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste.	129
Figura 3.15. Relação das curvas de crescimento segundo modelo de von Bertalanffy ajustadas a <i>P. glauca</i> em nível mundial. Os valores do L_{∞} de todos os estudos foram convertidos a comprimento furcal (CF). As letras indicam os autores de cada curva que	

se encontram identificadas na Tabela 2.2. A identificação das curvas, nos conjuntos assinalados com uma única seta, segue uma ordem decrescente segundo o L_{∞}130

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Curvas de mortalidade natural e sobrevivência de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, estimadas a partir do método de Peterson e Wroblewski (1984) e as informações reprodutivas de maturidade sexual e fecundidade estimadas no Capítulo 2153

Figura 4.2 Estimativas de mortalidade total (Z) a partir da curva de captura para cada cruzeiro por sexo. N = número de indivíduos.....154

Figura 4.3 Estimativa da taxa instantânea de mortalidade total (Z) por sexo, usando curvas de captura geradas a partir da estrutura etária da população no Atlântico Sudoeste, obtida com base no total de tubarões medidos em sete cruzeiros de pesca comercial e a chave idade-comprimento construída no Capítulo 3.....155

Figura 4.4 Curvas de sobrevivência (**a.**) e de potencial reprodutivo (**b.**) de *P. glauca* no Atlântico sudoeste, sob condições de ausência da pesca, para diferentes taxas de mortalidade durante o 1º ano de vida. P&W= Mortalidade natural obtida pelo método de Peterson e Wroblewski (1984). (Cenários A – D, F, G & I).....156

Figura 4.5 Curvas de sobrevivência e potencial reprodutivo, sob diferentes idades de recrutamento pesqueiro (trp), de *P. glauca* no Atlântico sudoeste, com taxa de sobrevivência durante o 1º ano de vida de 40%, mortalidade natural segundo método de Peterson e Wroblewski (1984), e mortalidade total atual de 0,693.....157

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Tubarão-azul, <i>Prionace glauca</i> (L., 1758) no seu ambiente natural, e área de distribuição geográfica da espécie.....	180
ANEXO 2. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de junho de 2004 (outono) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	181
ANEXO 3. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de julho de 2005 (inverno) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	182
ANEXO 4. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de agosto de 2006 (inverno) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	183
ANEXO 5. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de setembro de 2004 (inverno) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	184
ANEXO 6. Localização dos lances no cruzeiro de dezembro de 2005 (primavera), em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	185
ANEXO 7. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de fevereiro de 2004 (verão), em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	186

ANEXO 8. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de março de 2005 (verão), em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.	187
ANEXO 9. Cicatrizes no corpo de fêmeas de <i>P. glauca</i> , causadas pelo comportamento de cortejo do macho na cópula.....	188
ANEXO 10. Flagrantes do ciclo reprodutivo da fêmea de <i>P. glauca</i> no Atlântico Sudoeste. Ovários e úteros em estado pré-ovulatório (a. , b.), ovulando (c.) e.....	189

RESUMO

A biologia populacional do tubarão-azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), no talude continental do sul do Brasil e em águas oceânicas adjacentes, foi investigada nos aspectos da distribuição, abundância, reprodução, idade, crescimento e demografia. Foram realizados sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel, distribuídos em todas as estações do ano entre 2004 e 2006, que totalizaram 111 lances de pesca e 118.874 anzóis, lançados entre as latitudes 23°S e 38°S e as longitudes 29°W e 52°W. *P. glauca* ocorreu em todos os lances de pesca, representando entre 39,1 e 86,1% em torno da média de 58,5% do número total dos peixes capturados. Um total de 4068 machos e 443 fêmeas ocorreu nas capturas. O comprimento furcal (CF) variou entre 84 e 262 cm (média 164,7 cm) em 2.340 machos e entre 73 e 247 cm (média 170,9 cm) em 402 fêmeas. As capturas estão compostas principalmente por fêmeas adultas e machos sub-adultos. Pequenos juvenis (CF<120cm) foram abundantes no final do inverno e na primavera em águas com temperatura de superfície < 18°C. Grandes adultos (CF > 210 cm) foram escassos em todos os cruzeiros. A CPUE (indiv./1000 anzóis) por sexo e fase de desenvolvimento indica que a abundância da espécie varia ao longo do ano em função da sazonalidade das massas de água de origem tropical e subtropical presentes na região. Os maiores valores de CPUE foram registrados na primavera e nas latitudes de 33°S a 37°S. A seqüência cronológica dos eventos e processos do ciclo reprodutivo do tubarão-azul no Atlântico Sudoeste segue um padrão anual, e a distribuição espacial desses eventos apresenta limites latitudinais, abrangendo toda a metade sul do oceano Atlântico. Indivíduos em todas as fases do ciclo reprodutivo são encontrados na região. Machos e fêmeas atingem maturidade sexual com CF em torno de 180 cm,

correspondendo à idade de 6 anos. O tamanho e idade de primeira reprodução nas fêmeas foi maior, estimado em 191,5 cm e 7 anos. A fecundidade uterina total variou entre 9 e 74 embriões (média 34,4) com proporção sexual de 1:1. No estudo do crescimento foram analisadas 837 seções vertebrais, que apresentaram um máximo de 14 marcas de crescimento. A primeira marca de crescimento foi interpretada como a marca de nascimento. A análise da largura do incremento marginal revelou um padrão anual na periodicidade da formação das marcas, acontecendo principalmente nos meses de julho e agosto. Na área de estudo, ambos os sexos ocorrem com idades de menos de um ano de vida, até 12 anos as fêmeas e 13 anos os machos. O crescimento foi descrito pelo ajuste do modelo de von Bertalanffy, cujo melhor ajuste foi obtido com os comprimentos retrocalculados, não sendo encontradas diferenças entre os sexos. *P. glauca* é recrutada à pesca nas idades de seis anos nas fêmeas e 4 a 5 anos nos machos. Não foram observadas diferenças nos coeficientes instantâneos de mortalidade total, com taxas de exploração entorno de 55%. Uma alta capacidade de crescimento populacional foi constatada em cenários hipotéticos de ausência da pesca, em que o equilíbrio é alcançado com mortalidades de 90% dos neonatos. No cenário real mais otimista, com mortalidade natural no primeiro ano de vida de 40%, e as taxas de mortalidade constatadas em 2004 – 2006, a população não se encontra em equilíbrio, com taxa de crescimento populacional positiva em 5,4%. A plasticidade ecológica da espécie pode ser afetada caso seja diminuído a idade de recrutamento pesqueiro em um ano. São necessários estudos de marcação e recaptura no Atlântico Sul, para elucidar questões relacionadas à distribuição, reprodução e crescimento, dados fundamentais para um efetivo manejo e conservação dessa espécie-chave do ecossistema pelágico oceânico.

SUMMARY

The population biology of the blue shark, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), from continental slope of South Brazil and adjacent international waters, was investigated about the distribution, abundance, reproduction, age, growth and demography. Seven commercial longline fishery cruises were carried out, divided in all year seasons since 2004 to 2006, with a total of 111 fishing sets and 118 874 hooks, released between 23°-38°S and 29°-52°W. *P. glauca* was present in all of fishing sets, representing between 39,1 and 86,1% in number of the fishes caught. A total of 4068 males and 443 females occurred in the catches. The fork length (FL) was between 84 and 262 cm (mean 164,7 cm) in 2340 males and between 73 and 247 cm (mean 170,9 cm) in 402 females. Small juveniles (FL < 120cm) were abundant in late winter and spring, in waters with sea surface temperature < 18°C. Large adults (FL > 210 cm) were scarce in all cruises. The CPUE (indiv/1000 hooks) by sex and developmental stage indicate that the species abundance vary along the year, in function of the seasonal change of the tropical and subtropical sea water masses present in the region. The higher CPUE values were registered in spring and between 33°S and 37°S. The chronological sequence of the events and processes that makes up the blue shark reproductive cycle in the Southwestern Atlantic follows a year pattern, and the spatial distribution of those events has a latitudinal limits that ranges all South Atlantic basin. Individuals in all reproductive cycle stages are present in the area. Males and females reach sexual maturity about 180 cm, corresponding to 6 yr, however, the size and age of the first reproduction in females was higher, estimated in 191,5 cm and 7 yr. The uterine fecundity was between 9 to 74 embryos (mean 34,4) with sexual proportion of 1:1.

A total of 837 vertebral sections were analyzed in the growth study, and a maximum of 14 marks was recognized. The first growth mark was interpreted as the birth mark. Marginal increment analyses reveal an annual pattern in the periodicity of growth mark formation, taking place mainly in July and August.

At the study area, both sexes occurred with ages since least than a year to 12 years in females and 13 yr in males. The von Bertalanffy growth model was fitted to the length and age data. Best fit was attained with back-calculation, with no significant differences between sexes. Fishing recruitment occurs at 6 yr in females and 4 to 5 years in males. Total mortality rates was not different between sexes, with a exploitation rate about 55%. A high population growth capability was constated in hupotetical scenarios without fishing, where equilibrium is attained with 90% of mortality of the youngs-of-the-year. In best case scenario in the actutual situation, with a rate 40% of mortality of youngs-of-the-year, and the mortalities rates constaed in 2004 – 2006, the population is not in equilibrium, with a positive population rate of increse of 5,4%. The ecological plasticity of the species may be afected if the age at recruitment is diminished in one year. Is is necessary tagging studies at the South Atlantic to elucidate asoects of distribution, reproduction, and growth. This infomrations are findamental for a efective plan of management and conservation of this key-species of the pelagic oceano ecosystem.

INTRODUÇÃO

O tubarão-azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), é uma espécie oceânica pelágica de grande porte, que possui distribuição circumglobal em águas tropicais e temperadas entre 60°N e 50°S (Compagno *et al.*, 2005) (Anexo 1). A espécie usualmente é encontrada além da quebra da plataforma continental, na região epipelágica, em águas com profundidade superior a 500 m, mas ocasionalmente os indivíduos empreendem incursões noturnas em águas costeiras à procura de alimento, particularmente ao redor de ilhas oceânicas ou em áreas com plataforma continental estreita (Sciarrota e Nelson, 1977; Carey e Scharold, 1990; Nakano e Seki, 2003).

P. glauca é uma espécie altamente migratória, com complexos circuitos relacionados à disponibilidade de alimento e reprodução. Agrupamentos por idades, sexos ou fase reprodutiva têm sido documentados, com os juvenis, sub-adultos e adultos ocorrendo em áreas separadas (Strasburg, 1958; Stevens, 1976, Gubanov e Grigor'yev, 1975; Pratt, 1979; De Metrio *et al.*, 1984; Hazin *et al.*, 1990; 1994a,b; Nakano, 1994).

Nas pescarias oceânicas *P. glauca* é a espécie de tubarão mais capturada em nível mundial (Castro *et al.*, 1999), sendo comum nas capturas da pesca com espinhel e com redes de deriva. No entanto as estatísticas de desembarque são escassas e pouco precisas o que dificulta a avaliação do efeito da pesca nas populações (Stevens, 1992). Alguns autores têm apresentado estimativas do volume capturado de *P. glauca*, da ordem de dois a quatro milhões de indivíduos por ano (Bonfil, 1994; Camhi *et al.*, 1998; Matsunaga e Nakano, 2004). Com base em diários de bordo, Baum *et al.* (2003) estimaram que a taxa de captura de *P. glauca* no Atlântico Noroeste diminuiu mais de 60% no período de 1986 a 2000. Campana *et al.* (2006), analisaram dados de

observadores de bordo das frotas Japonesa e Canadense e confirmaram diminuição da abundância de *P. glauca* no Atlântico canadense, da ordem de 5% – 6% ao ano desde 1995. Essas tendências de declínio na abundância de *P. glauca* no Atlântico Noroeste podem estar refletindo um fenômeno em nível mundial.

No Brasil, tubarões-azuis vêm sendo capturados desde meados do Século XX, quando teve início a atividade de pesca com espinhel pelágico no país (Hazin *et al.*, 1990; Amorim, 1992). Devido ao seu baixo interesse comercial, nos primeiros anos dessa pescaria, os indivíduos eram descartados no mar depois de retiradas as nadadeiras (“finning”), impedindo o registro histórico completo dos desembarques. Acredita-se que o “finning” ainda aconteça em níveis menores (SBEEEL, 2005), apesar de que a legislação brasileira proíbe o comércio de nadadeiras desembarcadas sem a correspondente quantidade de indivíduos (IBAMA, Portaria 121, 1998).

Devido às mudanças na conformação dos espinhéis, nas espécies alvo e nas estratégias de pesca, os volumes de *P. glauca* desembarcados capturados no Brasil têm variado no tempo e no espaço (Hazin *et al.*, 1990; 1998; Amorim, 1992; Amorim *et al.*, 1998; Azevedo, 2003). No Sudeste e Sul do Brasil, de 1972 a 1995 os desembarques aumentaram de em torno de 8,6 t no porto de Santos – SP, para um patamar de 1250 t anuais, entre 1990 e 1994. Em 1996 os desembarques declinaram abruptamente para 541 t (Amorim *et al.*, 1998). Em Santa Catarina, onde está sediada a principal frota espinheira do sul do país, um total de 3593 t foi desembarcado no período de 2000 a 2006, com uma média anual de 513,2 t (UNIVALI/CTTMar, 2007). No Uruguai, *P. glauca* era sub-aproveitado até 1991, ano a partir do qual os desembarques da espécie passaram a ser regulares, atingindo um máximo de 180 t em 1996, e caindo depois para 50 t no ano 2000 (Domingo *et al.*, 2002). Todo esse quadro geral indica que, se

somados os desembarques desses três principais portos, na última década os desembarques de *P. glauca* pela pesca com espinhel na região Sudoeste do oceano Atlântico estiveram em torno de 1200 t/ano. Os efeitos que a remoção dessa quantidade de biomassa representam para a população de *P. glauca* e para o ecossistema epipelágico como um todo, são desconhecidos, já que relativamente pouco se sabe acerca da biologia populacional da espécie na região.

A biologia populacional de *P. glauca* no Atlântico Sul tem sido estudada principalmente na região equatorial, com informações da distribuição, reprodução e crescimento (Hazin *et al.*, 1994a,b; Castro e Mejuto, 1995; Hazin *et al.*, 2000; Hazin e Lessa, 2004; Lessa *et al.*, 2004; Mejuto e García-Cortéz, 2004). Na região subequatorial têm sido realizados estudos que abordam aspectos reprodutivos e pesqueiros (Amorim, 1992; Amorim *et al.*, 1998; Legat, 2001, Vooren *et al.*, 1999; Domingo *et al.*, 2002; Azevedo, 2003; Mejuto e García-Cortéz, 2004; Montealegre-Quijano, 2005; Olavo *et al.*, 2005), mas existem lacunas de informação em relação à distribuição e abundância sazonal e espacial dos sexos nas diferentes fases de vida e em relação aos parâmetros populacionais de reprodução, crescimento e demografia.

Além disso, não se sabe ainda se as capturas nas diferentes regiões e épocas no Atlântico Sul fazem parte de uma única unidade populacional. Hazin *et al.* (2000), considerando o tamanho de embriões por época do ano nas regiões NE e SE do Brasil e com base nas observações de Castro e Mejuto (1995) no Golfo de Guiné, propuseram a hipótese da existência de ciclo migratório no sentido horário por toda a metade sul do Oceano Atlântico. Já Legat (2001), comparou dados reprodutivos e morfométricos da espécie no sul do Brasil com as regiões NE e SE do país, e propôs a existência de dois estoques unitários no Atlântico Sul, um na região tropical e outro na região temperada.

Nas duas hipóteses as áreas de parto e de berçário estariam localizadas no leste do Atlântico. Diferentes estudos têm apoiado cada um dos modelos (Amorim *et al.*, 1998; Domingo *et al.*, 2002, respectivamente). Entretanto, são necessários dados de áreas e épocas ainda não amostradas.

O conhecimento dos padrões de distribuição e abundância nas diferentes fases de vida, e dos parâmetros reprodutivos, de crescimento e demográficos, são informações importantes para ajudar na identificação das unidades populacionais (Begg *et al.*, 1999). Essas informações também são fundamentais para estimar a vulnerabilidade das populações, e com isso entender os efeitos da mortalidade causada pela pesca, para prognosticar trajetórias de recuperação e poder formular estratégias de manejo e conservação (Musick, 1999). Por esses motivos, a biologia populacional de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste foi estudada no presente estudo, a partir de embarques na frota comercial de espinhel do sul do Brasil, tendo por objetivos:

- 1.-Descrever os padrões sazonais de distribuição e abundância de *P. glauca* para jovens e adultos de ambos os sexos.
- 2.-Estimar os tamanhos e idades de maturação sexual de machos e fêmeas, a fecundidade uterina e identificar as fases do ciclo reprodutivo que ocorrem na região.
- 3.-Determinar a composição por idades das capturas e estimar os parâmetros populacionais de crescimento, a partir da interpretação das marcas de crescimento presentes nas vértebras para cada sexo.
- 4.-Diagnosticar a capacidade de crescimento da população de *P. glauca* em termos da taxa intrínseca de crescimento populacional.

CAPITULO 1

DISTRIBUIÇÃO, ABUNDÂNCIA E COMPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO DO TUBARÃO-AZUL, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), NA REGIÃO SUDOESTE DO OCENAO ATLÂNTICO.

1.1 INTRODUÇÃO

A distribuição e abundância de *P. glauca*, e, por conseguinte o ciclo migratório e o padrão de uso do hábitat no Atlântico Sudoeste ainda são pouco conhecidos. No nordeste do Brasil, Hazin *et al.* (1990; 1994a) corroboraram o hábito oceânico da espécie ao relacionar positivamente a abundância com a profundidade de fundo, e observaram também que a abundância dos machos é maior na segunda metade do ano e a maiores profundidades. No sudeste e sul do Brasil, Amorim (1992) também observou variação sazonal na abundância dos sexos, sendo os machos mais abundantes na maior parte do ano. Nessa mesma região, Azevedo (2003) constatou que a latitude, a longitude e a temperatura de superfície do mar são os fatores que mais influenciam na abundância da espécie. Entretanto, ainda são necessárias informações sobre a composição por tamanhos e sexos, como também dos fatores que condicionam maiores abundâncias de alguma parcela da população.

No intuito de contribuir ao entendimento do padrão de uso do hábitat de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, no presente trabalho se apresentam dados adicionais acerca do padrão de distribuição e abundância sazonal e espacial dos sexos e das classes de comprimento da espécie, coletados a bordo da frota de pesca comercial no talude continental do sul do Brasil e na região oceânica internacional adjacente.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Durante o programa de monitoramento da pesca de espinhel no sul do Brasil do Museu Oceanográfico do Vale do Itajaí (MOVI) foram realizados, no período de 2004 – 2006, sete cruzeiros a bordo de dois barcos espinheleiros de Itajaí - SC, cinco no barco Yamaya III e dois no barco Macedo IV, ambos pertencentes à empresa Comercio e Industria de Pescados Kowalsky. O objetivo dos cruzeiros foi coletar dados *in situ* do esforço de pesca e da captura de *P. glauca*, bem como realizar a amostragem biológica das capturas. Em virtude da variação sazonal das áreas de pesca, os dados de outono (abril-junho) e inverno (julho-setembro) se referem ao talude continental do sul do Brasil e os dados de primavera (outubro-dezembro) e verão (janeiro-março) se referem à região internacional adjacente (Tabela 1.1).

1.2.1 Área de estudo

Para efeito de análise, a área de estudo, zona epipelágica oceânica do Atlântico Sudoeste, foi dividida em talude continental do sul do Brasil (TS) entre os paralelos 27°S e 34°S e região oceânica internacional (RO), entre os paralelos 23° S e 38° S, com limite leste na longitude de 29°W (Fig. 1.1).

As condições oceanográficas da área de estudo são regidas pelo ramo ocidental do anticiclone do Atlântico Sul, constituído pela Corrente do Brasil, massa de Água Tropical que flui em direção sudoeste ($>20^{\circ}\text{C}$; >36 UPS), e pela Corrente das Malvinas, massa de Água Sub-Antártica que flui em direção nordeste ($4-15^{\circ}\text{C}$; $> 33-34$ UPS) (Garcia, 1997). A junção destas duas massas de água constitui a extremidade oeste da Convergência Subtropical do Atlântico Sul, que resulta na formação de uma massa de Água Subtropical com características próprias ($10-20^{\circ}\text{C}$; $35-36$ UPS), também chamada

Água Central do Atlântico Sul (Garcia, 1997), que flui em direção leste como parte do ramo sul do anticiclone (Reid, *et al.*, 1977; Evans e Signorini, 1985) e ao norte em camadas mais profundas (Hubold, 1980a; b; Gordon e Greengrove, 1986; Moller *et al.*, 1999).

1.2.2 Método de pesca

Ambas as embarcações, o Yamaya III e o Macedo IV, têm 21 m de comprimento, autonomia para 30 dias no mar, capacidade de carga de 28 t de peixe, motor de 410 HP e o espinhel-de-superfície utilizado tinha linha principal de monofilamento de poliamida com 4 mm de diâmetro e 70 – 80 km de comprimento. O espinhel era suspenso por bóias, cujos cabos de poliamida com 3 mm de diâmetro possuíam 20 m de comprimento. As linhas secundárias, também de poliamida com 1,8 mm de diâmetro e 17 m de comprimento, eram equipadas com ponteiras adicionais compostas por destorcedor de 20 g, linha de poliamida de 1,8 mm de diâmetro e 2,5 m de comprimento, estropo de aço de 1,5 mm de diâmetro e 0,5 m de comprimento e anzol tipo J No. 9/0. Cinco linhas secundárias foram dispostas entre cada duas bóias (samburá), conectadas à linha principal por meio de presilhas de aço a intervalos de 15 seg, que com velocidade de navegação de sete nós durante o lançamento ficaram distanciadas a intervalos aproximados de 52 m na linha principal (Fig. 1.2).

Em cada operação de pesca a linha-madre era lançada com a mesma velocidade de navegação (13 km/h), para obter pequena curvatura catenária da linha madre entre flutuadores. Esse estilo de lançamento é utilizado na pesca dirigida ao espadarte, *Xiphias gladius* e a *P. glauca* (Amorim *et al.*, 1998), porque ambas essas espécies são tidas como peixes de superfície.

Em pesca experimental no talude continental do sul do Brasil, com espinhel de monofilamento, cabos de bóia de 16 m de comprimento, linhas secundárias de 10 m de comprimento e samburás com seis anzóis, Vooren *et al.* (1999) observaram que o espinhel lançado com velocidade igual àquela do barco, muitas vezes não permanecia esticado durante o período de imersão, mas se deformava irregularmente, de tal maneira que os anzóis centrais do samburá pescavam imprevisivelmente em uma amplitude de profundidades de 26 a 125 m, porém atuando a maioria das vezes na faixa de 30 a 80m. Também em pesca experimental, Olavo *et al.* (2005) durante dois cruzeiros a bordo do barco Yamaya III ao longo da costa leste do Brasil, utilizaram o espinhel da mesma maneira como na pesca comercial, e registraram a amplitude de profundidade de pesca de 32,8 a 99,6 m. Com base nessas experiências, considerando-se que o comprimento da linha de bóia e da linha secundária em conjunto foi de 40 m, se assume que o espinhel utilizado nos cruzeiros do presente estudo atuou na zona epipelágica, nas profundidades de 40 a 100 m.

O número de anzóis por lance variou entre 800 e 1200, com média de 1135. Bastões luminosos foram colocados próximo ao anzol das linhas secundárias posicionadas próximo aos flutuadores no samburá, no intuito de aumentar a captura de *X. gladius*, a principal espécie alvo. As iscas utilizadas foram calamar-argentino inteiro (*Illex argentinus*), bonito-listrado fatiado, (*Katsuwonus pelamis*), sardinha-verdadeira inteira (*Sardinella brasiliensis*) e peixe-prego em fatiado (*Ruvettus pretiosus*), proveniente este último de capturas obtidas durante o cruzeiro.

O lançamento do espinhel foi sempre à noite, com início no final da tarde e duração de cerca de seis horas. O recolhimento começava ao amanhecer, e durava até o início da tarde. O período compreendido entre o lançamento do primeiro anzol e o

recolhimento do último anzol, definido como o tempo de pesca segundo Simpfendorfer *et al.* (2002), variou entre 15 e 26 horas, com media de 19h 48'.

1.2.3 Desenho amostral

Nos meses de outono, inverno e início da primavera os barcos atuaram no Talude Continental do Sul do Brasil, e no final da primavera e verão operaram na Região Oceânica Internacional, aproximadamente a 1900 km do continente.

Os cruzeiros de pesca incluíram todas as estações do ano, sendo dois no verão (fev/04 e mar/05), um no outono (jun/04), três no inverno (set/04, jul/05, ago/06) e um na primavera (dez/05). Registrou-se de cada lance de pesca, a posição, o horário e a temperatura de superfície do mar (TSM) ao início e ao final do lançamento e do recolhimento e o número de anzóis utilizado. A TSM foi obtida através da medição registrada por um sensor localizado no casco do barco. Os cruzeiros totalizaram 178 dias no mar, com 111 lances de pesca, 118874 anzóis e tempo de pesca de 2201 horas, que representou 51,5% do tempo no mar (Tabela 1.1).

1.2.3 Composição das capturas

De cada lance de pesca foi registrado o número de indivíduos por espécie, e os indivíduos de *P. glauca* foram todos sexados. A hipótese nula da igual proporcionalidade numérica entre os sexos foi avaliada em cada cruzeiro através do teste de Chi-quadrado incorporada correção de continuidade de Yates (Zar, 1999).

Sempre que as condições de trabalho no convés permitiam, o comprimento furcal (CF) dos tubarões foi medido como a distância entre a ponta do focinho e o vértice do ângulo formado na margem posterior da nadadeira caudal, entre o lóbulo

superior e o inferior (Compagno, 1984) (Fig. 1.2). A medição foi realizada em linha reta ao cm inferior, com uso de vara métrica de madeira, de três metros de comprimento com ponta transversa de 30 cm que, quando apoiada no focinho do peixe, facilitava o alinhamento da vara paralelamente ao corpo do animal para a medição.

Os tubarões foram agrupados em quatro categorias de tamanho, ou fases de desenvolvimento, com base nas observações reprodutivas (Capítulo 2): juvenis (JU), com CF de 70 a 129 cm; subadultos (SA), com CF de 130 a 179 cm; adultos (AD), com CF de 180 a 219 cm e grandes adultos (GA), com CF maior ou igual a 220 cm.

1.2.4 Índices de abundância

Premissas da operação de pesca são que a isca emite o estímulo para o comportamento alimentar dos peixes sobre toda a extensão do espinhel, e que a conformação do espinhel maximiza a probabilidade que o comportamento alimentar de *P. glauca* resulte na sua captura, já que o padrão de atividade diário da espécie demonstra uma estratégia de constante busca visual e olfativa pelo alimento (Sciarrotta e Nelson, 1977; Carey e Scharold, 1990; Vaske e Rincón, 1998; McCord e Campana, 2003; Vaske *et al.*, 2003; 2004). Sob estas premissas o número de tubarões capturado por unidade de esforço (CPUE_n) em determinado local, é proporcional à densidade populacional dos tubarões naquele local. A magnitude dos valores da CPUE_n obtidos em cada cruzeiro, dentro de uma determinada área de pesca, é proporcional à abundância da espécie naquela área durante aquele intervalo de tempo (Vooren *et al.*, 1999).

O esforço de pesca foi expresso em unidades de 1000 anzóis lançados nas operações de pesca, conforme uso geral na ICCAT, e também em unidades de 1000

anzóis submersos durante uma hora de tempo de pesca, de acordo com Simpfendorfer *et al.* (2002). Entretanto, o tempo de pesca nos lances foi aproximadamente constante, pelo qual o padrão entre a CPUE_n e a CPUE_n/hora não foi diferente. As capturas por unidade de esforço em número (CPUE_n) e peso total em kg (CPUE_p) foram adotadas como índices de abundância e rendimento, respectivamente. Para cada cruzeiro, esses índices foram calculados como a média das CPUE obtidas nos lances individuais, por sexo e fase de desenvolvimento.

O peso total (PT, em kg) e o peso eviscerado (PE, em kg) foram calculados a partir do CF (cm) com uso das regressões obtidas por Vooren *et al.* (1999) em prospecção científica realizada no sul do Brasil:

$$\text{Fêmeas: } PT = 1 \times 10^{-6} CF^{3,35}; PE = 6 \times 10^{-7} CF^{3,42}$$

$$\text{Machos: } PT = 2 \times 10^{-6} CF^{3,17}; PE = 1 \times 10^{-6} CF^{3,26}$$

As diferenças sazonais e regionais da CPUE foram avaliadas através da ANOVA de uma via, com transformação logarítmica dos dados (Sokal e Rohlf, 1987), e o teste *a posteriori* de Tukey foi utilizado para identificar grupos homogêneos. O teste não paramétrico de Kruskal Wallis foi utilizado nas situações em que não foi possível normalizar a CPUE (Zar, 1999).

1.3. RESULTADOS

1.3.1 Composição das Capturas

P. glauca ocorreu em todos os lances de pesca, totalizando 4511 exemplares que representaram 62,8% do número total dos peixes capturados. Nos diferentes cruzeiros essa proporção variou entre 39,1 e 86,1%, com uma média de 58,5%. *Xiphias gladius*, a pesar de ser a espécie-alvo, foi a segunda espécie mais abundante com 870 indivíduos,

que representaram 12,1% do número total dos peixes capturados. Nos cruzeiros individuais, a proporção de *X. gladius* variou entre 2,9 a 31,2%, com média de 17,2% (Tabela 1.2).

A captura de *P. glauca* esteve composta por 4068 machos e 443 fêmeas. Fêmeas estiveram presentes em 79,3% dos lances. Nos cruzeiros individuais, a frequência de ocorrência de fêmeas variou entre 43,8% dos lances em fevereiro de 2004 e 100% dos lances em março e dezembro de 2005. No lance individual, o número de fêmeas variou de 1 a 31 em torno da média de 5,0 e o número de machos variou de 1 a 348 em torno da média de 36,6.

A proporção sexual total foi de 9,2 machos por fêmea. Somente no cruzeiro de março de 2005, realizado na Região Oceânica Internacional (RO) ao norte de 25°S, a proporção sexual não foi significativamente diferente de 1:1 ($X^2=0,143$; $p>0,01$). Em todos os outros cruzeiros os machos foram mais numerosos, com proporção mínima de 76,4% no cruzeiro de agosto de 2006 e máxima de 98,2% no cruzeiro de fevereiro de 2004 (Fig. 1.3). Em toda a área de estudo as fêmeas representaram em torno de 10% em número de indivíduos nos cruzeiros agrupados, sendo 10,6% no Talude Continental do sul do Brasil (TS) e 9,3% na RO.

Do total de tubarões capturado, 57,5% dos machos e 90,7% das fêmeas tiveram o CF medido. Exemplos de todas as classes de comprimento, desde pequenos juvenis a grandes adultos de ambos os sexos ocorreram na área. A proporção sexual por classes de comprimento, tanto no TS como na RO, não foi uniforme. As fêmeas foram mais numerosas apenas nas classes de 70 a 90 cm, e a menor proporção se observou entre as classes de 130 e 150 cm (Fig. 1.4).

Nos cruzeiros agrupados, o CF dos machos variou entre 84 e 262 cm, com moda na classe de 165 cm, e predominou a categoria de subadultos com 59,2% dos indivíduos, seguida dos adultos com 27,1%. Nas fêmeas o CF variou entre 73 e 247 cm, com modas em 105 e 180 cm, e predominou a categoria adulta com 49,5% dos indivíduos, seguida dos subadultos com 31,8%. Para ambos os sexos pequenos juvenis tiveram pequenas proporções e os grandes adultos foram escassos, com 11,0% e 2,7% para os machos e 16,4% e 2,2% para as fêmeas, respectivamente (Fig. 1.5a, b). A estrutura de tamanhos tanto no TS como na RO de ambos os sexos teve padrão similar ao observado para a área de estudo como um todo (Fig. 1.5c, d).

A composição das capturas ao longo dos meses exibiu um padrão similar na estrutura de tamanhos em ambos os sexos. Indivíduos juvenis com CF inferior a 130 cm estiveram presentes apenas em setembro e dezembro. Nos outros meses, o valor modal das distribuições de frequências de comprimento variou entre 170 e 190 cm. Em todos os cruzeiros, grandes tubarões com CF superior a 220 cm constituíram uma baixa proporção das capturas (Fig. 1.6).

A temperatura de superfície do mar (TSM) diminuiu com o aumento na latitude (Fig. 1.7) e variou de 16,2 a 28,4°C. Observou-se que, a maior latitude e menor TSM a proporção de indivíduos juvenis e subadultos aumentou, enquanto que a proporção de indivíduos adultos diminuiu (Fig. 1.8; 1.9). Em decorrência disso, o CF médio diminuiu com aumento latitudinal e com a diminuição na TSM (Tabela 1.3).

Do total de tubarões com CF inferior a 180 cm, 37,2% dos machos (n=612) e 58,3% das fêmeas (n=113), foram capturados dentro de um pequeno espectro térmico de dois graus (16°C a 18°C). Por outro lado, dos tubarões com CF superior a 180 cm, apenas 2,4% dos machos (n=17) e 9,6% das fêmeas (n=20) foram capturadas nessa

faixa de temperaturas (Fig. 1.9). Os indivíduos de *P. glauca* com menores tamanhos concentram-se em latitudes maiores que 32°S e/ou águas com TSM menor que 18°C (Tabela 1.3).

1.3.2 Índices de abundância

A CPUEn de *P. glauca* por lance de pesca variou entre 0,9 e 329,8 indiv./1000anz, com mediana 19,7 e intervalo interquartilico 10,0 – 37,8. A CPUEp variou entre 10,2 e 3518,1 kg/1000anz, com mediana de 585,8 e intervalo interquartilico 328,8 – 962,3. Para os sexos em separado, a CPUEn de fêmeas variou entre 0,8 e 34,4 indiv./1000anz (mediana 2,22 e intervalo interquartilico 0,9 – 4,5); e a CPUEn de machos variou entre 0,9 e 309,3 (mediana 16,7 e intervalo interquartilico 7,3 – 36,6).

Na área de estudo como um todo, a CPUEn de machos foi menor em mar/05 e maior em dez/05 ($F=9,58$; g.l.=6; $p<0,001$), e a CPUEn de fêmeas foi menor em fev/04 e jul/05 e maior em março e dezembro de 2005 ($F=6,19$; g.l.=6; $p<0,001$) (Tabela 1.4; Fig. 1.10). A CPUEn/h média de fêmeas e de machos nas amostras agrupadas foi de 0,18 e 1,69 indiv/1000 anzóis-hora, respectivamente. Em média a cada seis horas de pesca com 1000 anzóis foram capturados aproximadamente uma fêmea e dez machos. Devido ao tempo de pesca nos lances ter sido aproximadamente constante, não foram observadas diferenças nos padrões de CPUEn e a CPUEn/h entre cruzeiros (Tabela 1.4).

Entre o Talude Sul (TS) e a Região Oceânica Internacional (RO) houve diferenças significativa apenas na CPUEn/h de fêmeas, que foi maior na RO ($U=2,11$; $p=0,0167$); os outros índices de abundância de ambos os sexos não foram significativamente diferentes entre as regiões (Tabela 1.4). No TS, não houve diferenças entre os cruzeiros nos índices de abundâncias de ambos os sexos (Tabela 1.5). Já na RO,

as fêmeas tiveram maiores índices de abundância no cruzeiro de primavera (dez/05) e em um dos cruzeiros de verão (mar/05) (Tabela 1.5; Figura 1.1). A menor abundância de fêmeas ocorreu no outro cruzeiro de verão (fev/04), realizado ao redor da Elevação do Rio Grande (Tabela 1.5; Figura 1.1). Para os machos, a CPUEn foi diferente entre os três cruzeiros realizados nesta subárea, com a maior abundância no cruzeiro de dez/05 e a menor no cruzeiro de mar/05, que também teve a menor CPUEp (Tabelas 1.4, 1.5; Figs. 1.10; 1.11).

De modo geral, a abundância por sexo por fase de desenvolvimento foi maior na fase adulta para as fêmeas e na fase subadulta para os machos. Para as fêmeas, os adultos foram mais abundantes em todos os cruzeiros, exceto no final do inverno (set/04) e na primavera (dez/05), em que a abundância dos subadultos foi aproximadamente igual. Para os machos, adultos foram mais abundantes somente no cruzeiro de verão realizado ao norte de 25°S (mar/05). Em todos os cruzeiros os grandes adultos tiveram os menores valores de CPUEn, demonstrando a escassez de indivíduos com CF superior a 220 cm na área de estudo (Tabela 1.6; Fig. 1.12).

A CPUEn de *P. glauca* esteve relacionada de forma inversa ao aumento da TSM, e por conseguinte, de forma positiva ao aumento latitudinal (Tabela 1.3). O perfil de TSM relacionado com a CPUEn de cada lance mostra que em locais com maior concentração de indivíduos a temperatura era mais baixa (Fig. 1.13). Os maiores valores de CPUEn de *P. glauca* se registraram em águas mais frias enquanto que os menores valores de CPUEn se registraram em águas com TSM mais elevada.

Para os sexos em separado, altos valores de CPUEn foram registrados na faixa de 16° a 18°C (Fig. 1.14; Tabela 1.3), com maior proporção de juvenis e subadultos (Fig. 1.9). Em águas com TSM superior a 18°C a CPUEn de machos apresentou

tendência à diminuição, com os menores valores em temperaturas de em 27° a 28°C. Entre 18° e 23°C a CPUEn de fêmeas foi aproximadamente constante, e em águas com TSM superior a 27°C foram especialmente abundantes (Fig. 1.14).

A distribuição espacial da CPUEn de machos teve correlação significativa com o aumento latitudinal ($F = 61,39$; $p < 0,001$), mas para as fêmeas não foi constatada essa correlação ($F = 1,59$; $p = 0,745$) (Fig. 1.11, 1.15; Tabela 1.3). Altos valores de CPUEn de ambos os sexos ocorreram no extremo sul das duas subáreas amostradas, entre 32° e 34°S no TS, e entre 35° e 37°S na RO, principalmente por indivíduos imaturos (Fig. 1.8). As fêmeas também foram abundantes ao norte de 25 °S, porém principalmente por indivíduos adultos (Figs. 1.8; 1.11). Os machos adultos foram mais abundantes entre os paralelos 29° e 31 °S, e menos abundantes no limite norte da área amostrada (Figs. 1.8, 1.11 e 1.15).

1.4 DISCUSSÃO

A pesca com espinhel de superfície no sul do Brasil objetiva atuns e espadartes por terem maior valor de mercado mas, nos cruzeiros de pesca comercial amostrados, *P. glauca* foi a espécie mais abundante nas capturas, e nos cruzeiros de fev/04 e dez/05, realizados na região oceânica internacional (RO), 86,1% e 71,4% do número de peixes capturados foram tubarões azuis (Tabela 1.2). Dependendo da estratégia de pesca, há uma ampla variação espacial e temporal nas espécies que predominam nas capturas (Buencuerpo *et al.*, 1998; Hazin *et al.*, 1998; Marin *et al.*, 1998), por isto o direcionamento da pescaria pode ser dado através da operacionalidade da arte e/ou através da seleção de áreas de pesca específicas. Nos cruzeiros acompanhados no presente estudo, observou-se que o barco saia de porto com um destino definido, onde

todos os lances seriam realizados relativamente próximos entre si. Dependendo da captura de tubarões-azuis, tubarões-martelo ou espadartes, navegavam-se de 24 a 48 horas (200 a 600 mn) para continuar a pescaria (Anexos 2 a 8). Em todos os cruzeiros a estrutura e operacionalidade do espinhel foram constantes.

Em determinadas épocas a frota espinheira brasileira dirige seu esforço à captura de tubarões (Hazin *et al.*, 1990; Amorim *et al.*, 1998), pois além de existir um mercado interno para a carne, as nadadeiras representam um lucro adicional aos pescadores, e que é pago no momento do desembarque (Montealegre-Quijano, 2005). No sul do país, a mudança na área de atuação, do talude continental para águas internacionais, nos meses de dezembro a março, tem sido documentada como uma forma de direcionamento específica para *P. glauca* (Amorim, 1992; Azevedo, 2003). As estatísticas de desembarques do Estado de Santa Catarina, do período de 2000 a 2006, não evidenciam maiores volumes de *P. glauca* nesses meses do ano (Fig. 1.16a), mas o percentual representado por *P. glauca* do total em peso de peixe desembarcado, sim é maior (Fig. 1.16b). Isso dá suporte à idéia de direcionamento da pescaria à captura de tubarões-azuis no final da primavera e verão, época em que a comercialização das nadadeiras é mais proveitosa para a tripulação.

Na maioria dos cruzeiros as capturas de *P. glauca* estiveram compostas principalmente por machos (Fig. 1.3). Apesar de embriões no termo de *P. glauca* possuírem proporção sexual 1:1 (Pratt, 1979; Castro e Mejuto, 1995; Capítulo 2), em vida livre são mais comuns os registros de áreas com proporção sexual favorável aos machos (Nakano e Seki, 2003; Mejuto e García-Cortéz, 2004). No entanto, a proporção sexual em uma área ou época é o resultado de variações na abundância dos machos, das fêmeas ou de ambos os sexos; portanto, a variação temporal e espacial da proporção

sexual deve ser interpretada em conjunto com informações sobre a abundância (CPUE) dos sexos, das classes de tamanho, e das expectativas de vida por sexo.

A razão sexual de 1:1 observada no cruzeiro de março de 2005 foi resultado da menor abundância de machos na área de pesca, já que a CPUE_n de fêmeas foi semelhante à do cruzeiro de dez/05 em que proporção sexual foi de 16 machos por cada fêmea (Tabela 1.4; Fig. 1.3). No Atlântico Sul não existem registros de áreas ou épocas em que a proporção sexual seja favorável às fêmeas, mas em determinadas épocas e/ou áreas ocorrem proporções sexuais de 1:1. Isto é o padrão característico da região equatorial (10 °N – 10 °S) (Kholer *et al.*, 2002; Mejuto e García-Cortéz, 2004; Senba e Nakano, 2004), mas ao considerar o fator sazonal, no nordeste do Brasil Hazin *et al.* (1994a) constataram proporção sexual ao redor de 1:1 somente nos meses de março e abril, e maior escassez de fêmeas entre agosto e dezembro com proporções de 6:1 até 54:1, tanto pela diminuição da CPUE de fêmeas como pelo aumento da CPUE de machos. Em latitudes maiores, proporção sexual 1:1 de *P. glauca* tem sido documentada também na primavera e verão no sudeste do Brasil (Amorim *et al.*, 1998) e no inverno no Uruguai (Domingo *et al.*, 2002), mas a ausência de dados de CPUE nesses estudos impede interpretações em termos da abundância relativa dos sexos.

As características de latitude e de TSM do cruzeiro de mar/05 (Tabela 1.1), permitem diferenciá-lo dos outros cruzeiros como sendo típico de região tropical (Lalli e Parsons, 1993). Com isso, a proporção sexual de 1:1 observada nesse cruzeiro e a menor abundância de machos (Tabela 1.4) é consistente com as observações de Hazin *et al.* (1994a) na região equatorial do Atlântico Sudoeste e de Amorim *et al.* (1998) no Sudeste do Brasil. Durante o verão na região tropical, a temperatura nas camadas superiores do domínio epipelágico deve ser um fator que limita a abundância dos

machos. No verão e outono, Hazin *et al.* (1994a) observaram maior frequência de ocorrência de machos em anzóis posicionados a maior profundidade, e constataram também que, de forma geral, a CPUE de machos diminui com o aumento da temperatura, o que também foi observado no presente estudo (Fig. 1.14).

Para explicar a menor abundância dos machos nas altas temperaturas, pode-se traçar um paralelo com aspectos da fisiologia reprodutiva dos mamíferos. Nesse grupo animal, os testículos são desenvolvidos na cavidade abdominal do embrião, e antes do nascimento passam a ocupar o interior de um saco externo, o escroto, cuja função aparente é manter os testículos em um meio mais frio do que na cavidade abdominal, já que para a espermatogênese é necessária uma temperatura 3°C menor que a temperatura corporal para evitar a esterilidade (Curtis, 1987). *P. glauca*, apesar de ser uma espécie poiquilotérmica, possui uma estratégia de regulação da temperatura interna do corpo em torno de 18 °C, através de amplos deslocamentos verticais entre a superfície e águas profundas (Sciarrotta e Nelson, 1977; Carey e Schrold, 1990). Durante o verão, a maior radiação solar e a diminuição dos ventos, ocasionam o estabelecimento de termoclinas sazonais na camada superficial (Lalli e Pearsons, 1993). Nessa época do ano, os machos de *P. glauca* devem ser mais abundantes além dos primeiros 100m de profundidade, em águas com temperatura em torno de 18°C, o que explicaria a menor abundância desse sexo nas capturas do cruzeiro de março de 2005, em que a temperatura de superfície foi maior a 25°C.

A proporção sexual também varia em função do comprimento, o que foi corroborado no presente estudo com a menor proporção de fêmeas subadultas e grandes adultas (Fig. 1.4); mas esse padrão pode variar entre épocas e áreas. Nos oceanos Índico Sudoeste e Atlântico Central, Mejuto e García-Cortéz (2004) observaram padrões

semelhantes ao do presente estudo. Nas regiões Norte e Sudeste do oceano Atlântico, e na região Leste do oceano Pacífico, o padrão registrado mostra proporção de fêmeas maior ou igual à dos machos na fase de pequenos juvenis, diminuindo progressivamente com o aumento do comprimento (Pratt, 1979; Simpfendorfer *et al.*, 2002; Mejuto e García-Cortéz, 2004). No Atlântico Sudoeste e no Golfo de Guiné, a proporção de fêmeas é maior na fase adulta, que diminui progressivamente nos subadultos e nos grandes adultos, e ausência de pequenos juvenis (Castro e Mejuto, 1995; Mejuto e García-Cortéz, 2004).

A variação da proporção sexual, total e por classes de comprimento, é evidência de segregação sexual, no sentido de que a abundância dos machos e das fêmeas pode variar independentemente (Tabelas 1.4, 1.6; Figs. 1.10; 1.12). Várias espécies de tubarões tendem a se segregar por sexos e grupos de tamanho no decorrer dos seus ciclos biológicos e migratórios (Hoenig e Gruber, 1990), e isto tem sido documentado para *P. glauca* nos oceanos Atlântico (Hazin *et al.*, 1998; Kholer *et al.*, 1998; 2002; Fitzmaurice *et al.*, 2004), Pacífico (Strasburg, 1958; Nakano, 1994a) e Índico (Gubanov e Grigor'yev, 1975). Entretanto, ainda permanece a dúvida sobre a diferença na abundância dos sexos na fase adulta, que pode ser devido a diferenças na longevidade, à segregação vertical (Nakano e Seki, 2003) ou a outras causas. São necessários dados de CPUE por sexo nos anzóis intermediários dos samburás e prospecções a maiores profundidades.

Indivíduos maiores em menores latitudes ($< 32^{\circ}\text{S}$) e indivíduos menores em maiores latitudes ($> 32^{\circ}\text{S}$) (Fig. 1.8) é um padrão semelhante ao descrito para os oceanos Pacífico Norte (Suda, 1953; Strasburg, 1958; Nakano, 1994), Pacífico Sul (Stevens, 1992) e Atlântico Norte (Vas, 1990, Buencuerpo *et al.*, 1998; Henderson *et al.*

2001; Senba e Nakano, 2004; Campana *et al.*, 2006). A temperatura de superfície e a latitude em que os pequenos juvenis foram abundantes (Figs. 1.8; 1.9) provêm suporte à hipótese da dependência dessa fração da população do posicionamento sazonal e espacial da Convergência Subtropical no Atlântico Sudoeste (Anexos 2 - 8). Pequenos juvenis foram abundantes em quatro lances do cruzeiro de set/04 (Lances 9 – 11) e em sete lances no cruzeiro de dez/05 (Lances 9 – 15). Todos esses lances ocorreram em águas com TSM inferior a 18°C (Anexos 5 e 6, respectivamente), característica própria da água central do atlântico sul (ACAS), que é formada na convergência subtropical (García, 1997) (Figs 1.11; 1.13; Anexos 5 e 6).

No Pacífico Norte, Nakano (1994) identificou uma faixa latitudinal como sendo áreas de parto e de berçário entre os paralelos 35° e 45°N, onde tubarões de ambos os sexos permanecem até atingir 100 cm de CF; a segregação sexual ocorre na fase subadulta (100-160 cm), com as fêmeas concentradas em latitudes superiores à área de berçário e os machos em latitudes inferiores à área de parto. As observações do presente estudo permitem supor a existência no Atlântico Sul de um padrão de distribuição espacial de juvenis e subadultos análogo ao modelo de Nakano (1994), o que explicaria a baixa CPUE de fêmeas subadultas (Fig. 1.12), que devem ser mais abundantes em latitudes superiores a 40 °S, como também é observado no Atlântico Norte (Vas, 1990; Henderson *et al.*, 2001; Campana *et al.*, 2006) e no Pacífico Sul (Stevens, 1992).

As taxas de captura (CPUE_n) registrados no presente estudo (Tabela 1.4) são semelhantes com os registros obtidos para o Atlântico Sul (Marin *et al.*, 1998; Hazin *et al.*, 1994a; Azevedo 2003; Hazin e Lessa, 2004; Liu *et al.*, 2004; Mejuto e García-Cortéz, 2004; Nakano e Clarke, 2004). A ampla variação da CPUE_n de *P. glauca* é evidência de que a densidade da espécie é condicionada por fatores ambientais de

caráter sazonal e espacial (Figs. 1.11; 1.13, 1.14, 1.15; Anexos 2 - 8). Esta variabilidade na densidade foi constatada ainda dentro em um mesmo cruzeiro (Fig. 1.10), demonstrando que os fatores que determinam o grau de agregação variam também em escalas espaciais relativamente pequenas. Isto se deve a que os indivíduos se agregam em resposta a diferenças locais no ambiente, em resposta a mudanças diárias ou estacionais no clima, por causa de processos reprodutivos ou por atrações sociais, ou também em resposta à disponibilidade de alimento (Fréon e Misund, 1999). A latitude e a temperatura são os fatores que mais influenciaram nas taxas de captura de *P. glauca* (Nakano *et al.*, 1985; Bigelow *et al.*, 1999; Walsh e Kleiber, 2001; Simpfendorfer *et al.* 2002; Azevedo, 2003). A importância relativa desses fatores traz considerações fisiológicas e ecológicas que influenciam a distribuição. Nas áreas onde ocorre o encontro de massas de água, caracterizadas por mudanças abruptas na temperatura de superfície, há uma maior produtividade e conseqüentemente também maior densidade dos predadores (Lalli e Parsons, 1993).

Os baixos valores de CPUE_n ao norte de 25 °S, quando comparados aos altos valores na região subtropical, sugerem que a densidade populacional de *P. glauca* aumenta em direção aos pólos (Figs. 1.11; 1.15), provavelmente devido à produtividade das massas de água ou da temperatura, o que também foi observado no Pacífico Norte (Nakano *et al.*, 1985; Nakano, 1994). As taxas de produtividade primária no Atlântico Sudoeste são maiores durante o inverno tardio e na primavera, por influencia das águas Subantárticas, ricas em nutrientes, cuja influência é maior nas frentes oceanográficas entre as latitudes de 30° e 40°S (Castello e Möller, 1977; Castello *et al.*, 1998), embora também na primavera e verão seja comum o fenômeno da formação de vórtices e meandramentos que proporcionam condições tróficas elevadas na superfície e

subsuperfície (Braga e Niencheski, 2006). Os valores de CPUE_n extremamente altos, registrados nos lances posicionados em latitudes superiores a 33 °S (Figs. 1.11; 1.15), e o aumento da abundância entre o final do inverno e a primavera (Fig. 1.10; 1.12), pode ser devido a essa maior produtividade na região, que se manifesta em um aumento da disponibilidade de alimento, coincidindo com migrações reprodutivas e alimentares de lulas, atuns e outros peixes desde latitudes superiores e inferiores para esta região (Castello *et al.*, 1998; Santos e Haimovici, 1997; 2002), presas comuns na dieta de *P. glauca* na região (Vaske e Rincón-Filho, 1998).

A estratégia de distribuição espacial adotada por *P. glauca* ao longo da sua história evolutiva certamente é um dos fatores que tem contribuído para seu enorme sucesso. Alguns dos animais com maior êxito adaptativo no planeta utilizam uma estratégia de aglomeração em refúgio com um lugar favorável desde onde se dispersam retornando periodicamente para alimentação ou reprodução (Odum, 1986). Juvenis concentrados em uma região altamente produtiva com alimento disponível o ano todo e relativamente livres de predadores é a pedra fundamental do sucesso evolutivo de *P. glauca*.

A alta abundância desse predador representa o eixo central do equilíbrio da biocenose no ambiente epipelágico oceânico. Nesse ambiente as redes tróficas envolvem vários consumidores pertencentes ao neuston e poucos consumidores do necton (Lalli e Parsons, 1993), do qual *P. glauca* não só é o mais abundante, mas também ocupa o topo da rede alimentar. A matéria orgânica dissolvida, da qual bactérias e protozoários destruidores liberam sais e nutrientes para o ambiente, que são aproveitados pelos produtores primários, é fornecida pelos consumidores na forma dos seus diversos produtos de excreção. A ausência dos predadores tiraria do ciclo o elo

entre consumidores e produtores primários. Tudo que não é consumido no epipelágico , passa para o mesopelágico, e desaparece da camada eufótica do oceano. Sem os grandes predadores, a biocenose do epipelágico se desestrutura e deixa de funcionar como sistema. Por esses motivos *P. glauca* é uma espécie chave do ecossistema oceânico. A pesca excessiva dessa espécie não só afeta o equilíbrio populacional, mas também das comunidades e do ecossistema como um todo. Esses aspectos devem ser considerados para avaliar o potencial pesqueiro dos predadores topo de rede alimentar.

Tabela 1.1 Características dos cruzeiros realizados em 2004 – 2006, no Atlântico Sudoeste, em dois barcos de pesca comercial de espinhel do sul do Brasil. TSM = média da Temperatura de Superfície do Mar; TP = Tempo de Pesca em horas; TP/TM = Tempo de pesca como proporção do tempo de mar; RO = Região Oceânica Internacional; TS = Talude Continental do Sul do Brasil.

Cruzeiro	Estação	Região	Latitude (°S)	TSM (°C)	Duração (dias)	Lances (n)	Anzóis Lançados	TP (horas)	TP / TM (%)
fev/04	Verão	RO	28 - 36	22,1	29	16	14195	300,4	43,2
jun/04	Outono	TS	27 - 33	21,5	24	16	17600	320,6	55,7
set/04	Inverno	TS	27 - 34	18,7	26	19	19054	407,4	65,3
mar/05	Verão	RO	24 - 26	27,6	28	18	19490	337,3	50,2
jul/05	Inverno	TS	29 - 32	21,2	16	8	8710	154,6	40,3
dez/05	Primavera	RO	33 - 37	18,1	28	15	16640	298,5	44,4
ago/06	Inverno	TS	28 - 32	21,6	27	19	23185	382,7	59,1
TODOS OS CRUZEIROS			24 - 37	21,6	178	111	118874	2201,3	51,5

Tabela 1.2 Número de indivíduos das espécies de peixes capturados em sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel, realizados em 2004 – 2006, no talude continental do sul do Brasil (junho a setembro) e na região oceânica internacional adjacente (dezembro – março). As espécies são apresentadas em ordem decrescente, primeiro segundo o número de cruzeiros em que a espécie ocorreu e em seguida, de acordo ao número total de indivíduos capturados.

ESPECIE	Outono	Inverno		Primavera	Verão		TOTAL	
	jun/04	jul/05	ago/06	set/04	dez/05	fev/04		mar/05
<i>Prinace glauca</i>	491	129	403	863	1929	444	252	4511
<i>Xiphias gladius</i>	138	103	253	111	80	39	146	870
<i>Isurus oxyrinchus</i>	48	20	30	67	11	3	2	181
<i>Pteroplatytrigon violacea</i>	38	20	6	12	3	4	51	134
<i>Coryphaena hippurus</i>	7	4	26	26	2	7	6	78
<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>	47	39	78	12	6		43	225
<i>Ruvettus pretiosus</i>	1	4	24	1	6		8	44
<i>Gempylus serpens</i>	16	1	9		2	1	4	33
<i>Sphyrna zygaena</i>	1	1	1	15		3	6	27
<i>Thunnus alalunga</i>	29	5	30	26			4	94
<i>Tetrapturus</i> spp.			8	5	5	2	5	25
<i>Acanthocybium solandri</i>			1	2	1	3	15	22
<i>Thunnus albacares</i>	15			32		6	2	55
<i>Brama brama</i>	5	1	17	23				46
<i>Alopias superciliosus</i>	3		2	10			1	16
<i>Lampris guttatus</i>				1	310	1		312
<i>Sphyrna lewini</i>	1		1	60				62
<i>Mola mola</i>	5		8	2				15
<i>Makaira nigricans</i>			10			2	2	14
<i>Mobula</i> spp.	2		7	3				12
<i>Thunnus obesus</i>	4	1		2				7
<i>Lamna nasus</i>				2	328			330
<i>Carcharhinus signatus</i>	1			8				9
<i>Isurus paucus</i>	1			1				2
<i>Katsuwonus pelamis</i>		1					1	2
<i>Seriola lalandi</i>					19			19
<i>Carcharhinus longimanus</i>							10	10
<i>Carcharias taurus</i>				3				3
<i>Istiophorus albicans</i>							3	3
<i>Alepisaurus brevirostris</i>					1			1
<i>Carcharhinus falciformis</i>	1							1
<i>Galeocerdo cuvier</i>							1	1
<i>Masturus lanceolatus</i>		1						1
<i>Pseudocarcharias kamoharaii</i>	1							1
<i>Ranzania laevis</i>				1				1
<i>Trachipterus jacksonensis</i>						1		1
TOTAL DE PEIXES	855	330	914	1288	2703	516	562	7168
Proporção de <i>P. glauca</i> (%)	57,4	39,1	44,1	67,0	71,4	86,0	44,8	62,9

Tabela 1.3 Relação entre o comprimento furcal (CF) médio em cm e a captura por unidade de esforço (CPUE_n) em número de indivíduos por cada 1000 anzóis lançados, com a latitude e a temperatura de superfície do mar, observadas em sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel pelágico na região sudoeste do Oceano Atlântico, em 2004 – 2006. N = número de indivíduos capturado, n = número de indivíduos medidos; s = desvio padrão; AD(%), proporção de adultos em porcentagem (*i.e.* CF ≥ 180 cm).

	Latitude (°S)			Temperatura de Superfície do Mar (°C)				
	24° - <28°	28° - <32°	32° - <38°	16° - <18°	18° - <20°	20° - <22°	22° - <25°	25° - 28°
No. Lances	20	61	30	25	7	38	23	18
Machos								
N	139	1461	2468	1363	1210	779	587	129
n	136	1350	854	629	468	768	348	127
CF médio	191,4	175,1	144,2	136,6	163,8	173,6	187,7	191,4
s	18,9	21,6	24,8	20,9	19,6	20,4	21,0	19,1
AD (%)	74,3	38,9	8,4	2,7	19,0	37,1	61,2	74,0
CPUE _n (Média)	6,4	23,4	76,0	77,0	69,8	18,7	25,8	6,6
CPUE _n (Mediana)	5,9	18,6	41,0	36,0	54,5	16,6	18,8	5,9
Fêmeas								
N	123	120	200	107	101	79	33	123
n	121	125	156	133	44	81	23	121
CF médio	187,5	187	145,1	137,5	187,5	184,1	198,0	187,5
s	13,3	20,0	39,6	38,4	15,6	17,9	18,3	13,3
AD (%)	71,1	67,2	17,3	15,0	70,5	64,2	82,6	71,1
CPUE _n (Média)	5,7	1,8	6,3	6,7	4,5	1,8	1,3	6,3
CPUE _n (Mediana)	5,1	1,7	2,7	2,7	0,9	1,0	1,1	5,5

Tabela 1.4 Distribuição sazonal e espacial das médias das capturas por unidade de esforço em número (CPUE_n), em número por hora de pesca (CPUE_n/h) e em peso em quilos (CPUE_p), total e por sexo, de *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste, nos cruzeiros de pesca comercial realizados na região sudoeste do Oceano Atlântico em 2004 – 2006.

Estação	Cruzeiro	CPUE _n			CPUE _n /hora			CPUE _p		
		Fêmeas	Machos	Total	Fêmeas	Machos	Total	Fêmeas	Machos	Total
Talude do Sul do Brasil										
Outono	jun/04	1,9	26,0	27,9	0,10	1,27	1,37	85,3	706,6	791,9
Inverno	jul/05	0,8	14,0	14,8	0,04	0,73	0,77	43,6	343,2	386,8
	ago/06	2,4	15,0	17,4	0,12	0,73	0,85	90,7	352,2	442,8
	set/04	5,2	42,5	48,3	0,27	1,98	2,25	128,7	648,0	820,2
Total no Talude		3,1	26,1	29,2	0,15	1,25	1,40	97,1	544,2	641,3
Região Oceânica Internacional										
Primavera	dez/05	6,6	107,5	114,2	0,32	5,17	5,49	177,8	1366,3	1544,1
Verão	fev/04	0,5	30,4	30,9	0,03	1,60	1,62	22,4	961,1	983,5
	mar/05	6,3	6,6	12,9	0,32	0,40	0,72	265,7	230,6	496,3
Total na Região Oceânica		4,5	45,3	49,8	0,23	2,23	2,46	159,0	805,3	964,3
TOTAL GERAL		3,7	34,6	38,3	0,18	1,69	1,87	124,1	658,1	782,3

Tabela 1.5 Resultados das análises da variância entre cruzeiros em relação aos índices de abundância relativa dos sexos nas duas subáreas em separado, o talude sul do Brasil e a região oceânica internacional adjacente. F: valor do estatístico; p: nível de significância.

	Talude Sul do Brasil				Região Oceânica Internacional			
	Fêmeas		Machos		Fêmeas		Machos	
	F	p	F	p	F	p	F	p
CPUE_n	1,71	0,175	2,53	0,06	36,51	< 0,001	27,62	< 0,001
CPUE_n/hora	2,29	0,088	2,31	0,085	12,79	< 0,001	16,86	< 0,001
CPUE_p	1,85	0,147	0,76	0,52	39,41	< 0,001	21,16	< 0,001

Tabela 1.6 Variação sazonal da CPUE_n de fêmeas e machos de *P. glauca* nas diferentes fases do ciclo de vida. **N**: número de tubarões capturado; **n**: porcentagem de tubarões que tiveram o comprimento furcal medido (CF); **JU**: juvenis (CF < 120cm); **SA**: subadultos (CF = 120-169cm); **AD**: adultos (CF = 170-209 cm); **GA**.: grandes adultos (CF ≥ 210 cm).

Região	Cruzeiro	FEMEAS						MACHOS					
		N	n (%)	JU	SA	AD	GA	N	n (%)	JU	SA	AD	GA
TS	jun/04	34	100,0	0,0	0,5	1,4	0,1	457	72,4	0,2	12,9	12,7	0,2
	jul/05	7	100,0	0,0	0,1	0,7	0,0	122	91,8	0,0	9,0	4,8	0,3
	ago/06	55	85,5	0,0	1,0	1,3	0,1	348	89,1	0,2	10,4	4,3	0,1
	set/04	103	100,0	2,3	1,6	1,4	0,1	760	76,2	8,2	27,0	4,5	0,2
RO	dez/05	113	72,6	1,8	2,5	2,4	0,1	1816	27,3	28,9	69,2	10,4	0,7
	fev/04	8	100,0	0,0	0,2	0,4	0,0	436	88,5	0,0	15,5	12,1	3,1
	mar/05	123	98,4	0,0	1,8	4,3	0,2	129	98,4	0,0	1,7	4,3	0,6
TOTAL		443	90,7	0,6	1,2	1,8	0,1	4068	57,5	5,4	20,7	7,4	0,7

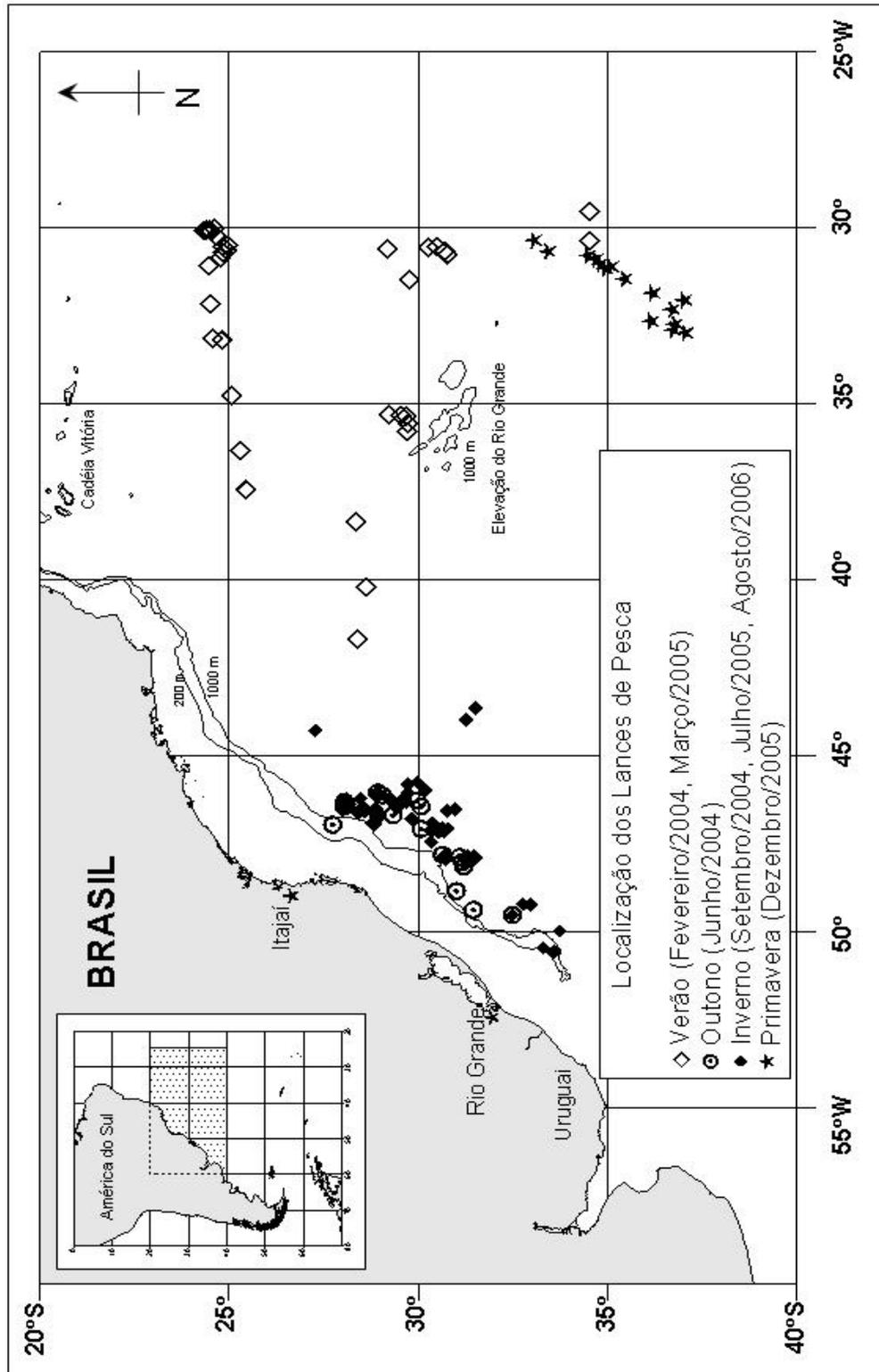


Figura 1.1 Área de estudo e localização geográfica dos lances de espínel, amostrados em sete cruzeiros de pesca comercial no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.

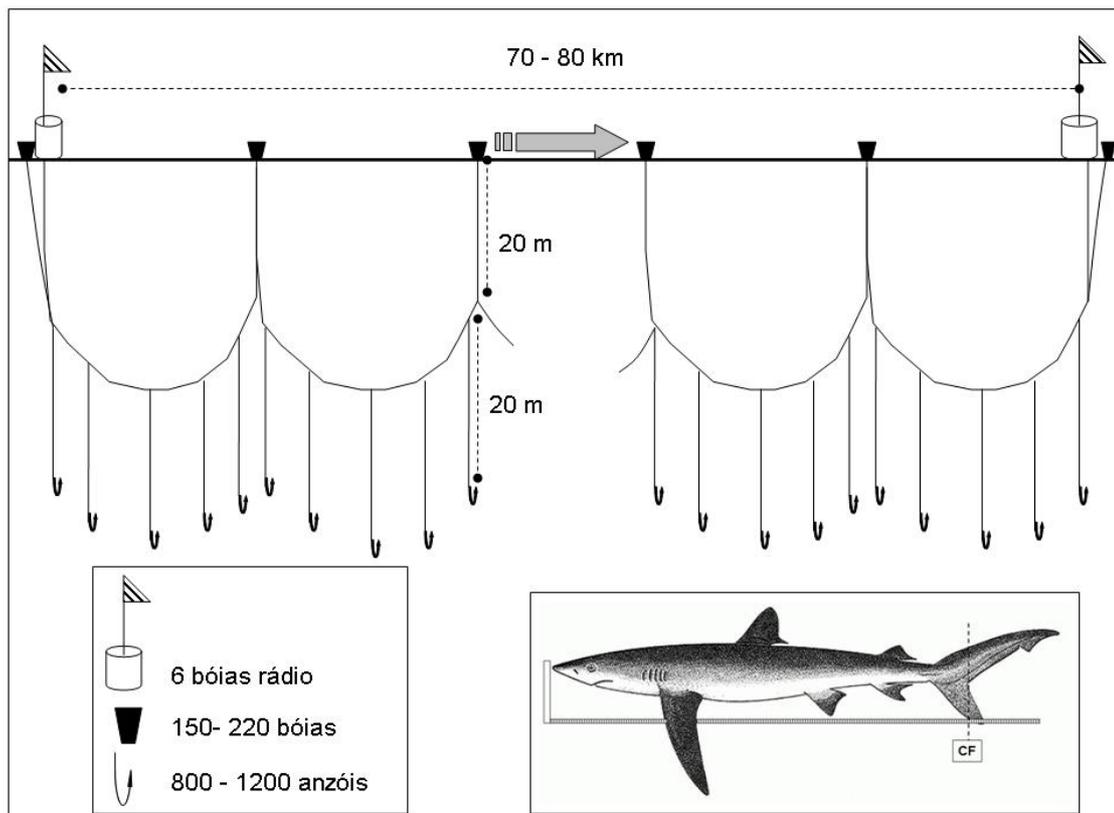


Figura 1.2 Conformação do espinhel pelágico de superfície utilizado pelos dois barcos de pesca comercial em que foram realizadas as amostragens nos sete cruzeiros realizados em 2004 – 2006, no Atlântico Sudoeste, e ilustração da forma como foi registrado o comprimento furcal (CF) dos tubarões.

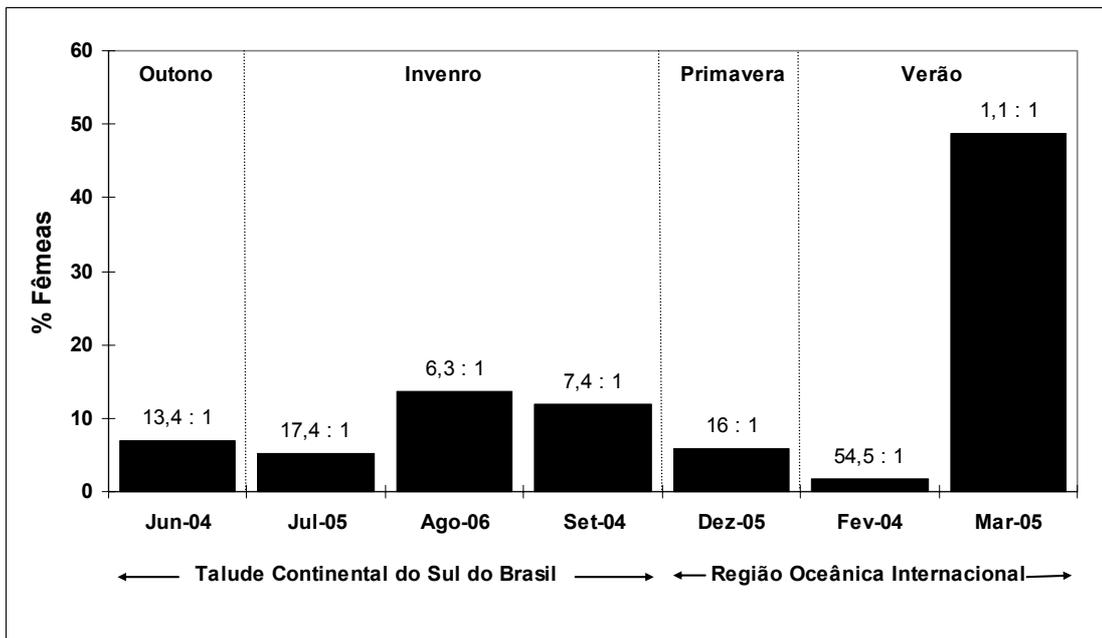


Figura 1.3. Porcentagem de fêmeas de *P. glauca* capturadas em cada um dos sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel, realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006. Os números indicam a proporção sexual (machos:fêmeas).

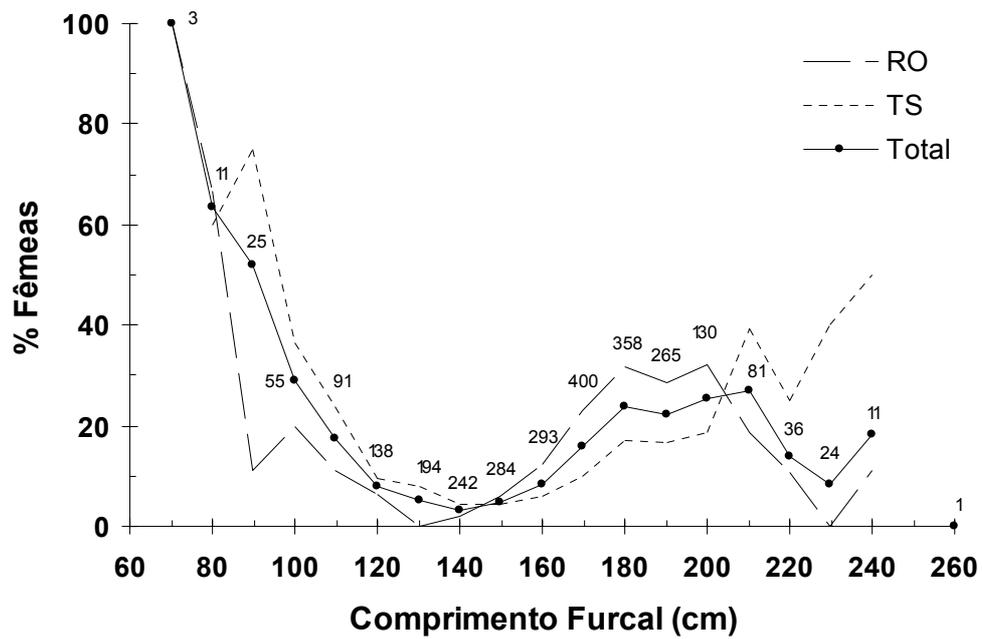


Figura 1.4 Porcentagem de fêmeas *P. glauca* por classe de comprimento furcal, na região oceânica internacional (RO), no talude continental do sul do Brasil (TS) e na área de estudo com um todo. Os números representam o total de tubarões (*i.e.* machos e fêmeas) por classe de comprimento, capturados em toda a área de estudo.

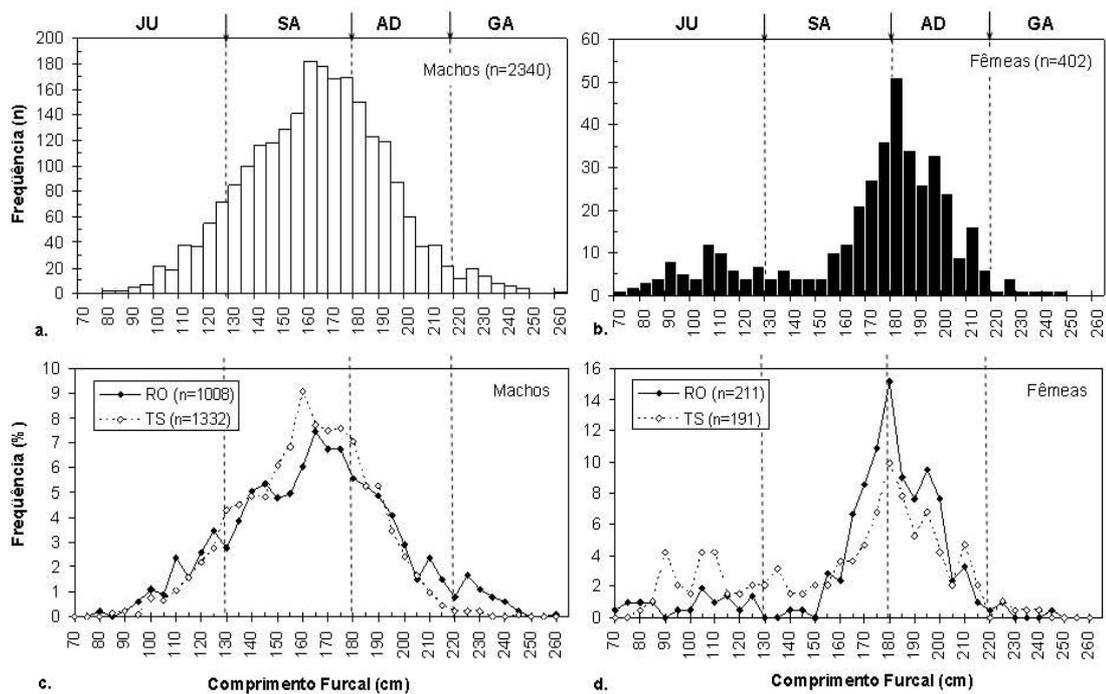


Figura 1.5 Distribuição de frequência absoluta (**acima**) e relativa (**abaixo**) de comprimento furcal de machos (**esquerda**) e fêmeas (**direita**) de *P. glauca*, amostrados em sete cruzeiros de pesca comercial na Região Sudoeste do Oceano Atlântico em 2004 – 2006 (**a** e **b**), e para cada uma das duas subáreas, O Talude Continental do Sul do Brasil (TS) e a Região Oceânica Internacional adjacente (RO) (**c**. e **d.**). Os números nas abscissas representam o limite inferior da classe de comprimento. As setas e as linhas verticais delimitam os estágios de desenvolvimento: **JU**: juvenis; **SA**: subadultos; **AD**: adultos; **GA**: grandes adultos.

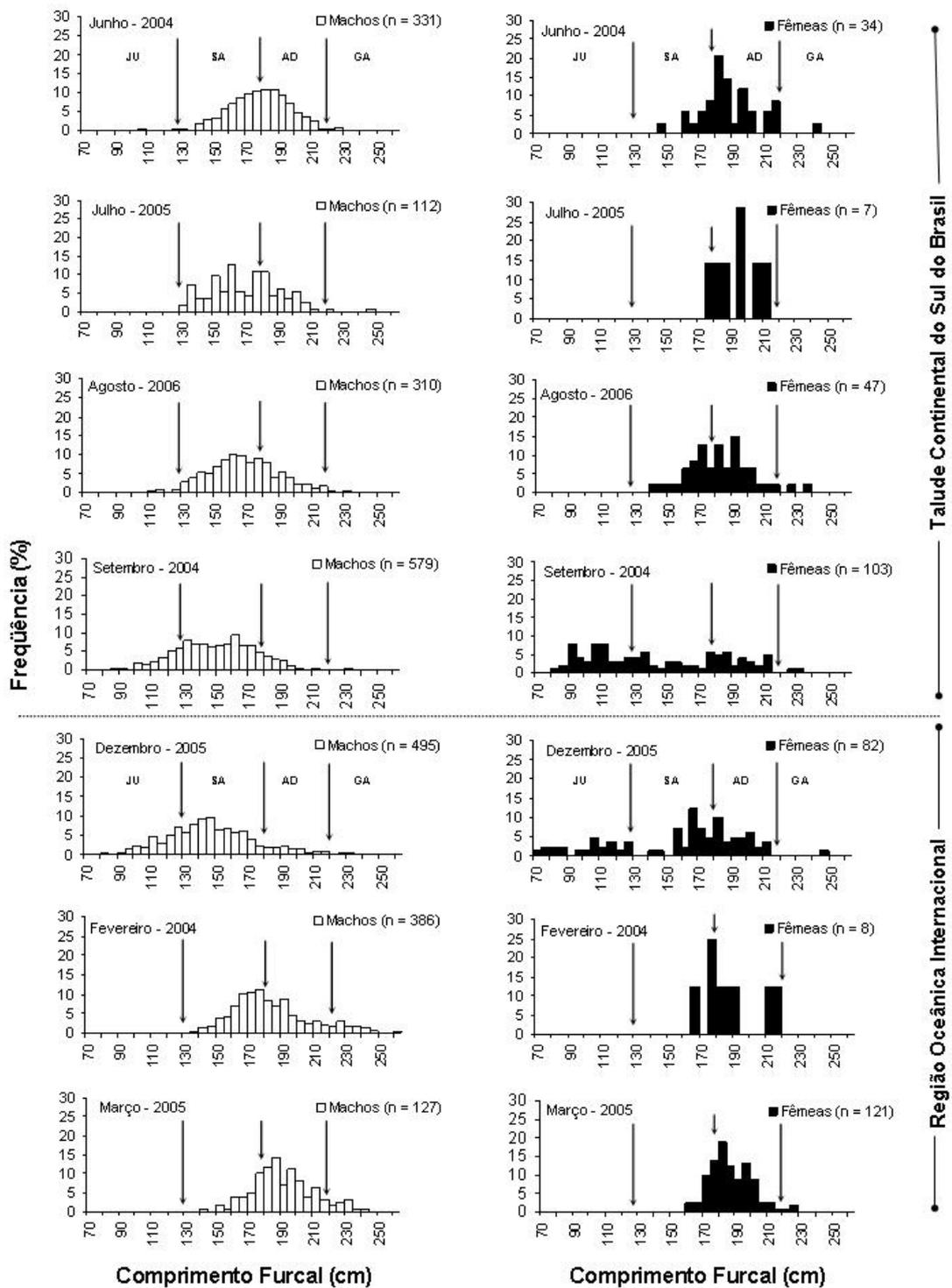


Figura 1.6 Distribuição de frequência de comprimento dos sexos de *P. glauca*, observadas em cada um dos sete cruzeiros de pesca comercial na Região Sudoeste do Oceano Atlântico em 2004 – 2006. As setas delimitam os estágios de desenvolvimento: **JU**: juvenis; **SA**: subadultos; **AD**: adultos; **GA**: grandes adultos.

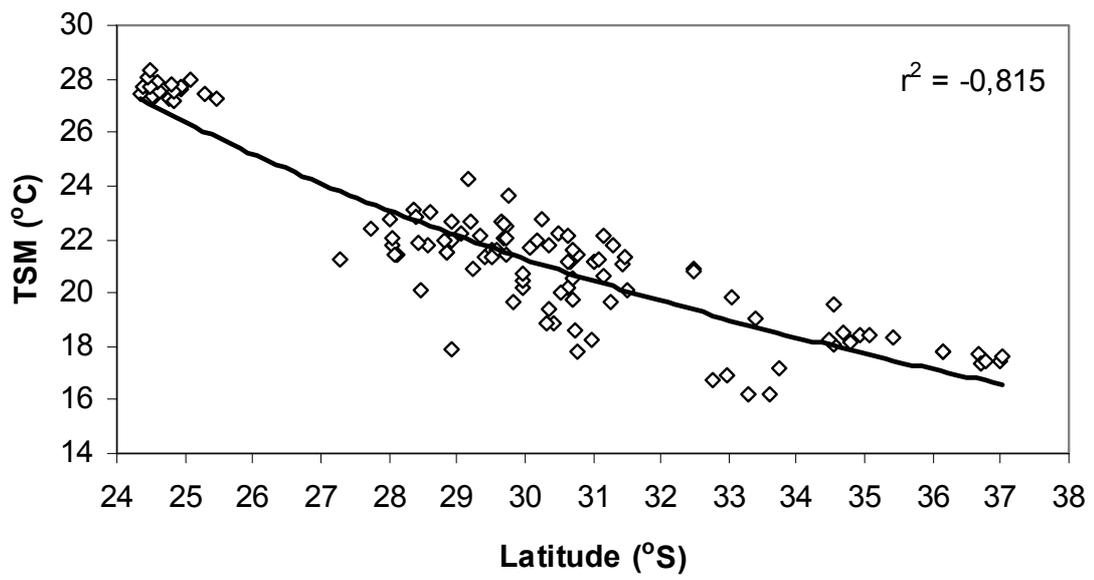


Figura 1.7 Variação da temperatura de superfície do mar (TSM) em função da posição latitudinal nos lances de pesca realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.

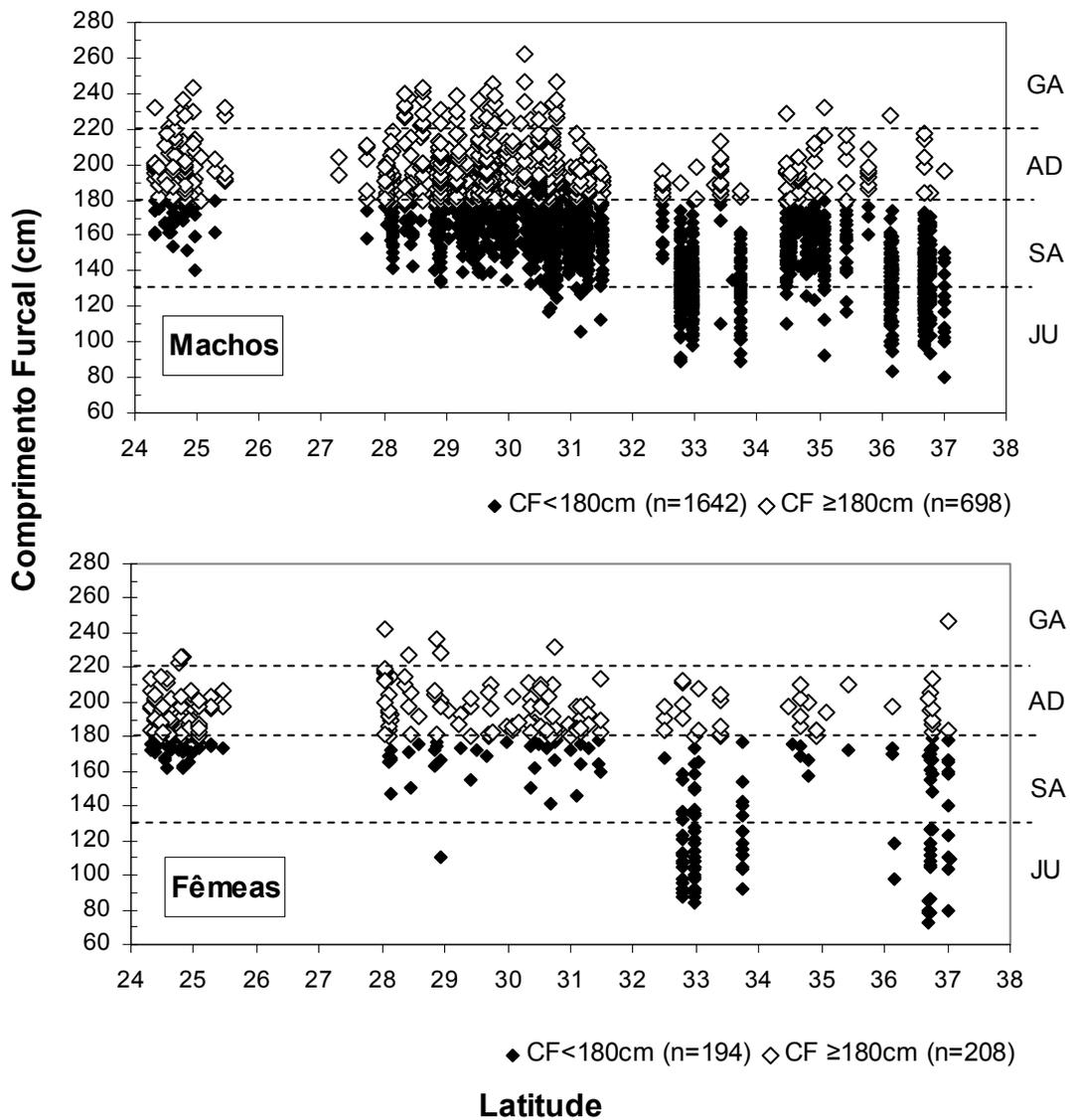


Figura 1.8 Gráficos de dispersão que relacionam o comprimento furcal de machos (acima) e fêmeas (abaixo) de *P. glauca*, com a latitude no Atlântico Sudoeste. Cada ponto representa um indivíduo.

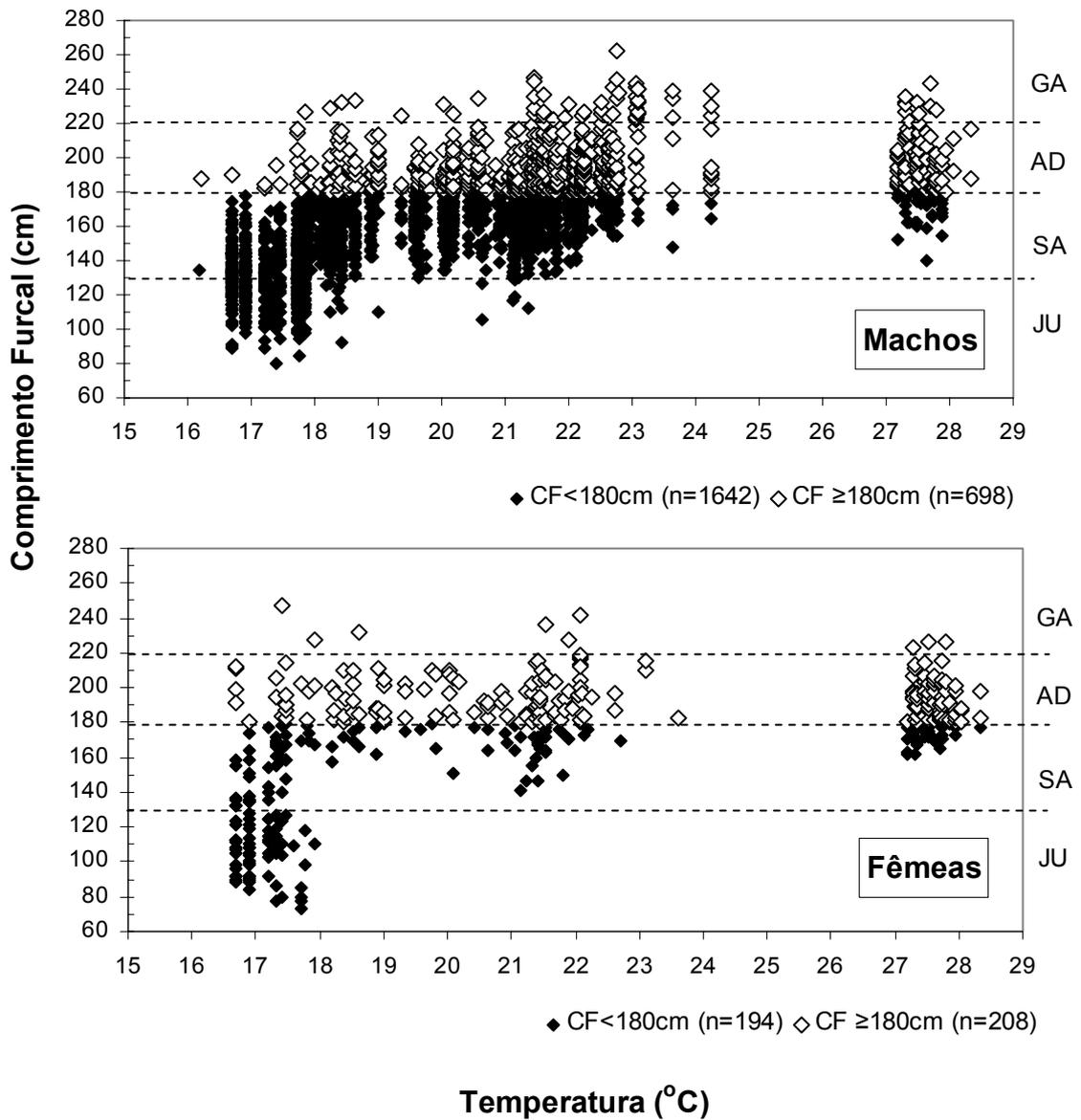


Figura 1.9 Gráficos de dispersão entre o comprimento furcal de machos (acima) e fêmeas (abaixo) de *P. glauca*, em relação à temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste. Cada ponto representa um indivíduo.

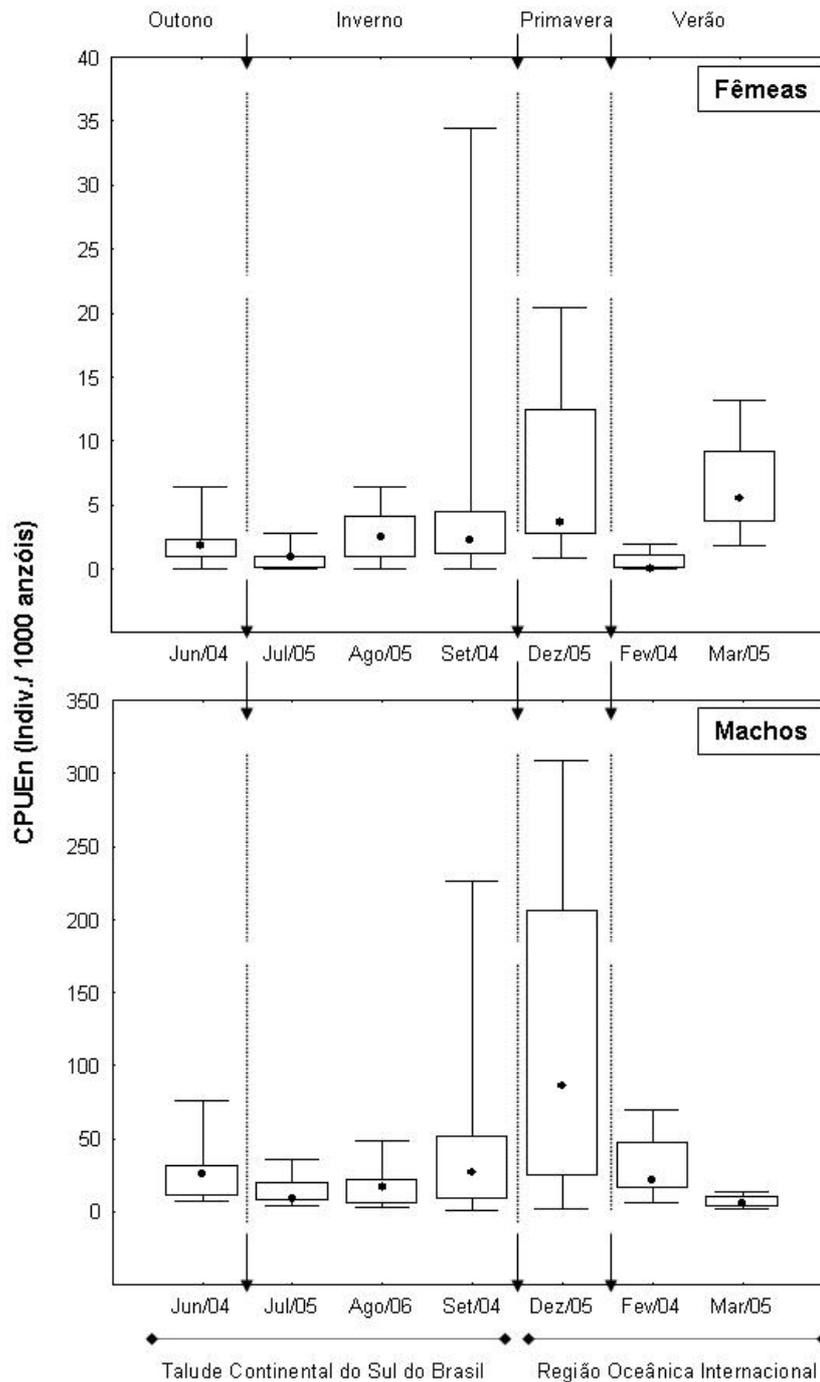


Figura 1.10 Abundância relativa de fêmeas (acima) e machos (embaixo) de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, indicada pelo número de tubarões capturados por cada 1000 anzóis (CPUE_n), em sete cruzeiros de pesca comercial de 2004 a 2006. Os pontos são o valor da mediana; os limites inferior e superior das caixas são os percentis 25% e 75%, respectivamente; e as barras mostram a amplitude entre os valores mínimo e máximo.

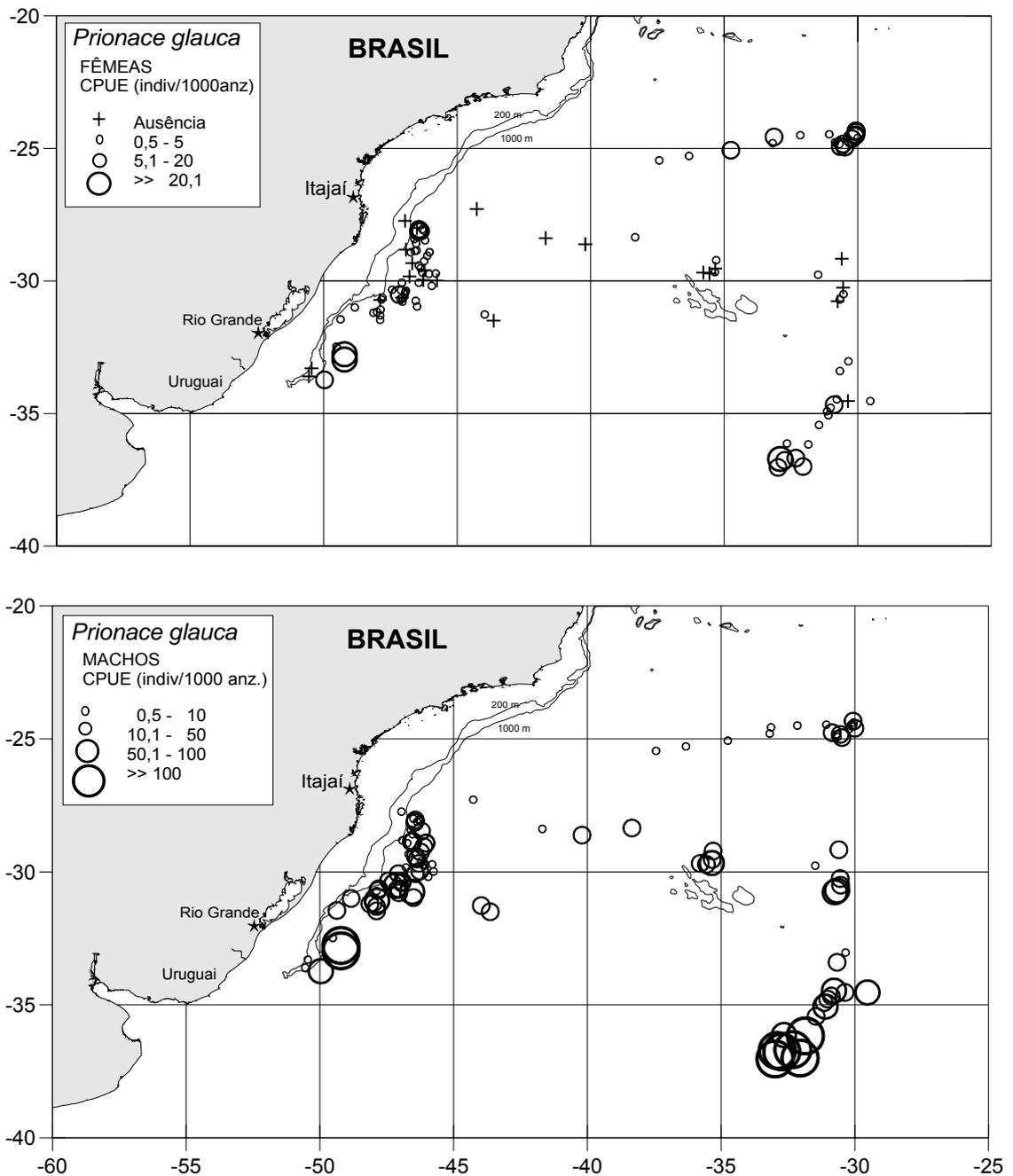


Figura 1.11 Distribuição espacial da captura por unidade de esforço em número de indivíduos (CPUE_n) de fêmeas (acima) e machos (embaixo) de *P. glauca*, observadas em sete cruzeiros de pesca comercial de espinhel no Atlântico Sudoeste no período de em 2004 a 2006.

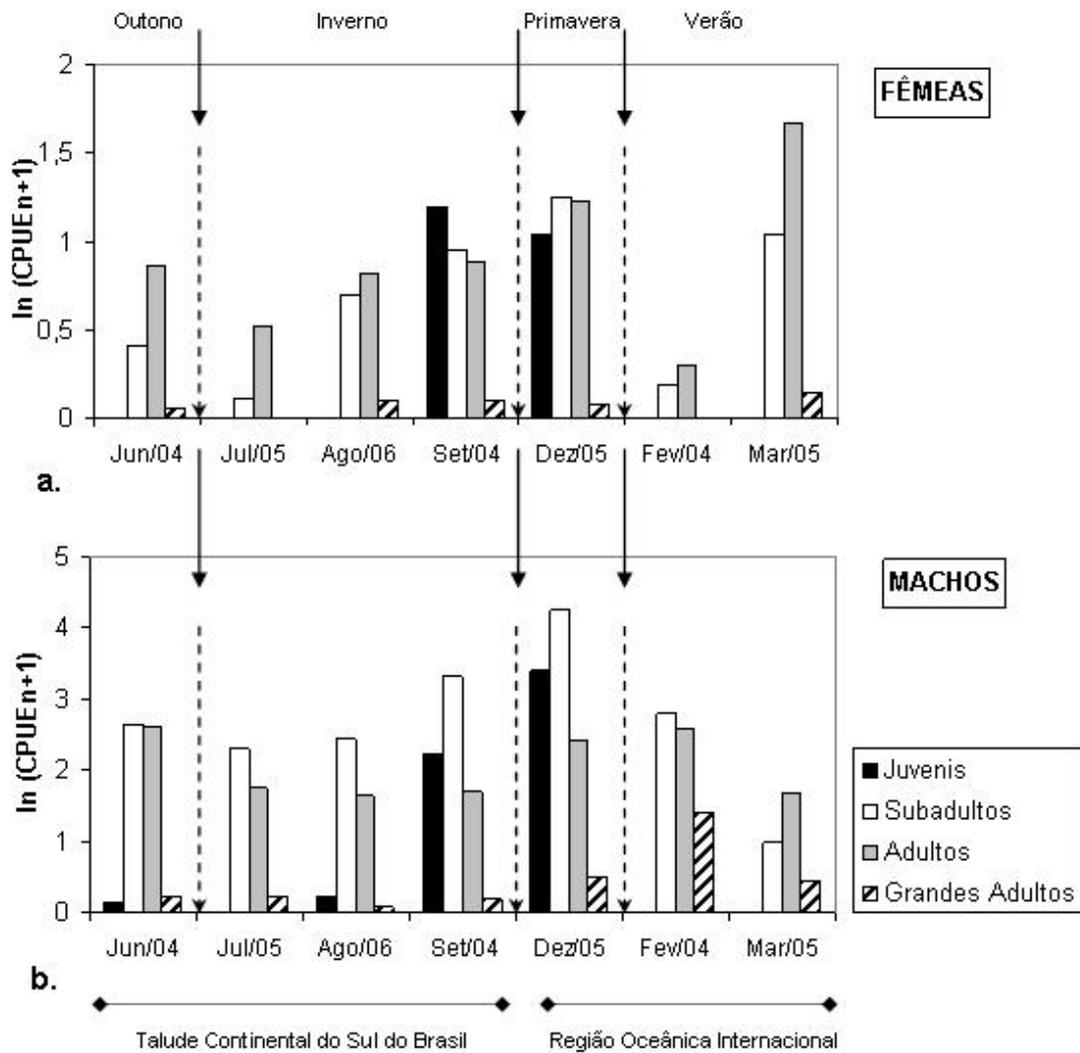


Figura 1.12 Variação sazonal do $\ln(\text{CPUEn}+1)$ de fêmeas (a.) e machos (b.) de *P. glauca* nas diferentes fases do ciclo de vida em sete cruzeiros de pesca comercial no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.

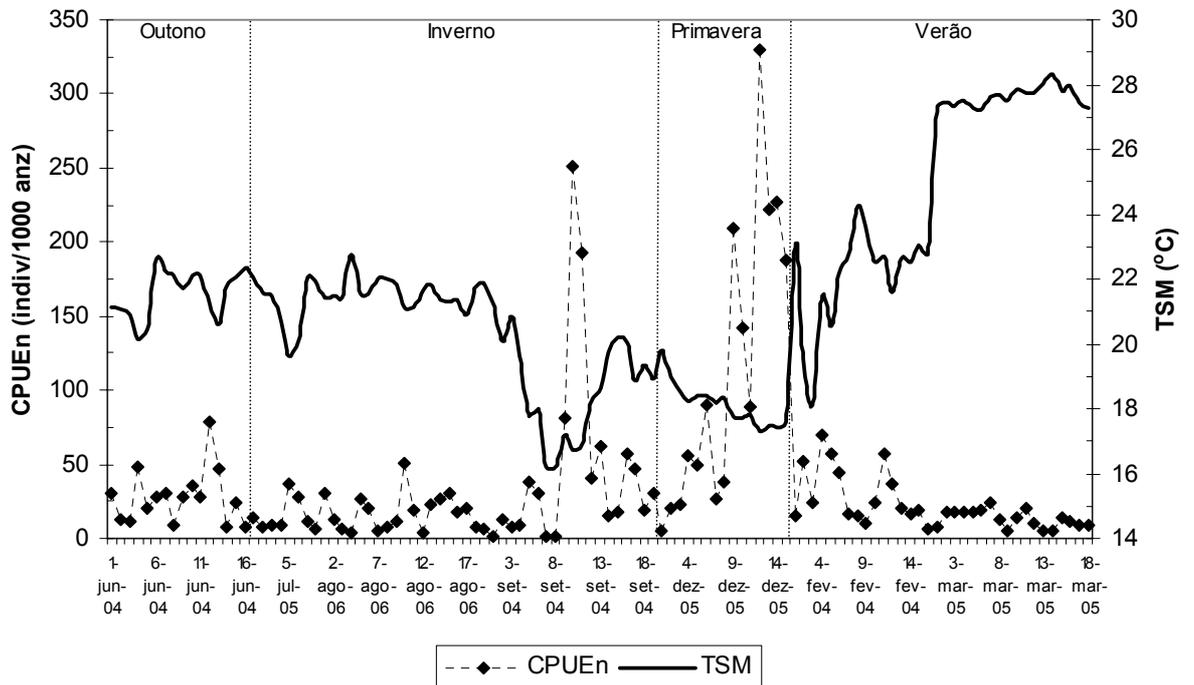


Figura 1.13 Relação entre a densidade (CPUE) de *P. glauca* e a temperatura de superfície do mar (T.S.M.), registrados em cada um dos 111 lances de pesca comercial realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 - 2006. Os lances são apresentados em ordem cronológica correspondente com as estações do ano.

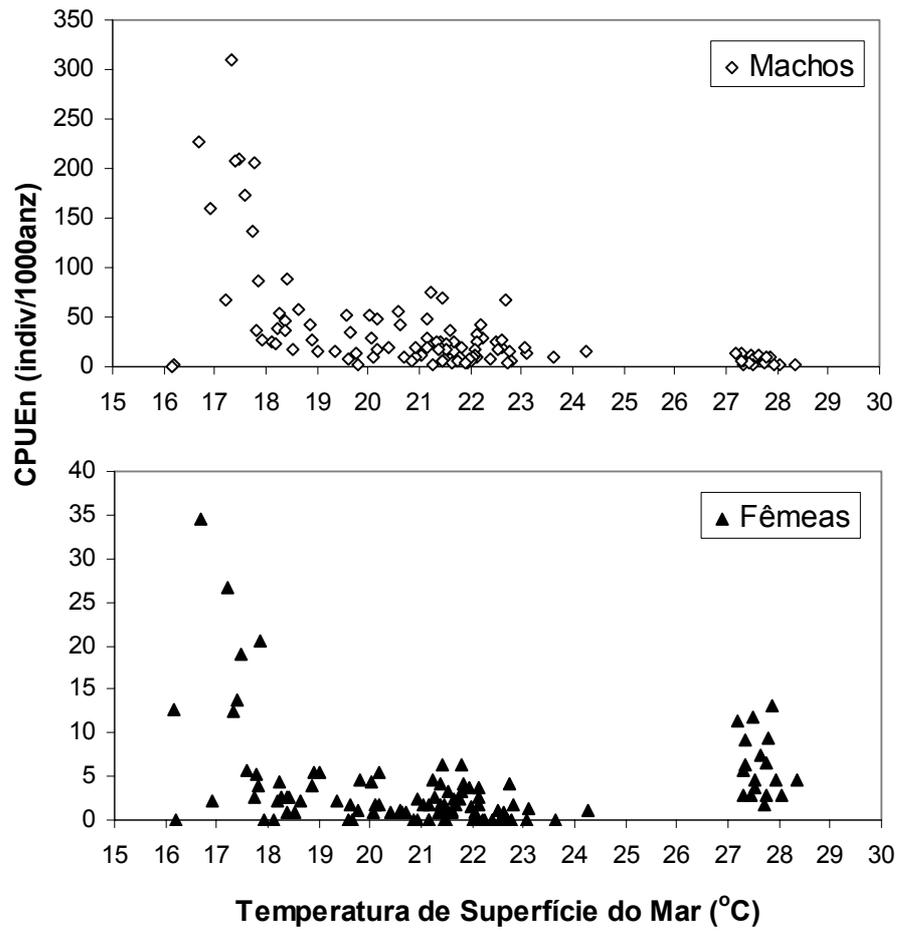


Figura 1.14 Variação da densidade (CPUEn) de machos e fêmeas de *P. glauca* nos lances de pesca, em relação à temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

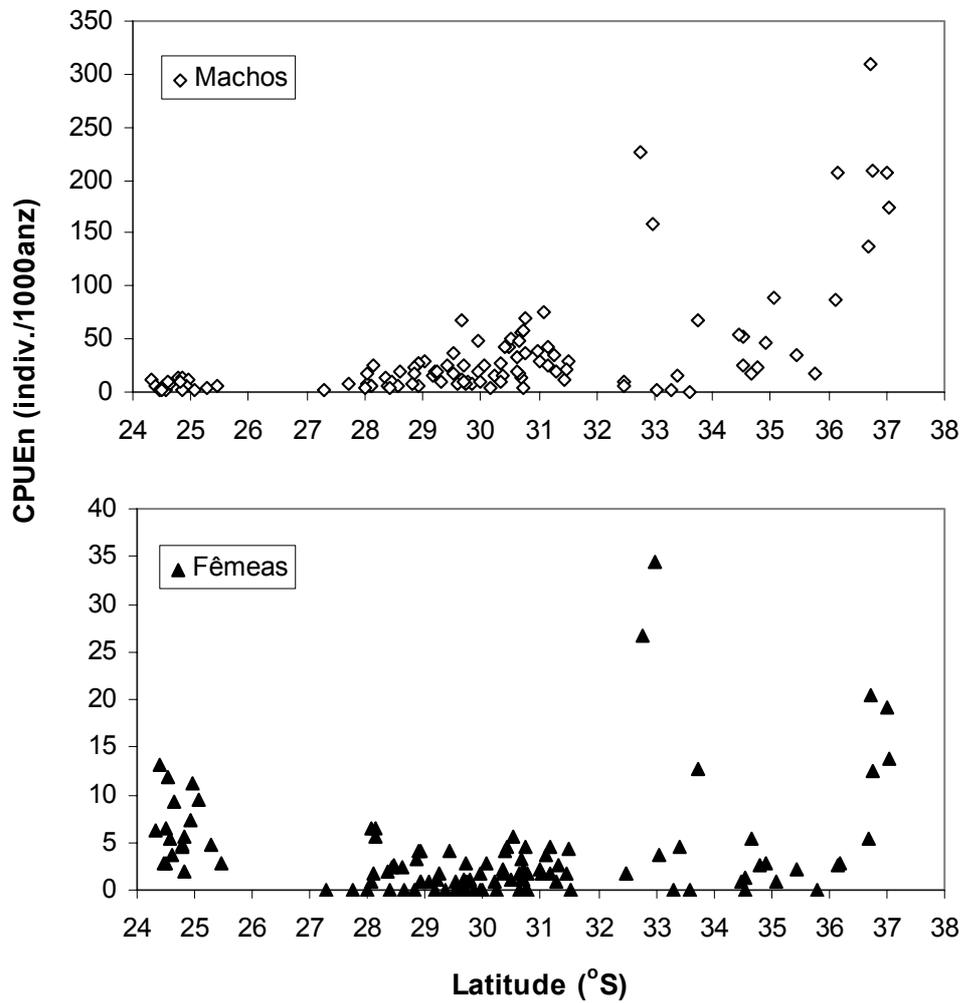


Figura 1.15 Variação da densidade (CPUEn) de machos e fêmeas de *P. glauca* nos lances de pesca, em relação à latitude no Atlântico Sudoeste.

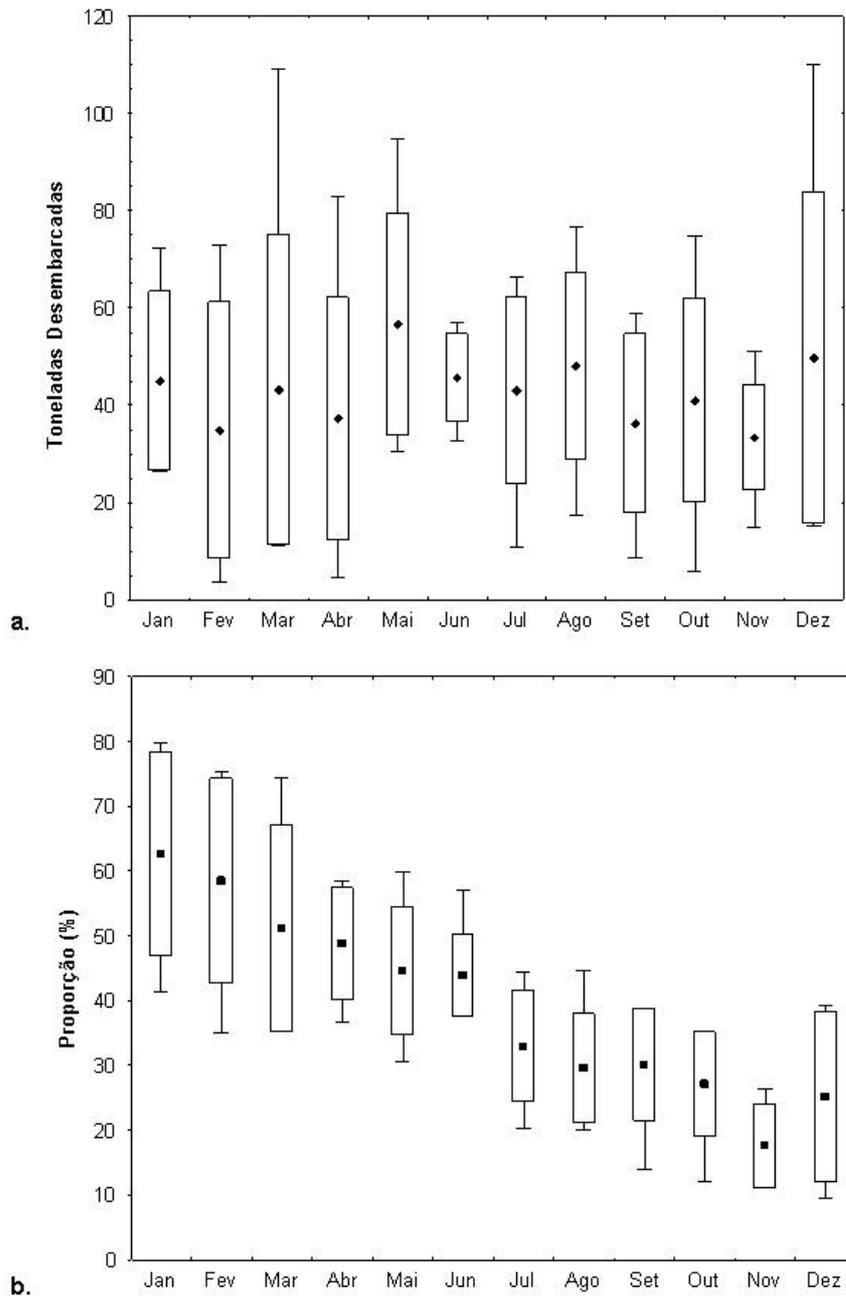


Figura 1.16 Variação mensal das capturas de *P. glauca* em peso, desembarcadas pela frota de espinhel no Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil, nos anos de 2000 a 2006. **a.** Peso desembarcado de *P. glauca*. **b.** Percentual representado por *P. glauca* do total de peixe desembarcado. Os pontos são as médias; as caixas representam o desvio padrão; e as barras mostram a amplitude entre os valores mínimo e máximo (Dados extraídos de: <http://www.univali.br/gep> em outubro de 2007).

CAPITULO 2

TAMANHO DE MATURAÇÃO, FECUNDIDADE E CICLO REPRODUTIVO DO TUBARÃO-AZUL, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), NA REGIÃO SUDOESTE DO OCENAO ATLÂNTICO.

2.1 INTRODUÇÃO

Prionace glauca (Linnaeus, 1758) é uma das espécies de tubarões pelágicos oceânicos mais abundantes em águas tropicais e temperadas de todo o mundo (Compagno *et al.*, 2005). Um dos fatores que determinam essa abundância é a alta fecundidade da espécie em comparação aos demais elasmobrânquios, quiçá a espécie mais fértil de todos os tubarões de grande porte (Cortés, 2000). Em consequência, atualmente *P. glauca* é a espécie de tubarão mais capturada nas pescarias oceânicas em todo o mundo (Castro *et al.*, 1999).

A avaliação do estado populacional da espécie na região requer um estudo quantitativo da reprodução. No Atlântico Sul, aspectos reprodutivos têm sido estudados principalmente na região equatorial, com informações detalhadas da distribuição sazonal e espacial das fases do ciclo reprodutivo (Hazin *et al.*, 1994a,b; Castro e Mejuto, 1995; Hazin *et al.*, 2000). Para a Região Sudeste do oceano as informações disponíveis são os resultados do estudo de Mejuto e García-Cortéz (2004) que apresentam dados de fecundidade, crescimento embrionário e frequência de ocorrência de fêmeas grávidas por área para o Atlântico Sul como um todo. Para a Região Sudoeste (*i.e.* Latitude $\geq 30^{\circ}\text{S}$; Longitude $\geq 25^{\circ}\text{W}$), estudos reprodutivos não publicados (Amorim, 1992; Legat, 2001; Azevedo, 2003), corroborados por Amorim *et al.* (1998), apontam que a cópula acontece em latitudes superiores a 25°S , principalmente de

dezembro a fevereiro, a ovulação e a fertilização ocorrem em latitudes inferiores, cerca de três a quatro meses depois, principalmente de março a junho e fêmeas grávidas, com embriões em todas as fases desenvolvimento, estão presentes na área.

Contudo, não existe ainda para o Atlântico Sul, estimativas precisas dos tamanhos de maturidade sexual dos sexos de *P. glauca*, e existem lacunas de informação em relação ao ciclo reprodutivo, como são a sua duração, a distribuição sazonal e espacial dos eventos e processos e a existência ou não de uma área de berçário. Hazin *et al.* (2000) acreditam na existência de um ciclo migratório reprodutivo no sentido horário, segundo o qual, a cópula aconteceria na região sudeste-sul do Brasil, a ovulação e início da gestação no Nordeste. Enquanto as fêmeas realizam migração no sentido oeste-leste até o Golfo de Guiné, os embriões cresceriam para serem paridos naquela no Atlântico Sudeste. Já Legat (2001), propõe a existência de uma única unidade de estoque entre 20° e 35°S, com a cópula, a ovulação, a fertilização e a gestação ocorrendo próximo à costa das regiões sudeste e sul do Brasil. Segundo essa hipótese, as áreas de parto e criação também estariam localizadas no Atlântico Sudeste, próximo à costa da África.

Com base nesse quadro geral, o presente estudo teve por objetivos estimar os tamanhos de primeira maturidade sexual, quantificar a fecundidade uterina, estabelecer a duração do ciclo reprodutivo e fornecer dados adicionais ao entendimento da distribuição sazonal e espacial das fases do ciclo do ciclo reprodutivo de *P. glauca* para o Atlântico Sudoeste, de modo a contribuir para a avaliação do estado populacional da espécie na região.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas foram realizadas a bordo de barcos espinheiros do sul do Brasil, em sete cruzeiros de pesca no Atlântico Sudoeste, no período de 2004 a 2006. A área de pesca incluiu o Talude Continental do Sul do Brasil (TS) entre 27°S e 34°S e a Região Oceânica Internacional adjacente (RO) entre 23°S e 37°S, com limite Leste em 28°W. Os cruzeiros foram realizados nas quatro estações do ano, sendo dois no verão (fev/04 e mar/05), um no outono (jun/04), três no inverno (set/04, jul/05, ago/06) e um na primavera (dez/05). Devido à dinâmica da frota, os cruzeiros de outono e inverno ocorreram no TS e os cruzeiros de primavera e verão na RO (Fig. 2.1).

De cada tubarão-azul capturado foi registrado o sexo e, sempre que as condições de trabalho no convés permitiram, o comprimento furcal (CF) dos tubarões foi medido, como a distância entre a ponta do focinho e o vértice do ângulo formado na margem posterior da nadadeira caudal, entre o lóbulo superior e o inferior (Compagno, 1984). A medição foi realizada em linha reta ao cm inferior, com uso de vara métrica de madeira de três metros de comprimento com ponta transversa de 30 cm, que quando apoiada no focinho do peixe, facilitava o alinhamento da vara paralelamente ao corpo do animal para a medição. Os indivíduos amostrados para o estudo da reprodução foram selecionados de acordo com o tempo disponível durante a despesca. Porém, devido à menor abundância de fêmeas em todas as classes de comprimento, e de machos com CF inferior a 120 cm e superior a 210 cm, sempre que possível os indivíduos dessas categorias foram selecionados.

Testículos, ovários e glândulas nidamentárias foram fixados em formol 4%. Dos testículos foram registrados o comprimento em cm (CTest) e o peso sem o órgão epigonal em g (PTest). Dos ovários foram registrados o peso (POv) sem o órgão

epigonal, e o diâmetro do maior folículo ovariano (DFO). Das glândulas nidamentárias foram registrados o peso (PGN) e a maior largura (DGN).

Nos machos foi medido o comprimento de um dos claspers, entre o ponto de origem na nadadeira pélvica e a sua extremidade (Compagno *et al.*, 2005). Nos elasmobrânquios imaturos os claspers são pequenos e flexíveis, e com a maturidade se tornam rígidos e calcificados (Carrier *et al.*, 2004). Com base nisso, através de avaliação manual da resistência à deformação, 471 dos claspers medidos foram classificados segundo o grau relativo de rigidez como flexível ou rijo.

Nas fêmeas foram observados ferimentos recentes ou cicatrizados na pele do corpo ou nas nadadeiras, em forma de um conjunto de pequenas incisões dispostas em semicírculo com diâmetro correspondente à largura da maxila do adulto da espécie. Esse tipo de ferimentos é interpretado como resultante de mordidas efetuadas pelos machos no decorrer do comportamento de cópula sendo denominados de “marcas de cópula” (Stevens, 1974; Pratt, 1979; Pratt e Carrier, 2001). A presença ou ausência dessas marcas foi registrada em todas as fêmeas capturadas (ANEXO 9).

Com o objetivo de se estabelecer o plano de amostragem para a medição do CF dos embriões da fêmea grávida, no primeiro cruzeiro (junho de 2004) foram registrados o CF e o sexo de todos os embriões de 13 fêmeas grávidas. Na maioria das fêmeas não houve diferenças significativas no CF médio dos embriões entre os sexos (Tabela 2.1). A dispersão do CF dos embriões dentro da ninhada foi avaliada pelo escore Z do CF de cada embrião, que expressa o número de desvios-padrão em que cada observação se afasta da média (Zar, 1999). Do conjunto dos escores Z, 96% foram $\leq |2|$ o que significa que o CF de um embrião selecionado de forma aleatória pode representar o tamanho médio na ninhada (Fig. 2.2). Com base nisso, nos cruzeiros subsequentes, de cada

fêmea grávida foi medido o CF de um único embrião, que foi escolhido de forma aleatória de toda a ninhada, de acordo com a metodologia utilizada em outros estudos (Castro e Mejuto, 1995; Mejuto e García-Cortés, 2004). A fecundidade uterina foi expressa como o número de embriões por fêmea grávida.

Para identificar pontos nos quais ocorrem transições abruptas na relação entre o comprimento do clasper e o CF, que são relacionadas ao desenvolvimento sexual, foi seguido o método utilizado por Francis e Duffy (2005). O tamanho relativo do clasper (CLI) foi expresso como uma porcentagem do CF. Foram ajustadas regressões lineares divididas à relação entre CLI e CF. As regressões divididas consistem em duas regressões lineares simples ajustadas a dois grupos de dados não sobrepostos, que se unem em um ponto único denominado “ponto-de-quebra” (Kováč *et al.*, 1999; *apud* Francis e Duffy, 2004). A regressão linear dividida tem a forma:

$$CLI = f(CF - p) + h \text{ para } CF < p$$

$$CLI = g(CF - p) + h \text{ para } CF \geq p,$$

onde, *CLI* é o índice de comprimento do clasper, *f* e *g* são os parâmetros de declividade para os dois segmentos da regressão, e *h* e *p* são as coordenadas nos eixos das ordenadas e das abscissas do ponto-de-quebra, respectivamente. Os parâmetros *f*, *g*, *h* e *p* foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, com uso da rotina *Solver*, do pacote computacional Microsoft Office Excel 2003, que a partir de “valores-semente” dos parâmetros *p* e *h*, realiza interações até encontrar a menor variância residual. Depois de realizada uma primeira interação, os conjuntos de CF analisados por cada uma das duas equações foram rearranjados segundo o novo valor do parâmetro *p*, e realizada uma nova interação. O melhor ajuste dos dois segmentos da regressão foi obtido quando a classe de CF do parâmetro *p* não pôde mais ser mudada.

O índice gonadosomático (IGS) foi calculado nos adultos como o peso dos testículos ou do ovário expresso como uma porcentagem do peso eviscerado (PE). O PE foi estimado a partir das relações entre o CF em centímetros e o PE em quilogramas, estabelecidas para cada sexo no sul do Brasil (Vooren *et al*, 1999):

$$\text{Fêmeas: } PE = 6 \times 10^{-7} CF^{3,4187}$$

$$\text{Machos: } PE = 1 \times 10^{-6} CF^{3,2576}$$

Os machos foram classificados como “imaturos” ou “maduros” com base em critérios da relação entre o comprimento relativo do clasper (ICL) e o peso dos testículos como variáveis dependentes e o CF como variável independente; e as fêmeas pela incidência de gravidez ou com base em critérios da relação entre o peso do ovário, o diâmetro do maior folículo ovariano e o diâmetro e peso das glândulas nidamentárias como variáveis dependentes e o CF como variável independente.

Para estimar o L_{50} , que é o CF no qual a proporção esperada de indivíduos maduros é de 50%, foi calculada a proporção de indivíduos maduros em intervalos de classes de CF de 5,0 cm e ajustadas à função logística e a distribuição normal cumulativa. Frequentemente o valor de L_{50} , obtido através do ajuste da função logística aos dados de proporção de indivíduos maduros por classe de CF, é interpretado com uma estimativa do tamanho médio na primeira maturação sexual (L_m). Porém, o preceito de que o valor de L_{50} é sempre e necessariamente também o valor de L_m é válido somente sob a premissa de que a relação entre a proporção de indivíduos maduros e o CF é descrita pela distribuição normal cumulativa. Por esse motivo, ambos os modelos foram ajustados aos dados de proporção de indivíduos maduros por classe de CF.

A distribuição normal cumulativa foi ajustada através da análise de probit

(Francis e Ó Maolagáin, 2000; Sokal e Rohlf, 1973). Nesta análise, as proporções de indivíduos maduros em cada classe de CF foram transformadas em distâncias entre esse valor de proporção e o valor de 50%, com uso da tabela de proporções da curva normal, e cada distância foi expressa como o número de desvios-padrão que ela representa. Para se evitar valores negativos, (situados no lado esquerdo da distribuição normal), o valor de 5 é somado ao número de desvios-padrão que cada valor de proporção representa, e a cifra assim obtida é chamada de número de probits ($PROB_i$). Através dessa transformação dos valores de proporção sexual por classe de CF, a linha sigmóide da distribuição normal cumulativa é transformada numa linha reta. A distribuição cumulativa é ajustada aos valores de $PROB_i$ e CF mediante a regressão linear simples. Com a equação da reta, é determinado o valor de CF para o qual o número de desvios-padrão é zero e, portanto o valor em $PROB_i$ é cinco. Esse valor de CF é a estimativa de L_{50} e, conseqüentemente também do L_m .

A função logística foi ajustada aos dados absolutos da proporção de indivíduos maduros por classe de CF pelo método dos mínimos quadrados, com uso da rotina *Solver*, do pacote computacional Microsoft Office Excel 2003. A função logística foi da forma:

$$Y = 1 / \{1 + e^{[a - (bCF)]}\}$$

onde, Y é a proporção esperada de indivíduos maduros; a e b são constantes. O valor de L_{50} está dado por a/b (Sparre e Venema, 1995). Os valores dos tamanhos médios na maturidade sexual estimados pelos dois métodos (Modelo Logístico e Distribuição Normal Cumulativa), foram corrigidos adicionando metade da largura da classe de CF (2,5 cm); isto porque as proporções de maturidade de cada classe se referem ao limite inferior da classe de CF (Francis e Ó Maolagáin, 2000). Ambas os métodos foram

ajustados também aos dados de proporção de fêmeas grávidas por classes de CF de cinco cm, no intuito de se estimar o tamanho médio da primeira maternidade (LM_{50}).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 *Tamanho corporal na primeira maturação sexual:*

Durante os sete cruzeiros foram capturados 4511 indivíduos de tubarão-azul, 4068 machos e 443 fêmeas. Na Tabela 2.2 consta o número de tubarões amostrado para coleta dos dados biométricos e a amplitude de CF desses indivíduos.

O tamanho dos claspers de 899 tubarões com CF de 80 a 247 cm variou entre 2,3 e 17,0 cm. O grau de rigidez do clasper foi registrado em 471 indivíduos, dos quais 262 (55,6%) tiveram os claspers flexíveis e 209 (44,4%) tiveram os claspers rígidos. O crescimento dos claspers em relação ao crescimento corporal apresentou três fases, divididas por dois pontos de quebra, o primeiro (p_1) estimado em 106,6 cm, para indivíduos com CF inferior a 170 cm, e o segundo (p_2) estimado em 195,4 cm, para indivíduos com CF superior a 130 cm, respectivamente (Fig. 2.3). As três fases de crescimento do clasper podem ser caracterizadas como segue:

- Na primeira fase, composta por embriões com CF de 18 – 33 cm e juvenis de 80 – 106 cm, todos com claspers flexíveis, o tamanho do clasper aumentou desde 0,5 até 3,5 cm, mas o CLI variou em torno de nível constante de 2,5%. Nesta fase o clasper cresceu proporcionalmente com o corpo como um todo.
- Na segunda fase, nos CF de 107 – 194 cm, o comprimento do clasper variou entre 3,5 e 14,5 cm e aumentou com o CF. Conforme a reta da relação ICL – CF, o valor central do CLI aumentou de 2,9 a 6,4%. Nesta fase, o clasper cresceu mais rapidamente que o corpo como um todo: crescimento acelerado do clasper.

Nos CF de 170 – 194 cm, 62,9% dos claspers eram $\geq 11,0$ cm, e destes, 63,8% eram rígidos. Ainda, de todos os claspers rígidos, 92,3% eram $\geq 11,0$ cm.

- Na terceira fase, nos CF de 195 – 250 cm, todos os claspers eram rígidos e com tamanhos de 11,0 a 17,0 cm. Nesta fase, conforme a reta da relação CLI – CF, o valor do CLI diminui lentamente com o aumento no CF, de 6,4 a 6,2%. No entanto, o tamanho absoluto do clasper continuou aumentando de 11,0 a 17,0 cm. O clasper cresceu menos rapidamente que o corpo como um todo.

Com base nesse padrão, o clasper rígido e com tamanho $\geq 11,0$ cm é considerado plenamente desenvolvido e funcional para a cópula. Tais claspers ocorreram a partir do CF de 162 cm, e todos os indivíduos com CF ≥ 195 cm tinham o clasper plenamente desenvolvido (Fig 2.3).

Os dois testículos de *P. glauca* têm tamanhos e pesos semelhantes em um mesmo indivíduo. Com o aumento do CF, testículos com comprimento $\geq 11,0$ cm e peso $\geq 100,0$ g ocorreram a partir de CF = 170 cm e predominaram a partir de CF ≥ 190 cm. A variação do tamanho e da massa do testículo aumentou também com o CF até a amplitude de 7 – 20 cm e 30 – 400 g nos CF ≥ 190 cm (Fig. 2.4). Embora massa gonadal $\geq 100,0$ g, e tamanho do testículo $\geq 11,0$ cm, caracterizam a gônada plenamente desenvolvida, valores menores dessas variáveis foram encontrados em muitos dos machos em toda a amplitude de CF de 190 – 240 cm. A elevada variação do peso dos testículos, nos CF de 190 – 240 cm, é atribuída à variação temporal da massa dos testículos do macho adulto, relacionada com o ciclo reprodutivo (Fig. 2.4).

Considerando-se em conjunto as evidências apresentadas nas Figuras 2.3 e 2.4, se observa que claspers rígidos e com comprimento $\geq 11,0$ cm, e massa e tamanho do testículo ≥ 100 g e 11,0 cm, respectivamente, ocorrem a partir do CF de 160 cm, e

predominam a partir do CF de 190 cm, tamanho aproximado ao do parâmetro $p2$. Esse padrão justifica o clasper rígido com comprimento $\geq 11,0$ cm como critério único de maturidade sexual do macho.

Nas fêmeas, a presença de embriões ou ovos nos úteros (*i.e.* gravidez) é evidência absoluta de maturidade sexual. Os órgãos reprodutivos (ovário e as glândulas nidamentárias) estavam sujeitos à variação sazonal em tamanho e peso em virtude do ciclo reprodutivo, o que dificultou a determinação de critérios macroscópicos de maturidade com base nessas variáveis. No entanto, quando relacionadas essas variáveis com o crescimento corporal, são evidenciados padrões que podem ser associados ao desenvolvimento sexual.

As fêmeas de *P. glauca* possuíam um ovário funcional. Durante o processo de vitelogênese apresentavam numerosos folículos esféricos em diferentes estágios, sendo esbranquiçados com diâmetro de 2,0 a 5,0 mm no início do desenvolvimento, e amarelos ou alaranjados com diâmetro de 6,0 a 18,0 mm, no máximo desenvolvimento observado. Em ovários pouco desenvolvidos, o diâmetro do maior folículo ovariano (DFO) foi sempre inferior a 6,0 mm. Nas fêmeas em que o DFO $\geq 6,0$ mm, o peso do ovário (POV) variou de 10,4 a 236,0 g, mas 62,5% tinham POV $\geq 50,0$ g, e todos os indivíduos com DFO $\geq 10,0$ mm, tiveram ovários com POV $\geq 50,0$ g (Fig. 2.5a). Nas fêmeas com CF de 80 a 160 cm o POV e o DFO variaram pouco e não ultrapassaram 50,0 g e 6,0 mm, respectivamente. Nas fêmeas com CF ≥ 160 cm, o peso dos ovários e o diâmetro dos folículos variaram dentro de toda a amplitude de valores registrada, mas 55,7% das fêmeas tinham POV $\geq 50,0$ g e 85,6% tinham DFO $\geq 6,0$ mm. Das fêmeas grávidas 72,9% tiveram POV $\geq 50,0$ g, e 88,4% tiveram DFO $\geq 6,0$ mm (Figs. 2.6 a, b).

As glândulas nidamentárias de um mesmo indivíduo tiveram diâmetro (DGN) e

peso (PGN) uniformes. O DGN variou de 5,2 a 41,0 mm e o PGN variou de 0,2 a 20,7 g. Estes órgãos também estavam sujeitos às variações sazonais do ciclo reprodutivo, mas, de modo geral, glândulas com $DGN \leq 20,0$ mm tiveram $PGN < 5,0$ g, e praticamente todas as glândulas com $DGN \geq 25,0$ mm, tinham $PGN \geq 5,0$ g (Fig. 2.5b). Nos tubarões com CF de 80 a 160 cm, o DGN e o PGN não ultrapassaram 25,0 mm e 5,0 g. Nos tubarões com $CF \geq 160$ cm, o peso e o diâmetro das glândulas nidamentárias variaram amplamente dentro de toda a amplitude registrada, mas 62,2% das fêmeas tinham $DGN \geq 25,0$ mm e 87,6% tinham $PGN \geq 5,0$ g. Das fêmeas grávidas 73,6% das fêmeas tiveram $DGN \geq 25,0$ mm, e 90,7% tiveram $PGN \geq 5,0$ g (Figs. 2.6c, d).

Considerando-se as evidências apresentadas nas Figuras 2.5 e 2.6, as fêmeas foram consideradas maduras quando grávidas, mas também com base na presença de ovários com $POv \geq 50,0$ g e $DFO \geq 6,0$ mm, e/ou de glândulas nidamentárias com $DGN \geq 25,0$ mm e $PGN \geq 5,0$ g (ANEXO 10).

Ambos os modelos para a estimativa do tamanho médio na primeira maturação sexual (L_{50}) e na primeira maternidade (L_{mat}) proporcionaram resultados iguais. O valor do L_{50} para os machos foi de 180,5 cm (Fig. 2.7) e para as fêmeas foi de 175,0 cm (Fig. 2.8a). Os menores indivíduos maduros tiveram CF de 163 cm nos machos e de 162 cm nas fêmeas. Todos os indivíduos com $CF \geq 195$ cm eram maduros nos machos, e com $CF \geq 198$ cm nas fêmeas. O tamanho de primeira maternidade ou primeira reprodução (LM_{50}) foi maior que o L_{50} , estimado em 191,5 cm (Fig. 2.8 b).

Somente fêmeas apresentaram marcas de cópula, que ocorreram em 47 indivíduos com CF de 141 a 214 cm (Fig. 2.9 a). Desse total de fêmeas com marcas de cópula, 37 foram classificadas como fêmeas maduras (78,7%), sendo que 12 estavam grávidas (32,4%). A menor fêmea com marcas de cópula ($CF = 141$ cm) não apresentou

nenhum dos critérios de maturidade sexual. Todas as outras fêmeas com marcas de cópula tiveram CF ≥ 162 cm, mas 80,9% não ultrapassaram 195 cm (Fig. 2.9b).

A composição por classes de CF de fêmeas maduras com marcas de cópula e de fêmeas não grávidas foi semelhante, com valor modal em torno de 170 – 190 cm (Figs. 2.9b,c). As fêmeas maduras não grávidas tiveram CF com amplitude semelhante às fêmeas grávidas, variando entre 162 e 218 cm, mas 77,1% dos indivíduos tiveram CF ≤ 195 cm (Fig. 2.9c). As fêmeas grávidas tiveram CF que variou de 163 a 247 cm (Fig. 2.9c). De todas as fêmeas com CF ≥ 190 cm, 67,2% estavam grávidas ou recém paridas. A proporção de fêmeas em cada um desses estágios do ciclo reprodutivo variou com o aumento do CF (Fig. 2.9a). Fêmeas maduras com marcas de cópula diminuíram progressivamente nos CF de 160 a 210 cm, e 89,2% tiveram CF ≤ 190 cm (Fig. 2.9b). Das fêmeas maduras não grávidas, 60% tiveram CF de 170 a 190 cm, enquanto que 70% das fêmeas grávidas tiveram CF ≥ 190 cm (Fig. 2.9c). Todas as fêmeas com CF ≥ 220 cm estavam grávidas, que representaram 7,9% do total de fêmeas grávidas (Fig. 2.9b).

2.3.2 Fecundidade Uterina

A fecundidade uterina variou entre 9 e 74 embriões (média 34,2). O número de embriões fêmeas variou entre 4 e 31 (média 16,3) e de embriões machos entre 5 e 31 (média 17,6). Em 37 fêmeas grávidas, o número de embriões de cada sexo não diferiu significativamente da proporção esperada de 1:1 ($X^2 = 198,6$; $p > 0,05$; $n=1259$). O CF dos embriões não diferiu entre sexos em uma mesma fêmea grávida (Tabela 2.1). Em uma mesma ninhada, todos os embriões tinham CF semelhante, com pouca variação (Fig. 2.2), o que indica que todos os embriões iniciaram o desenvolvimento com

pequenos intervalos de tempo entre eles. Portanto, os processos de ovulação, fecundação e parto, devem acontecer em um breve período de tempo. A relação entre a fecundidade uterina e o tamanho da fêmea grávida foi significativa, porém com baixa variação total explicada ($r^2 = 0,27$; $F = 29,79$; $p < 0,001$). Observou-se uma elevada variação individual dentro das classes de CF, sendo observadas ninhadas de 40 embriões em fêmeas com CF de 170 a 240 cm (Fig. 2.10). Contudo, a ninhada média foi estimada em $34,2 \pm 13,3$ (d.p.) embriões por fêmea grávida.

2.3.3 Ciclo Reprodutivo

O ciclo reprodutivo das fêmeas de *P. glauca* compreende uma seqüência de vários eventos que envolvem o ciclo do ovário, a cópula, a fertilização, a gestação e o parto. Fêmeas com marcas de cópula foram registradas em todas as épocas do ano, mas com tendência ao aumento na proporção da metade do inverno até o fim do verão, e diminuindo durante o outono e início do inverno (Fig. 2.11a). Em março foi observada a maior proporção de fêmeas grávidas, que apesar de terem ocorrido em todas as épocas do ano, se constatou um padrão decrescente na proporção mensal até o final da primavera (Fig. 2.11a).

O DFO de fêmeas maduras não grávidas com marcas de cópula e de fêmeas grávidas aumentou do inverno ao verão, época em que ocorre a ovulação. Isto ficou em evidência no mês de março, em que as fêmeas não grávidas com marcas de cópula tinham DFO com o dobro do DFO das fêmeas grávidas (Fig. 2.11b), indicando que estavam prestes a ovular, enquanto que todas as grávidas estavam no início da gestação, o que indica que teriam ovulado recentemente (Fig. 2.11c).

Fêmeas no início da gestação contendo ovos uterinos apresentaram marcas

recentes de cópula, e algumas com embriões de até 10 cm apresentaram marcas parcialmente cicatrizadas mais ainda abertas. Fêmeas em estado mais avançado de gestação, com embriões de 20 a 30 cm, raramente apresentaram marcas de cópula, que apareceram como cicatrizes completamente saradas, quase imperceptíveis, enquanto que as fêmeas no final da gestação não apresentaram marcas de cópula. Fêmeas grávidas no início da gestação, com ovos uterinos e embriões com poucos milímetros ocorreram somente no verão ao norte de 26°S (Figs. 2.11c, 2.12). Fêmeas grávidas no final da gestação, com embriões completamente formados e ágeis, com CF de 35 – 41 cm ocorreram em setembro e dezembro no talude continental do sul do Brasil ao Sul de 33°S e na região oceânica internacional ao sul de 36°S, onde os pequenos juvenis foram abundantes (Figs. 2.11c, 2.12). Conclui-se que o período de gestação dura aproximadamente nove meses, tendo início no verão e culminando na primavera. Em *P. glauca* um novo lote de folículos é desenvolvido no ovário ao mesmo tempo em que uma ninhada de embriões cresce no útero (Figs. 2.11b,c; 2.13; ANEXO 10), pelo qual o ciclo do ovário e o período de gestação ocorrem simultaneamente. Ambos os ciclos duram em conjunto aproximadamente um ano, com o qual, a espécie se reproduz com periodicidade anual. No momento do parto a fêmea se encontra pronta para uma nova cópula, ovulação e gravidez, com folículos maduros similares aos observados no início da gestação (Fig. 2.11b, 2.13).

A variação do índice hepatossomático (IHS) de fêmeas em três estados reprodutivos, (imaturas, maduras não grávidas e grávidas), evidenciou a diminuição do peso relativo do fígado desde a fase imatura para a gravidez (Fig. 2,14a). Em indivíduos maduros de ambos os sexos, o IHS médio variou com os meses, sendo maior no inverno e com tendência decrescente na primavera (Fig. 2,14 b).

O padrão do ciclo reprodutivo nas fêmeas foi constatado também na variação sazonal do peso médio dos ovários, do diâmetro do maior folículo ovariano, do peso e da largura das glândulas nidamentárias, e do IGS das fêmeas maduras (Figs. 2.15, 2.16). O maior peso das GN no verão indica que a cópula ocorreu na primavera corroborando as observações da frequência de ocorrência de marcas de cópula. A diminuição do peso do ovário e do DFO em outono indica que a ovulação conclui antes dessa estação do ano, e o aumento de todas essas variáveis no final do ano com a chegada da primavera confirmam que as fêmeas de *P. glauca* possuem um ciclo reprodutivo anual (Fig. 2.15, 2.16). Para os machos maduros, a diminuição do peso dos testículos (Fig. 2.15) e do IGS (Fig. 2.16) entre o inverno e a primavera, corrobora o evento da cópula durante os meses de setembro a dezembro. A recuperação da massa gonadal acontece durante o outono e o inverno, com o qual o ciclo reprodutivo do macho de *P. glauca* também segue um padrão anual.

Em linhas gerais, a seqüência dos eventos e processos que conformam o ciclo reprodutivo do tubarão-azul no Atlântico Sudoeste segue um padrão anual, e a distribuição espacial desses eventos apresenta limites latitudinais. A cópula ocorre principalmente entre 20° e 35°S, de setembro a dezembro; a ovulação e o desenvolvimento inicial dos embriões até o CF de 25 cm ocorre entre 0° e 35°S de janeiro a julho; após o qual as fêmeas migram em direção sul, abandonando a região equatorial e se concentrando entre 25° e 35°S para completar a gestação na segunda metade do ano. O parto acontece em latitudes superiores a 30°S, principalmente ao sul de 35°S entre setembro e dezembro (Figura 2.17a; Tabela 2.3).

2.4 DISCUSSÃO

2.4.1 Tamanhos na maturidade sexual e fecundidade uterina

Como é de praxe em estudos da reprodução de elasmobrânquios, os critérios adotados para classificar os indivíduos como sexualmente maduros se basearam na análise do crescimento dos órgãos reprodutivos em relação ao tamanho corporal dos indivíduos (Conrath, 2004). Apesar das variações cíclicas no peso e tamanho desses órgãos, devidas ao ciclo reprodutivo, muitas espécies de elasmobrânquios apresentam transições abruptas no crescimento dos órgãos reprodutivos em tamanhos próximos à maturidade sexual (Peres e Vooren, 1991; Lessa *et al.*, 1999; Castro, 2000; Lucifora *et al.*, 2004; 2005). Isto foi constatado também para *P. glauca* no diâmetro do maior folículo ovariano, no peso do ovário e no peso das glândulas nidamentárias e dos testículos, corroborando as observações de outras regiões (Pratt, 1979; Stevens, 1984; Nakano, 1994).

O tamanho e grau de rigidez dos claspers é um dos critérios comumente usados para identificar machos maduros (Conrath, 2004). Entretanto, para *P. glauca* não tinham sido constatados pontos de inflexão na relação entre o comprimento do clasper e o tamanho corporal do indivíduo (Pratt, 1979; Stevens, 1984; Nakano *et al.*, 1985; Hazin *et al.*, 1994b; 2000; Nakano, 1994; Henderson *et al.*, 2001; Legat, 2001; Francis e Duffy, 2005). No presente estudo, a utilização do comprimento externo do clasper como medida de tamanho desse órgão, e expresso como uma proporção do comprimento furcal (CF), permitiu identificar dois pontos de inflexão (Fig. 2.3), característica comumente observada em outras espécies de elasmobrânquios (Parsons, 1983; Simpfendorfer, 1992; Watson e Smale, 1998; Francis e Duffy, 2005). É provável que esses autores não tenham conseguido observar esses pontos de inflexão em *P. glauca*

pelos seguintes motivos metodológicos: 1) a ausência ou baixo número amostral de tubarões grandes e/ou pequenos em alguns dos estudos restringe a amplitude do espectro de tamanhos; 2) a utilização do comprimento interno do clasper pode mascarar os pontos de inflexão pela adição, ao tamanho do clasper, de uma proporção do crescimento corporal definida pela distância entre abertura da cloaca e a base do clasper e 3) por não expressar o tamanho do clasper como uma proporção do comprimento corporal.

Esses dois pontos de inflexão delimitam a faixa de comprimentos na qual o clasper cresce aceleradamente, estando associada à fase de desenvolvimento sexual. A faixa de comprimentos acima do ponto de inflexão, onde a declividade da relação se nivela (p_2), corresponde aos tamanhos nos quais os tubarões são maduros. Isto foi corroborado no presente estudo ao observar que todos os tubarões com $CF \geq p_2$ (195 cm) tiveram os claspers rígidos e com tamanho superior a 11 cm (Fig. 2.3).

Os tamanhos na primeira maturidade sexual (L_{50}) de *P. glauca*, estimados por primeira vez para o Atlântico Sudoeste no presente estudo, foram similares entre os sexos, com 180 cm para os machos e 175 cm para as fêmeas. Isto significa que se os machos e as fêmeas crescem com a mesma taxa, como observado em alguns estudos (Skomal e Natanson, 2003; Lessa *et al.* 2004; Capítulo 3), então ambos os sexos estão aptos para produzir gametas e copular às idades de cinco a seis. Entretanto, para as fêmeas é preciso distinguir entre o tamanho na primeira maturidade sexual e o tamanho na primeira reprodução, denominada no presente estudo de primeira maternidade (LM_{50}), que se estimou em 191,5 cm. O L_{50} é geralmente entendido como o tamanho no primeiro acasalamento, enquanto que o LM_{50} representa o tamanho no qual de fato são gerados descendentes pela primeira vez (Conrath, 2004).

A diferença entre estes valores de L_{50} e de LM_{50} , pode ser explicada pelo ciclo reprodutivo da fêmea. Exemplares com CF de 175 cm estão aptas para se reproduzir, e de fato acasalam durante a primavera, mas, a maioria dos indivíduos armazena o esperma nas glândulas nidametárias (Pratt, 1979; Hazin *et al.*, 1994b; Campana *et al.*, 2004), e somente engravidam depois de um ano, após os folículos culminarem o seu desenvolvimento e os úteros terem sido preparados para receber os ovos. Uma evidência disso foi à alta proporção de fêmeas grávidas no início da gestação que não possuíam marcas de cópula (82,8%), observadas no final do verão, e cujo CF médio foi de 191 cm ($\pm 14,3$ cm); enquanto que as fêmeas grávidas no início da gestação que apresentavam marcas de cópula na mesma época (17,2%), tiveram CF médio de 184,2 cm ($\pm 11,6$ cm). Além disso, de todas as fêmeas maduras com marcas de cópula, 61,3% não estavam grávidas ainda, e o CF médio dessas fêmeas diferiu do CF das fêmeas grávidas sem marcas de cópula, que foram respectivamente de 183,5 e 198,5 cm.

Springer (1960) notou uma correlação entre marcas de cópula recentes e a presença de embriões no início do desenvolvimento em *Carcharhinus plumbeus*, o que foi constatado no presente estudo para *P. glauca*. Entretanto, fêmeas não grávidas com marcas de cópula recentes possuíam folículos ovarianos com diâmetro em torno de 12 mm, mas os úteros eram estreitos e tubulares (ANEXO 10), sendo ainda necessário o desenvolvimento de câmaras independentes para receber os ovos (Otake, 1990), o que demonstra que a gravidez não necessariamente acontece imediatamente após a cópula.

O valor do L_{50} de *P. glauca* estimado para o Atlântico Sudoeste no presente estudo corrobora as estimativas realizadas em outras regiões do mundo. Para a região equatorial do Atlântico Sul, Hazin (1991, *apud* Lessa *et al.*, 2004) menciona tamanhos de maturidade sexual de 187 e 190,5 cm respectivamente para os machos e as fêmeas,

porém nos estudos publicados (Hazin *et al.*, 1994b; 2000), não fazem referência a esse aspecto reprodutivo, deixando registrado somente o CF médio de 188 cm para as fêmeas grávidas, o que pode indicar que a estimativa de 190,5 cm, comentada por Lessa *et al.* (2004), seja também apenas das fêmeas grávidas. Ainda na região equatorial do Atlântico Sul, Castro e Mejuto (1995) estimaram LM₅₀ de 180 cm no Golfo de Guiné, mas reconhecem a falta de indivíduos com CF inferior a 170 cm na amostra analisada, o que pode ter ocasionado o menor valor de LM₅₀.

No Pacífico Norte, Bigelow e Shroeder (1948) registram fêmeas grávidas com CF de 179 a 201 cm, e Nakano (1994) estimou tamanhos de maturação de 170 para os machos e 178 cm para as fêmeas. No Pacífico Sul, Stevens (1984) trabalhando em águas australianas teve acesso somente a exemplares maduros de ambos os sexos, motivo pelo qual não foi possível realizar estimativas de L₅₀ ou LM₅₀, mas registra que as fêmeas grávidas tiveram CF variando entre 199 e 254 cm em torno da média de 218 cm; enquanto Francis e Duffy (2004), na Nova Zelândia, tiveram poucos machos amostrados, mas estimaram CF de 194 cm para esse sexo, e de 170 a 190 cm para as fêmeas, cujo comprimento médio na gravidez foi de 202 cm. No Atlântico Norte, Aasen (1966) estimou tamanho na maturidade sexual de 195 cm para os machos, enquanto que Stevens (1974), trabalhando em águas inglesas, estimou L₅₀ de 155 cm para as fêmeas. Já Pratt (1979), no Atlântico dos Estados Unidos estimou 180 cm para os machos e 145 – 185 cm para as fêmeas. Campana *et al.* (2004) em águas canadenses, estimaram tamanhos de maturação sexual de 201 cm para os machos, e de 193 – 210 cm para as fêmeas. No oceano Índico, Gubanov e Grigor'yev (1975) registraram que *P. glauca* não atinge a maturidade sexual até o CF de 180 cm. Conclui-se que *P. glauca* não apresenta diferenças entre as populações no tamanho de maturidade sexual.

É pouco comum encontrar fêmeas grávidas com menos de 170 cm. No presente estudo apenas três fêmeas (2,5%) tiveram CF < 170 cm (163, 165 e 167 cm). No Nordeste do Brasil, Hazin *et al.* (1994b) analisou 88 fêmeas, e encontrou apenas uma fêmea grávida com 162 cm. Na Nova Zelândia, Francis e Duffy (2005) constataram aumento na largura relativa dos úteros a partir de 170 cm, e de 40 fêmeas grávidas analisadas, apenas uma teve 166 cm. No outro extremo, a maioria das fêmeas com mais de 190 cm eram grávidas ou recém paridas, e poucas possuíam marcas de cópula o que indica que as fêmeas com CF > LM₅₀ estão quase sempre grávidas.

A amplitude de comprimentos das fêmeas com marcas de cópula (141 – 214cm) é indicio da capacidade dos machos reconhecerem as fêmeas subadultas e adultas. Stevens (1974) examinou 353 fêmeas e encontrou marcas de cópula apenas em exemplares com CF de 155 a 185 cm. Pratt e Carrier (2001) comentam que o comportamento reprodutivo deve ser acionado em resposta a estímulos eletrosensoriais e/ou neuroendocrinológicos governados por fatores ambientais tais como a temperatura ou o fotoperíodo. Curtis (1987) comenta que todas as espécies de vertebrados, exceto *Homo sapiens*, copulam somente no cio, cuja periodicidade pode ser anual, mensal ou em intervalos diários.

Schmidt-Nielsen (2002) discute sobre o controle que os hormônios sexuais estrógeno e testosterona exercem no encéfalo, evocando pautas de comportamento particulares relacionadas ao cortejo e cópula. Nos elasmobrânquios vivíparos placentários, que é o caso de *P. glauca*, o acasalamento coincide com o aumento no nível de estrógeno, que deve derivar de folículos pequenos ou médios (Callard *et al.*, 1995), o que explica a alta freqüência de ocorrência de fêmeas com marcas de cópula no início do desenvolvimento.

Em *P. glauca* a maior proporção de fêmeas com marcas de cópula no verão indica que o cio nessa espécie ocorre com periodicidade anual. No Atlântico Noroeste, Pratt (1979) observou que no verão praticamente todas as fêmeas de *P. glauca* possuíam marcas de cópula recentes e profundas, e grandes quantidades de esperma fresco no lúmen dos úteros e das glândulas nidamentárias. Stevens (1984) e Hazin *et al* (1994b), corroboraram essas observações na Austrália e no Nordeste do Brasil, respectivamente. Pratt (1979) comenta que as fêmeas podem estocar esperma nas glândulas nidamentárias por períodos de até 22 meses. A presença nos úteros de ovos ou embriões aproximadamente na mesma fase desenvolvimento, durante toda a gestação (Tabela 1; Fig 2.11c), indica que em *P. glauca* os folículos ovarianos são liberados sequencialmente, em um curto período de tempo, alternando entre o os úteros direito e esquerdo.

A fecundidade uterina e a proporção sexual 1:1 dos embriões, observada no presente estudo, confirmam para o Atlântico Sudoeste a alta fertilidade de *P. glauca* também observada em outras regiões em nível mundial (Strasburg, 1958; Nakano, 1994; Pratt, 1979; Castro e Mejuto, 1995; Mejuto e García-Cortés, 2004). Entretanto, os valores mínimos de fecundidade devem ser tomados com cautela, especialmente nos exemplares de maiores tamanhos, uma vez que fêmeas grávidas com embriões no termo frequentemente abortam embriões quando capturadas. Observou-se correlação positiva significativa entre o tamanho da fêmea grávida e a fecundidade uterina. Esse aspecto é uma característica comum nos elasmobrânquios vivíparos (Callard *et al.*, 1995; Cortés, 2000), e dado que não existem evidências de senescência em tubarões, os maiores indivíduos são os mais fecundos (Pratt e Carrier, 1990).

2.4.3 Ciclo reprodutivo

No nordeste do Brasil, Hazin *et al.* (2000) reconhecem que o parto não ocorre nessa região, pois a escassez de fêmeas de julho a dezembro, e o tamanho máximo dos embriões, aproximadamente metade do tamanho de nascimento, fez os autores pensarem na possibilidade das fêmeas grávidas migrarem para o Golfo de Guiné, na costa africana. Isso apoiado nas observações de Castro e Mejuto (1995) naquela área, que relacionaram o aumento no tamanho médio dos embriões com a longitude, sugerindo que as fêmeas grávidas estivessem migrando em direção leste nos meses de junho a agosto. No entanto, Castro e Mejuto (1995) não especificam se amostraram durante esses três meses em todas as faixas de longitude, ou se a pesca foi realizada ao longo dos três meses na direção oeste-leste. Com isso, a diferença observada no tamanho dos embriões deve ser devida ao crescimento embrionário decorrente do período gestacional e não a um processo de migração das fêmeas.

Os resultados do presente estudo se enquadram bem com as observações realizadas no nordeste do Brasil (Hazin *et al.*, 1994b; 2000), no sudeste e sul do Brasil (Amorim, 1992; Amorim *et al.*, 1998; Vooren, 1999; Legat, 2001; Azevedo, 2003) e no Golfo de Guiné (Castro e Mejuto, 1995), o que indica que a distribuição sazonal e espacial das fases do ciclo reprodutivo de *P. glauca* abrange toda a bacia oceânica do Atlântico Sul, entre 0° e 40°S (Fig. 2.17b), como também ocorre nos oceanos Atlântico Norte e Pacífico Norte (Nakano, 1994; Kohler *et al.*, 1998).

No cruzeiro de março de 2005, realizado ao norte de 25 °S (Fig. 2.1), todas as fêmeas estavam grávidas no início da gestação ou com folículos com diâmetro próximo da ovulação (Fig 2.11, 2.12, 2.15). Isso corrobora as observações da região equatorial, de fêmeas em estado pré-ovulatório de novembro a dezembro e a alta frequência de

fêmeas grávidas com ovos uterinos ou embriões no início da gestação de março a julho no nordeste do Brasil, e com tamanhos máximos de 26 cm (Hazin *et al.*, 1994b, 2000). Na Golfo de Guiné, o tamanho dos embriões entre junho e agosto variou de 15,7 cm para 21,8 cm (1995), sendo portanto provável que sejam parte da mesma população observada no nordeste do Brasil, mas não necessariamente procedentes dessa região. A corrente de superfície subequatorial que flui de leste para oeste, impõe um empecilho físico à hipótese de Hazin *et al.* (2000).

A compilação de todas as informações permite sugerir o seguinte ciclo reprodutivo no Atlântico Sul. Os machos estão presentes em toda a bacia oceânica, com os juvenis sendo mais abundantes nas altas latitudes. A cópula ocorre no sudeste e sul do Brasil na primavera e início do verão, de outubro a janeiro. Após isso as fêmeas migram em direção norte, à procura de águas tropicais favoráveis ao desenvolvimento inicial dos embriões, e permanecem na região equatorial até o final do inverno (Hazin *et al.*, 1994b; Castro e Mejuto, 1995), quando iniciam a migração em direção sul, chegando à faixa latitudinal do sul do Brasil ($Lat > 25^{\circ}S$) a partir de setembro e outubro em estado avançado de gestação, com embriões próximos ao tamanho de nascimento (CF = 40 cm). O parto ocorre de setembro a dezembro, ao sul de $33^{\circ}S$, em região ainda desconhecida. A posição latitudinal da área de criação, onde se concentram os jovens-do-ano de ambos os sexos e machos juvenis, é dependente massa de água subtropical, (Água Central do Atlântico Sul – ACAS), com temperaturas de $16-18^{\circ}C$, formada na convergência entre a corrente do Brasil, água tropical que flui em direção sul, e a corrente das Malvinas, água subantártica que flui em direção norte (García, 1997) (ANEXOS 5 e 6). Depois do parto, ainda na primavera e início do verão, as fêmeas copulam novamente, caso não tenham esperma estocado na suas glândulas

nidamentárias, e iniciam uma nova migração em direção norte. São necessários ainda dados provenientes de latitudes superiores a 40°S, e da costa africana. Estudos de marcação e recaptura permitirão corroborar a integridade populacional de *P. glauca* em todo o Atlântico sul, além de elucidar as rotas migratórias da espécie.

Tabela 2.1 Resultados do teste *t*-Student para comparar entre os sexos o comprimento furcal (CF) de embriões de *P. glauca*, de um mesmo útero ou ninhada. O número de cada espécie representa uma identificação aleatória do indivíduo. d = útero direito, e = útero esquerdo, d + e = ninhada toda, n = número de embriões; p = nível de significância das diferenças.

Espécime	Útero	Machos		Fêmeas		<i>t</i> -Student	<i>p</i>
		CF médio	n	CF médio	n		
112-jun/04	d	23,0	13	22,9	9	0,192	0,849
112-jun/04	e	23,4	6	23,7	11	0,681	0,506
116-jun/04	d	19,9	15	19,8	17	0,213	0,832
116-jun/04	e	20,6	6	21,1	5	0,746	0,474
165-jun/04	d	23,4	9	23,9	13	1,254	0,224
165-jun/04	e	24,3	8	24,1	9	0,400	0,694
168-jun/04	d	21,0	20	20,8	14	0,495	0,623
168-jun/04	e	22,2	3	22,1	3	0,255	0,811
199-jun/04	d + e	17,2	6	17,5	7	0,662	0,521
208-jun/04	d + e	14,4	13	14,6	5	0,370	0,715
253-jun/04	d	20,1	5	20,1	5	0,028	0,978
253-jun/04	e	20,3	9	19,3	11	1,520	0,144
264-jun/04	d + e	31,4	21	30,3	22	2,231	0,031 *
269-jun/04	d + e	22,7	20	23,0	22	1,738	0,089
270-jun/04	d	25,4	10	25,1	8	0,894	0,384
270-jun/04	e	24,7	12	24,2	13	1,256	0,221
272-jun/04	d + e	18,6	12	19,6	8	2,037	0,056
292-jun/04	d + e	29,4	15	29,1	15	0,489	0,628
302-jun/04	d + e	27,7	15	27,7	13	0,028	0,977
TOTAL		23,2	161	23,6	146	0,962	0,336

Tabela 2.2 Número de tubarões (n) e amplitude de comprimento furcal dos indivíduos de *P. glauca* que tiveram dados e/ou amostras coletadas para o estudo dos aspectos reprodutivos. CF = comprimento furcal em cm; s = desvio padrão.

Variável	n	CF min.	CF max.	CF média	s
Machos:					
CF	2340	80	262	164,7	28,9
Comprimento Clasper	899	80	247	176,7	28,3
Grau de Calcificação	471	80	247	170,4	32,8
Indiv. testículos medidos	222	101	262	181,2	27,5
Indiv. testículos pesados	261	101	262	183,1	27,4
Fêmeas					
CF	402	73	247	170,9	29,7
Ovários e Glândulas Nid.	298	88	247	182,4	25,2
Fecundidade Uterina	73	165	247	203,6	16,2
CF Embriões	107	163	247	197,6	16,2

Tabela 2.3 Cronograma (a.) e distribuição latitudinal (b.) dos eventos e processos do ciclo reprodutivo das fêmeas de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, com base nos resultados do presente estudo e nas observações de Amorim (1992), Hazin *et al.* (1994b; 2000), Legat (2001) e Azevedo (2003). As casas em preto denotam as principais épocas e áreas.

a. Eventos ou Processos

	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cópula												
Ovulação												
Gravidez												
Parto												

b. Eventos ou Processos

	LATITUDE									
	0°S	5°S	10°S	15°S	20°S	25°S	30°S	35°S	40°S	45°S
Cópula									??	??
Ovulação									??	??
Gravidez									??	??
Parto									??	??

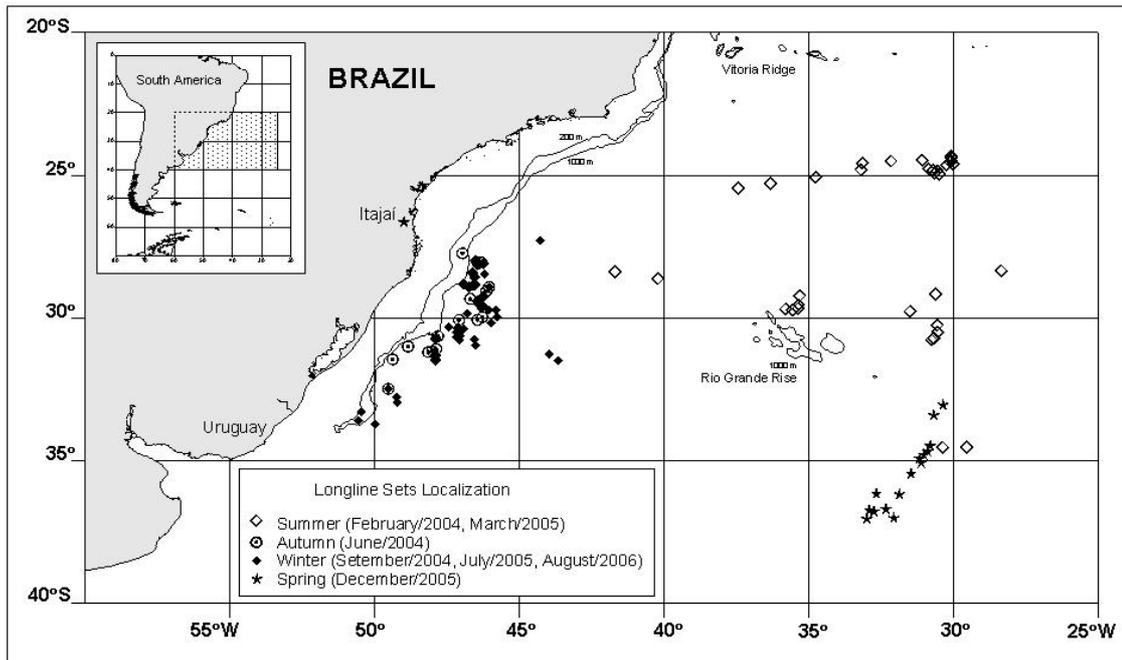


Figura 2.1 Localização da área de pesca no Atlântico Sudoeste (área sombreada) e posição inicial dos lances de espinhel realizados em 2004 – 2006, classificados por estação do ano.

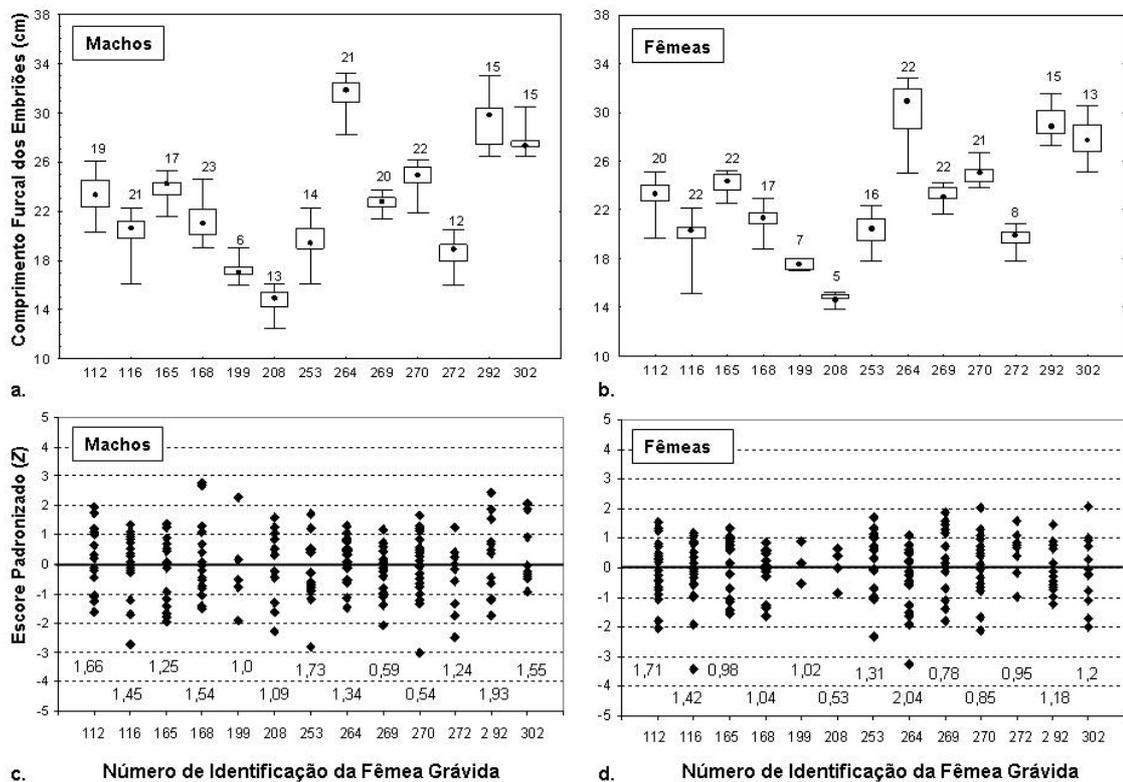


Figura 2.2 Variação do CF dos embriões por sexo, encontrados nas ninhadas de 13 fêmeas grávidas, identificadas com números aleatórios. Em **a** e **b** se apresentam a mediana (ponto), o intervalo interquartil (caixa) e a amplitude (linhas) de comprimento furcal em cm, e números os indicam o tamanho da amostra. Em **c** e **d** se apresentam os escores Z para cada embrião, em relação ao comprimento furcal médio da ninhada, os números indicam o desvio padrão.

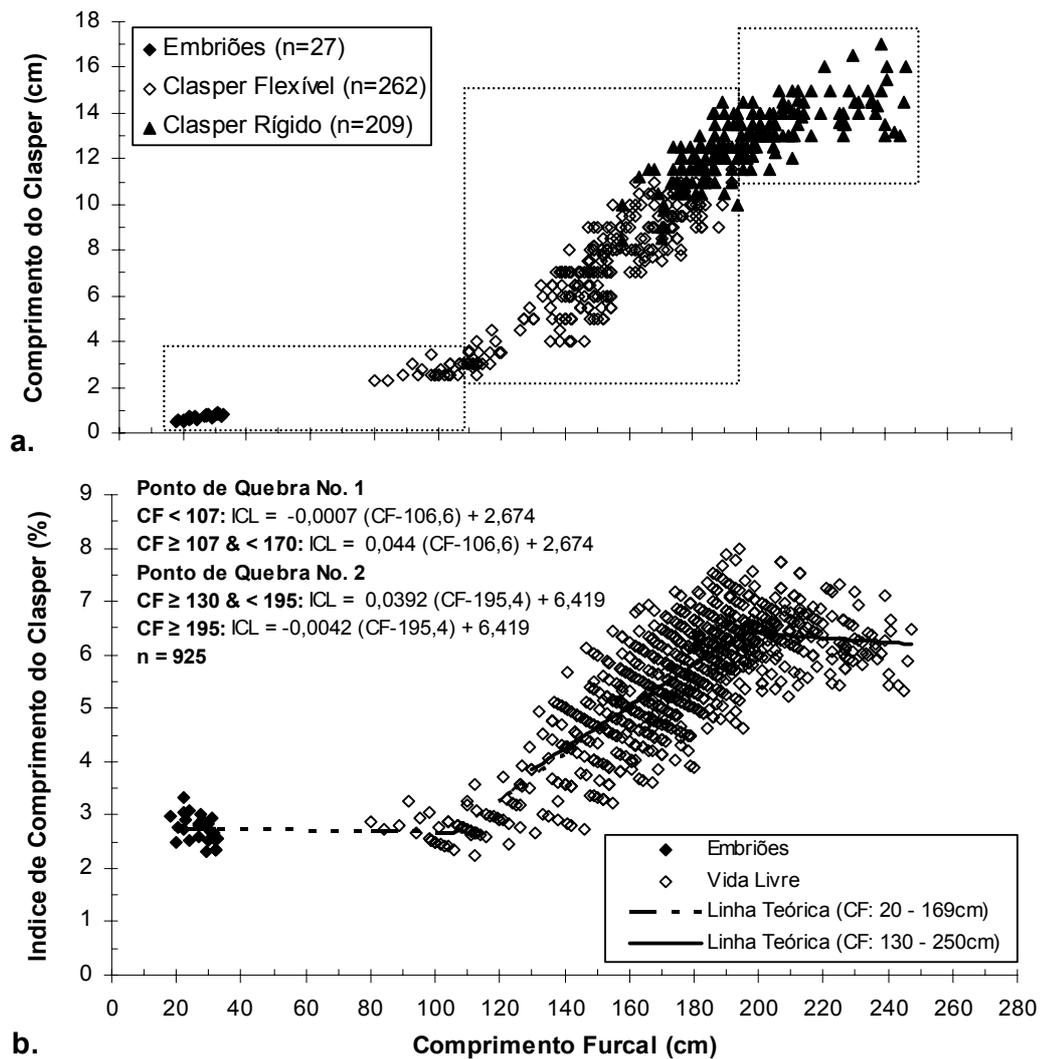


Figura 2.3 Variação do crescimento dos claspers em função do crescimento corporal. **a.** Gráfico de dispersão entre o tamanho dos claspers e o CF. **b.** Relação entre índice de comprimento do clasper (ICL) e o CF, e ajuste das equações de regressão dividida para o cálculo do ponto de quebra.

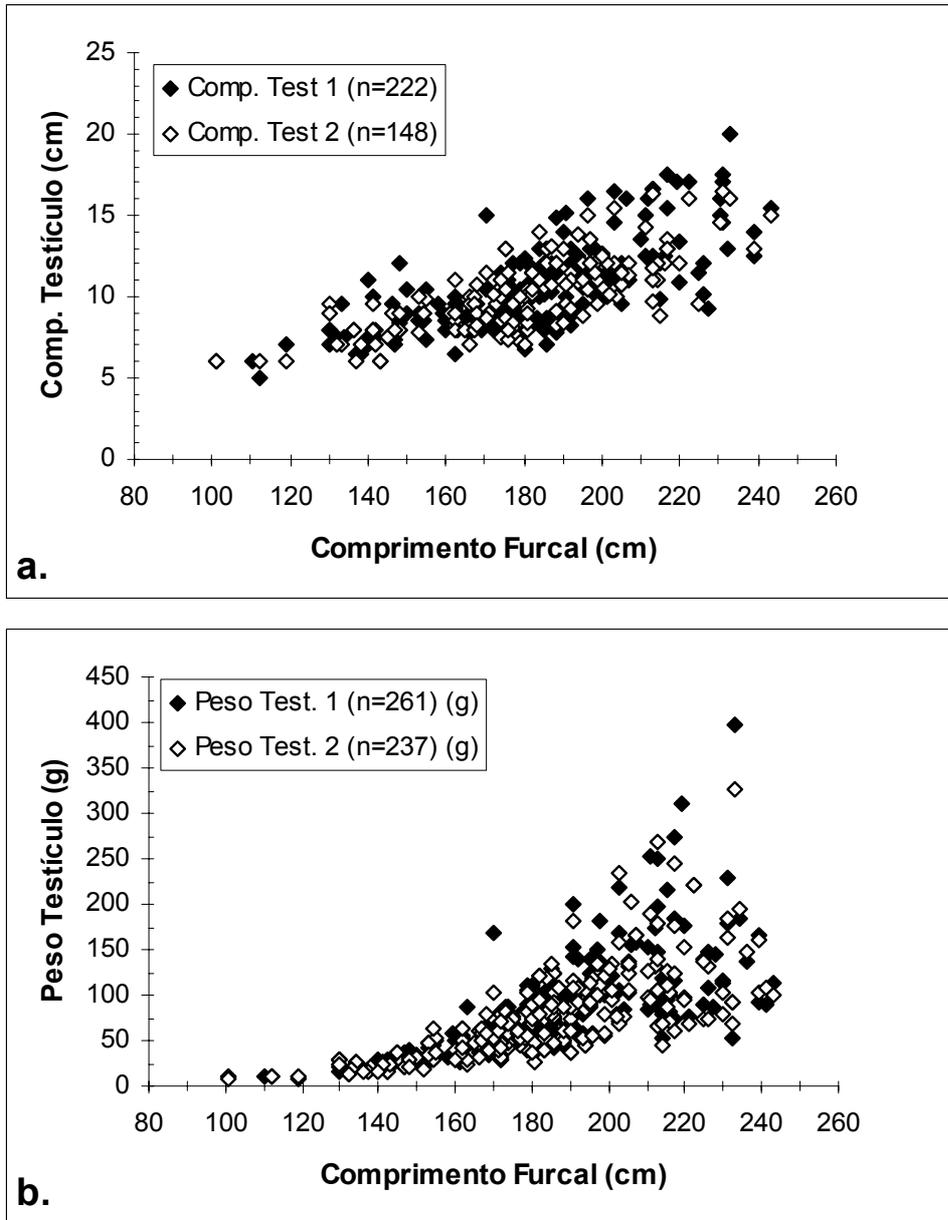
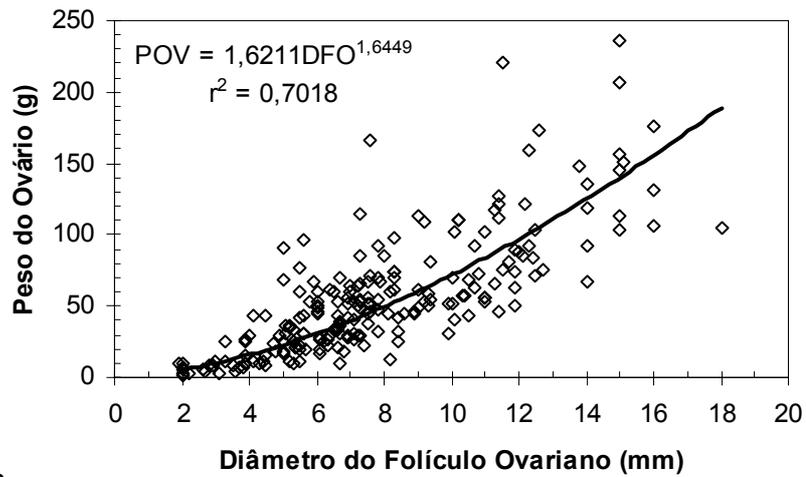
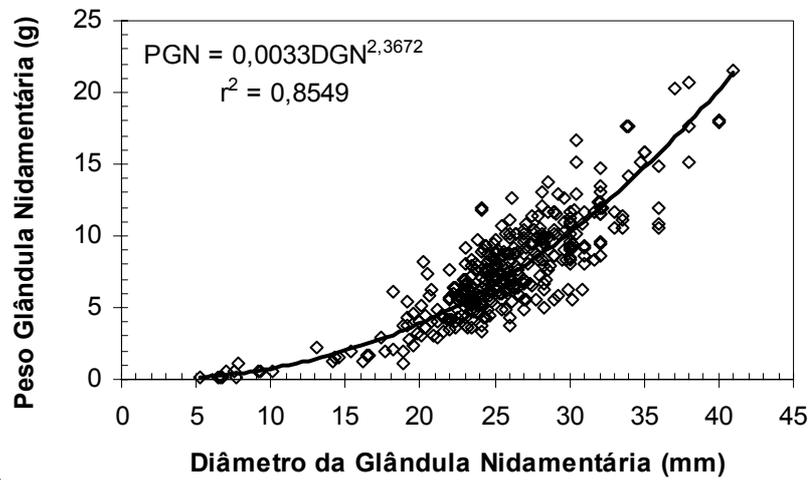


Figura 2.4 Variação do comprimento (a.) e do peso (b.) de testículos de *P. glauca* em função do tamanho corporal.



a.



b.

Figura 2.5 Relações entre o peso dos ovários e o diâmetro do maior folículo ovariano (a.) e entre o peso e o diâmetro das glândulas nidamentárias (b.) de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste

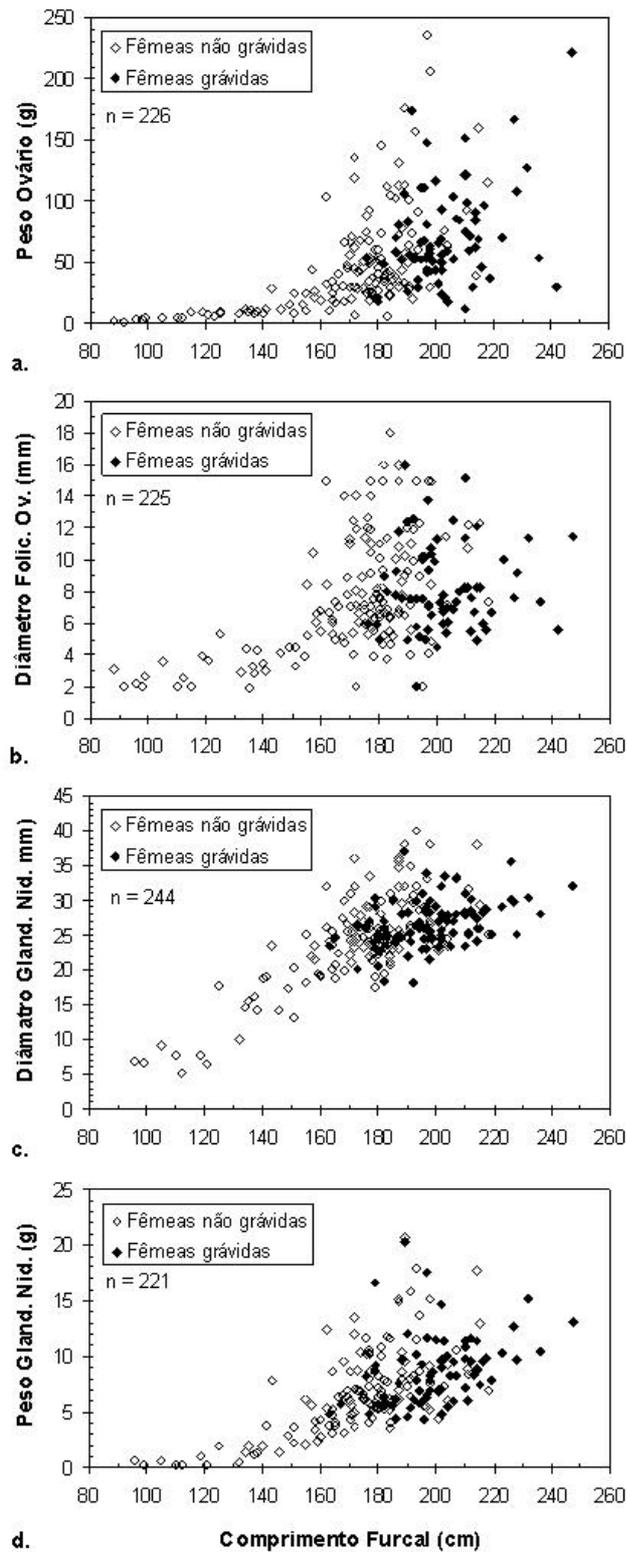


Figura 2.6 Variação do peso dos ovários (a.), do diâmetro do maior folículo ovariano (b.) e do diâmetro e peso das glândulas nidamentárias (c. e d.) de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste.

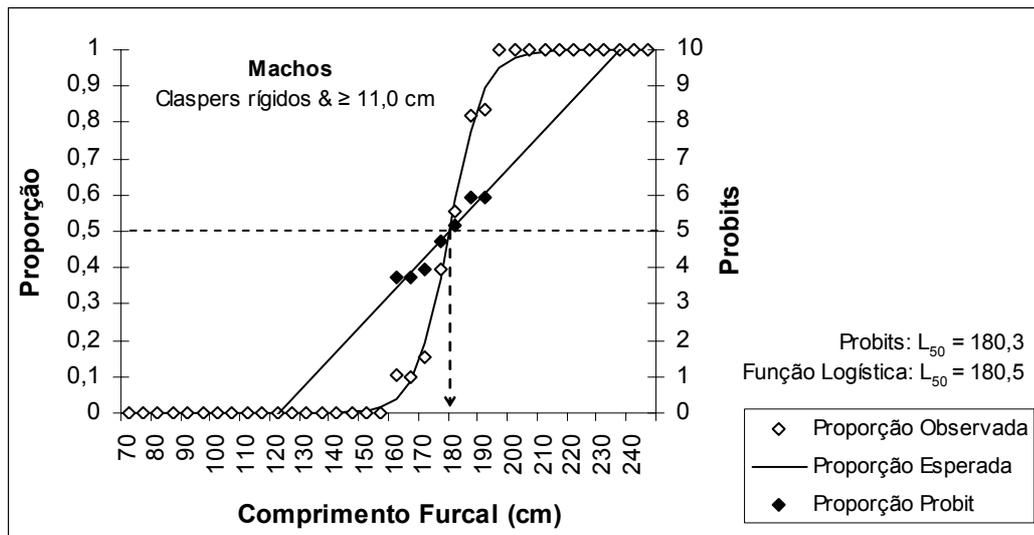


Figura 2.7 Ajuste da distribuição normal cumulativa e da função logística aos dados de proporção de machos maduros de *P. glauca*, por classe de CF, classificados com base na presença de claspers rígidos e $\geq 11,0$ cm, para cálculo do L_{50} .

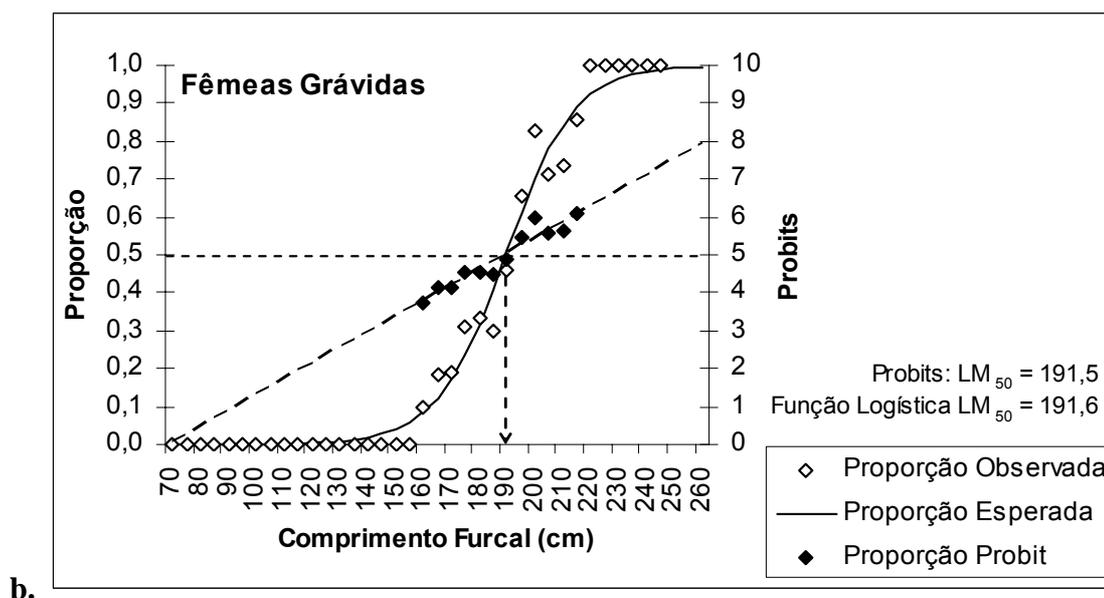
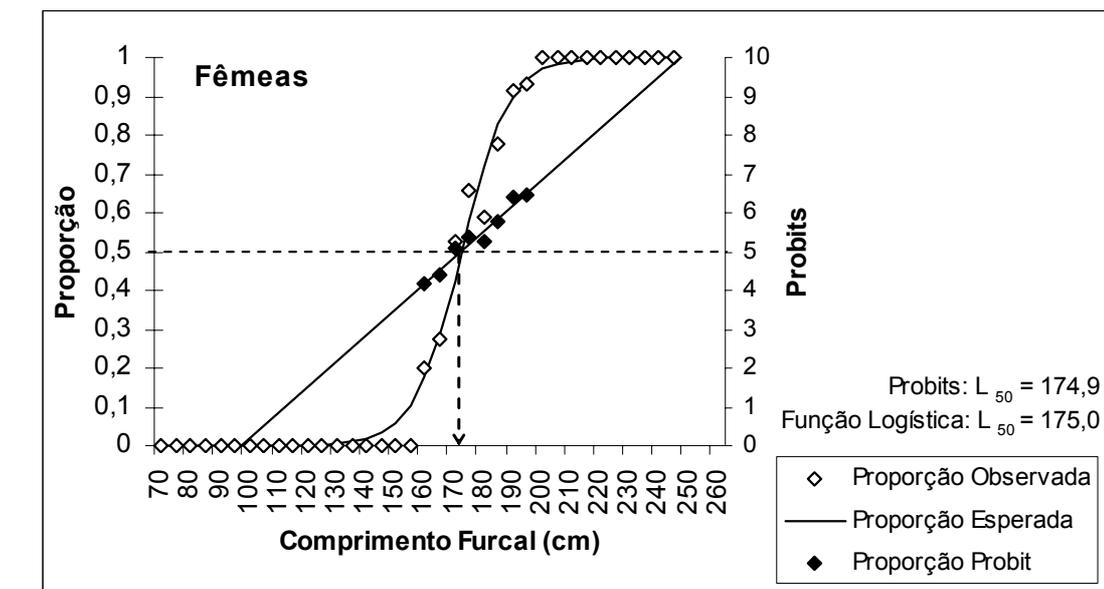


Figura 2.8 Ajuste da distribuição normal cumulativa e da função logística aos dados de proporção de fêmeas maduras (**a.**) e grávidas (**b.**) de *P. glauca*, para cálculo do L_{50} e do L_{mat} , respectivamente.

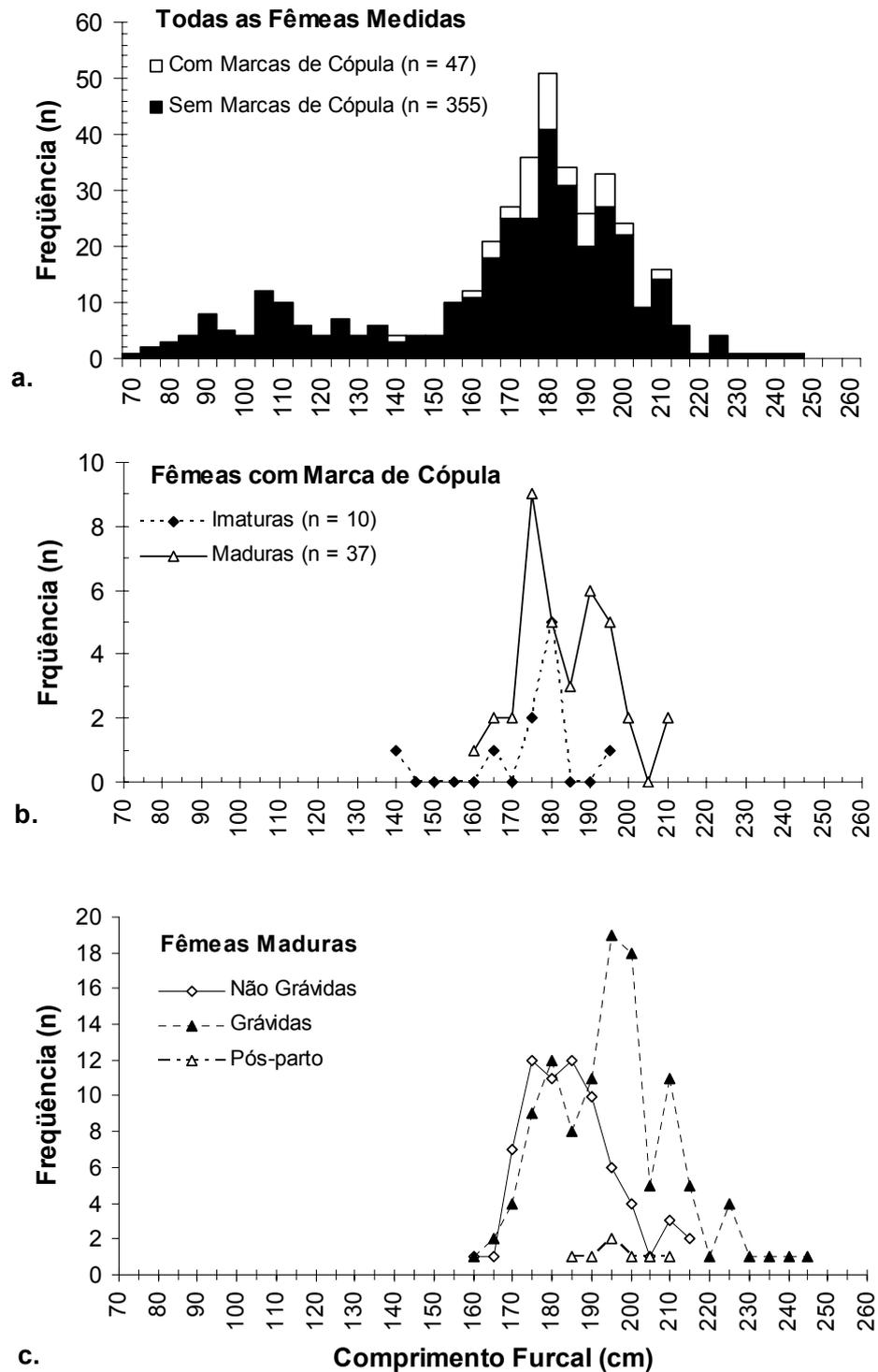


Figura 2.9 a. Distribuição de freqüências de CF de fêmeas imaturas e maduras com “marcas de cópula”. **b.** Distribuição de freqüências de CF das fêmeas adultas, segundo o estado dos úteros. **c.** Proporção de fêmeas maduras, por classes de comprimento de 10 cm, nos quatro estágios do ciclo reprodutivo da fêmea.

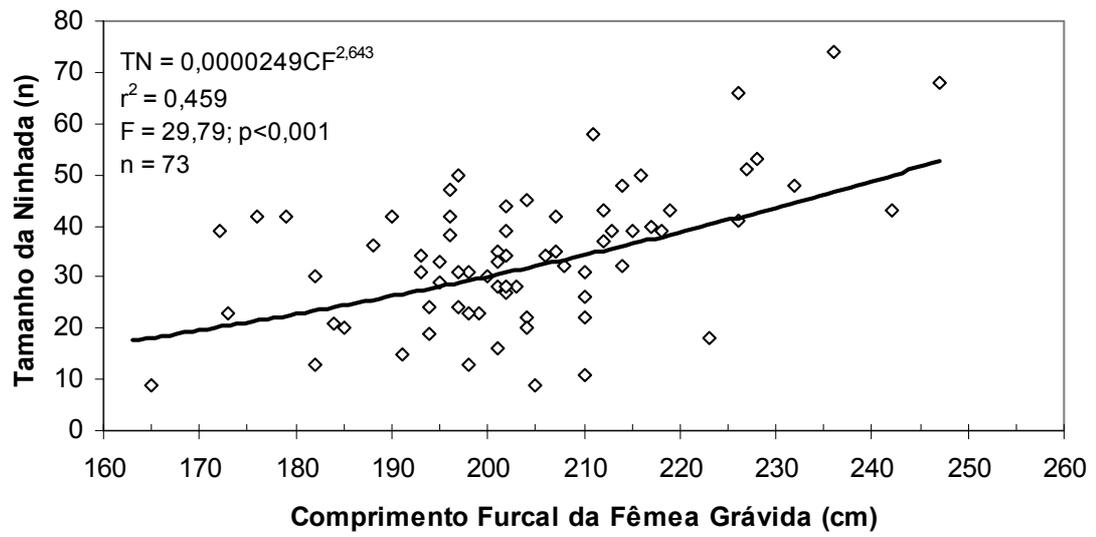
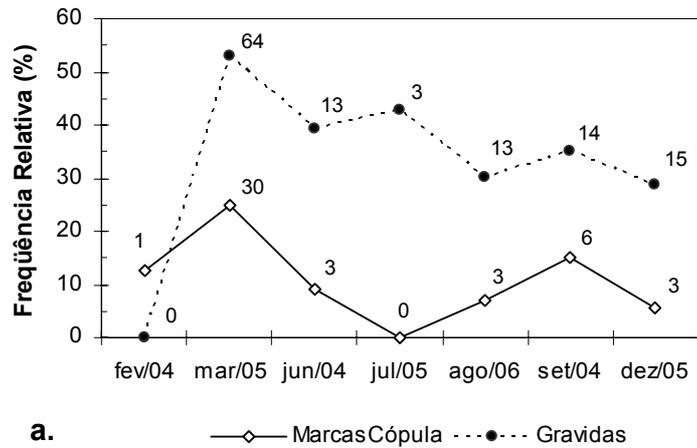
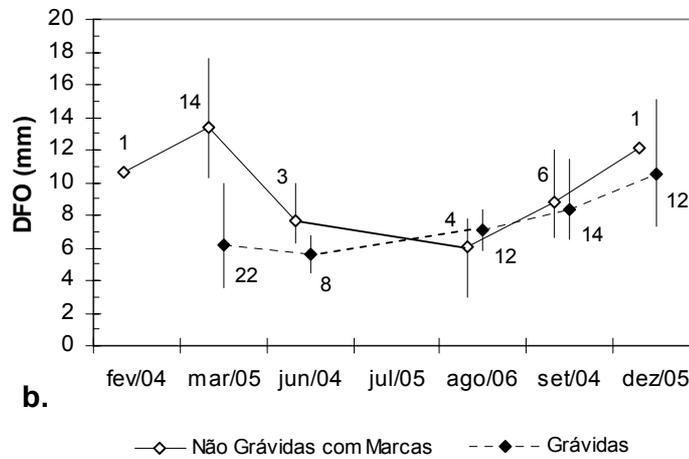


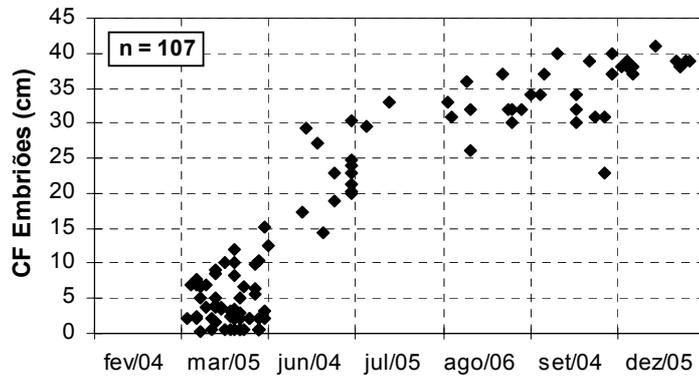
Figura 2.10 Relação entre a fecundidade uterina (TN) e o comprimento furcal das fêmeas grávidas de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste.



a.



b.



c.

Figura 2.11 a. Variação sazonal da proporção de fêmeas com CF ≥ 160 cm com marcas de cópula e de fêmeas grávidas. **b.** Variação sazonal no diâmetro do maior folículo ovariano (DFO) de fêmeas não grávidas com marcas de cópula e de fêmeas grávidas. **c.** Variação sazonal do CF dos embriões. As barras representam à amplitude, os pontos o valor médio e os números o tamanho das amostras.

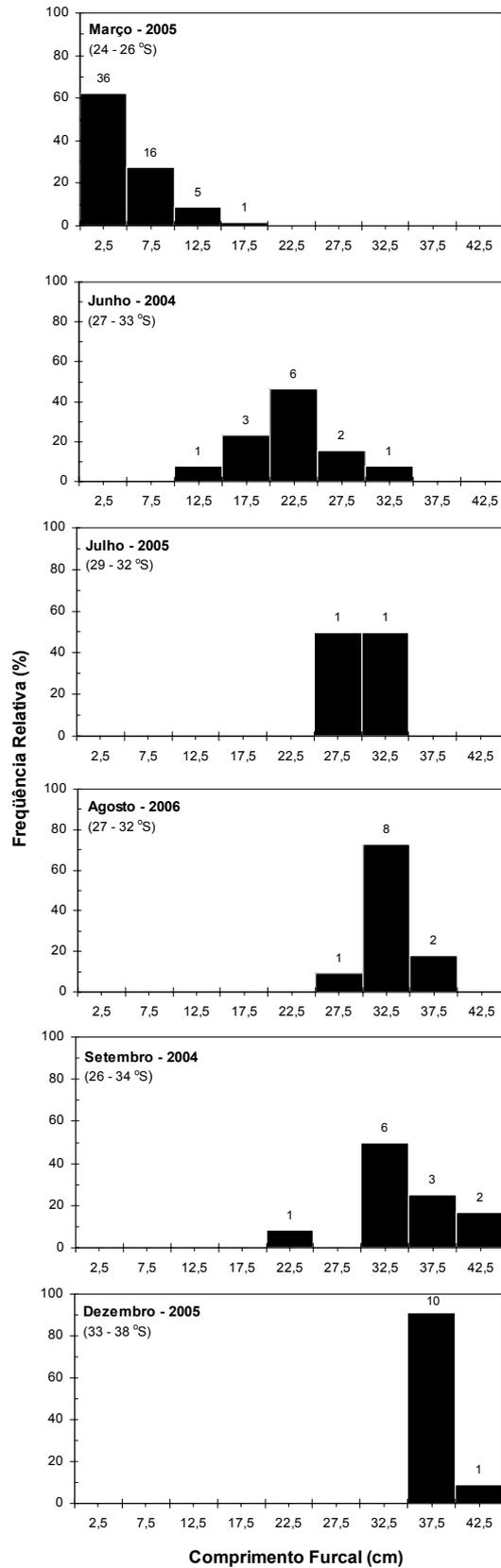


Figura 2.12 Variação sazonal e espacial do tamanho médio de embriões de *P. glauca*.

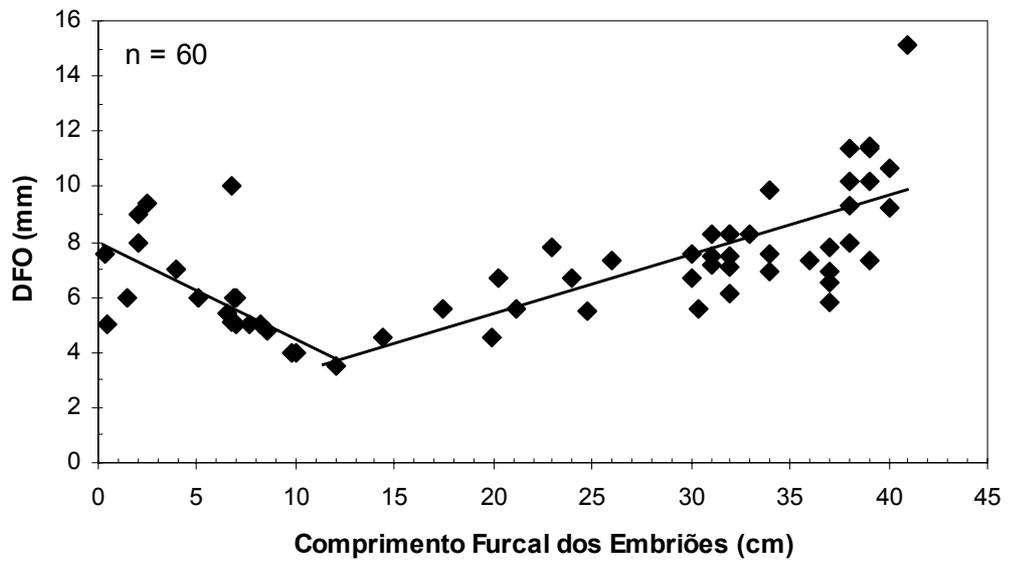


Figura 2.13 Relação entre o diâmetro do maior folículo ovariano (DFO) e o CF dos embriões presentes em uma mesma fêmea grávida no Atlântico Sudoeste.

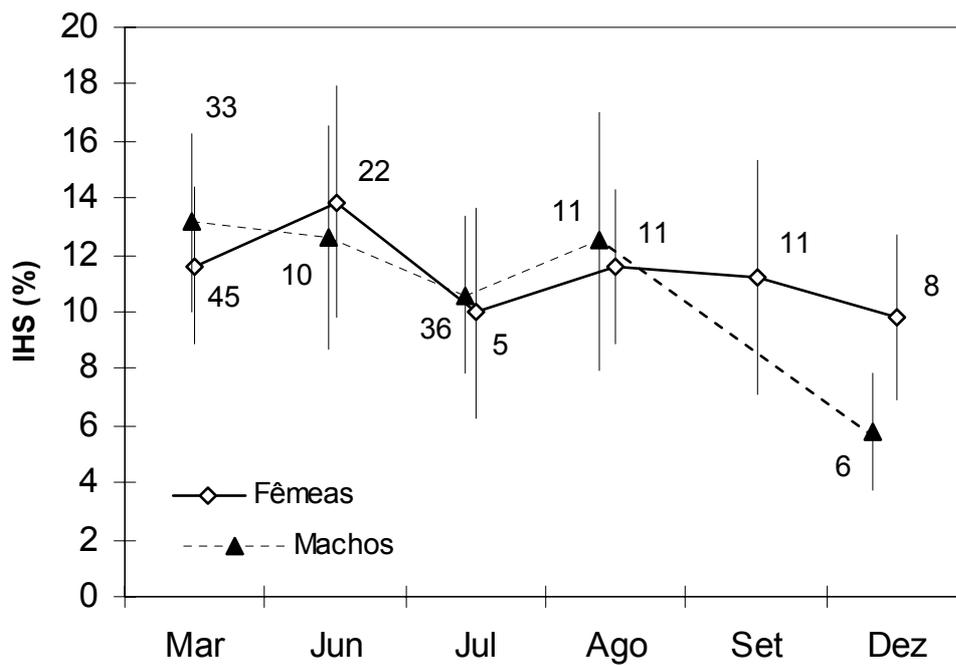
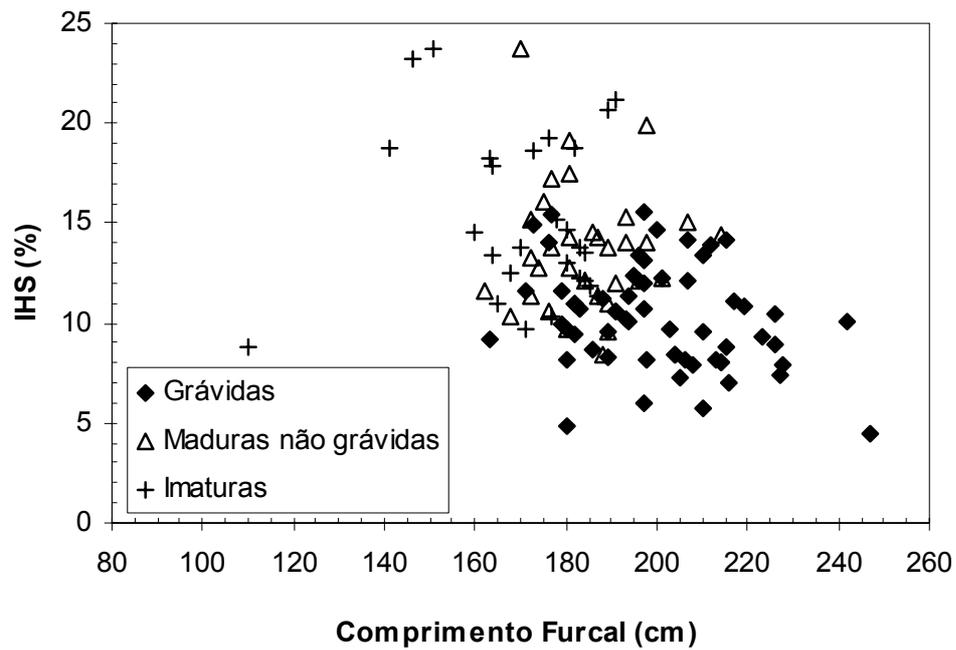


Figura 2.14 a. Variação do índice hepatossomático em função do tamanho do corpo das fêmeas em três estados reprodutivos. **b.** Variação mensal do índice hepatossomático de machos e fêmeas maduros.

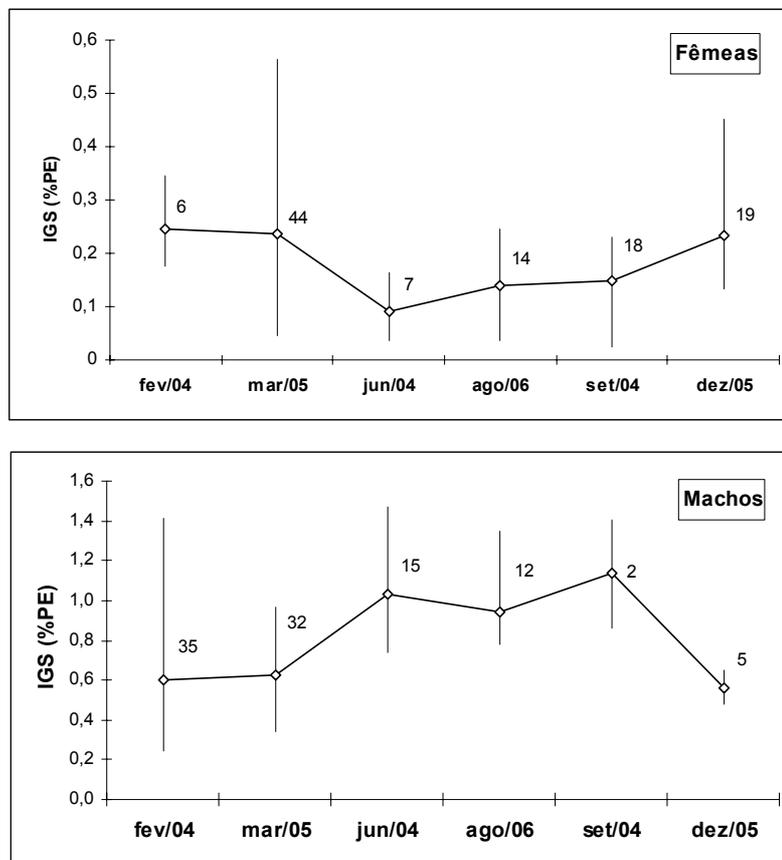


Figura 2.15 Variação sazonal do índice gonadosomático de fêmeas e machos de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste. Os números indicam o tamanho amostral em cada cruzeiro.

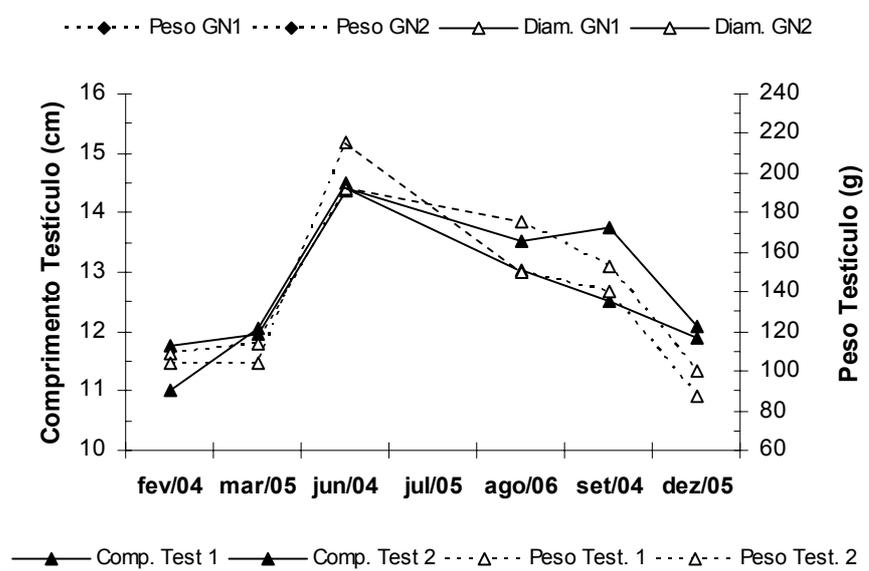
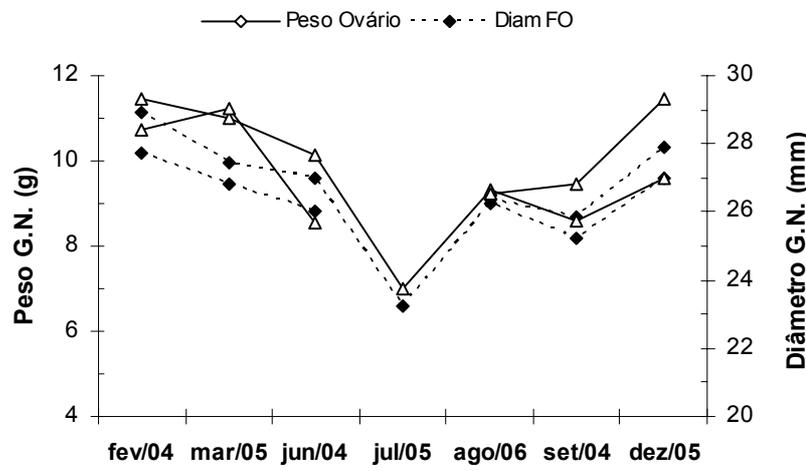
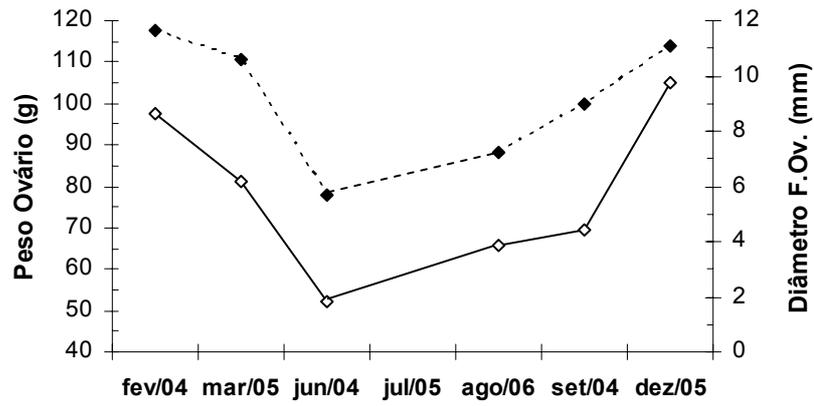


Figura 2.16 Variação mensal da média de peso do ovário, do diâmetro do maior folículo ovariano, do peso e maior largura das glândulas nidamentárias e do peso e comprimento de testículos de *P. glauca* do Atlântico Sudoeste.

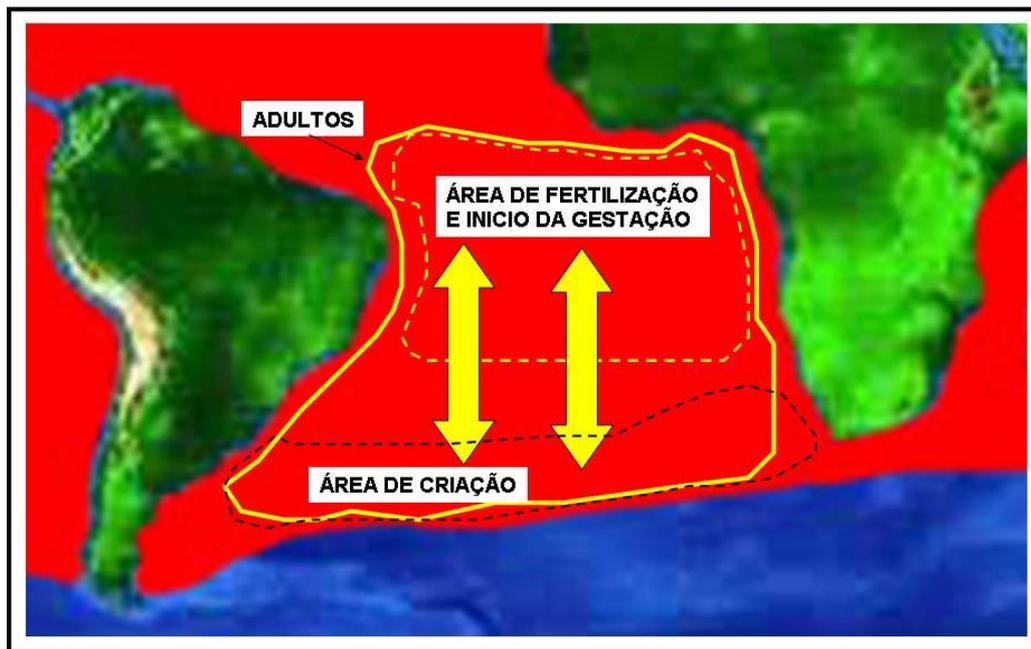
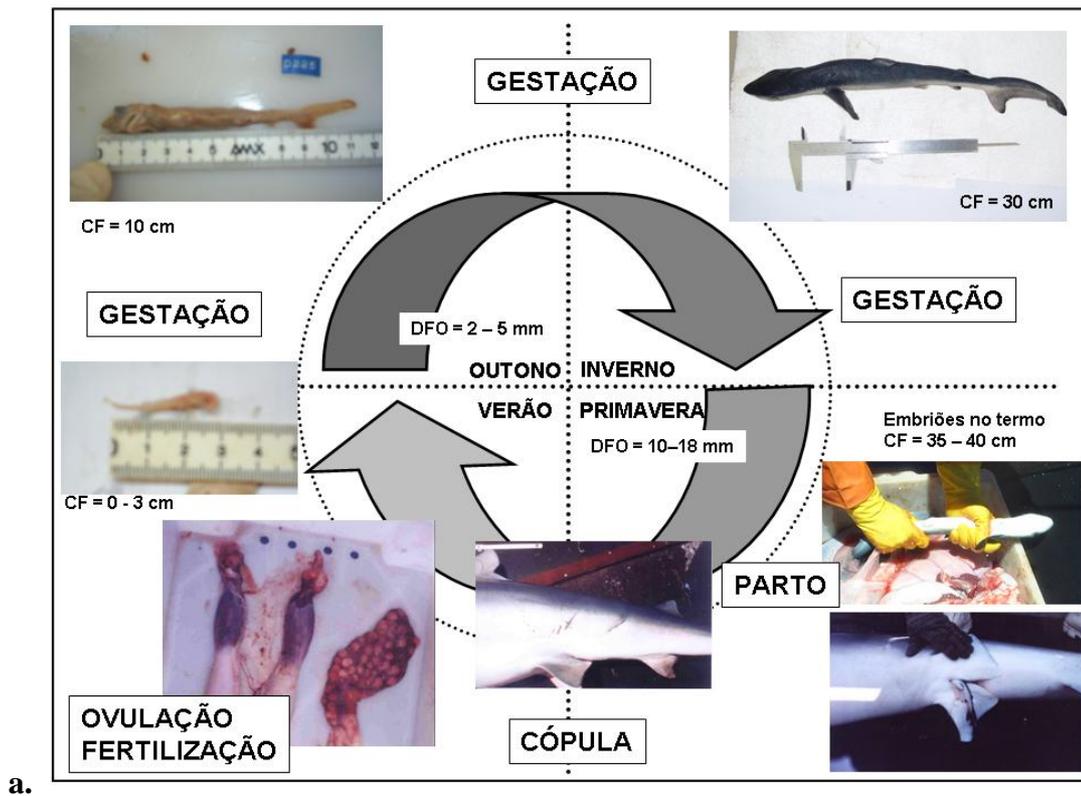


Figura 2.17 a. Ciclo reprodutivo de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, com os eventos e processos apresentados em quadrantes por estação do ano. **b.** Esquema da distribuição espacial dos eventos e processo do ciclo reprodutivo.

CAPITULO 3

CRESCIMENTO, IDADE E ESTRUTURA ETÁRIA DO TUBARÃO-AZUL, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), NA REGIÃO SUDOESTE DO OCENAO ATLÂNTICO.

3.1 INTRODUÇÃO

Prionace glauca é a espécie de tubarão oceânico mais freqüente na fauna acompanhante das pescarias com espinhel e redes de deriva em nível mundial (Camhi *et al.* 1998). No sudeste e sul do Brasil barcos nacionais e estrangeiros capturam tubarões-azuis desde a década de 1960, quando começou a pesca com espinhel de superfície no país (Amorim *et al.*, 1998; Hazin *et al.*, 1990), coincidindo com a expansão mundial dessa modalidade pesqueira (Mejuto e García-Cortés, 2004). Isto sugere que no Atlântico Sul a espécie é explorada aproximadamente há meio século. Entretanto, só recentemente foram fornecidas informações sobre o crescimento corporal e composição etária das capturas para esta bacia oceânica. Lessa *et al.* (2004) analisaram amostras da região equatorial e proporcionaram o primeiro estudo sobre a idade e crescimento de *P. glauca* no Atlântico Sul.

O hábito migratório de *P. glauca* é bem conhecido em outros oceanos (Strasburg, 1958; Nakano, 1994; Stevens, 1976; Kholer *et al.*, 1998), sendo possível, portanto, que a população analisada por Lessa *et al.* (2004) seja parte de uma única unidade de manejo no Atlântico Sul. Estudos da ecologia reprodutiva apóiam essa hipótese ao menos para a região ocidental desse oceano (Hazin *et al.*, 1994b; Amorim *et al.*, 1998). Contudo, a segregação espacial e sazonal dos sexos e das fases de vida da espécie, torna necessário estimar a composição etária das capturas ao largo de toda a

área de distribuição da população. Devido à falta de informações acerca da idade e o crescimento e da estrutura etária no sul do Brasil, o objetivo do presente estudo foi estimar a composição por idades das capturas, mediante a análise das linhas de aposição nas vértebras, e descrever o crescimento corporal através de ajuste do modelo de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os exemplares de *P. glauca* foram amostrados a bordo de dois barcos de pesca da frota comercial de espinhel do sul do Brasil, durante sete cruzeiros realizados no talude continental e em águas internacionais adjacentes (23°-38°S; 29°-52°W), no período de 2004 a 2006 (Fig. 3.1). As amostragens foram distribuídas em todas as estações do ano, sendo uma na primavera (dez/05); duas no verão (fev/04, mar/05), uma no outono (jun/04) e três no inverno (set/04, jul/05, ago/06). De cada tubarão foi registrado o sexo, medido o comprimento furcal (CF) em linha reta ao centímetro inferior e coletado uma porção da coluna com três a cinco vértebras cervicais, extraídas ao nível da região branquial do animal.

Seções longitudinais com espessura de 0,5 mm foram retiradas no plano frontal, ao nível do foco da vértebra (*i.e.* centro do corpo vertebral, posição primitiva da notocorda), com uso de serra metalográfica e disco de corte diamantado (Fig. 3.2). As seções vertebrais foram estocadas em álcool 70% para evitar desidratação e consequentemente deformação do material.

Quando observadas as seções, sobre luz transmitida no microscópio estereoscópico, aparecem dois tipos de bandas nos *intermedialia*, uma banda translúcida (larga) e uma banda opaca (estreita). O conjunto de uma banda translúcida e uma banda

opaca foi definida como uma zona de crescimento (Casselman, 1983; Yudin e Cailliet, 1990; Lessa *et al.*, 2000; Carlson *et al.*, 2003). O ponto único no qual uma banda opaca finaliza seu crescimento, dando lugar ao início de uma banda translúcida, se definiu como uma marca de crescimento, estabelecendo o ponto divisório entre zonas de crescimento (Fig. 3.2).

Para determinar a constituição dessas zonas de crescimento e avaliar uma possível melhoria no contraste visual entre as bandas opacas e translúcidas, e por tanto a nitidez da marca de crescimento, foi testado o corante histoquímico Vermelho de Alizarina, escolhido por ser um corante comumente usado para tecidos calcificados (Gartner e Hiatt, 1997). A Alizarina permitiu diferenciar claramente bandas opacas e translúcidas. Constatou-se que as bandas opacas absorvem o corante e são, portanto, de cartilagem calcificada, enquanto que as bandas translúcidas não absorvem o corante sendo, portanto, de cartilagem não calcificada (Fig. 3.2).

Usando um microscópio estereoscópico com escala micrométrica no ocular foi realizada a leitura das seções vertebrais, que consistiu na contagem do número de marcas de crescimento e medição do raio dessas marcas (R_i) e da vértebra (RV), desde o foco até a face lateral do *intermedialium* (Fig. 3.2). As medições foram realizadas ao longo do eixo transversal, com magnificação de 10X (10,0 unidades micrométricas = 1,0 mm), usando luz transmitida. Os espécimes com o mesmo número de marcas de crescimento são referidos como pertencente a um mesmo grupo de marca (GM_i).

A exatidão das contagens das marcas de crescimento foi avaliada pela comparação das leituras realizadas em dois momentos pelo mesmo leitor, sem conhecimento do CF, da data de captura, do sexo e da leitura prévia do espécime. As contagens foram comparadas pelo gráfico de comparação visual proposto por Campana

et al. (1995). A exatidão das contagens foi quantificada por grupos de indivíduos com o mesmo número de marcas de crescimento e para a amostra conjunta, através do cálculo de três índices de uso comum, o índice de erro percentual médio (IAPE) de acordo com Beamish e Fournier (1981), o coeficiente de variação (CV) e o índice de precisão (D) de acordo com Chang (1982). As equações para o cálculo desses índices foram dadas por:

$$IAPE_j = \frac{1}{R} \times \sum_{i=1}^R \left(\frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right) \times 100;$$

$$CV_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^R (X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} \times 100;$$

$$D_j = \frac{CV_j}{\sqrt{R}}$$

onde, R é o número de leituras realizadas em cada indivíduo, X_{ij} é a leitura i do tubarão j , e X_j é a média das leituras do tubarão j .

A proporcionalidade entre o tamanho da vértebra e do corpo foi estudada pela relação entre o raio da vértebra (RV) e o comprimento furcal (CF), dos sexos em separado, através do ajuste dos modelos linear e potencial. As linhas de regressão dos sexos foram comparadas pela análise da covariância (ANCOVA) (Zar, 1999). A história do crescimento de cada indivíduo foi descrita através do retrocálculo com uso do método proposto por Campana (1990), que incorpora o intercepto biológico na relação de proporcionalidade entre o RV e CF (*i.e.* o comprimento de nascimento). A equação do método esta dada por:

$$CF_i = CF_c + \left[\frac{(R_i - RV_c)(CF_c - CF_n)}{(RV_c - RV_{nasc})} \right]$$

onde, CF_i é o comprimento furcal retrocalculado para a marca de crescimento i (R_i); CF_c e RV_c são o comprimento furcal e o raio da vértebra no momento da captura, e CF_{nasc} e RV_{nasc} são o comprimento furcal e o raio da vértebra no nascimento (*i.e.* 45 cm e 2,0 mm, respectivamente).

Para verificar a periodicidade da formação das marcas de crescimento se analisou o incremento marginal (IM) (Lessa *et al.*, 2004), definido como a diferença entre o raio da vértebra e o raio da última marca de crescimento completamente formada, ou seja, a largura da zona de crescimento mais recente ainda não completamente formada (Fig. 3.2). Os valores médios mensais foram comparados através da análise da variância (ANOVA) e com a prova *a posteriori* de Tukey foram identificados grupos homogêneos.

O crescimento corporal foi descrito mediante o ajuste do modelo de von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1938) aos dados de idade e comprimento observados:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

onde L_t é o CF na idade t ; L_∞ é o CF assintótico; k é o constante de catabolismo; t_0 é a idade teórica na qual o tubarão teria CF zero. Os parâmetros do modelo foram estimados com uso do método Simplex e Quase-Newton na rotina para ajuste de modelos não lineares pelo pacote computacional Statistica (StatSoft, Inc., Tulsa, OK).

Os parâmetros de crescimento obtidos para as curvas observadas de machos e fêmeas, foram comparados através do teste T^2 de Hotelling (Bernard, 1981; Cerrato, 1990) e também pela sobreposição de intervalos de confinção de 95%, usando o modelo de distribuição normal bi-dimensional descrito por Kimura (1980) e Cerrato (1990).

Estimativas da longevidade foram realizadas através do método de Fabens (1965), que considera a longevidade como o tempo em anos no qual a espécie alcança 99% do L_{∞} , obtida pela equação:

$$t_{99\%L_{\infty}} = 5 \times \frac{(\ln 2)}{K},$$

onde $t_{99\%L_{\infty}}$ é a idade de longevidade e K é a constante de catabolismo.

A composição etária das capturas por sexo nos cruzeiros individuais e agrupados foi determinada com uso de uma chave comprimento-idade (Sparre e Venema, 1995). As relações entre CF e peso total em kg (PT) dos sexos foram obtidas em prospecção científica no sul do Brasil, em 1996 – 1999, no âmbito do Projeto ARGO (Vooren *et al.*, 1999), e a partir dessa relação e com os parâmetros de crescimento de von Bertalanffy foram geradas as curvas de crescimento em peso para cada sexo.

3.3 RESULTADOS

Dos 4511 exemplares de *P. glauca* capturados nos sete cruzeiros, 57,5% dos machos (n=4068) e 90,7% das fêmeas (n=443) foram medidos (CF). Seções vertebrais de 837 indivíduos foram analisadas, sendo 260 fêmeas e 577 machos. A distribuição de frequências de comprimento dos tubarões que tiveram as vértebras analisadas representou adequadamente a amostra de tubarões medidos no mar, variando entre 73 e 247 cm para as fêmeas e entre 80 e 262 cm para os machos (Fig. 3.3).

A relação entre o raio da vértebra (RV) e o comprimento furcal (CF) não teve diferença significativa entre os sexos (ANCOVA: elevação – t= 0,663 - gl=810; intercepto – t = 0,289 - gl=811; p < 0,001). Para os sexos combinados, a relação foi descrita pelo ajuste do modelo potencial ($r^2 = 0,904$) (Fig. 3.4).

A exatidão das leituras das marcas de crescimento foi avaliada em uma subamostra de 194 seções vertebrais. A correspondência entre as contagens realizadas em dois momentos não apresentou diferenças nos gráficos de comparação visual (Campana *et al.*, 1995) (Fig. 3.5). Tanto nos grupos de mesmo número de marcas como em toda a amostra conjunta os índices de precisão tiveram valores considerados aceitáveis para elasmobrânquios (Campana *et al.*, 1995; Campana, 2001), com valores médios de 7,34% (A.P.E. e D) e 10,38% (CV) (Tabela 3.1).

O número de marcas de crescimento nas seções vertebrais variou entre 1 e 14. A primeira marca de crescimento teve um raio médio de 2,2 mm (d.p. 0,4 mm), semelhante ao raio da vértebra (RV) de embriões com CF de 38,0 a 40,0 cm (Fig. 3.4), tamanho próximo ao de nascimento (Bigelow e Shroeder, 1948; Nakano, 1994). Nas vértebras desses embriões (n = 4) não foram observadas marcas de crescimento. Esse evidencia que ao nascer, os embriões formam uma banda opaca, o que justifica a interpretação dessa primeira marca de crescimento como sendo a marca de nascimento (MN) (Fig. 3.2).

O incremento marginal (IM) variou 0,1 e 1,7 mm. Foram encontradas diferenças significativas entre os sexos na frequência de IM com os cruzeiros agrupados ($G=6359,02$; $gl=7$ $p<0,001$), o que pode ser devido ao maior número de machos analisados. Na distribuição de frequência relativa de IM por cruzeiro e sexo, observa-se que em todos os cruzeiros houve uma variação semelhante na amplitude e classe modal de IM (Fig. 3.6). Por esse motivo, a variação sazonal do IM foi analisada com os sexos agrupados.

Em todos os cruzeiros houve $IM \leq 0,4$ mm, dos quais 60,1% ocorreram nos meses do junho a setembro (Fig. 3.6). Esse padrão também foi observado ao analisar o

IM por grupos de marca (GM) (Fig. 3.7). Nos GM 3–5 e 6-8, 71,1% e 51,7% dos tubarões com $IM \leq 0,4$ mm ocorreram entre junho e setembro. Para os GM 0-2 e 9–13, o tamanho da amostra nos meses de junho a setembro não permitiu a análise (Fig. 3.7).

O padrão de distribuição mensal da mediana do IM por grupos de mesmo número de marcas (GM), mostra uma tendência com valor máximo no verão (fevereiro), diminuindo progressivamente até a metade do inverno (julho), e voltou a aumentar com a chegada da primavera (setembro – dezembro) (Fig. 3.8). Diferenças significativas entre os valores médios mensais foram encontradas para os GM 3–5 e 6–8 (ANOVA, $F=12,98$; $p<0,001$ e $F=2,41$; $p=0,027$, respectivamente) (Fig. 3.9a). Considerando todos os GM em conjunto, os valores médios do incremento marginal também apresentaram diferenças significativas entre os meses (ANOVA, $F= 10,28$; $p<0,001$), e através do teste de Tukey evidenciou-se que os menores valores ocorrem nos meses de julho e agosto, e o maior valor no mês de fevereiro (Fig. 3.9b).

Esses resultados indicam que, em média, a formação de uma nova banda translúcida começa em agosto. Segundo esse padrão, pode-se dizer que a periodicidade da formação das marcas de crescimento é anual. Considerando que na primavera a maioria das fêmeas grávidas de *P. glauca* se encontra com os embriões no termo (CAPÍTULO 2), e que em julho e agosto a maioria dos indivíduos apresenta o menor IM, se definiu o dia 1 de janeiro como data de nascimento, e o dia 1 de agosto como a data anual de formação de marca de crescimento, no intuito de se determinar a idade absoluta. Com base nisso, a segunda marca de crescimento (R_2) deve ser formada sete meses depois do nascimento. A idade absoluta em meses foi calculada como:

$$IA = 7 + [(n - 2)12] + T_{IM}$$

onde, IA é a idade absoluta em meses, n é o número de marcas de crescimento incluindo a marca de nascimento, e T_{IM} é o tempo transcorrido desde o 1 de agosto anterior até a data de coleta (*i.e.* tempo do Incremento Marginal). Nos meses de junho a agosto, os indivíduos com $IM > 0,4$ mm foram considerados como “aniversariantes tardios”, e por tanto a última marca completamente formada foi considerada o registro do ano anterior. Já os indivíduos com $IM \leq 0,4$ foram considerados “aniversariantes precoces” com o qual a última marca foi considerada o registro do ano e curso.

A partir desse padrão de marcas de crescimento completamente formadas foram estabelecidas classes etárias que variaram entre 0 e 13 anos. Tubarões somente com a MN foram reunidos na classe etária 0; aqueles com duas marcas (MN e R_2), na classe etária 1; aqueles com três marcas (MN, R_2 e R_3), na classe etária 2, e assim sucessivamente. Foram encontrados indivíduos com idades desde 8,3 meses até 13,4 anos para as fêmeas, e de 7,6 meses a 13,6 anos para os machos.

O modelo de crescimento de von Bertalanffy (1938), ajustado aos dados de idade absoluta e comprimento furcal, foi adequado para descrever o crescimento corporal de *P. glauca* (Fig. 3.10), com 82,6% da variância explicada para as fêmeas ($r = 0,929$), e 86,7% para os machos ($r = 0,867$). Foram observadas diferenças significativas entre os sexos nas curvas de crescimento ajustadas aos comprimentos observados ($T^2 = 4269,3$; $F = 2132,115$; $gl = 3,01$, $p < 0,001$) (Fig. 3.11). No entanto, nas curvas geradas para os comprimentos retrocalculados o ajuste foi melhor, e não foram observadas diferenças significativas entre os sexos (Fig. 3.10; 3.11). Por esse motivo os sexos foram agrupados para estimar os comprimentos médios retrocalculados, A cada marca de crescimento (Tabela 3.3). Os comprimentos médios observados dos indivíduos com o mesmo número de marcas de crescimento foram maiores que os comprimentos

médios retrocalculados, provavelmente devido a forte variação na amplitude de tamanhos observada em cada grupo de idade (Tabela 3.3). Os comprimentos médios retrocalculados diminuíram com o aumento na idade, o que é conhecido como o fenômeno de Lee (Francis, 1990). Isso pode ser evidencia da diminuição na velocidade de crescimento dos tubarões com idade mais avançada, mas também pode ser causado por uma maior mortalidade dos indivíduos maiores (Quinn e Deriso, 1999).

A taxa de crescimento de *P. glauca* (*i.e.* o aumento em CF por unidade de tempo) é alta nos primeiros anos de vida e diminui com o aumento na idade (Tabela 3.4). No primeiro ano de vida *P. glauca* duplica seu tamanho, passando de cerca de 45,0 cm, que é o tamanho de nascimento (Nakano, 1994), para aproximadamente 100,0 cm de CF (Tabela 3.4; Fig. 3.10).

Na área estudada os tamanhos corporais (CF) em que 50% dos indivíduos podem ser considerados maduros foram estimados em 180 cm para os machos e 175 cm para as fêmeas, e o CF em que 50% das fêmeas teriam se reproduzido pela primeira vez foi estimado em 191 cm (CAPITULO 2). Esses tamanhos de maturidade correspondem à idade de 6,5 anos para ambos os sexos, e o tamanho de maternidade à idade de 7,5 anos (Fig. 3.10). Com base nas chaves comprimento-idade estabelecidas para os sexos em separado, 76,3% das fêmeas com CF de 175 cm e 79,2% dos machos com CF de 180 cm pertencem às classes etárias 5 a 7; e 75% das fêmeas com tamanhos de primeira reprodução pertencem à classes etárias 6 a 8 (Tabela 3.5). A estrutura etária das capturas de *P. glauca* no sul do Brasil, estimada com base no total de tubarões medidos nos cruzeiros ($n = 2742$), consta principalmente de machos sub-adultos, e de fêmeas nas idades de primeira maturação sexual e de primeira reprodução (Tabela 3.5; Figs. 3.3; 3.12; 3.13).

Na interpretação das idades foram observadas diferenças entre o número de marcas na vértebra e a idade absoluta. Nas fêmeas foi identificado um máximo de 13 marcas de crescimento ($n = 1$), e nos machos um máximo de 14 marcas ($n = 2$) (Tabela 3.3). Considerado que a primeira marca é do nascimento e a segunda marca é do primeiro inverno (7 meses depois), o número máximo de marcas anuais foi de 10 e 11, respectivamente. Até aqui esses tubarões teriam idades mínimas de 10 anos e 7 meses, e de 11 anos e 7 meses, respectivamente. Porém, esses três tubarões foram capturados em fevereiro, junho e julho, e considerando que os tubarões de junho e julho tiveram incremento marginal $> 0,4$ mm (aniversariantes tardios), o tempo de crescimento desde a formação da última marca (*i.e.* o dia 1º de agosto passado), foi de 6, 10 e 11 meses, com o qual as idades absolutas superaram em alguns meses os 12 e 13 anos de vida:

Fêmea capturada em 21/06/2004, com 13 marcas e IM = 0,5 mm:

$$Idade = \frac{7 + [(13 - 2)12] + 10 + (21/30)}{12} = 12,48anos$$

Macho capturado em 28/07/2005, com 13 marcas e IM = 0,8 mm:

$$Idade = \frac{7 + [(14 - 2)12] + 11 + (28/31)}{12} = 13,58anos$$

Macho capturado em 19/02/2004: com 13 marcas e IM = 0,6 mm:

$$Idade = \frac{7 + [(14 - 2)12] + 6 + (19/29)}{12} = 13,14anos$$

Com base nisso, as idades máximas observadas para *P. glauca* no presente estudo foram de 12 e 13 anos para fêmeas e machos, respectivamente. As estimativas de longevidade com base no método de Fabens (1965), renderam valores superiores, com 21,66 anos para as fêmeas e 23,26 anos para os machos.

Na relação entre o peso total (PT) e CF, não foram encontradas diferenças significativas entre os sexos (ANCOVA: declividade: $t=0,083$; $gl=218$; $p<0,05$; intercepto – $t=0,01$; $gl=219$; $p<0,05$). No entanto, foram ajustadas curvas de crescimento em peso separadamente para os sexos (Fig. 3.14), e se observou que nas idades mais avançadas as fêmeas parecem atingir maiores pesos.

3.4 DISCUSSÃO

As vértebras cervicais de *P. glauca* foram apropriadas para a aplicação do método direto de estimação da idade. Vértebras coletadas de diferentes regiões da coluna podem ou não apresentar diferenças significativas no número de marcas de crescimento (Branstetter e Stiles, 1987; Officer *et al.*, 1996). Padronizar a região da coluna da qual são coletadas as vértebras é importante para viabilizar comparações precisas entre os indivíduos de uma mesma população e fazer mais exatas as comparações entre os estudos (Cailliet e Goldman, 2004). Tradicionalmente os estudos de idade e crescimento em tubarões da Família Carcharhinidae têm utilizado vértebras torácicas, coletadas da região anterior à primeira nadadeira dorsal, por serem mais calcificadas (Ridewood, 1921), e por possuírem maior tamanho (Compagno, 1988), o que facilita a visualização das marcas próximas à borda nos indivíduos com idade avançada (Cailliet *et al.*, 1986). No entanto, na pesca comercial a coleta de vértebras torácicas foi inviável, pois a critério dos pescadores, a retirada de vértebras do meio da coluna danifica os peixes para sua comercialização. Por tal motivo optou-se pela coleta de vértebras cervicais localizadas no nível da região branquial. Em alguns dos estudos de idade e crescimento em *P. glauca*, os autores especificam a região da coluna de onde as vértebras foram extraídas, tendo sido utilizadas vértebras torácicas (Cailliet *et al.*,

1983), cervicais (Henderson *et al.*, 2001; McNeil e Campana, 2002) ou ambas (Skomal e Natanson, 2003). Estudos em outras espécies também têm utilizado vértebras cervicais com resultados satisfatórios (Natanson *et al.*, 2002; Neer *et al.*, 2005; Ribot-Carballal *et al.*, 2005).

Nas seções vertebrais, uma zona de crescimento foi definida como o conjunto de uma banda translúcida larga e banda opaca estreita (Fig. 3.2). Alguns autores têm observado esse mesmo padrão de mineralização nas vértebras de outras espécies (Branstetter e Stiles, 1987; Yudin e Cailliet, 1990; Lessa *et al.*, 2000; Carlson *et al.*, 2003), mas outros autores relatam o oposto, bandas translúcidas sendo estreitas e as bandas opacas sendo largas (Ferreira e Vooren, 1991; Kusher *et al.*, 1992; Simpfendorfer, 1993; Lessa *et al.*, 2004). Essa variação pode ser devida ao tipo de iluminação utilizada (transmitida vs refletida), ou à região da vértebra analisada (*intermedialia* vs *corpus calcareum*) (Cailliet, 1990; Cailliet e Goldman, 2004; Goldman, 2004). De acordo com Casselman (1983), o uso dos termos opaco e translúcido é recomendado, porque na sua definição se encontra implícito o tipo de iluminação utilizada (transmitida). Translúcido significa que o tecido permite a transmissão ou passagem da luz, enquanto que o termo opaco significa que a luz é impedida de atravessar o tecido (Casselman, 1983). Contudo, a opacidade e translucidez das bandas variam consideravelmente com a espécie, e não deve ser assumido que a natureza translúcida ou opaca das bandas nas vértebras de diferentes espécies seja similar (Cailliet e Goldman, 2004). Recomenda-se descrever adequadamente as bandas, não só pela aparência óptica, mas também pela largura, pois assim se evitam confusões na interpretação dos resultados e facilita a comparação entre os estudos.

As marcas de crescimento foram definidas como o ponto único no qual o padrão de mineralização na *intermedialia* muda de uma banda opaca para uma banda translúcida. Por ser um ponto exato sem espessura, supõe-se que a formação dessas marcas seja em um período muito breve, quiçá questão de uns poucos dias, enquanto que a transição de uma banda translúcida para uma opaca é progressivo, o que indica um processo mais lento. Entretanto, os mecanismos fisiológicos responsáveis pelos padrões, temporais ou não, da formação das marcas de crescimento são desconhecidos (Moss, 1977; Clement, 1992).

Em peixes ósseos, alguns estudos indicam que a periodicidade na incorporação de cálcio é regulada pelo sistema endócrino via produção de hormônios como a calcitonina, hormônio que regula os níveis de cálcio no sangue dos vertebrados (Cailliet e Tanaka, 1990; Schmidt-Nielsen, 2002). Pouco se sabe em relação ao controle hormonal do crescimento em elasmobrânquios, porém praticamente todos os principais hormônios envolvidos nesse processo nos vertebrados, também estão presentes nos elasmobrânquios (Gelsleichter, 2004). Mas o conhecimento da fisiologia do metabolismo do cálcio em tubarões tem sido pouco estudado (Clement, 1992). O sistema nervoso central controla de forma direta ou indireta a atividade endócrina, principalmente a partir do hipotálamo, que é fortemente influenciado por variáveis ambientais tais como ciclos luminosos ou estações do ano (Schmidt-Nielsen, 2002). Na maioria dos vertebrados, a exposição a períodos de estresse estimula a produção de corticosteroides, em processo regulado pela glândula pituitária, localizada no hipotálamo. Esses compostos promovem a mobilização de reservas nutricionais e inibem o crescimento e o acúmulo de energia, o que também tem sido constatado em algumas espécies de elasmobrânquios (Gelsleichter, 2004).

A partir da análise do incremento marginal (IM) pode-se concluir que na população a mudança no padrão de mineralização de uma zona opaca para uma zona translúcida ocorre no inverno, principalmente entre julho e agosto. O perfil sinuoso na distribuição anual da largura do IM e as diferenças significativas entre os meses, nos grupos de mesmo número de marcas 3–5, 6–8 e na amostra conjunta, com a identificação dos meses de julho e agosto como parte do mesmo grupo homogêneo com menor IM médio, proveram suporte à hipótese da existência de um padrão anual na periodicidade da formação das marcas de crescimento de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste (Figs. 3.6 – 3.9).

Esse padrão anual é consistente com os resultados de Lessa *et al.* (2004) para a região equatorial do Atlântico Sul, e com as observações para outras populações de *P. glauca* (Stevens, 1975; Cailliet *et al.*, 1983; Nakano, 1994; Henderson *et al.*, 2001; McNeil e Campana, 2002 Skomal e Natanson, 2003). A maioria das espécies de elasmobrânquios tem apresentado padrões anuais na periodicidade da formação das marcas de crescimento (Cailliet e Tanaka, 1990), embora também periodicidades semestrais (Pratt e Casey, 1983; Branstetter e Musick, 1994) ou sem padrão definido (Natanson e Cailliet, 1990) têm sido documentadas.

Skomal e Natanson (2003), com base na recaptura de dois indivíduos marcados com oxitetraciclina, validaram um padrão anual na periodicidade da formação das marcas de crescimento de *P. glauca* no Atlântico Norte até a idade de 4⁺ anos. Os autores observaram bandas opacas nos meses de maio e junho desses espécimes, sugerindo que é na primavera a época em que novas zonas de crescimento se iniciam. No Atlântico Sul, Lessa *et al.* (2004) encontraram diferenças significativas no IM médio entre os meses para os GI 3⁺–5⁺ e para a amostra conjunta, com os menores valores em

dezembro e janeiro, mas consideraram que apesar desses resultados, a análise do IM não permitiu uma conclusão definitiva acerca do padrão anual na periodicidade da formação das marcas, principalmente pela ausência de uma clara tendência de períodos altos e baixos de IM médio, pois encontraram indivíduos com baixo IM em todos os meses do ano. Os autores explicaram o padrão observado com base em aspectos da ecologia reprodutiva.

A análise do IM tem sido a metodologia de verificação da periodicidade na formação das marcas de crescimento mais amplamente utilizada nos estudos da idade e crescimento em elasmobrânquios (Branstetter, 1987; Simpfendorfer, 1993; Natanson *et al.*, 1995; Carlson *et al.*, 1999; Lessa *et al.*, 1999; Lessa *et al.*, 2000; Simpfendorfer *et al.*, 2000; Carlson *et al.*, 2003; Lessa *et al.*, 2004). No entanto, Campana (2001) destacou que a aparente ausência de critérios objetivos para interpretar os dados debilita o poder do método, mas faz uma série de recomendações que proporcionam objetividade e rigorosidade. Lessa *et al.* (2006) salientam que a utilização de pequenas amostras e/ou amostras coletadas durante longos períodos de tempo, constituem importantes fontes de erro que podem mascarar as tendências na utilização do IM. No presente estudo foi analisado um grande número de vértebras, escolhidas aleatoriamente do total coletado em cada mês, e lidas sem conhecimento de data, sexo ou CF do indivíduo. O IM foi analisado por grupos de idade em separado e para a amostra conjunta, e os resultados comparados estatisticamente. A ausência de uma determinada época de nascimento durante o ano na espécie também constitui uma fonte de erro no uso do IM (Lessa *et al.*, 2004), contudo, no Atlântico Sul *P. glauca* possui um ciclo reprodutivo anual, com o parto acontecendo apenas na primavera.

Contudo, indivíduos com $IM \leq 0,4$ mm foram encontrados em todos os meses do ano, corroborando as observações de Lessa *et al.* (2004) na região equatorial, o que evidência uma alta variação individual na espécie. Isso tem sido observado em outras espécies de tubarões oceânicos que realizam extensas migrações entre águas tropicais e temperadas (Lessa *et al.* 2006). As taxas metabólicas dos indivíduos devem flutuar ao longo do ano em função não só das condições ambientais, mas também da fase do ciclo de vida em que se encontram, e dos ritmos internos.

Normalmente é assumido que as bandas estreitas nas vértebras são evidências de diminuição na velocidade de crescimento como resultado da baixa temperatura da água ou outras fontes de estresse fisiológico (Stevens, 1975; Ferreria e Vooren, 1991). No entanto, Skomal e Natanson (2003) acreditam que isto seja pouco provável em *P. glauca*, uma vez que a espécie experimenta variações abruptas na temperatura ao longo do dia com amplos deslocamentos verticais (Sciarrota e Nelson, 1977; Carey e Scharold, 1990), e também durante o ciclo de vida, com extensas migrações entre a região equatorial e as altas latitudes (Kholer *et al.*, 2002). No entanto, apesar desses amplos deslocamentos verticais, a maior parte do tempo os indivíduos permanecem na camada de mistura em um espectro térmico relativamente estreito, e durante a noite e no verão, esse padrão de movimentação praticamente não ocorre. É provável que esse padrão de atividade esteja relacionado ao comportamento alimentar, como sendo uma estratégia de caça, mas também, apesar de ser uma espécie poiquilotérmica, constitui uma forma de regulação da temperatura corporal, já que os tubarões retornam à superfície bem antes dos músculos se esfriarem ao nível da temperatura da água profunda, permanecendo com a temperatura interna em torno de 18 °C (Sciarrota e Nelson, 1977; Carey e Schrold, 1990). Com isso, consideramos que a diminuição

abrupta da temperatura no outono e inverno deve sim, afetar as taxas metabólicas de *P. glauca*, ocasionando uma sazonalidade na velocidade de crescimento.

Porém, não é só a temperatura que muda no inverno, mas um conjunto de fatores, cujos efeitos atuam sinergicamente condicionando a sazonalidade no crescimento de *P. glauca*. No outono e inverno, uma menor radiação solar atinge a superfície do mar, o que ocasiona uma diminuição nas taxas fotossintéticas, afetando a produtividade como um todo, e com isso a disponibilidade de alimento. Com a chegada da primavera a radiação solar aumenta e a produtividade primária é maximizada pela combinação de luz e nutrientes abundantes, com o qual a disponibilidade de alimento aumenta (Lalli e Parsons, 1993). Na ecologia reprodutiva, durante o inverno há um acúmulo de reservas no fígado, que além de contribuir para a diminuição da tendência ao afundamento (Thorson, 1990), refletem o acúmulo de reserva energética para os eventos reprodutivos que se sucedem na primavera (CAPÍTULO 2), que incluem a cópula, o parto, o maior crescimento da massa gonadal e as migrações. Portanto, esse acúmulo de energia no fígado durante o inverno ocasiona diminuição nas taxas metabólicas e, por conseguinte, também deve afetar o crescimento.

Em relação ao ajuste das curvas de crescimento, observou-se ampla variação no CF por GI. Exemplares com GI 7⁺ foram observados com CF desde 160 a 230 cm. Isto é um fenômeno comum, observado em todos os estudos realizados com *P. glauca* (Stevens, 1975; Cailliet *et al.*, 1983; Tanaka *et al.*, 1990; Nakano, 1994; McNeil e Campana, 2002; Skomal e Natanson, 2003; Lessa *et al.*, 2004), e também em outras espécies de grandes tubarões oceânicos (Cailliet *et al.*, 1983; Natanson *et al.*, 2002). Essa variação individual pode ser devida à forma em que cada organismo alcança seu tamanho máximo, devido a fatores ambientais e genéticos.

Os parâmetros de crescimento do modelo de von Bertalanffy estimados no presente estudo foram de modo geral similares aos reportados para a espécie em nível mundial (Tabela 3.2). No entanto, ao comparar graficamente as curvas (Fig. 3.14), se observa que as estimativas do presente estudo foram mais consistentes com os resultados observados no Pacífico (Cailliet *et al.*, 1983; Tanaka *et al.*, 1990; Nakano, 1994) do que com os estudos no oceano Atlântico. As diferenças em relação aos resultados realizados no oceano Atlântico envolvem aspectos metodológicos. As estimativas dos parâmetros são influenciadas por valores extremos na faixa de CF observados (Campana, 2001). No presente estudo, tubarões com $CF \geq 210$ cm foram escassos, com apenas 5,2% nas fêmeas e 7,7% nos machos. Isto deve ter ocasionado uma menor estimativa do L_{∞} . Na região equatorial há uma menor presença de tubarões juvenis e subadultos do que na região subtropical (Capítulo 1), por isso esses indivíduos estiveram pouco representados na amostra analisada por Lessa *et al.* (2004) no nordeste do Brasil. Em contrapartida, na região equatorial os machos adultos estiveram mais bem representados do que no subtrópico. Em ambos os estudos as fêmeas adultas estiveram igualmente distribuídas nas classes de comprimento. Já Skomal e Natanson (2003) encontraram animais com CF bem maior ao registrado no Atlântico Sul, o que também pode explicar as diferença entre as curvas. Nos estudos realizados no Atlântico Nordeste foram analisados quase que exclusivamente tubarões juvenis e sub-adultos (Stevens, 1975; Henderson *et al.* 2001).

Outro aspecto metodológico envolvido nas diferenças das estimativas é o tipo de medição utilizada. O uso do comprimento total deve ser abandonado, pois a posição da nadadeira caudal em relação ao eixo do corpo é muito variável (Nakano e Seki, 2003).

Recomenda-se o uso do CF, em linha reta e não sobre a curvatura do corpo, por ser a medida mais simples, rápida e precisa de se tomar em barcos de pesca comercial.

A primeira marca de crescimento nas vértebras é formada pouco tempo depois do nascimento (MN), provavelmente devido à primeira ingestão de alimento. Skomal e Natanson (2003) e Francis e Duffy (2005) encontraram indivíduos em vida livre com CF de 50 e 60 cm, respectivamente, e os maiores embriões completamente formados tem CF de 40 - 41 cm (Capítulo 2), o que indica que *P. glauca* deve nascer com CF aproximado de 45 cm. Os tamanhos retrocalculados no momento em que a MN esta completamente formada foram em torno de 60 cm (Tabela 3.4), coincidindo com as estimativas de Lessa *et al* (2004) e Skomal e Natanson (2003). Isso indica que os neonatos devem crescer aproximadamente 15 cm desde o nascimento até o momento em que a MN esta completamente formada.

Se considerado que a formação da segunda marca de crescimento nas vértebras, (primeira depois da MN), acontece no primeiro inverno da vida do indivíduo, então essa marca deve ser completamente evidente entre oito e 12 meses depois do nascimento, pois o nascimento ocorre durante toda a primavera, de setembro a dezembro (Capítulo 2). Os indivíduos que apresentavam uma ou duas marcas de crescimento ocorreram somente no final do inverno (setembro) e na primavera (dezembro), por isso a idade media absoluta estimada para esses dois grupos de idade (GI 0⁺ e 1⁺) foi em torno de um ano de vida (Tabela 3.3). A terceira marca de crescimento na vértebra, (segunda depois da MN), representa um ano de vida completo mais o tempo transcorrido entre o nascimento e o primeiro inverno.

A composição por idades nas capturas variou ao longo do ano (Fig. 3.12). Em todos os meses os machos subadultos nas classes etárias 3 – 6 foram maioria. Pequenos

juvenis de ambos os sexos, com idades de 0 – 2 ocorrem no final do inverno e primavera. Fêmeas maduras com $GI \geq 7^+$ são capturadas ocasionalmente em todos os meses, mas são especialmente abundantes no verão ao norte de 25 °S, e na primavera ao sul de 33°S. Exemplares de ambos os sexos com $GI \geq 10^+$ são capturados esporadicamente em todos os meses. Estes dados corroboram o padrão discutido no Capítulo 1 sobre a distribuição espacial das diferentes fases de vida. Pequenos juvenis com CF de até 120 cm possuem menos de dois anos de vida e ocorrem latitudes maiores. O indivíduo mais jovem teve menos de um ano de vida. Entretanto, neonatos não foram capturados sendo ainda desconhecido a área onde ocorre o parto. Francis e Duffy (2005) encontraram indivíduos de 60 cm de CF na pesca esportiva. Skomal e Natanson (2003) também analisaram indivíduos com tais tamanhos nas suas amostras, que foram coletadas com espinhel e com pesca esportiva, mas não informam em qual tipo de pesca tais indivíduos foram capturados. É provável que os neonatos estejam coexistindo com os pequenos juvenis, e que no presente estudo não tenha sido possível amostrá-los devido à seletividade da arte devida ao tamanho do anzol utilizado na pesca com espinhel no sul do Brasil (Capítulo 1).

A pesar das estimativas de longevidade para *P. glauca* exceder os vinte anos de vida, a ausência de tubarões com idades superiores a 13 anos pode ser um indicio da excessiva mortalidade por pesca exercida na população. No Nordeste do Brasil, Lessa *et al* (2004) analisaram quase 700 exemplares e encontraram apenas um indivíduo com doze marcas de crescimento, possivelmente de dez a doze anos. No presente estudo, de 4511 tubarões capturados, apenas um indivíduo teve CF superior a 260 cm que, no entanto, após detalhado estudo da vértebra, não era o mais velho.

Os resultados do presente estudo confirmam prévias observações em relação à velocidade de crescimento de *P. glauca* (Cortés 2000), especialmente no início da vida, dobrando de tamanho no primeiro ano de vida. Desde uma perspectiva Darwinista, isto constitui uma estratégia para aumentar a sobrevivência nessa fase crítica, uma vez que as fêmeas grávidas devem parir seus filhotes no ambiente oceânico, o que somado ao tamanho de nascimento, lhe confere uma alta vulnerabilidade à espécie nessa fase inicial da vida.

Tabela 3.1 Valores médios, por grupo de marca e total, dos índices de precisão utilizados na avaliação da reprodutibilidade das interpretações das marcas de crescimento nas seções vertebrais de *P. glauca*. IAPE = índice de erro médio em porcentagem; CV = coeficiente de variação; D = índice de precisão; n = número de indivíduos.

Grupo de Marca	IAPE	CV	D	n
0	4,76	6,73	4,76	7
1	10,77	15,23	10,77	13
2	4,76	6,73	4,76	3
3	2,54	3,59	2,54	10
4	7,32	10,35	7,32	24
5	8,97	12,68	8,97	26
6	7,53	10,65	7,53	18
7	10,57	14,94	10,57	12
8	7,61	10,76	7,61	28
9	5,55	7,85	5,55	38
10	4,94	6,99	4,94	11
11	5,81	8,22	5,81	3
12	0,00	0,00	0,00	1
Amostra total	7,34	10,38	7,34	194

Tabela 3.2 Parâmetros de crescimento do modelo de von Bertalanffy (1938) estimados para *P. glauca* em outras localidades do mundo e no presente estudo. Os dados de tamanhos e de L_{∞} de todos os estudos foram convertidos a comprimento furcal (CF). As letras na primeira coluna identificam as curvas da Figura 3.15. ASW: Atlântico Sudoeste; ANW: Atlântico Noroeste; AN: Atlântico Norte; ANE: Atlântico Nordeste; PNE: Pacífico Nordeste; PNW: Pacífico Noroeste; ♀: fêmeas; ♂: machos; B: ambos os sexos; L_{∞} : comprimento máximo teórico; k: constante de crescimento; t_0 : idade teórica no comprimento zero; n: numero de exemplares analisado.

Autor	Área	CF	Sexo	L_{∞}	k	t_0	n
A Presente estudo (2007)	ASW	73 - 247	♀	242,4	0,183	-1,747	260
B		80 - 262	♂	292,5	0,103	-2,660	577
C		Retrocálculo	♀	245,6	0,160	-1,549	1678
D		Retrocálculo	♂	256,8	0,149	-1,561	3670
E Aasen (1966)	AN		♀♂	330,7	0,133	-0,801	268
F Stevens (1975)	ANE	33 - 228	♀♂	355,3	0,110	-1,035	82
G Cailliet <i>et al.</i> (1983)	PNE	23 - 226	♀	201,8	0,251	-0,795	88
H			♂	247,0	0,180	-1,130	38
I Tanaka <i>et al.</i> (1990)	PNW	122 - 306	♀	254,4	0,160	-1,010	152
J			♂	309,5	0,100	-1,380	43
K Nakano (1994)	PN	24 - 219	♀	266,2	0,144	-0,849	123
L			♂	316,6	0,129	-0,756	148
M Henderson <i>et al.</i> (2001)	ANE	51 - 190	♀♂	377,0	0,120	-1,330	159
N McNeil e Campana (2002)	ANW	147 - 282	♀♂	302,0	0,240	-0,580	185
O			♀♂	300,0	0,250	-0,680	185
P Skomal e Natanson (2003)	NA	49 - 312	♀	310,0	0,130	-1,770	119
Q			♂	282,0	0,180	-1,350	287
R			♀♂	286,0	0,170	-1,430	411
S Lessa <i>et al.</i> (2004)	ASWT	144 - 260	♀♂	295,2	0,157	-1,010	236

Tabela 3.3 Valores médios dos comprimentos furcais retrocalculados e observdos por marca de crescimento (R_i), para os sexos combinados de *P. glauca* capturados no Atlântico Sudoeste. MN = marca de nascimento.

Marcas de Crescimento (R_i)	R_{MIN}	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}
CF Retrocalculados														
R_{MIN}	60,6													
R_1	47,9	84,6												
R_2	49,6	78,1	105,1											
R_3	51,0	77,0	105,2	128,7										
R_4	50,3	76,1	103,6	128,6	150,0									
R_5	48,0	71,4	95,6	118,5	139,7	158,9								
R_6	49,0	71,5	94,8	116,5	137,0	155,6	173,9							
R_7	48,9	70,2	92,0	111,7	131,2	149,8	167,6	183,3						
R_8	47,1	70,2	91,6	110,6	128,9	145,4	162,7	177,6	191,1					
R_9	45,8	67,3	88,1	107,6	126,7	144,2	158,3	174,0	187,4	199,4				
R_{10}	45,1	66,5	85,6	103,9	123,1	139,0	155,6	170,4	184,2	197,2	208,4			
R_{11}	43,1	64,3	85,9	105,9	123,7	140,8	157,3	173,1	187,0	200,9	210,0	218,7		
R_{12}	41,1	62,7	84,8	105,1	125,7	144,2	163,5	175,4	188,5	200,1	211,0	220,4	230,4	
R_{13}	43,4	61,0	84,0	100,7	114,5	134,0	150,5	169,0	182,9	196,8	209,8	221,9	232,1	243,3
CF médio	49	73	97	118	137	153	167	179	189	199	209	220	231	243
d.p.	8	111	134	149	154	147	149	145	136	138	133	122	140	25
n	837	809	772	707	617	491	352	210	108	65	27	15	5	2
CF Observados														
CF médio	82,7	99,2	118,6	139,6	161,4	169,7	184,8	191,8	199,5	207,5	217,9	227,6	239,2	246
d.p.	5,9	8,7	11,2	14,0	16,6	15,4	14,2	15,6	14,2	16,2	13,9	8,8	17,1	1,4
n	28	37	65	90	126	139	142	102	43	38	12	10	3	2

Tabela 3.4 Comprimentos furcais estimados (CF) e taxas de crescimento ($\Delta CF/\Delta t$) nas idades em anos completos, segundo as curvas de crescimento geradas para os sexos em separados a partir dos comprimentos observados, de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste.

Idade (anos)	FÊMEAS			MACHOS		
	n	CF (cm)	$\Delta CF/\Delta t$ (cm/ano)	n	CF (cm)	$\Delta CF/\Delta t$ (cm/ano)
0	15	66,3		13	85,9	
1	22	95,8	50,8	15	106,1	61,1
2	17	120,3	75,3	48	124,4	79,4
3	19	140,7	95,7	71	140,8	95,8
4	19	157,7	112,7	107	155,7	110,7
5	35	171,9	126,9	104	169,1	124,1
6	59	183,7	138,7	83	181,1	136,1
7	41	193,5	148,5	61	192,0	147,0
8	15	201,7	156,7	28	201,9	156,9
9	13	208,5	163,5	25	210,7	165,7
10	2	214,2	169,2	10	218,7	173,7
11	2	218,9	173,9	8	226,0	181,0
12	1	222,8	177,8	2	232,5	187,5
13		226,1	181,1	2	238,4	193,4

Tabela 3.5 Chave idade-comprimento de *P. glauca* para o Atlântico Sudoeste. Os números no corpo da tabela representam o total de indivíduos de cada classe de comprimento furcal (CF) nas diferentes classes etárias.

Fêmeas		Classe Etária (anos)														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
CF (cm)	n															
70	1	1														
80	5	5														
90	8	8														
100	11	1	10													
110	12		10	2												
120	8		1	7												
130	10		1	4	5											
140	2			1	1											
150	8			2	2	3	1									
160	20			1	4	7	5	3								
170	38				5	4	11	13	5							
180	51				2	3	10	17	16	3						
190	40					1	4	12	10	8	5					
200	22					1	4	11	5	0	1					
210	16							3	5	4	4					
220	4										2	1	1			
230	2										1	1				
240	2													1	1	
	n	15	22	17	19	19	35	59	41	15	13	2	2	1		
Machos																
CF (cm)	n															
70																
80	2	2														
90	4	4														
100	3	3														
110	15	4	5	6												
120	17		6	9	2											
130	36		4	13	15	3	1									
140	54			13	21	16	3	1								
150	55			4	14	27	9	1								
160	75			3	14	29	19	10								
170	85				3	21	34	17	10							
180	72				2	8	23	20	14	4	1					
190	62					2	11	17	18	7	6	1				
200	34					1	3	11	9	7	2	1				
210	26						1	6	3	5	6	2	3			
220	17								4	4	5	3	1			
230	13								3	1	4	2	3			
240	6										1	1	1	1	2	
250																
260	1														1	
	n	13	15	48	71	107	104	83	61	28	25	10	8	2	2	

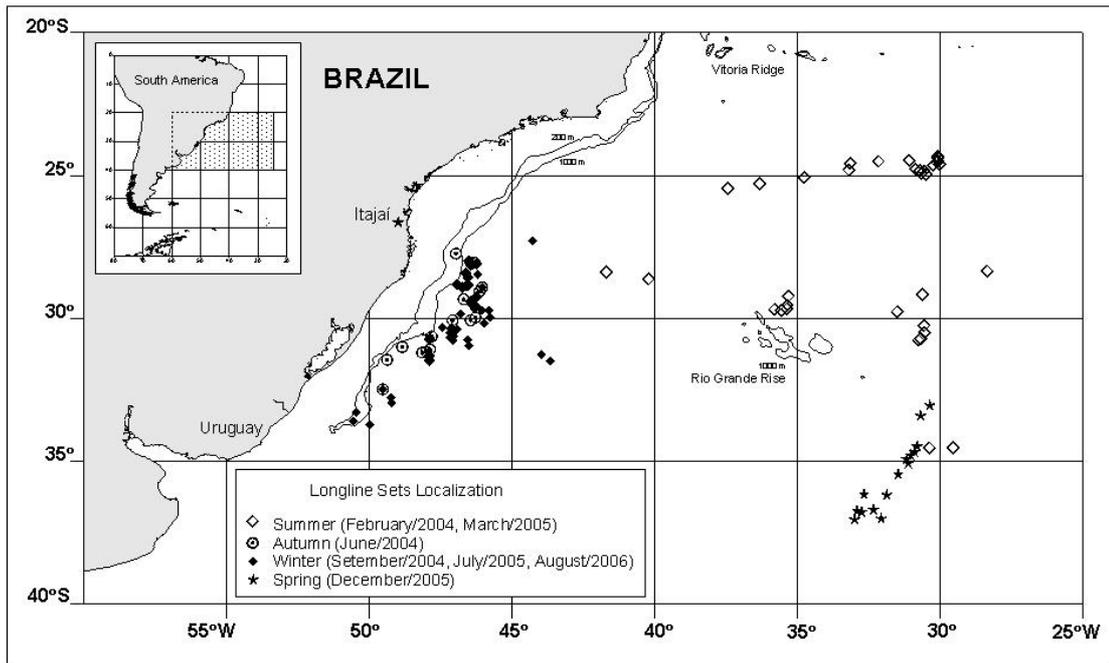


Figura 3.1. Distribuição espacial e sazonal dos lances de pesca onde foi realizada a coleta de dados e amostras de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste.

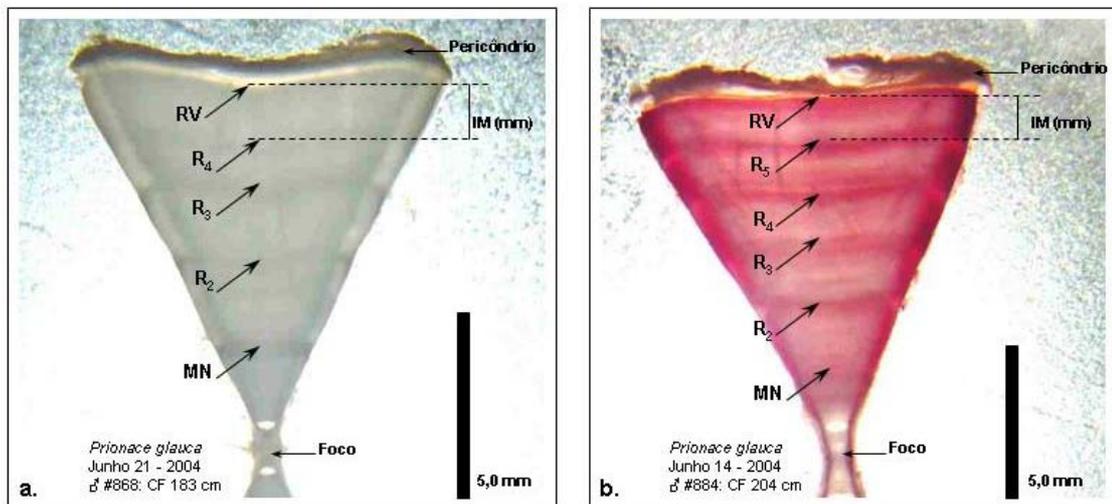


Figura 3.2. Seções vertebrais de *P. glauca* *in natura* (a.) e corada com Alizarina (b.), observadas com aumento 10X e luz transmitida. O limite externo das bandas opacas, indicado com setas, são as marcas de crescimento. MN = marca de nascimento; R_i = raio da marca do grupo de idade i ; VR, raio da vértebra; MI = incremento marginal.

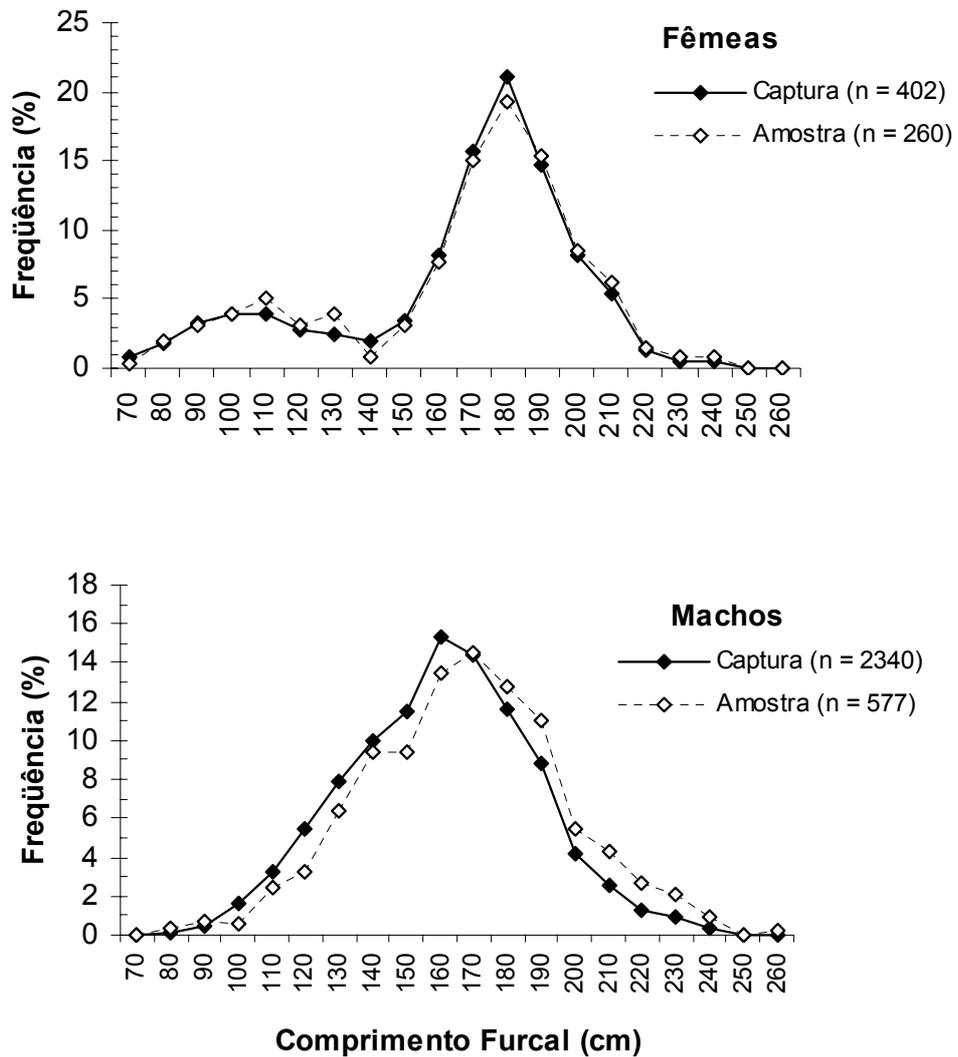


Figura 3.3. Distribuição de freqüências relativa de comprimento (%) de *P. glauca* por sexo para o total de tubarões medido nas capturas e para a amostra que teve vértebras analisadas.

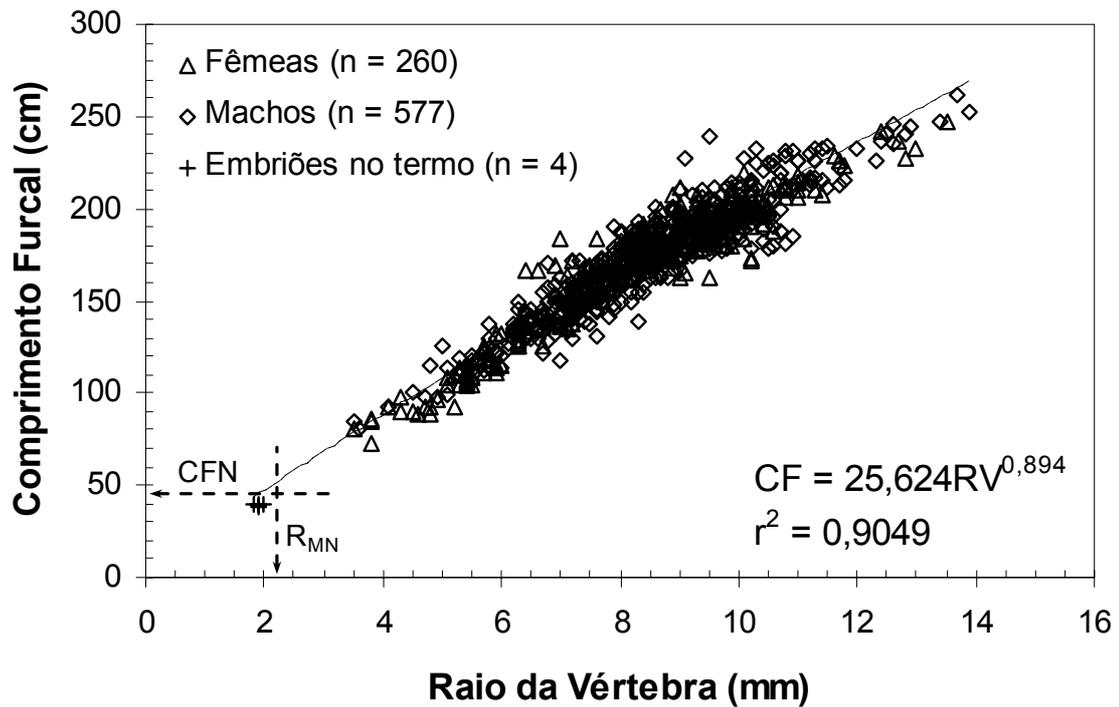


Figura 3.4. Relação entre o comprimento furcal (CF) e o raio da vértebra (RV) de *P. glauca* amostrados no Atlântico Sudoeste. No ajuste da regressão não foram incluídos os dados dos embriões. CFN = comprimento furcal no nascimento; R_{MN} = raio médio da marca de nascimento.

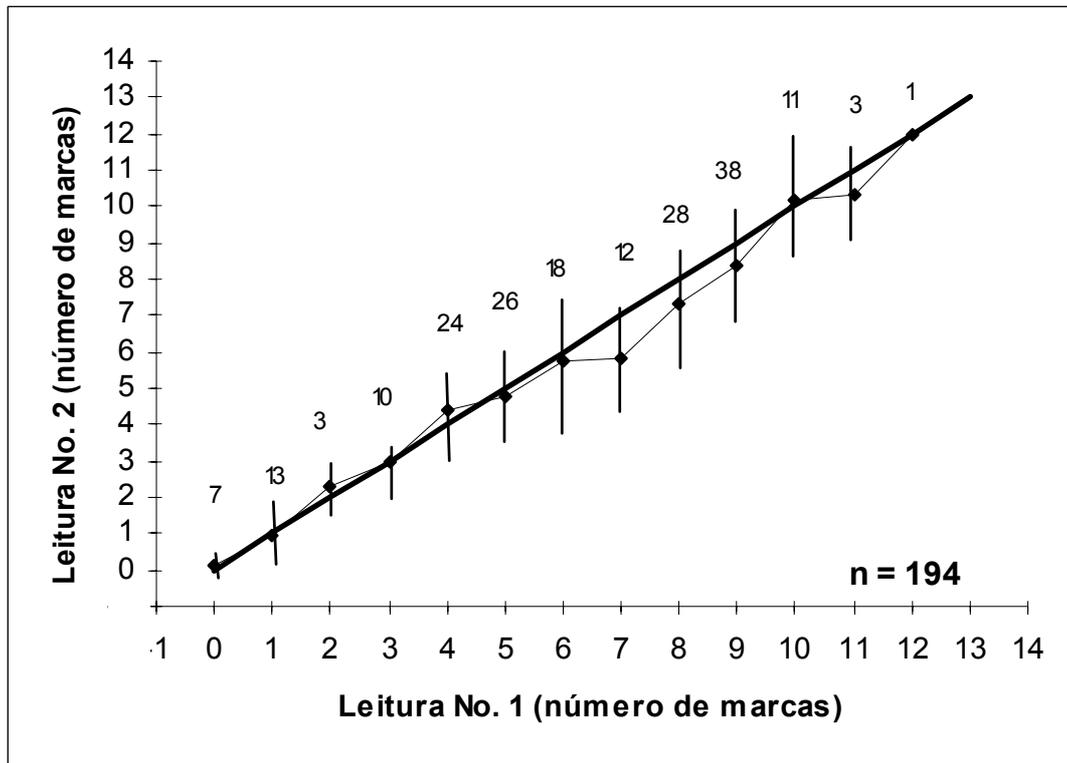


Figura 3.5. Gráfico de comparação de leituras das seções vertebrais de *P. glauca* realizadas em dois momentos. Os pontos e as barras representam a média \pm o desvio padrão do número de marcas identificadas no segundo momento para todos os exemplares pertencentes ao mesmo grupo de número de marcas lidas no primeiro momento. A bissetriz representa a ausência de discrepâncias entre as duas leituras. Os números na diagonal são o total de indivíduos de cada grupo de número de marcas na primeira leitura.

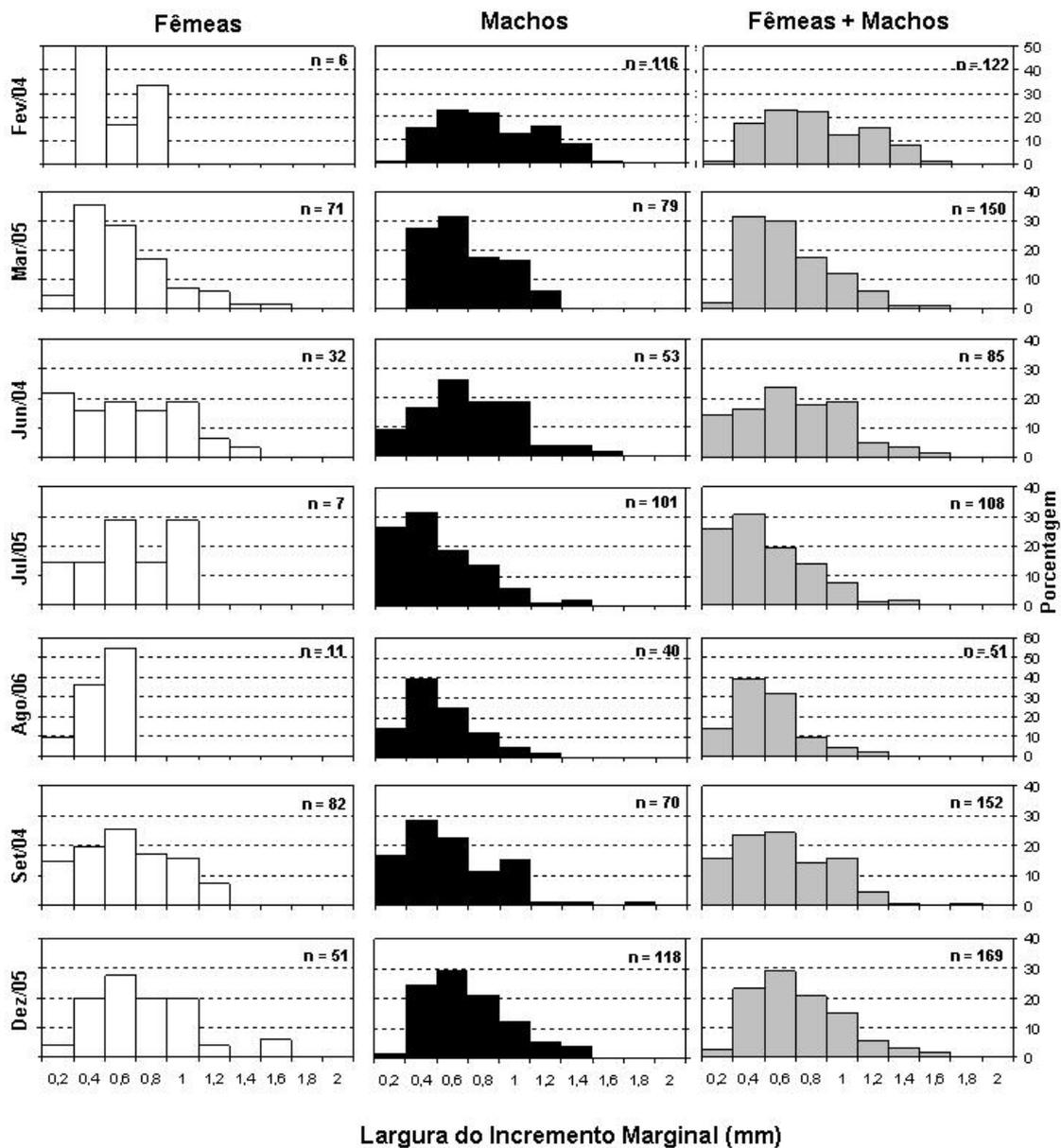


Figura 3.6. Distribuição de freqüência relativa (%) da largura do incremento marginal para os sexos em separado e combinados, nos sete cruzeiros realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.

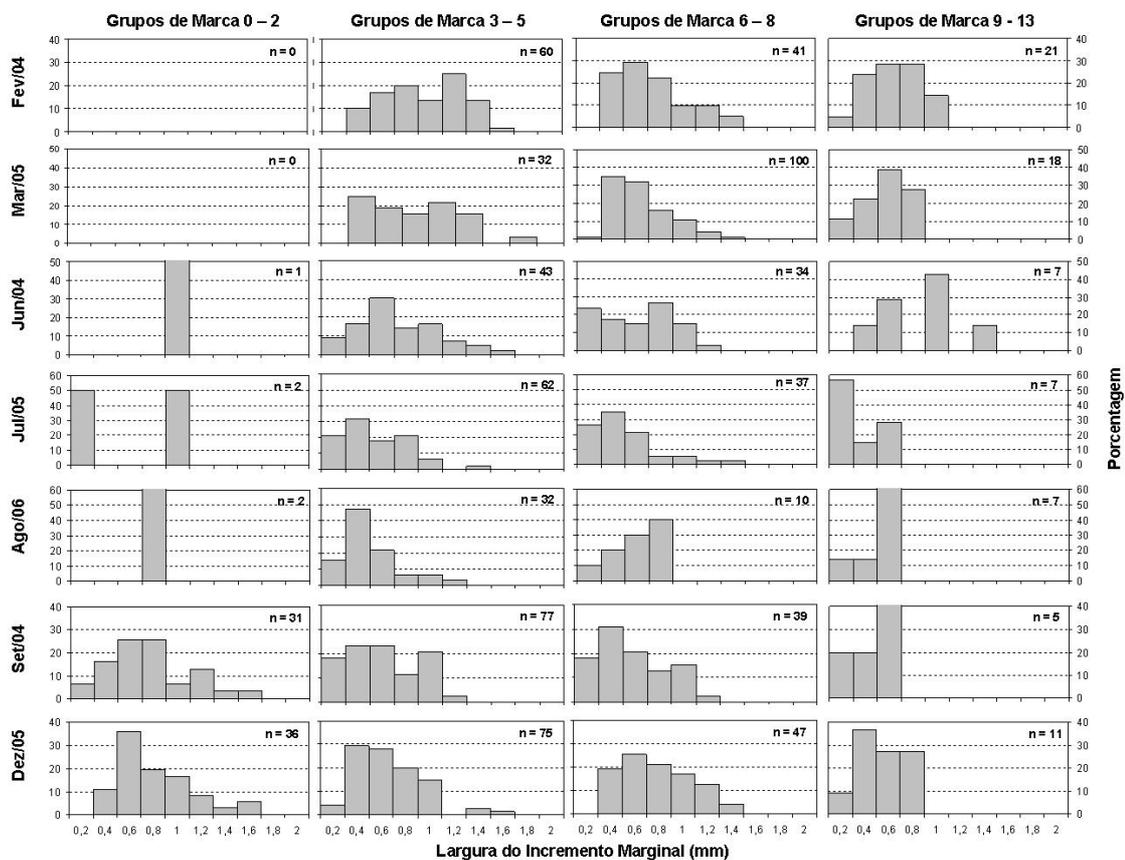


Figura 3.7. Distribuição de freqüência relativa (%) de incremento marginal de *P. glauca*, com os sexos combinados, para grupos com o mesmo número de marcas de crescimento (0 – 2; 3 – 5; 6 – 8 e 9 – 13), nos sete cruzeiros de pesca comercial realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006.

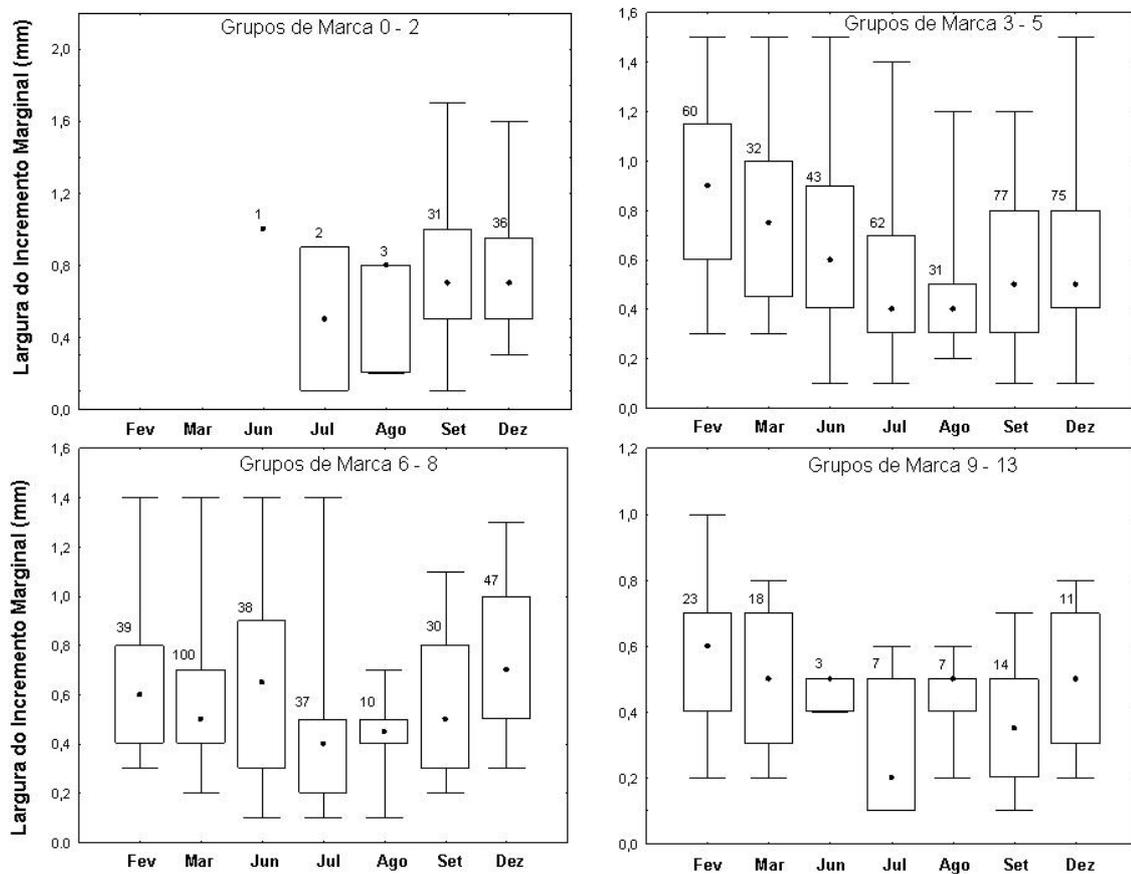


Figura 3.8 Variação mensal da mediana do incremento marginal de *P. glauca*, com os sexos combinados, para grupos com o mesmo número de marcas de crescimento (0 – 2; 3 – 5; 6 – 8 e 9 – 13), nos sete cruzeiros de pesca comercial realizados no Atlântico Sudoeste em 2004 – 2006. Os quadros representam o intervalo interquartilico e as linhas a amplitude.

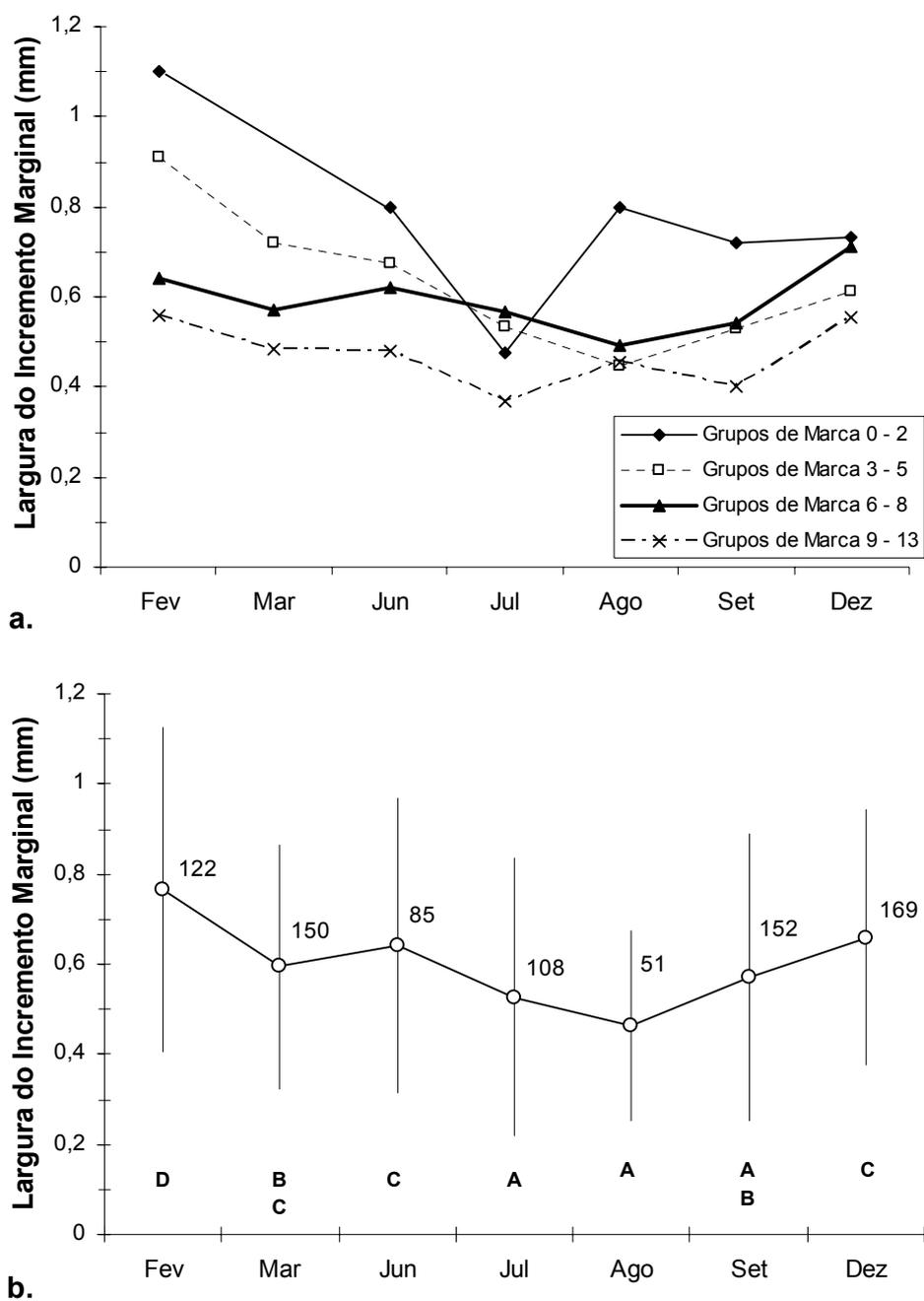


Figura 3.9. Variação mensal da média do incremento marginal por grupos com o mesmo número de marcas de crescimento (a.), e para toda a amostra em conjunto (b.). As barras representam o desvio padrão. As letras identificam os meses pertencentes a um mesmo grupo homogêneo, identificados no teste *a posteriori* de Tukey.

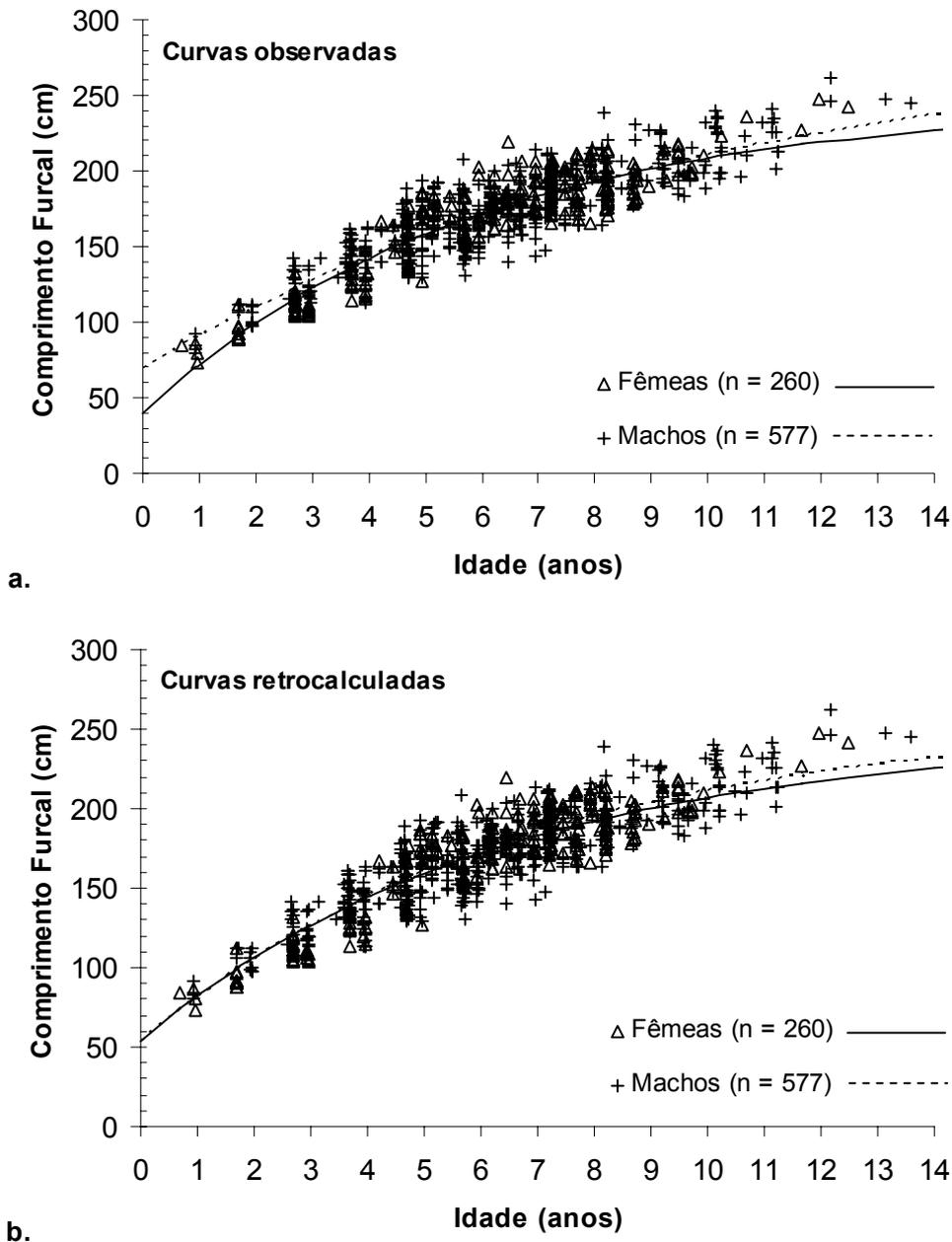


Figura 3.10 Curvas de crescimento de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste por sexo, segundo modelo de von Bertalanffy (1938), ajustadas aos dados de idade e comprimento furcal observado (**a.**) e retrocalculado (**b.**). Em ambos os gráficos a nuvem de pontos são os comprimentos observados.

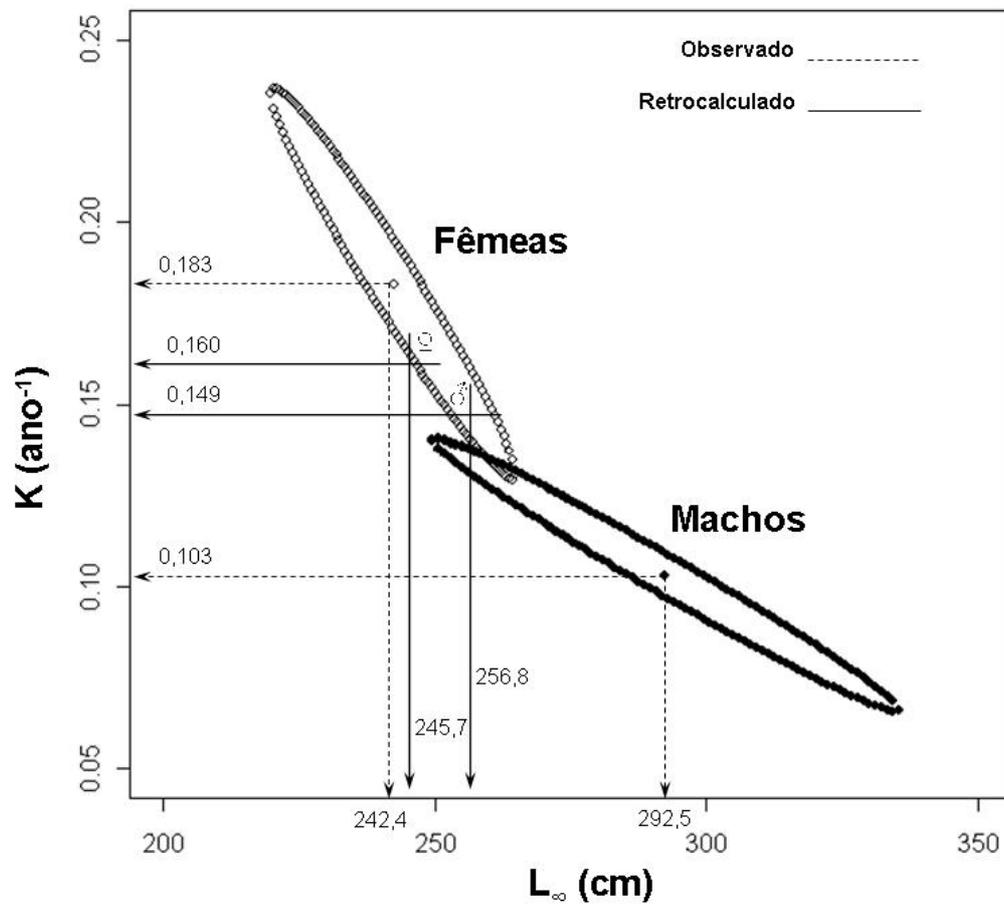


Figura 3.11 Intervalo de confiança bidimensional de 95%, da coordenada cartesiana (L_{∞} , K) por sexo, para os parâmetros estimados a partir dos comprimentos observados. A título de comparação, apresenta-se também para ambos os sexos, a coordenada dos parâmetros obtidos a partir dos comprimentos retrocalculados.

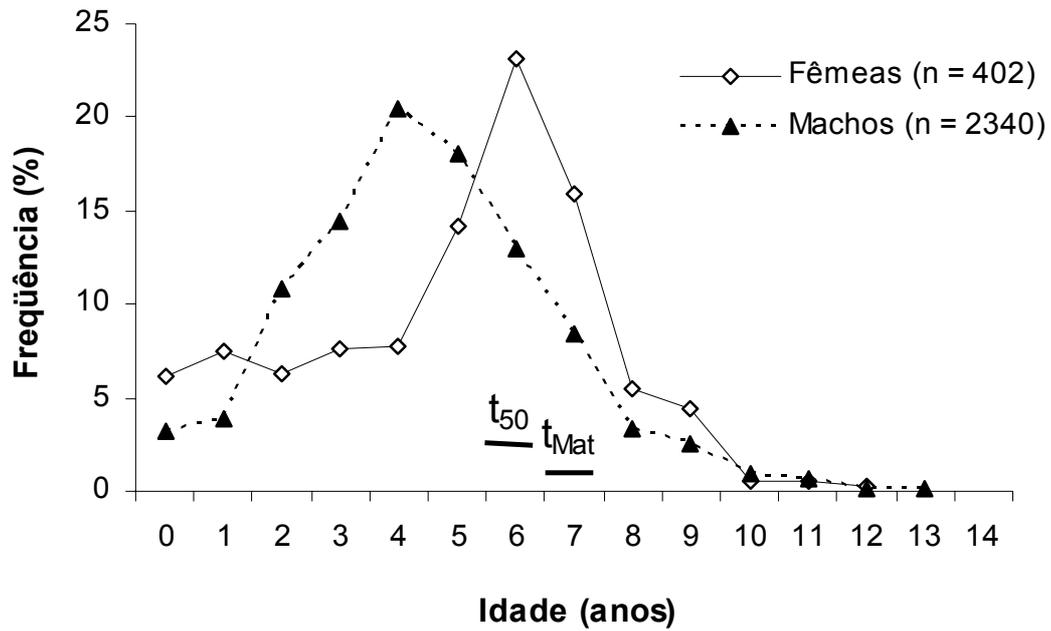


Figura 3.12. Estrutura etária das capturas de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, estimada com base em 2742 tubarões medidos durante sete cruzeiros de pesca comercial, e a partir da chave comprimento-idade elaborada segundo a amostra 823 seções vertebrais. São indicadas as idades de primeira maturação sexual (t_{50}) e de primeira maternidade (t_{Mat}).

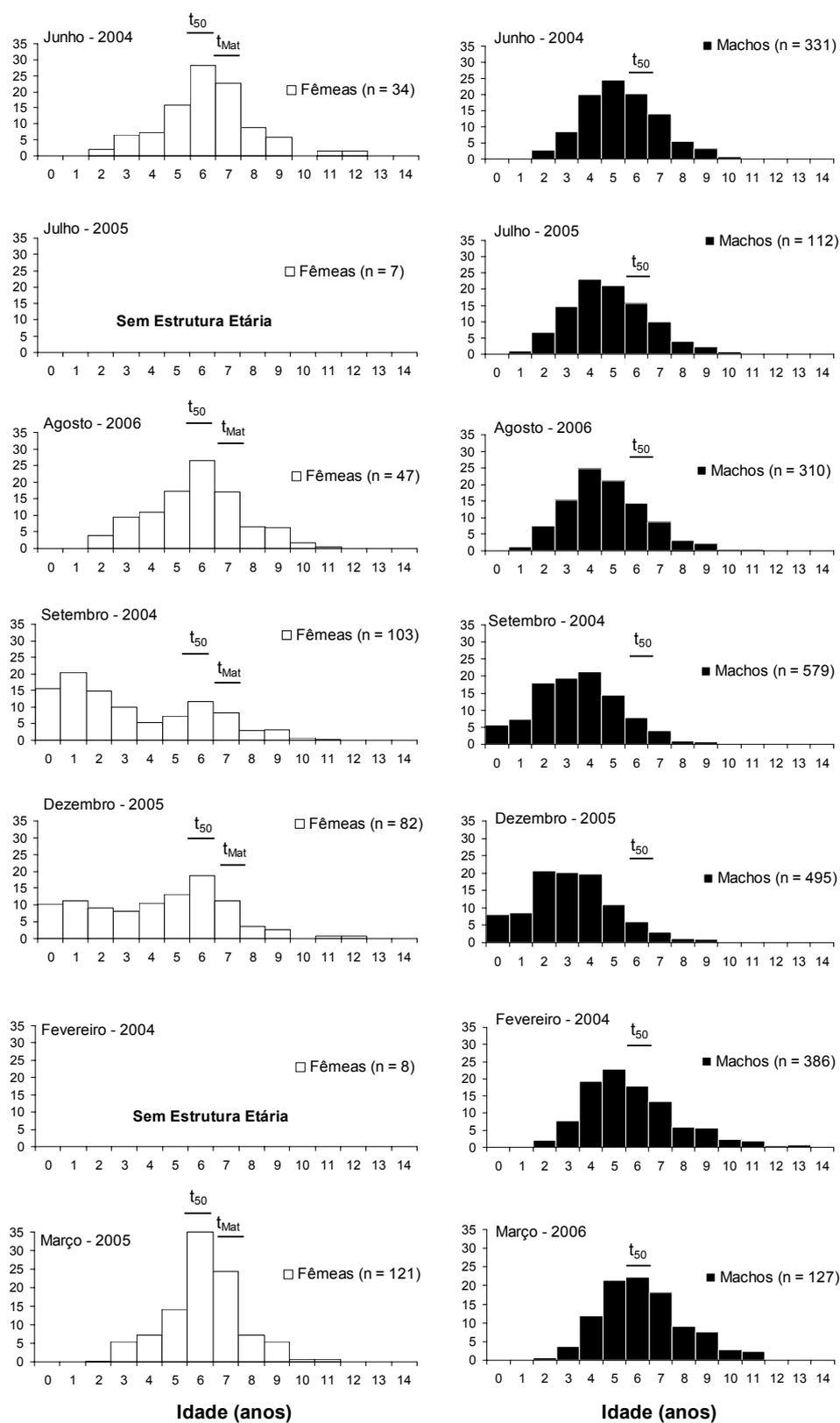
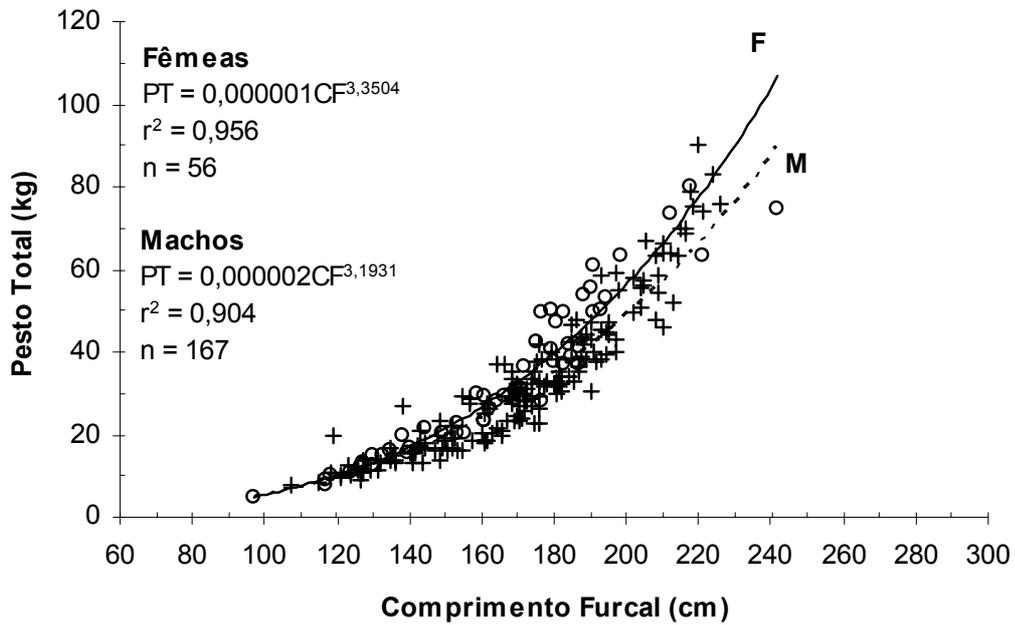
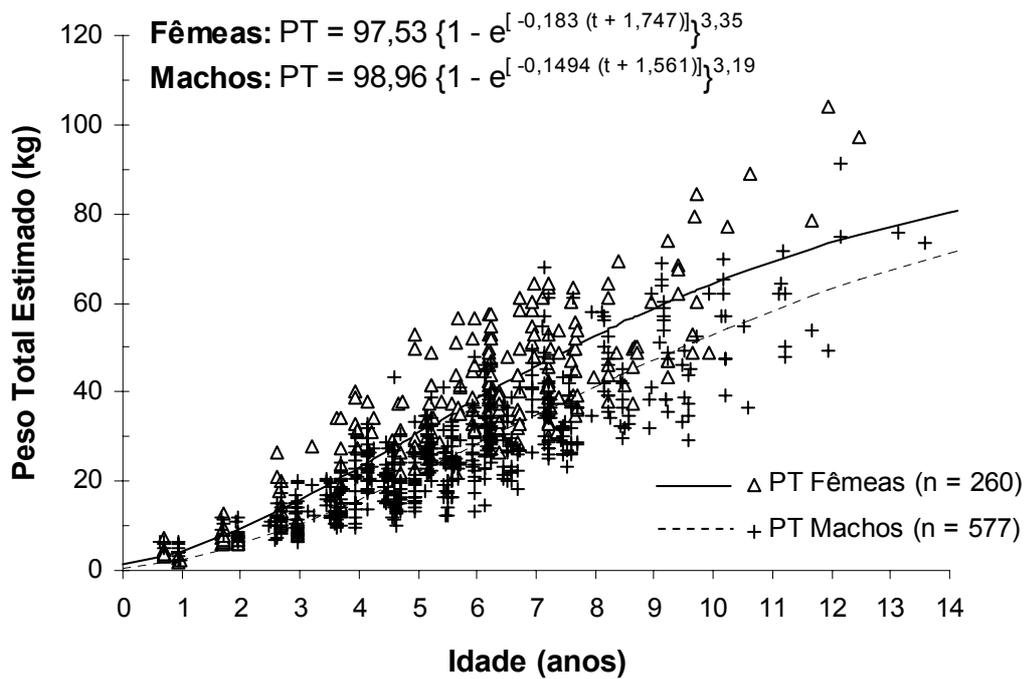


Figura 3.13. Estrutura etária das capturas por cruzeiro. t_{50} = idade de primeira maturação; t_{Mat} = idade de primeira reprodução ou primeira maternidade.



a.



b.

Figura 3.14 Relação peso total – comprimento fucal (a.) e curvas de crescimento em peso (b.) para ambos os sexos de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste.

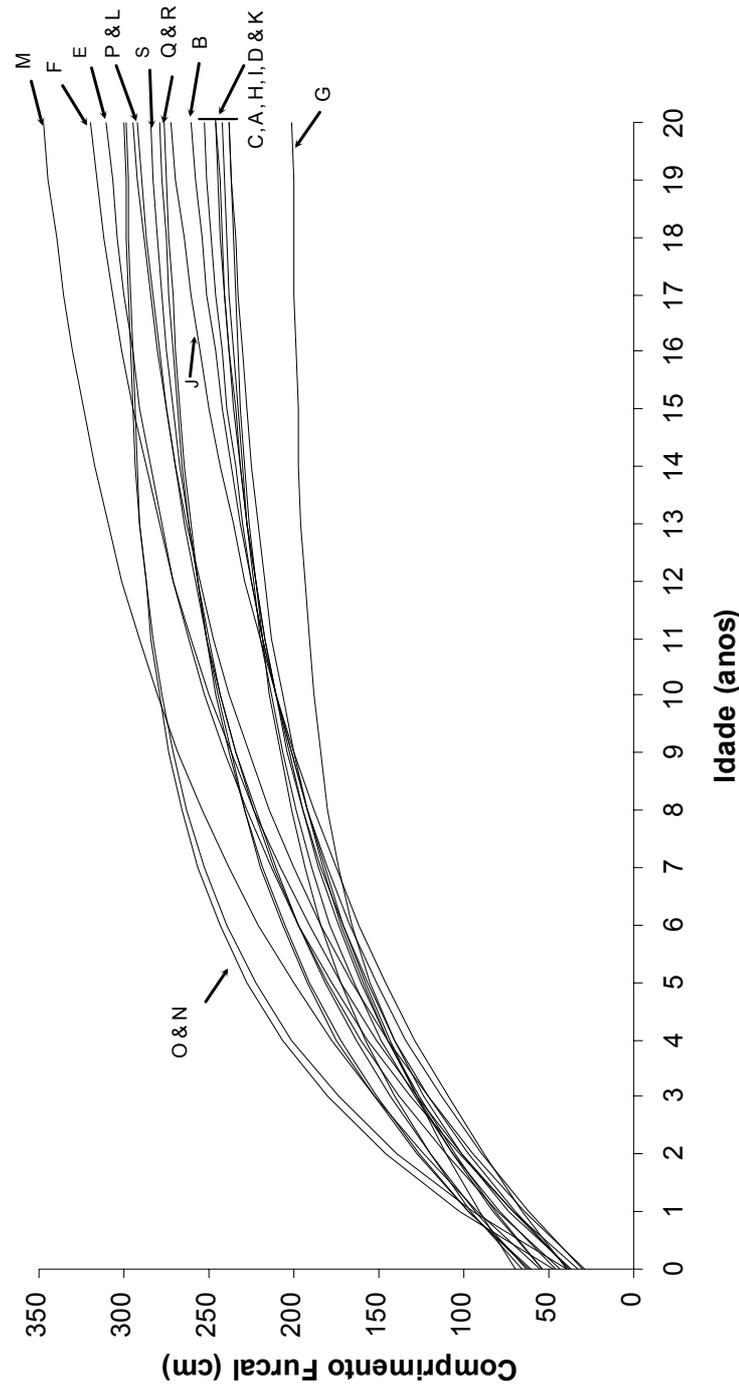


Figura 3.15. Relação das curvas de crescimento segundo modelo de von Bertalanffy ajustadas a *P. glauca* em nível mundial. Os valores do L_{∞} de todos os estudos foram convertidos a comprimento furcal (CF). As letras indicam os autores de cada curva que se encontram identificadas na Tabela 2.2. A identificação das curvas, nos conjuntos assinalados com uma única seta, segue uma ordem decrescente segundo o L_{∞} .

CAPITULO 4

TAXAS DE MORTALIDADE E ANÁLISE DEMOGRÁFICA DO TUBARÃO-AZUL, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), NA REGIÃO SUDOESTE DO OCEANO ATLÂNTICO.

4.1 INTRODUÇÃO

P. glauca é a espécie mais capturada nas pescarias oceânicas em nível mundial (Camhi *et al.*, 1998). No Brasil, a espécie vem sendo capturada desde meados do Século XX, quando teve início a atividade de pesca com espinhel pelágico no país (Hazin *et al.*, 1990; Amorim, 1992). No Sudeste e Sul do país foi observada uma tendência ao aumento nos desembarques desde 1972 a 1995, com uma média anual de 8,6 t desembarcadas no Porto de Santos – SP entre 1971 e 1976, passando a um patamar de 1250 t entre 1990 e 1994. Em 1996 os desembarques declinaram abruptamente para 541 t/ano (Amorim *et al.*, 1998). Atualmente, só no Estado de Santa Catarina, onde está sediada a principal frota espinheleira do sul do país, um total de 3593 t foi desembarcado no período de 2000 a 2006, com uma média anual de 513,2 t (UNIVALI/CTTMar, 2007). No Uruguai, *P. glauca* era sub-aproveitado até 1991, ano a partir do qual os desembarques da espécie começaram a ser regulares, atingindo um máximo de 180 t em 1996, e caindo depois para 50 t no ano 2000 (Domingo *et al.*, 2002). Todo esse quadro geral indica que se somados os desembarques desses três principais portos, na última década, os desembarques anuais de *P. glauca* pela pesca com espinhel no Atlântico Sudoeste, estiveram em torno de 1200 t/ano.

Em nível mundial, devido ao baixo valor da sua carne, os tubarões-azuis são geralmente descartados no mar após terem as nadadeiras retiradas, prática conhecida

como “finning” (Castro *et al.*, 1999). No Brasil acredita-se que o “finning” ainda aconteça em níveis menores (SBEEL, 2005), pois além de existir um mercado interno para a carne, a legislação do país proíbe o comércio de nadadeiras desembarcadas sem a correspondente quantidade de indivíduos (IBAMA, Portaria 121, 1998).

Os efeitos da pesca na população de *P. glauca* e para o ecossistema como um todo é desconhecido. O paradoxo do baixo valor econômico unido ao caráter de integrante da fauna acompanhante, confere à espécie uma baixa prioridade em matérias de pesquisa e conservação, ao passo que a demanda por barbatanas é muito alta, estimulando o aumento da exploração (Bonfil, 1994).

Algumas entidades nacionais e internacionais atribuem às espécies categorias de ameaça com base nos níveis de exploração, mas a falta de informações de muitas espécies pode mascarar a situação real de algumas populações. *P. glauca* é classificada pela IUCN como espécie em estado perto de ameaça, uma categoria que alerta à necessidade de informações detalhadas dos parâmetros populacionais e dos níveis de captura. Castro *et al.* (1999) fizeram uma avaliação preliminar do estado populacional das espécies, e atribuíram a *P. glauca* a Categoria 3, espécie explorada com características de história de vida que a tornam susceptível a sobre-exploração. A SBEEL (Sociedade Brasileira para o Estudo de Elasmobrânquios) elaborou o plano de ação para a conservação e o manejo de elasmobrânquios no país e atribuiu à espécie a categoria de Risco de Declínio (SBEEL, 2005).

Com base no anterior, constata-se a preocupação mundial em relação ao nível de exploração que as populações de *P. glauca* estão sendo submetidas. Para se obter um melhor entendimento da dinâmica populacional das espécies de elasmobrânquios, é recomendado obter estimativas das taxas vitais e dos processos demográficos (Cortés,

2004). Modelos de análise demográfica são comumente usados para estimar o estado das populações de elasmobrânquios (Cortés, 1998; Simpfendorfer, 2004). Para esse grupo animal, o modelo de Lotka (1907 *apud* Krebs, 1989) é útil para estimar o crescimento populacional a partir da combinação de dados de reprodução e mortalidade (Cortés, 2004; Simpfendorfer, 2004). A análise demográfica, através da elaboração de tabelas de vida, é uma metodologia apropriada para o estudo de populações de tubarões, porque nesses peixes, além ser relativamente fácil medir a fecundidade, existe uma relação direta entre esse parâmetro e o número inicial da coorte. O objetivo neste capítulo foi avaliar, através de análise demográfica (*i.e.* tabelas de vida), a capacidade de crescimento populacional de *P. glauca*, estimando-se os parâmetros populacionais sob condições variadas de mortalidade natural e por pesca.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A demografia de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste foi estudada através da confecção de tabelas de vida onde foram combinados parâmetros populacionais reprodutivos, de crescimento e de mortalidade sob diferentes cenários, para estimar a taxa de crescimento populacional segundo o modelo de Lotka (1907 *apud* Krebs, 1989). Nesse modelo, a taxa de crescimento populacional é uma função dos parâmetros l_x (proporção de fêmeas sobreviventes da coorte na idade x), e m_x (fertilidade em número de fêmeas *per capita*, na idade x), segundo as expressões:

$$R_0 = \sum l_x m_x$$

$$G = \frac{(\sum l_x m_x x)}{R_0}$$

$$r = \frac{(\ln R_0)}{G}$$

onde, R_0 é a taxa líquida reprodutiva, G é o tempo de geração e r é a taxa instantânea de crescimento populacional. A taxa anual de crescimento populacional é dada por e^r . Os valores de R_0 e r indicam se a população está aumentando ou diminuindo. Quando $R_0 = 1$ e $r = 0$, a população substitui a si mesma geração a geração; quando são maiores a estes valores, a população está crescendo, e quando menores, a população está decrescendo (Odum, 1986; Krebs, 1989).

4.2.1 Mortalidade e Sobrevivência

No estudo da mortalidade e sobrevivência foi usado o modelo tradicional da biologia pesqueira, apresentado por Ricker (1975), onde M , F e Z são os coeficientes instantâneos de mortalidade natural, por pesca e total, respectivamente e S é a taxa anual de sobrevivência.

Dado que a mortalidade varia muito com a idade, foram incorporadas, nas tabelas de vida, mortalidades no primeiro ano de vida (M_0), na fase juvenil e/ou não completamente recrutada à pesca (Z_{juv}) e na fase plenamente recrutada (Z_{rp}). Poucos exemplares são capturados no primeiro ano de vida, sendo principalmente fatores naturais os que causam a morte. No entanto, o coeficiente instantâneo de mortalidade natural (M), não tem sido estimado de forma direta para *P. glauca*. Alguns autores têm estimado M para tubarões através de métodos indiretos, utilizando modelos que relacionam parâmetros populacionais, fatores ambientais e mortalidade em peixes (Cortés, 1995; 1998; Simpfendorfer, 1999), mas é sabido que no primeiro ano de vida a mortalidade natural é maior (Odum, 1983).

Heupel e Simpfendorfer (2002) e Manire e Gruber (1993 *apud* Cortés, 1995) estimaram taxas de mortalidade anual de 40 – 60% no 1º ano em *Carcharhinus limbatus*

e *Negaprion brevirostris*, respectivamente. Essas são as únicas estimativas disponíveis da taxa de mortalidade no 1º ano de vida em tubarões. Heupel e Simpfendorfer (2002) ainda constataram que as referidas taxas de mortalidade no primeiro ano de vida foram maiores que aquelas obtidas com o método usado por diversos autores (Cailliet, 1992; Cortés e Parsons, 1996; Sminkey e Musick, 1996; Simpfendorfer, 1999) de multiplicar por dois ou três a estimativa indireta de M para o 1º na de vida. Por esse motivo, taxas anuais de sobrevivência natural de 40 – 60% durante o 1º ano de vida foram usadas na presente análise demográfica de *P. glauca*. Ainda, com a finalidade de avaliar o efeito da mortalidade dos neonatos sobre o crescimento populacional, foram também usados valores de sobrevivência de 10 – 40%.

Para as taxas de mortalidade natural nas idades maiores que 1 ano foram usadas as estimativas indiretas de M , através do ajuste de oito dos modelos que assumem mortalidade constante ao longo da vida (Rikhter e Efanov 1976 *apud* Sparre e Venema, 1995; Pauly, 1980; Hoenig, 1983; Jensen, 1996) (Tabela 4.1). Também foi utilizado o método idade-específica de Peterson e Wroblewski (1984) (Tabela 4.1). Esse método requer estimativas do peso total seco em gramas na idade x (W_x), que foram obtidas das relações peso-comprimento e idade-comprimento apresentadas no Capítulo 3. Cortés (2002 *apud* Simpfendorfer *et al.*, 2004) sugere que um fator de conversão de um quinto pode ser usado em tubarões para obter o peso seco, critério que foi incorporado na análise. Considerando que durante um ano de vida os indivíduos crescem em peso desde W_x até W_{x+1} , o coeficiente instantâneo de mortalidade natural durante o x -ésimo ano de vida (M_t) foi estimado como $M_t = (M_x + M_{x+1})/2$.

Para o período de vida após a idade de pleno recrutamento à arte de pesca usada nas amostragens, o coeficiente instantâneo de mortalidade total Z foi estimado mediante

o ajuste da curva de captura *sensu* Ricker (1975) à composição etária das amostras. Essas composições etárias e a idade máxima da espécie na área de estudo foram obtidas mediante o estudo da idade e crescimento de amostras coletadas em sete cruzeiros de pesca comercial com espinhel, no talude continental do sul do Brasil e na região oceânica internacional adjacente, no período de 2004 a 2006 (Capítulo 3). A idade máxima foi de 12 anos nas fêmeas e 13 anos nos machos.

4.2.2 Parâmetros Reprodutivos

A função logística que descreve a proporção de fêmeas grávidas por classes de comprimento furcal (CF) (Capítulo 2: Fig. 2.8b) e a curva de crescimento de von Bertalanffy ajustada às fêmeas (Capítulo 3: Fig. 3.10), foram utilizadas para estimar a proporção de fêmeas grávidas por classe etária (g_x). Para cada classe etária x se estimou o CF, que foi inserido no modelo logístico. As equações utilizadas foram:

$$CF_x = 245,6[1 - e^{-0,16(x+1,549)}]$$

$$g_x = \frac{1}{1 + e^{15,588 - (0,081CF_x)}}$$

P. glauca tem ciclo reprodutivo anual e gera ninhadas com proporção sexual 1:1. O número de filhotes do sexo feminino na ninhada (f_x) aumenta com o CF da fêmea grávida (Capítulo 2: Fig. 2.10), segundo a expressão:

$$f_x = \frac{0,0000249CF_x^{2,643}}{2}$$

A fertilidade em número de fêmeas *per capita* (m_x) na idade x foi obtida do produto entre g_x e f_x .

4.2.3 Tabelas de vida

A seqüência de cenários nas tabelas de vida seguiu dois objetivos principais:

1. Diagnosticar se a população sob o nível atual de pesca está ou não em equilíbrio. Para tanto, determinou-se o valor da taxa de crescimento sob os valores de m_x e l_x em vigor em 2004-2006, com os valores de Z_{rp} constatados, e com as melhores estimativas disponíveis de M_0 e Z_{juv} .

2. Avaliar a eficácia de um aumento na idade de recrutamento pesqueiro (t_{rp}) como instrumento de manejo sustentável da pesca intensiva. Determinou-se o efeito (sobre r) de mudanças da t_{rp} sob diferentes valores de mortalidade por pesca (F).

4.3. RESULTADOS

4.3.1 Mortalidade e Sobrevivência

Os coeficientes instantâneos de mortalidade natural M , estimados pelos métodos indiretos baseados nas características da história de vida e que assumem mortalidade constante, foram semelhantes entre os modelos e entre os sexos, com taxas de sobrevivência de 70 a 80% (Tabela 4.1). O valor médio dessas estimativas anuais de mortalidade natural foi de 0,256 para as fêmeas e 0,243 para os machos, que correspondem a taxas anuais de sobrevivência de 77,5 e 78,5%, respectivamente (Tabela 4.1).

A taxa instantânea de mortalidade natural idade-específica das fêmeas, estimada pelo método de Peterson e Wroblewski (1984), diminuiu com o aumento da idade, de 0,417 durante o primeiro ano de vida para a 0,173 durante o 12º ano de vida (idade máxima observada), e 0,164 durante 22º ano (idade da longevidade) (Capítulo 3) (Fig. 4.1). Essas estimativas indicam que durante o 1º ano de vida 65,9% das fêmeas de *P. glauca* sobrevivem às causas naturais de mortalidade, taxa que aumenta de forma

acelerada e contínua até o 6º ano de vida, a partir do qual a sobrevivência tende a se estabilizar em torno de 83 – 85% ao ano (Fig. 4.1).

A média dos métodos indiretos de mortalidade constante (0,256) é semelhante à média da mortalidade entre o 1º e 6º ano de vida (0,246), mas subestima a capacidade de sobrevivência na fase adulta. Nessa fase da vida o método idade-específica de Peterson e Wroblewski (1984) rendeu uma média de mortalidade natural de 0,182, mais próxima das estimativas pelos métodos de Hoenig (1983), considerando a idade de longevidade (Tabela 4.1).

A composição por idades nos cruzeiros individuais refletiu idades de pleno recrutamento à arte de pesca variando de 4 a 6 anos para os machos, enquanto que para as fêmeas foi constante em 6 anos (Tabela 4.2; Fig. 4.2). Com os cruzeiros agrupados, constatou-se que os machos estão completamente recrutados à pesca aos 5 anos, e as fêmeas aos 6 anos de idade (Tabela 4.2; Fig. 4.3).

A taxa instantânea de mortalidade total (Z), estimada pela curva de captura ajustada aos dados da composição etária de cada cruzeiro (Fig. 4.2; Tabela 4.2), teve variação semelhante entre os sexos, com 0,432 a 0,669 para os machos e 0,461 a 0,693 para as fêmeas. Devido às diferenças na composição etária de cada cruzeiro essas taxas mínimas e máximas não foram obtidas nos mesmos cruzeiros. Os valores de Z estimados com base na curva de captura ajustada aos dados da composição etária dos cruzeiros agrupados foram de 0,589 para os machos e 0,601 para as fêmeas (Fig. 4.3; Tabela 4.2). Segundo os valores de Z para os cruzeiros agrupados, a sobrevivência para ambos os sexos é em torno de 55%.

Considerando a média das estimativas de mortalidade natural obtidas pelos métodos indiretos por sexo, como sendo a taxa de mortalidade natural a partir da idade

de recrutamento pesqueiro, e as taxas de mortalidade total obtidas para os cruzeiros agrupados, constatou-se que a taxa de exploração (E) é entorno de 58% para ambos os sexos (Tabela 4.2).

4.3.2 Tabelas de vida

As tabelas de vida construídas para a população de *P. glauca* amostrada na região sudoeste do Oceano Atlântico, no caso hipotético de ausência da pesca, mostraram a capacidade de crescimento populacional da espécie. Num primeiro cenário, com as estimativas de mortalidade natural idade-específica, obtidas pelo método de Peterson e Wroblewski (1984), a população cresceria aproximadamente 24,2% ao ano, com uma taxa líquida reprodutiva (R_0) de 6,9 e um tempo médio de geração de (G) 8,9 anos (Tabela 4.3).

Entretanto, a sobrevivência durante o 1º ano de vida de 65,9% do método idade-específica parece um pouco alta, quando comparada às estimativas de mortalidade inicial obtidas de forma direta para outras espécies de tubarões da família Carcharhinidae, que estimaram sobrevivência de 40 a 60% no 1º ano de vida (Manire e Gruber, 1993 *apud* Cortés, 1995; Heupel e Simpfendorfer, 2002). Dada a incerteza do nível de sobrevivência nessa fase crítica da vida, os cenários em que se avaliaram taxas de sobrevivência inicial variando de 5 a 60%, permitiram constatar que sob condições naturais, a população de *P. glauca* suportaria uma perda de até 90% dos neonatos, condição na qual estaria próxima do equilíbrio (Tabela 4.4). O equilíbrio perfeito sob condições de mortalidade natural foi obtido com taxas de sobrevivência de 9,54% durante o 1º ano de vida e a partir do 2º ano de acordo com as estimativas obtidas pelo método de Peterson e Wroblewski (1984) (Tabela 4.4, Cenário H).

Na situação real, considerando a mortalidade por pesca atual, o coeficiente instantâneo de mortalidade total (Z) considerado foi de 0,693. Isso se justificou por ser o valor estimado pela curva de captura das fêmeas no cruzeiro de março de 2005, quando se observou a maior abundância de todas as classes etárias a partir de 6 anos, a idade do recrutamento pesqueiro. Tabelas de vida incluindo essa taxa de mortalidade a partir da idade de recrutamento observada, junto com taxas de sobrevivência inicial variando de 10 a 60%, e desconsiderando as mortes por pesca na fase não completamente recrutada, indicam que, caso a sobrevivência inicial seja inferior a 27,4%, a população se encontraria diminuindo (Tabela 4.5, Cenários J – M). Se a sobrevivência no 1º ano de vida for de 10% como observado na condição de equilíbrio nos cenários naturais, a população de *P. glauca* estaria diminuindo em torno de 13% ao ano (Tabela 4.5, Cenário N). Considerando idades de recrutamento de 5 e 7 anos, as taxas de mortalidade inicial nas quais a população encontra o equilíbrio, foram estimadas em 40,3 e 20,0%, respectivamente (Tabela 4.5, Cenário O – V). No cenário mais otimista e plausível, com sobrevivência inicial de 40% dos neonatos, sob as taxas de mortalidade por pesca atuais, a população não está em equilíbrio, com taxa de crescimento populacional positiva de 5,4% (Tabela 4.4, Cenário K).

O efeito de variações na idade de recrutamento pesqueiro ocasiona uma acentuada queda na sobrevivência e no potencial reprodutivo a partir da respectiva idade de recrutamento. A proporção de indivíduos maduros (*i.e.* fêmeas grávidas) por classe de idade aumenta de 20% na idade 4 a 100% na idade 11 (Capítulos 2 e 3), e com isso, em um cenário de sobrevivência inicial de 40% e ausência de mortalidade por pesca, a taxa reprodutiva consegue compensar as perdas naturais (M), continuando a aumentar entre as idades de 5 e 8 anos, mas a partir dos 9 anos, mesmo um pequeno aumento da

proporção de indivíduos maduros, a taxa reprodutiva não consegue alcançar ao nível anterior, devido ao menor número de sobreviventes, e começa a diminuir lentamente (Fig. 4.4, Cenário D; Tabela 4.4). Na idade de 11 anos, com o 100% dos indivíduos maduros, não há possibilidade de aumento na taxa reprodutiva e esta diminui aceleradamente em função das perdas por mortalidade natural (Fig. 4.4). Na situação real, com mortalidade por pesca, a variação da idade de recrutamento pesqueiro entre 5 e 7 anos, na situação atual, em que o recrutamento pesqueiro ocorre aos 6 anos, o nível máximo da taxa reprodutiva é alcançado logo na idade de 6 anos, quando ainda menos da metade dos indivíduos da classe etária estão maduros, e o aumento na proporção de indivíduos maduros nas idades seguintes não permite aumento na taxa reprodutiva, e a população não se encontra em equilíbrio com taxa positiva de crescimento de 5,4% ao ano (Fig. 4.4, Cenário K; Tabela 4.5). Sob essas condições, se diminuída a idade de recrutamento pesqueiro para 5 anos, a taxa reprodutiva alcança o máximo também na idade de seis anos, mas a capacidade de crescimento da população seria comprometido, se por outro lado, a idade de com recrutamento pesqueiro é aumentada para 7 anos, o máximo potencial reprodutivo é alcançado aos sete anos e a população estaria com capacidade de crescimento populacional de 10% (Fig. 4.4, Cenários T e P).

4.4. DISCUSSÃO

Taxas de mortalidade natural no primeiro ano de vida de 40 a 60%, como as observadas por Heupel e Simpfendorfer (2002) para *Carcharhinus limbatus* parecem boas estimativas preliminares para *P. glauca*, devido à similaridade de algumas das características de história de vida entre as espécies. São tubarões pelágicos de grande porte da família Carcharhinidae, que atingem mais de 250 cm de comprimento, com

crescimento relativamente rápido e maturação sexual relativamente precoce quando comparadas a outras espécies da família Carcharhinidae (Branstetter, 1990; Cortés, 2000). Manire e Gruber (1993 *apud* Cortés, 1995) observaram taxas de mortalidade inicial similares para *Negaprion brevirostris*, outra espécie de grande porte da mesma família. Essas observações indicam que taxas de sobrevivência durante o primeiro ano de vida de 40 a 60% podem ser boas aproximações para grandes tubarões pelágicos dessa família.

Contudo, em alguns aspectos das características de história de vida, *P. glauca* difere notoriamente das outras espécies de tubarões pelágicos, como são a fecundidade relativamente alta e a abundância de adultos, e, especificamente em relação às duas espécies mencionadas, *C. limbatus* e *N. brevirostris* geram neonatos com comprimento > 20% do tamanho máximo da espécie (Branstetter, 1990), que são dados à luz em locais costeiros protegidos que servem como áreas de berçário, onde os filhotes permanecem durante o 1º ao de vida (Gruber *et al.*, 1988, *apud* Simpfendorfer e Heupel, 2004; Heupel e Simpfendorfer, 2002). Já, *P. glauca*, gera produz descendência com comprimento de nascimento inferior a 20% do tamanho máximo da espécie (Branstetter, 1990), e procura áreas de convergência oceânicas onde a disponibilidade de alimento é alta (Nakano, 1994; Capítulos 1 e 2), mas também os predadores (Lalli e Parsons, 1993). Embora não existam registros de *P. glauca* no conteúdo estomacal de outras espécies, a alta fecundidade, o relativo pequeno tamanho de nascimento, e a taxa de crescimento relativamente rápida, são indícios de uma elevada mortalidade natural durante o 1º ano de vida (Branstetter, 1990; Cortés, 2000). Por esse motivo, a estimativa obtida pelo método de Peterson e Wroblewski (1984), de 66% de sobrevivência no 1º ano de vida, parece sobreestimada, enquanto que as mortalidades obtidas para os anos

seguintes, são mais razoáveis (Fig. 4.1; Tabela 4.3). Essas taxas de sobrevivência foram similares às obtidas pelos métodos indiretos de mortalidade constante, e dados que incorporam a variabilidade idade-específica, se justificou sua escolha como mortalidade natural após o 1º ano de vida.

A mortalidade natural, especialmente durante o 1º ano de vida, é determinante para as estimativas obtidas pelo modelo de análise demográfica. Existe um contínuo debate em relação ao melhor método para estimar a taxa de mortalidade natural, e a forma em que esse coeficiente se relaciona com a idade. Dada a escassez de estimativas empíricas, a prática comum é o uso dos métodos indiretos baseados nas características de história de vida (Cortés, 2007), que no presente estudo renderam resultados similares aos obtidos para *P. glauca* em outras regiões (Campana *et al.*, 2004; Chen e Yuan, 2006).

Sob condições de ausência da pesca, variações nas taxas de sobrevivência inicial demonstraram a plasticidade ecológica de *P. glauca* (Tabela 4.4, Fig. 4.4). Com taxas de sobrevivência inicial diminuindo de 66 a 25%, a taxa de crescimento populacional aparece positiva com valores de 24,2 e 11,4% ao ano, respectivamente. A mortalidade de 90% dos neonatos rendeu a situação de equilíbrio, sendo a população substituída geração a geração.

Considerando-se a teoria do modelo logístico de crescimento populacional (Odum, 1986), sob condições de ausência da pesca, 60 ou 100 anos atrás, a população de *P. glauca* no Atlântico Sul não teria sofrido perturbações não naturais, desfrutado de um ambiente estável durante milhões de anos, tendo alcançado um estado de equilíbrio, de tal forma, que o número de nascimentos exatamente compensaria o número de mortes, e o número de indivíduos permaneceria constante. Mas, de acordo com a teoria

do modelo logístico, aconteceu um evento catastrófico que reduziu a população de forma repentina, a pesca. Esperar-se-ia que a espécie possua algum mecanismo para a população se recuperar, do contrario, sucessivos eventos catastróficos levariam espécie à extinção. Com a população diminuída, em teoria há uma maior disponibilidade de recursos para cada individuo, com o qual a taxa de sobrevivência deve aumentar. Com mais energia disponível, os organismos deveriam ser capazes de alocar maior esforço para o crescimento e a reprodução, e com isso a população voltaria a atingir seu estado de equilíbrio (Odum, 1986).

Significa então, que esses valores positivos de 11 a 24% de crescimento populacional, são a evidencia de que *P. glauca* se encontra “a-todo-vapor”, tentando recuperar seu estado de equilíbrio, mas na situação real, a disponibilidade de recursos, não é ilimitada, muito pelo contrario, os recursos vivos no oceânico, cada vez são menores (Helfman *et. al.*, 1997).

Na atualidade a população de *P. glauca* não se encontra em equilíbrio, e contrário ao diagnostico comumente utilizado quando constatadas taxas de crescimento positivas como sendo um sinal de saúde populacional, na verdade, essas taxas constituem flagrantes de alerta à tomada de medidas preventivas. Quanto maior a taxa, maior a urgência. Em caso de taxa negativa, as tomada de medidas é obrigatória.

Os resultados do presente estudo são consistentes com as observações de alguns autores que apontam *P. glauca* como sendo uma espécie produtiva e resiliente quando comparada a outras espécies de tubarões (Smith *et al.*, 1998; Frisk *et al.*, 2000; Cortés, 2000; Campana *et al.*, 2004; Chen e Yuan, 2006). Isto pode explicar porque a espécie tem sido lenta na sua diminuição perante o que aparenta ser uma elevada exploração pesqueira (Campana, 2004).

Em nível mundial, a composição das capturas por sexo indica maior abundância de machos (Nakano e Seki, 2003; Mejuto e García-Cortés, 2004; Capítulo 1). Essa diferença pode ser devida a uma mortalidade natural diferenciada entre os sexos, ou a uma menor vulnerabilidade das fêmeas à pesca com espinhel. Machos estão completamente recrutados à pescaria ainda na fase juvenil, com 4 anos de idade, enquanto as fêmeas somente na idade de maturação sexual, 6 anos. Isto é um fator que pode favorecer respostas denso-dependentes, através de aumento da fecundidade ou diminuição da idade de maturação sexual.

Mas também pode ser uma “faca de duas gumes”, pois se sabe que as fêmeas de maiores tamanhos são amplamente mais produtivas que as fêmeas menores (Palumbi, 2004), e em *P. glauca* isso tem sido constatado (Mejuto e García-Cortés, 2004; Capítulo 3). A diminuição nos volumes capturados a partir de meados dos anos 90s no Atlântico Sudoeste (Amorim *et al.*, 1998; Domingo *et al.*, 2002), poderiam ser evidência da diminuição no potencial reprodutivo da população, pela contínua retirada de fêmeas em idades avançadas.

Entretanto, os coeficientes instantâneos de mortalidade por pesca e total não diferiram entre os sexos (Tabela 4.2), com taxas de exploração em torno de 57%. Considerando a escassez das fêmeas nas capturas na região sudoeste do Atlântico Sul (Amorim, 1992; Hazin *et al.*, 1994a,b, Castro e Mejuto, 1995; Vooren *et al.*, 1999; Legat, 2001; Azevedo, 2003; Capítulo 1), sabendo da proporção sexual 1:1 dos embriões, esses coeficientes de mortalidade indicam que deve ocorrer maior captura de fêmeas em outras regiões do Atlântico Sul. Mejuto e García-Cortés (2004) analisaram dados de observadores de bordo da frota espanhola de dez anos, e registraram um número significativamente maior de fêmeas grávidas na região equatorial, próximo ao

Golfo de Guiné, quando comparado às outras áreas. No entanto a proporção sexual foi aproximadamente 1:1.

No Atlântico Norte, estudos de marcação e recaptura demonstraram a ampla capacidade migratória de *P. glauca*, com circuito transoceânico, que evidenciou existência de uma única população (Stevens, 1990; Kholer *et al.*, 1998; 2002). Na região Nordeste desse oceano é caracterizada pela maior presença de fêmeas adultas (Henderson *et al.*, 2001), e No Atlântico Noroeste, por fêmeas juvenis (Campana *et al.*, 2004). No Atlântico Sul ainda não foi realizado um programa de marcação e recaptura de peixes oceânicos, mas dado que vários dos parâmetros populacionais de reprodução, crescimento e mortalidade estimados para *P. glauca* não diferem entre as bacias oceânicas, e dada a sincronia de eventos e processos do ciclo reprodutivo entre as regiões equatorial e subtropical, é provável que também no Atlântico Sul a espécie constitua uma única população e, portanto, uma única unidade de manejo. Com isso, a constante instantânea de mortalidade total (Z) e a taxa de crescimento populacional (r), estimadas no presente estudo, podem ser consideradas reflexos da população. Contudo, são necessários dados das taxas de captura por sexo, comprimento furcal e área, no intuito de contribuir a um melhor conhecimento da biologia populacional de *P. glauca* em todo o Atlântico Sul.

A presente análise demográfica proveu informações importantes para promover o entendimento do ciclo de vida do tubarão-azul *P. glauca* no Atlântico Sudoeste. O nível atual de mortalidade por pesca, tem causado uma diminuição nos tamanhos e idades máximos de *P. glauca*, o que constitui um indício de declínio populacional. No cenário mais otimista (Cenário J), a população estaria ainda crescendo em uma taxa de 13% ao ano. Contudo, à luz das substanciais incertezas associadas às estimativas dos

parâmetros de mortalidade e crescimento e aos modelos associados, recomenda-se cautela no nível de exploração da espécie. Medidas de manejo e conservação tais como a estabelecimento de áreas e/ou épocas de exclusão da pesca, e a proibição de captura de fêmeas grávidas e de pequenos juvenis, podem se medidas mitigatória válidas, para garantir uma exploração sustentável. Análise que avaliem a probabilidade das incertezas e o uso de outros modelos de diagnóstico do estado populacional são necessários, no intuito de reforçar ou contestar os resultados da presente análise demográfica.

Tabela 4.1 Coeficientes instantâneos de mortalidade natural (M) estimados por métodos indiretos baseados nas características de história de vida de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, estimados nos Capítulos 2 e 3. S = taxa de sobrevivência.

Autor	Modelo	M ♀	S ♀	M ♂	S ♂
Rikhter e Efanov (1976)	$M = 1,521 / (t_{mat}^{0,720}) - 0,155$	0,220	0,803	0,264	0,768
Pauly (1980)	$\log M = -0,0066 - 0,279 \log(L_{\infty}) + 0,6543 \log(K) + 0,4634 \log(T^{\circ})$	0,256	0,774	0,242	0,785
Hoenig (1983)	$\ln Z = 1,46 - 1,01 \ln t_{max}$	0,350	0,705	0,323	0,724
Hoenig (1983)	$\ln Z = 1,46 - 1,01 \ln t_{\infty}$	0,199	0,820	0,181	0,834
Hoenig (1983)	$\ln Z = 0,941 - 0,873 \ln t_{max}$	0,293	0,746	0,273	0,761
Hoenig (1983)	$\ln Z = 0,941 - 0,873 \ln t_{\infty}$	0,180	0,836	0,166	0,847
Jensen (1996)	$M = 1,65 / t_{mat}$	0,236	0,790	0,275	0,760
Jensen (1996)	$M = 1,6K$	0,293	0,746	0,238	0,788
Jensen (1996)	$M = 1,5K$	0,275	0,760	0,224	0,800
Peterson e Wroblewski (1984)	$M_{W} = 1,92 W_t^{-25}$				
		Média: 0,256		0,243	0,785
		♀	♂	♀	♂
	Idade de Maternidade (anos)	$t_{Mat} = 7$			6
	Idade Máxima Observada (anos)	$t_{max} = 12$			13
	Longevidade segundo Fabens (1964) (anos)	$t_{\infty} = 21$			23
	Comprimento máximo teórico (cm)	$L_{\infty} = 242,4$			256,8
	Constante de Catabolismo (ano ⁻¹)	$K = 0,183$			0,149
	Peso total na idade t (Kg)	$W_t = 1 \times 10^{-6} CF^{3,3504}$			$W_t = 2 \times 10^{-6} CF^{3,1931}$
	Temperatura média do ambiente (°C)	$T^{\circ} = 20$			20

Tabela 4.2. Estimativas dos coeficientes instantâneos de mortalidade total (Z) e por pesca (F), e das taxas de sobrevivência (S) e de exploração (E), a partir das curvas de captura estabelecidas por sexo para cada cruzeiro, considerando as classes etárias superiores à idade de pleno recrutamento à arte de pesca (t_{rp}), e o valor médio dos coeficientes instantâneos de mortalidade natural obtidos pelos métodos indiretos. s.d.= sem dados suficientes

		FÊMEAS					MACHOS				
		t_{rp}	Z	F	S	E	t_{rp}	Z	F	S	E
Fevereiro	2004	6	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	5	0,448	0,205	0,639	0,458
Junho	2004	6	0,461	0,205	0,631	0,445	5	0,641	0,398	0,527	0,621
Setembro	2004	6	0,478	0,222	0,620	0,464	4	0,669	0,426	0,512	0,637
Março	2005	6	0,693	0,437	0,500	0,631	6	0,432	0,189	0,649	0,438
Julho	2005	6	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	5	0,482	0,239	0,618	0,496
Dezembro	2005	6	0,596	0,34	0,551	0,570	4	0,572	0,329	0,564	0,575
Agosto	2006	6	0,481	0,225	0,618	0,468	5	0,610	0,367	0,543	0,602
Amostras Agrupadas		6	0,601	0,345	0,548	0,574	5	0,589	0,346	0,555	0,587

Tabela 4.3 Tabela de vida de *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste na situação hipotética de ausência da pesca, com taxas de mortalidade natural idade-específica estimadas pelo método de Peterson e Wroblewski (1984). x = idade; g_x = proporção de fêmeas grávidas; f_x = número de filhotes de sexo feminino por fêmea grávida; m_x = fertilidade em número de fêmeas *per capita*; M = taxa de mortalidade natural durante o ano; l_x = taxa de sobrevivência; R_0 = taxa líquida reprodutiva; G = tempo de geração; r = taxa de crescimento populacional; e^r = taxa finita de crescimento populacional.

x	g_x	f_x	m_x	M	l_x	$l_x m_x$	$l_x m_x x$	R_0	G	r	e^r
0	0	0	0	0,417	1,000	0	0	6,903	8,93	0,216	1,242
1	0	0	0	0,323	0,659	0	0				
2	0	0	0	0,274	0,477	0	0				
3	0	0	0	0,245	0,363	0	0				
4	0,1	6,447	0,365	0,225	0,284	0,104	0,415				
5	0,2	8,092	1,287	0,211	0,227	0,292	1,459				
6	0,3	9,643	3,177	0,201	0,184	0,584	3,502				
7	0,5	11,066	5,768	0,193	0,150	0,867	6,069				
8	0,7	12,346	8,378	0,187	0,124	1,038	8,307				
9	0,8	13,478	10,590	0,182	0,103	1,089	9,798				
10	0,9	14,469	12,343	0,179	0,086	1,057	10,575				
11	1	15,328	13,716	0,176	0,072	0,983	10,812				
12	1	16,067	14,802	0,173	0,060	0,890	10,678				

Tabela 4.4 Resultados das tabelas de vida avaliando a capacidade de crescimento populacional do tubarão-azul *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste sob condições de ausência da pesca e com diferentes taxas de sobrevivência durante o 1º ano de vida (S_0). Z_0 = mortalidade inicial; Z_{juv} = mortalidade durante as idades não recrutadas; Z_{rp} = mortalidade a partir do recrutamento pesqueiro; R_0 = taxa líquida reprodutiva; G = tempo de geração; r = taxa de crescimento populacional; e^r = taxa finita de incremento populacional. P&W = taxas de mortalidade natural idade-específica, estimadas pelo método de Peterson e Wroblewski (1984).

Cenário	S_0 (%)	Z_0	Z_{juv}	Z_{rp}	R_0	G	r	e^r
A	66,0	P&W	P&W	P&W	6,903	8,925	0,216	1,242
B	60,0	0,511	P&W	P&W	6,287	8,925	0,206	1,229
C	50,0	0,693	P&W	P&W	5,240	8,925	0,186	1,204
D	40,0	0,916	P&W	P&W	4,192	8,925	0,161	1,174
E	30,0	1,204	P&W	P&W	3,144	8,925	0,128	1,137
F	25,0	1,386	P&W	P&W	2,620	8,925	0,108	1,114
G	10,0	2,303	P&W	P&W	1,048	8,925	0,005	1,005
H	9,5	2,350	P&W	P&W	1,000	8,925	0,000	1,000
I	5,0	2,996	P&W	P&W	0,524	8,925	-0,072	0,930

Tabela 4.5 Tabelas de vida para a população do tubarão-azul *Prionace glauca* no Atlântico Sudoeste sob diferentes cenários de mortalidade, sobrevivência, e idades de recrutamento pesqueiro (t_{rp}). S_0 =sobrevivência no primeiro ano de vida; Z_0 = mortalidade inicial; Z_{juv} = mortalidade dos jovens; Z_{rp} = mortalidade a partir do recrutamento pesqueiro; R_0 = taxa líquida reprodutiva; G = tempo de geração; r = taxa de crescimento populacional; e^r = taxa finita de incremento populacional.

Cenário	t_{rp}	S_0 (%)	Z_0	Z_{juv}	Z_{rp}	R_0	G	r	e^r
J	6	66,0	P&W	P&W	0,693	2,400	7,144	0,123	1,130
K	6	40,0	0,916	P&W	0,693	1,457	7,144	0,053	1,054
L	6	30,0	1,204	P&W	0,693	1,093	7,144	0,012	1,013
M	6	27,4	1,293	P&W	0,693	1,000	7,144	0,000	1,000
N	6	10,0	2,303	P&W	0,693	0,365	7,144	-0,141	0,868
O	5	66,0	P&W	P&W	0,693	1,633	6,921	0,071	1,073
P	5	40,3	0,908	P&W	0,693	1,000	6,921	0,000	1,000
Q	5	30,0	1,204	P&W	0,693	0,744	6,921	-0,043	0,958
R	5	10,0	2,303	P&W	0,693	0,248	6,921	-0,202	0,817
S	7	66,0	P&W	P&W	0,693	3,304	7,456	0,160	1,174
T	7	40,0	0,916	P&W	0,693	2,006	7,456	0,093	1,098
U	7	20,0	1,609	P&W	0,693	1,004	7,456	0,000	1,000
V	7	10,0	2,303	P&W	0,693	0,502	7,456	-0,093	0,912

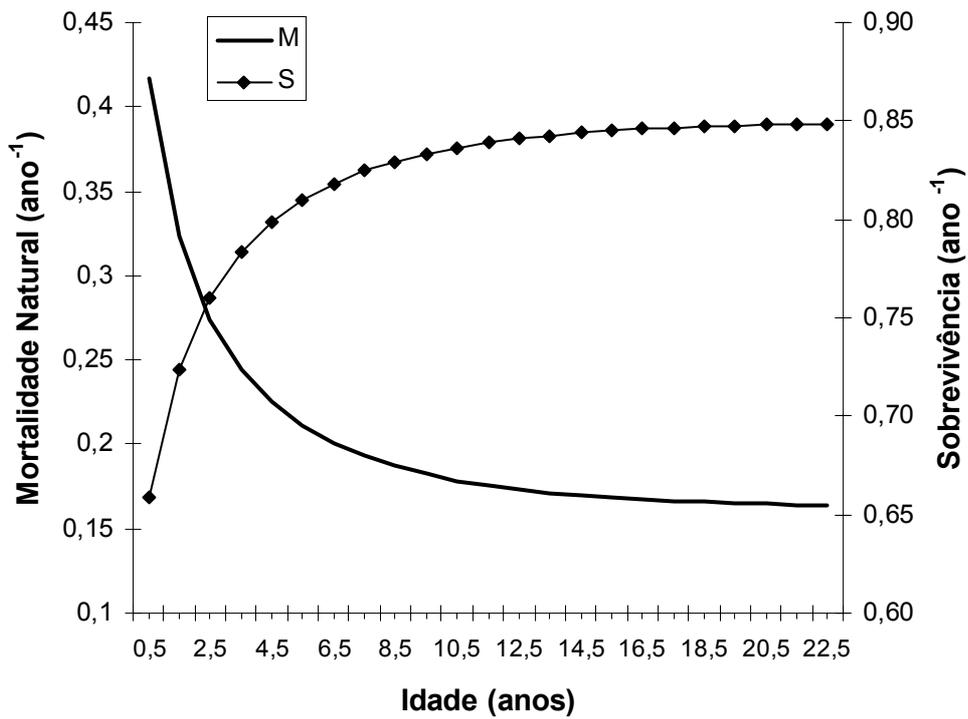


Figura 4.1. Curvas de mortalidade natural e sobrevivência de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste, estimadas a partir do método de Peterson e Wroblewski (1984) e as informações reprodutivas de maturidade sexual e fecundidade estimadas no Capítulo 2.

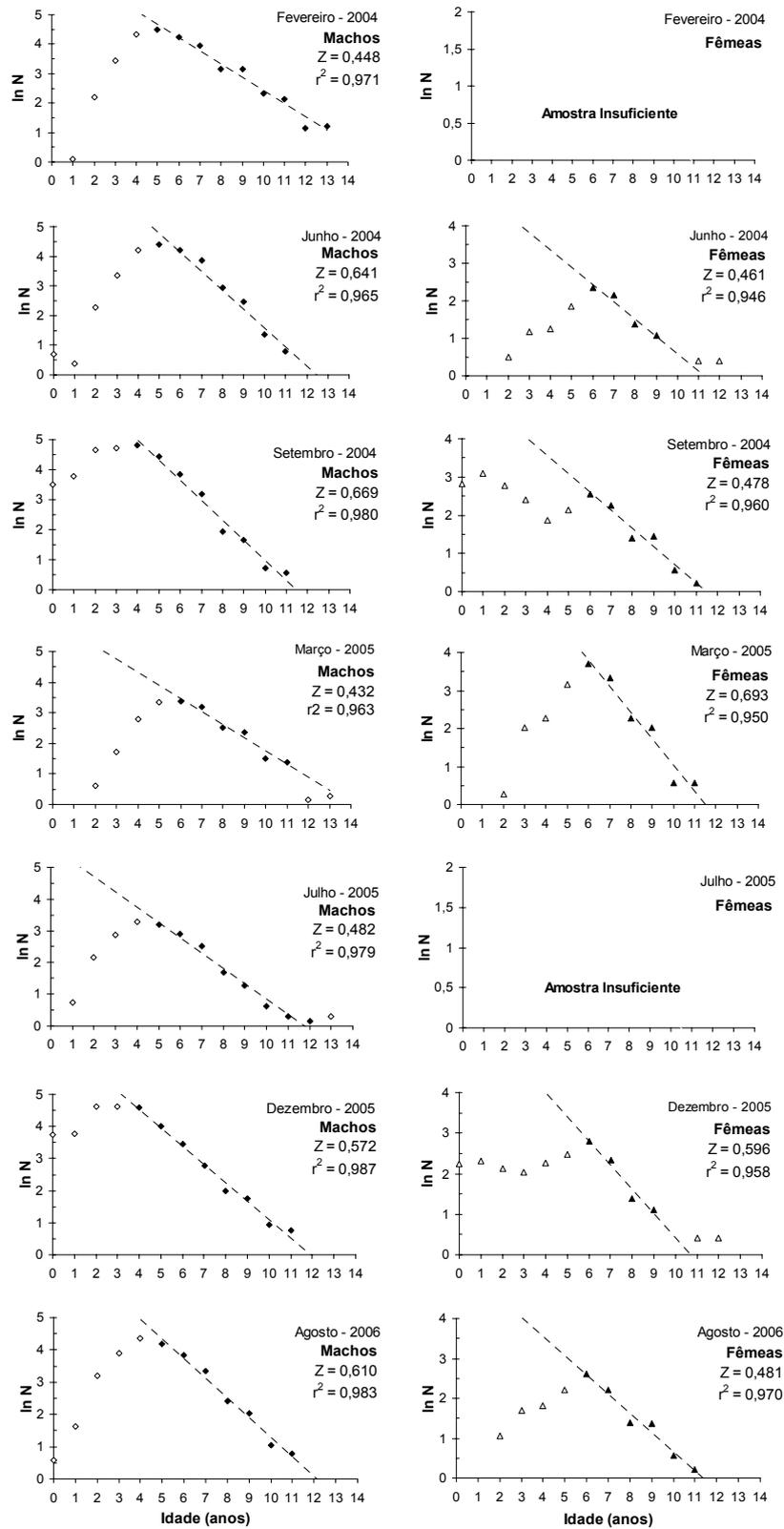


Figura 4.2 Estimativas de mortalidade total (Z) a partir da curva de captura para cada cruzeiro por sexo. N = número de indivíduos.

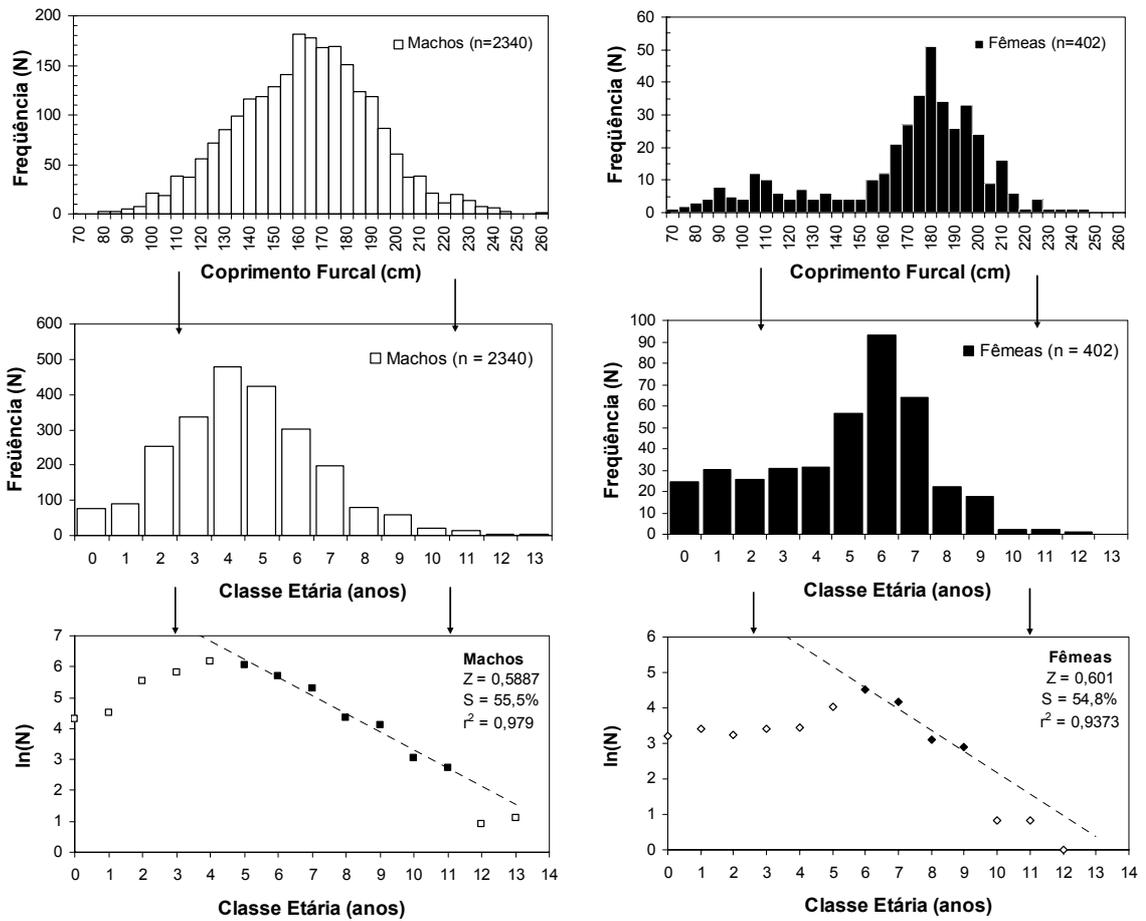


Figura 4.3 Estimativa da taxa instantânea de mortalidade total (Z) por sexo, usando curvas de captura geradas a partir da estrutura etária da população no Atlântico Sudoeste, obtida com base no total de tubarões medidos em sete cruzeiros de pesca comercial e a chave idade-comprimento construída no Capítulo 3.

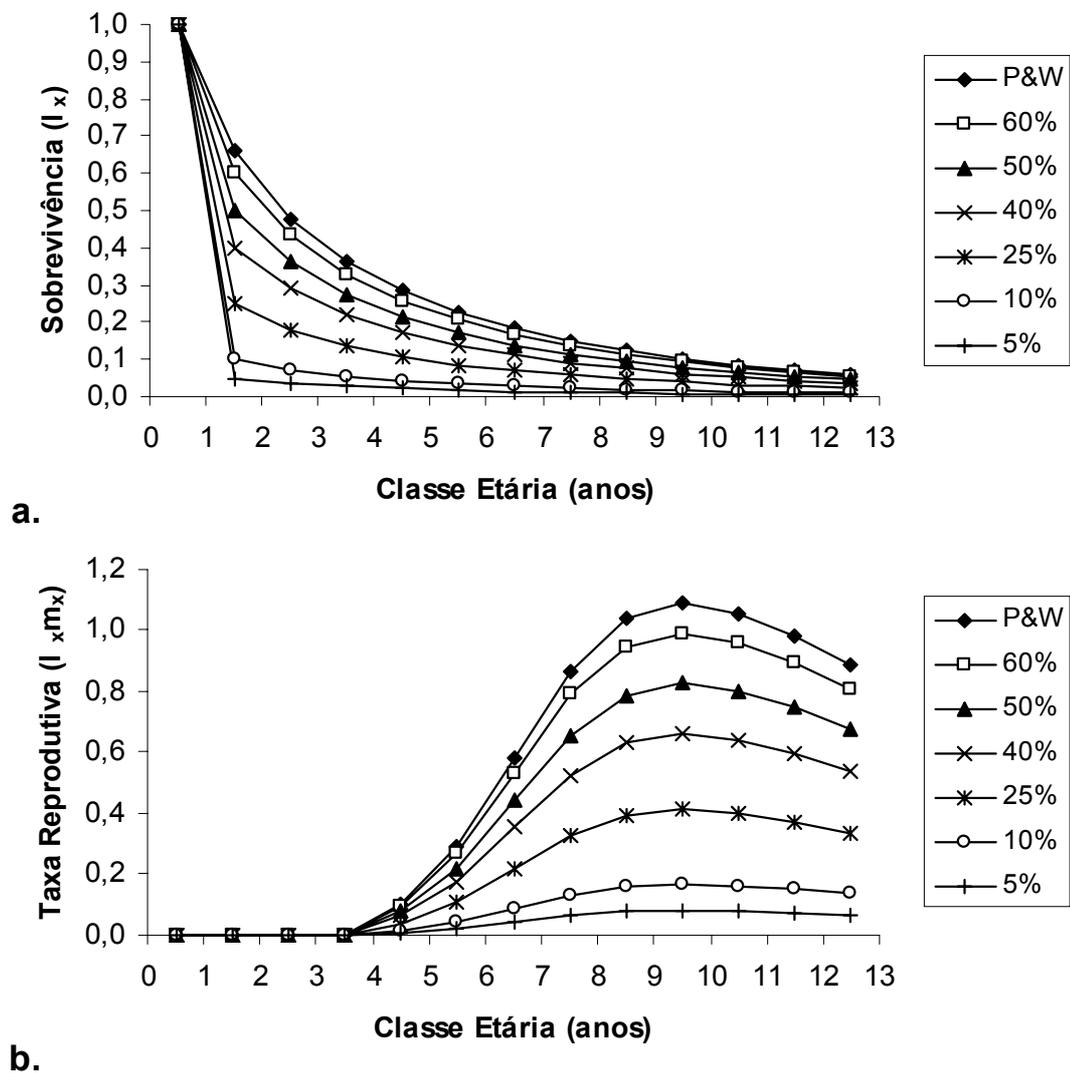
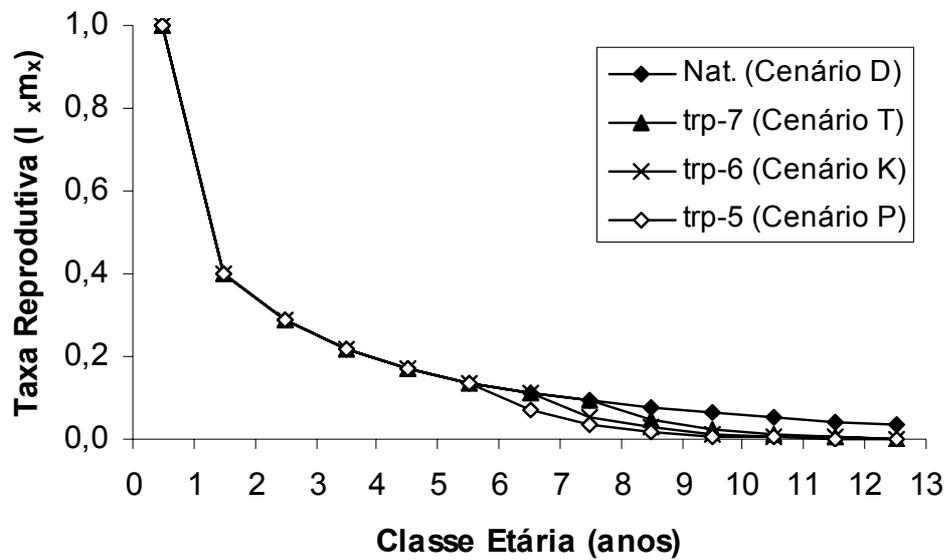
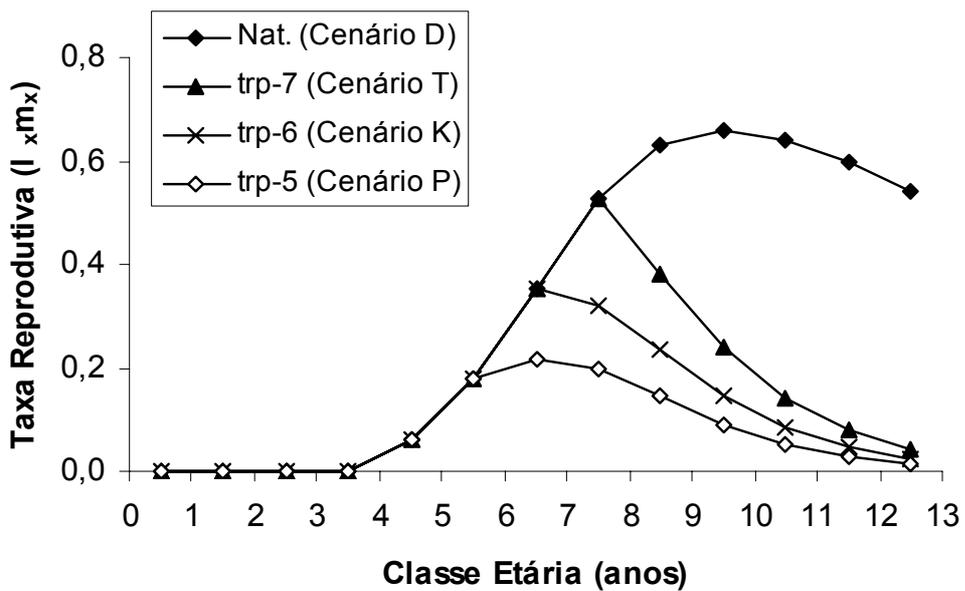


Figura 4.4 Curvas de sobrevivência (a.) e de potencial reprodutivo (b.) de *P. glauca* no Atlântico sudoeste, sob condições de ausência da pesca, para diferentes taxas de mortalidade durante o 1º ano de vida. P&W= Mortalidade natural obtida pelo método de Peterson e Wroblewski (1984). (Cenários A – D, F, G & I).



a.



b.

Figura 4.5 Curvas de sobrevivência e potencial reprodutivo, sob diferentes idades de recrutamento pesqueiro (trp), de *P. glauca* no Atlântico sudoeste, com taxa de sobrevivência durante o 1º ano de vida de 40%, mortalidade natural segundo método de Peterson e Wroblewski (1984), e mortalidade total atual de 0,693.

CONCLUSÕES

Na região sudoeste do oceano Atlântico, o tubarão-azul (*Prionace glauca*) é a espécie mais abundante nas capturas da pesca oceânica com espinhel pelágico de superfície. A proporção em número de indivíduos das espécies de peixes capturados pode representar 80%. A abundância da espécie varia com a latitude e a temperatura de superfície. As maiores densidades ocorrem em latitudes superiores a 33°S em inverno e primavera, e/ou em águas com temperatura de superfície < 18°C. A composição da população por sexos e fases de desenvolvimento varia também ao longo do ano em função. Os machos sempre são mais abundantes na região subtropical, com proporção 10:1. Na região equatorial a proporção sexual se equipara durante o verão, devido ao aumento da abundância de fêmeas adultas, e à baixa abundância nessa região. Pequenos juvenis de ambos sexos são dependentes de águas com temperatura inferior a < 20°C. Os machos subadultos e adultos ocorrem em toda a área. As fêmeas subadultas são escassas, sendo desconhecida a área de permanência dessa fração da população.

P. glauca atinge maturidade sexual aos seis anos de idade, entorno de 180 cm de comprimento furcal. No entanto, as fêmeas engravidam um ano mais tarde, com 190 cm. A fecundidade aumenta com o comprimento da fêmea grávida variando entorno de 34 filhotes por gestação. O ciclo reprodutivo de *P. glauca* é anual, com marcada distribuição sazonal e espacial dos eventos e processos que o compõem. A cópula ocorre no verão principalmente na região subtropical. As fêmeas grávidas no início da gestação ocorrem em águas tropicais, com temperatura de superfície > 24°C. A gestação dura nove meses, com o qual, de julho a agosto as fêmeas grávidas retornam para a região subtropical, e parem seus filhotes na primavera. A área de parto ainda não é

conhecida, mas a maior abundância de fêmeas grávidas no termo em águas ao sul de 33°S na primavera é um indicio de que essa seja a área de parto. Os jovens do ano permanecem em águas com temperatura $< 18^{\circ}\text{C}$. Esses resultados da ecologia reprodutiva, corroboram previas observações, e se enquadram na hipótese da existência de uma única população de *P. glauca* em todo o Atlântico Sul, com ciclo migratório transoceânico.

As vértebras de *P. glauca* permitem a identificação de marcas de crescimento, definidas como o ponto único no qual o padrão de calcificação muda, de opaco (mais calcificado), para translúcido (menos calcificado). Essas marcas são formadas anualmente entre julho e agosto, o que permitiu estimar a idade absoluta de cada indivíduo. As idades máximas observadas foram de 12 e 13 anos para fêmeas e machos, respectivamente. O modelo de von Bertalanffy foi adequado para descrever o crescimento, cujo melhor ajuste foi obtido com os comprimentos retrocalculados para os machos, e não diferiu para as fêmeas. No primeiro ano de vida *P. glauca* duplica seu tamanho, passando de 45 cm de comprimento furcal para aproximadamente 90 cm. Na pesca com espinhel-de-superfície, a estrutura etária das capturas é composta principalmente por machos de 4 a 5 anos e por fêmeas de seis anos.

P. glauca é uma espécie produtiva e resiliente. Em condições de ausência de mortalidade por pesca, a população suporta mortalidade natural de até 90% dos neonatos sem apresentar sinais de incapacidade de crescimento. No entanto a população não se encontra em equilíbrio. Na área de estudo as fêmeas estão plenamente recrutadas à pesca na idade de 6 anos e os machos na idade de 5 anos. A mortalidade por pesca não diferiu entre os sexos, o que indica que devem ocorrer maiores capturas das fêmeas em outras regiões, dada sua escassez no Atlântico sudoeste. Considerando mortalidades

iniciais de 40 e 60% dos neonatos, na situação atual a população apresenta sinais taxas de crescimento positivas, de 5 a 13% ao ano. No entanto, a plasticidade ecológica da espécie pode ser afetada caso a idade de recrutamento pesqueiro seja diminuída, mesmo assumindo 60% de sobrevivência no primeiro ano de vida. É necessário avaliar as incertezas antes de se propor medidas de controle, mas algumas medidas mitigatórias são convenientes, como por exemplo a criação de áreas e/ou épocas de exclusão da pesca, áreas oceânicas de proteção ambiental, ou a liberação de fêmeas grávidas.

P. glauca é uma espécie chave no ecossistema oceânico epipelágico. Além da função como de predador topo de rede alimentar, pela sua abundância o papel de fornecedor de material orgânico dissolvido para os decompositores é fundamental. Com base nisso, são necessários estudos de marcação e recaptura destes tubarões, no intuito de elucidar o ciclo migratório, as taxas de crescimento e idade e o padrão de uso do habitat, informações básicas para o manejo e conservação de qualquer espécie.

BIBLIOGRAFIA

- Aasen, O. (1966). Blahaien, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758). *Fisken og havet* 1:1-15
- Amorim, A.F. (1992). Estudo da biologia da pesca e da reprodução do cação-azul, *Prionace glauca* (L., 1758), capturado no sudeste e sul do Brasil. Ph.D. Thesis Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil. 205 p.
- Amorim, A.F., Arfelli, C.A. & Fagundes, L. (1998). Pelagic elasmobranches caught by longliners off southern Brazil during 1974-97: an overview. *Mar Freshwater Res.* 49(7):621-632
- Azevedo, V.G. (2003). Aspectos biológicos e dinâmica das capturas do tubarão-azul (*Prionace glauca*) realizadas pela frota espinheira de Itajaí 0 SC, Brasil. Master Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo 160p.
- Baum, J.K., Myers, R.A., Kehler, D.G., Worm, B., Harley, S.J. & Doherty, P.A. (2003). Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science* 299:389-392
- Beamish, R.J. & Fournier, D.A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 38:982-983
- Begg, G.A., Hare, J.A. e Sheehan, D.D. (1999) The role of life history parameters as indicators of stock structure. *Fish Res.* 43: 141-163
- Bernard, D.R. (1981). Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:233-236
- Bigelow, K.A., Boggs, C.H. & He, X. (1999). Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the U.S. North Pacific longline fishery. *Fish. Oceanogr.* 3:178-198.

- Bigelow, H.B. & Schroeder, W.C. (1948). Fishes of the western north Atlantic, Lancelets, Cyclostomes, Sharks. Memoirs of Sears Foundation for Marine Research, 576pp.
- Bonfil, R. (1994). Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 341, 119p.
- Braga, E.S. & Niencheski, L.F.H. (2006). Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chui (RS). *In*: Rossi-Wongtschowski, C.L.B & Madureira, L.S.-P. (Org.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude da região sudeste-sul do Brasil. EdUSP. São Paulo, Brasil. 472 p.
- Branstetter, S. (1987). Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus* and spinner, *C. brevipinna* sharks from the north-western gulf of Mexico. *Copeia* 1987(4):964-974
- Branstetter, S. (1990). Early life-history implications of selected Carcharhinoid and Lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. *Em*: Pratt, H.L., Gruber, S.H. & Taniuchi, T. (eds.), Elasmobranchs as living resourcesces.. *NOAA Tech. Rep. NMFS* 90:17-28
- Branstetter, S. e Musick, J.A. (1994). Age and growth estimates of the sand tiger in the northwestern Atlantic Ocean. *Trans. Am. Fish. Soc.* 123:242-254
- Branstetter, S. e Stiles, R. (1987). Age and growth estimates of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, from northern Gulf of Mexico. *Env. Biol. Fish.* 20:169-181

- Buencuerpo, V., Ríos, S. & Morón, J. (1998). Pelagic sharks associated with the swordfish, *Xiphias gladius*, fishery in the eastern North Atlantic Ocean and the Strait of Gibraltar *Fish. Bull.* 96:667-685
- Cailliet, G.M. (1990). Elasmobranchs age determination and verification: an updated review, p. 157-165. Em: H.L.Pratt Jr., S.H. Gruber and T.Tainuchi (eds.) Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90,
- Cailliet, G.M. (1992). Demography of the central california population of the leopard shark (*Triakis semifasciata*). *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 43:183-193.
- Cailliet, G.M, e Tanaka, S. (1990). Recommendations for research needed to better understand the age and growth of elasmobranchs, p. 505-507. Em: H.L.Pratt Jr., S.H. Gruber and T.Tainuchi (eds.) Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90,
- Cailliet, G.M. e Goldman, K.J. (2004). Age determination and validation in chondrichthyan fishes. p. 399-448. Em: Carrier, J.C., Musick, J.A. e Heithaus, M.R. (ed.). *Biology of sharks and their relatives*. CRC Marine Biology Series.
- Cailliet, G., K.L. Martin, D. Kusher, P. Wolf & B.A. Welden (1983) Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. In: Prince, E.D. & L.M. Pulos (eds.), *Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks*. NOAA Technical report NMFS 8:157-165.
- Cailliet, G., R.L. Radtke & B.A. Welden (1986) Elasmobranchs age determination and verification: a review. In: Uyeno, T., R. Arai, T. Taniuchi & K. Matsuura (eds.)

- Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific fishes, Ichthyol. Soc. Japan, Tokyo.
- Camhi, M., Fowler, S., Musick, J., Bräutigam, A. & Fordham, S. (1998). Sharks and their relatives - Ecology and conservation. IUCN/SSG Shark Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. iv + 39 pp.
- Campana, S.E. (1990). How reliable are growth back-calculations based on otoliths? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47:2219-2227
- Campana, S.E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.* 59: 197-242
- Campana, S.E., Annand, M.C. e McMillan, J.I. (1995). Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 124:131-138
- Campana, S.E., Marks, L., Joyce, W. e Kohler, N.E. J (2004) Catch, bycatch and indices of population status of blue shark (*Prionace glauca*) in the Canadian Atlantic. ICCAT, SRSC-2004/080
- Campana, S.E., Marks, L. Joyce, W. & Kohler, N.E. (2006). Effects of recreational and commercial fishing on the blue sharks (*Prionace glauca*) in Atlantic Canada, with inferences on the North Atlantic population. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63:670-682
- Carey, F.G. & Scharold, J.V. (1990). Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course. *Mar. Biol.* 106:329-342

- Carlson, J.K., Cortés, E. e Johnson, A.G. (1999). Age and growth of the blacknose shark, *Carcharhinus acronotus*, in the eastern Gulf of Mexico. *Copeia* 1999(3):684-691
- Carlson, J.K., Cortés, E. e Bethea, D.M. (2003). Life history and population dynamics of the finetooth shark (*Carcharhinus isodon*) in the northeastern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.* 101:281-292
- Carrier, J.C., Pratt, H.L. e Castro, J.I. (2004). Reproductive biology of elasmobranchs. P. 269-286. Em: Carrier, J.C., Musick, J.A. e Heithaus, M.R. (ed.). *Biology of sharks and their relatives*. CRC Marine Biology Series.
- Casselman, J.M. (1983). Age and growth assessment of fish from their calcified tissue-techniques and tools. *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes and sharks*. NOAA Tech. Rep. NMFS 8:1-17
- Castello, J.P. e Möller Jr., O.O. (1977). On the oceanographic conditions in the Rio Grande do Sul State. *Atlântica* 2(2):25-110
- Castello, J.P., Haimovici, M., Odebrecht, C. & Vooren, C.M. (1998) A plataforma e o talude continental. Em: Seeliger, U., Odebrechet, C. & Castello, J. P (eds). *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. Editora Ecoscientia, Brasil.
- Castro, J.A. (2000). The biology of the nurse shark *Ginglymostoma cirratum* off the Florida east coast and the Bahamas Islands. *Env. Biol. Fish.* 58:1-22
- Castro, J.A. & Mejuto, J. (1995). Reproductive parameters of blue shark, *Prionace glauca*, and other sharks in the Gulf of Guinea. *Mar. Freshwater Res.* 46:967-973.

- Castro, J.I., Woodley, C.M. e Brudek, R.L. (1999). A preliminary evaluation of the status of shark species. FAO Fish. Tech. Paper No. 380. Roma. 72 p.
- Cerrato, J.A. (1990). Interpretable statistical tests for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47:1416-1426.
- Chang, W.Y.B. (1982). A statistical method for evaluation of the reproducibility of age determination. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39:1208-1210
- Chen, P. e Yuan, W. (2006). Demographic analysis based on the growth parameters of sharks. Fish. Res. 78:374-379
- Clement, J.G. (1992). Re-examination of the fine structure of endoskeletal mineralization in chondrichthyans: implications for growth, age and calcium homeostasis. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 43:157-181
- Compagno, L.J.V. (1984). FAO species catalogue, volume 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of sharks species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO Fish. Synop., 125: 252-655.
- Compagno, L.J.V. (1988). Sharks of the Order Carcharhiniformes. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Compagno, L., Dando, M. & Fowler, S. (2005). Sharks of the world. Princeton University Press, Oxford. 368p.
- Conrath, C.L. (2004). Reproductive biology. p. 133-164. Em: Musick, J.A. e Bonfil, R. (eds.). Elasmobranch fisheries management techniques. APEC Secretariat.
- Cortés, E. (1995). Demographic analysis of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, in the Gulf of Mexico. Fish. Bull. 93:57-66

- Cortés, E. (1998). Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fish. Res.* 39:199-208
- Cortés, E. (2000). Life history patterns and correlations in sharks. *Rev. Fish. Sci.* 8(4):299-344
- Cortés, E. (2004). Life history patterns, demography, and population dynamics. p. 449-469. Em: Carrier, J.C., Musick, J.A. e Heithaus, M.R. (ed.). *Biology of sharks and their relatives*. CRC Marine Biology Series.
- Cortés, E. (2007). Chondrichthyan demographic modelling: and essay on its use, abuse and future. *Mar. Freshwater Res.* 58:4-6
- Cortés, E. e Parsons, G.R. (1996). Comparative deography of two populations of the bonnethead shark (*Sphyrna tiburo*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:709-718
- Curtis, H. (1987). *Biologia*. 4ª. Edición. Editorial médica Panamericana. Buenos Aires Argentina. 1255 pp
- De Metrio, G., Petrosino, G., Montanaro, C., Matarrese, A., Lenti, M. e Cecere, E. (1984). Survey on summer-autumn population of *Prionace glauca* (L.) in the Gulf of Taranto, Italy, during the four year period 1978-1981 and its incidence on swordfish *Xiphias gladius* (L.) and albacore (*Thunnus alalunga* (Bonn.)) fishing. *Oebalia X*:105-116
- Domingo, A., Mora, O. e Gomes, M. (2002). Evolución de las capturas de elasmobranquios en la pesquería de atunes de Uruguay, con énfasis en los tiburones azul (*Prionace glauca*), moro (*Isurus oxyrinchus*) y porbeagle (*Lamna nasus*). *ICCAT-SCRS/2001/074*
- Fabens, A.J. (1965). Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth* 29:265-289

- Ferreira, B.P. e Vooren, C.M. (1991). Age, growth and structure of vertebra in the school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus, 1758) from southern Brazil. *Fish. Bull.* 89(1):19-31
- Francis, M.P. e Ó Maolagáin, C.O. (2000). Age, growth and maturity of a New Zealand endemic shark (*Mustelus lenticulatus*) estimated from vertebral bands. *Mar. Freshwater Res.* 51:35-42
- Francis, M.P. e Duffy, C. (2005). Length and maturity in three pelagic sharks (*Lamna nasus*, *Isurus oxyrinchus* and *Prionace glauca*) from New Zealand. *Fish. Bull.* 103:489-500
- Frisk, M.G., Miller, T.J. e Fogarty, M.J. (2001). Estimation and analysis on biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:969-981
- Fitzmaurice, P., Green, P., Kierse, G., Kenny, M. & Clarke, M. (2004). Stock discrimination of the blue shark, based on Irish tagging data. *ICCAT-SCRS/2004/124*
- Fréon, P. & Misund, O.A. (1999). Dynamics of pelagic fish distribution and behavior: Effects on fisheries and stock assessment. Blackwell Science, Oxford, 348 pp.
- Garcia, C.A.E. (1997). Physical oceanography. In: Seeliger, U., Odebrechet, C. & Castello, J.P (eds). Subtropical convergence environments. The coast and sea in the Southwestern Atlantic. Springer – Verlag Berlin, Germany.
- Gelsleichter, J. (2004). Hormonal regulation of elasmobranchs physiology. p. 287-323. Em: Carrier, J.C., Musick, J.A. e Heithaus, M.R. (ed.). Biology of sharks and their relatives. CRC Marine Biology Series.

- Goldman, K.J. (2004). Age and growth. p. 97-132. Em: Musick, J.A. e Bonfil, R. (eds.). Elasmobranch fisheries management techniques. APEC Secretariat.
- Gubanov, Y.P. & Grigor'yev, V.N. (1975). Observations on the distribution and biology of the blue shark *Prionace glauca* (Carcharhinidae) of the Indian Ocean. *J. Ichthyol.* 15(1):37-43
- Hazin, F.H.V., Couto, A.A., Kihara, K., Otsuka, K & Ishino, M. (1990). Distribution and abundance of pelagic sharks in the southwestern equatorial Atlantic. *J. Tokyo Univ. Fish.* 77(1):51-64
- Hazin, F.H.V., Boeckman, C.E., Leal, E.C., Lessa, R., Kihara, K. & Otsuka, K. (1994a). Distribution and relative abundance of the blue shark, *Prionace glauca*, in the southwestern equatorial Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 92:474-480
- Hazin, F.H.V., Kihara, K., Otsuka, K., Boeckman, C.E. & Leal, E.C. (1994b). Reproduction of the blue shark *Prionace glauca* in South-Western Equatorial Atlantic Ocean. *Fish. Sci.* 60(5):487-491
- Hazin, F.H.V., Zagaglia, J.R., Broadhurst, M.K., Travasos, P.E.P. & Bezerra, T.R.Q. (1998). Review of small-scale pelagic longline fishery off Northeastern Brazil. *Mar. Fish. Rev.* 60(3):1-8
- Hazin, F.H.; Pinheiro, P.B.; Broadhurst, M.K. (2000). Further notes on the reproduction of the blue shark and a postulated migratory pattern in the South Atlantic Ocean. *Ciencia e Cultura* 52:114-120.
- Hazin, F. e Lessa, R. (2004). Synopsis of biological information available on blue shark, *Prionace glauca*, from the southwestern Atlantic Ocean. *ICCAT-SCRS/2004/125*.

- Helfmann, G.S., Collette, B.B. & Facey, D.E. (1997). The diversity of fishes. Blackwell Science. USA
- Henderson, A.C., Flannery, K. & Dunne, J. (2001). Observations on the biology and ecology of the blue shark in the North-east Atlantic. *J. Fish. Biol.* 58:1347-1358.
- Heupel, M.R. e Simpfendorfer, C.A. (2002). Estimation of mortality of juvenile blacktip sharks, *Carcharhinus limbatus*, within a nursery area using telemetry data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59:624-632
- Hoenig, J.M. (1983); Empirical use on longevity data to estimate mortality rates. *Fish. Bull. NOAA/NMFS* 81(4):898-903
- Hoenig, J.M. & Gruber, S.H. (1990). Life history patterns in the elasmobranches: Implications for fisheries management. *Em: Pratt, H.L., Gruber, S.H. & Taniuchi, T. (eds.), Elasmobranchs as living resourcesces.. NOAA Tech. Rep. NMFS* 90:1-16
- Jensen, A.L. (1996). Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:820-822
- Kimura, D.K. (1980). Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull.* 77(4):765-776
- Kohler, N.E., Casey, J.G. & Turner, P.A. (1998). NMFS Cooperative shark tagging program, 1962-93: An Atlas of shark tagging and recapture data. *Mar. Fish. Rev.* 60(2):1-86
- Kohler, N.E., Turner, P.A., Hoey, J.J., Natanson, L.J. & Briggs, R. (2002). Tag and recapture data for three pelagic shark species: blue shark (*Prionace glauca*), shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and probeagle (*Lamna nasus*) in the North Atlantic Ocean. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 54(4):1231-1260
- Krebs, C.J. (1989). Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Herper and Row, New York, 800p.

- Kusher, D.I., Smith, S.E. e Cailliet, G.M. (1992). Validated age and growth of the leopard shark, *Triakis semifaciata*, with comments on reproduction. *Env. Biol. Fish.* 35:187-203
- Lalli, C.M. & Parsons, T.R. (1993). *Biological oceanography: an introduction*. Butterworth Heinemann, Oxford, 301 pp.
- Legat, J.F.A. (2001). Distribuição, abundância, reprodução e morfometria de *Prionace glauca* no sul do Brasil. *Tese de Mestrado. FURG*. 118p.
- Lessa, R., F.M. Santana & R. Paglerani (1999) Age, growth and stock structure of the oceanic whitetip shark, *Carcharhinus longimanus*, from the southwestern equatorial Atlantic. *Fish. Res.* 42:21-30.
- Lessa, R., Santana, F.M., Batista, V. e Almeida, Z. (2000). Age and growth of the daggenose shark, *Isogomphodon oxyrinchus*, from the northern Brazil. *Mar. Freshwater Res.* 51:339-347
- Lessa, R.; Santana, F.M.; Hazin, F.H. (2004). Age and growth of the blue shark of the northeastern Brazil. *Fish. Res.* 66:19-30
- Lessa, R., Santana, F.M. e Duarte-Neto, P. (2006). A critical appraisal of marginal increment analysis for assessing temporal periodicity in band formation among tropical sharks. *Env. Biol. Fish.*
- Liu, Kwang-Ming; Tsai, Wen-Pei; Joung, Shoou-Jeng (2004). Standardized CPUE for sharks and blue sharks caught by Chinese Taipei longline fishery in the south Atlantic Ocean. *ICCAT-SCRS/2004/126*
- Lucifora, L.O., Menni, R.C. e Escalante, A.H. (2004). Reproduction biology of of the school shark, *Galeorhinus galeus*, off Argenitna: support for a single south western

- Atlantic population with synchronized migratory movements. *Env. Biol. Fish.* 71:199-209
- Lucifora, L.O., Menni, R.C. e Escalante, A.H. (2005). Reproduction and seasonal occurrence of the copper shark, *Carcharhinus brachyurus*, from Patagonia, Argentina *ICES J. Mar. Sci.* 62:107-115
- Marin, Y.H., Brum, F., Barea, L.C. & Chocca, J.F. (1998). Incidental catch associated with swordfish longline fisheries in the south-west Atlantic Ocean. *Mar. Freshwater Res.* 49(7):633-639
- Matsunaga, H. & Nakano, H. (2004). Estimation of catches by Japanese tuna longline vessels in the Atlantic ocean. *ICCAT-SCRS/2004/116*
- McNeil, M.A. & Campana, S.E. (2002). Comparison of whole and sectioned vertebrae for determining the age of young blue shark (*Prionace glauca*). *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 30:77-82.
- McCord, M.E. & Campana, S.E. (2003). A quantitative assessment of the diet of the blue shark (*Prionace glauca*) off Nova Scotia, Canada. *J. Northw. Fish. Sci.* 32:57-63
- Mejuto, J. & García-Cortéz, B. (2004). Reproductive and distribution parameters of the blue shark *Prionace glauca*, on the basis of on-board observations at sea in the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. *ICCAT-SCRS/2004/103*
- Montealegre-Quijano, S. (2005). Haja barbatana. *Elasmovisor, Boletim da Sociedade Brasileira para Estudo de Elasmobrânquios* 2005:6-7.
- Montealegre-Quijano, S., Carvalho, R.I., Vooren, C.M. e Soto, J.M.R. (2004). Variação no tamanho dos embriões de tubarão-azul, *Prionace glauca* Linnaeus, 1758, no

- espaço e no tempo, no Atlântico Sul. IV Reunião da Sociedade Brasileira para Estudo de Elasmobrânquios. Recife. Livro de Resumos: 132-133.
- Musick, J.A (1999). Ecology and conservation of long-lived marine animals p. 1-10. Em: Musick, J.A. (ed.). Life in the slow lane. Ecology and conservation of long-lived marine animals. American Fisheries Society. Maryland.
- Moss, M.L (1977). Skeletal tissues in sharks. *Amer. Zool.* 17:335-342
- Nakano, H. (1994). Age, reproduction and migration of blue shark in the north Pacific Ocean. *Bull. Nat. Res. Inst. Far. Seas. Fish.* 31:141-255
- Nakano, H., Makihara, M. & Shimazaki, K. (1985). Distribution and biological characteristics of blue shark in the central North Pacific. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 36(3):99-113
- Nakano, H. & Seki, M.P. (2003). Synopsis of biological data on the blue shark, *Prionace glauca*. *Bull. Fish. Res. Agen.* 6:18-55
- Nakano, H. & Clarke, S. (2004). Standardized CPUE for blue sharks caught by the Japanese longline fishery in the Atlantic Ocean, 1971-2003. *ICCAT-SCRS/2004/119*
- Natanson, L.J. e Cailliet, G.M. (1990). Vertebral growth of zone deposition in angel sharks. *Copeia* 1990:1133-1145
- Natanson, L.J., Casey, J.G. e Kholer, N.E. (1995). Age and growth estimates for the dusky sharks, *Carcharhinus obscurus*, in the western North Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 93:116-126
- Natanson, L.J., Mello, J.J. e Campana, S. (2002). Validated age and growth of the porbeagle shark (*Lamna nasus*) in the western north Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 100:266-278

- Neer, J.A., Thompson, B.A. e Carlson, J.K. (2005). Age and growth of *Carcharhinus leucas* in the northern Gulf of Mexico: incorporating variability in size at birth. *J. Fish. Biol.* 67:370-383
- Olavo, G., Costa, A.S.P. & Martins, A.S. (2005). Prospecção de grandes peixes pelágicos na região central da ZEE brasileira *In*: Costa, A.S.P., Martins, A.S. & Olavo, G. (Org.) Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. *Museu Nacional Sér. Livros* 13:167-202.
- Odum, E. P. (1986). Fundamentos de ecología. Interamericana. Mexico D.F., 422p.
- Officer, R.A., Gason, A.S., Walker, T.I. e Clement, J.G. (1996). Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark, *Mustelus antarcticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: implications for age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:1765-1777
- Otake, T. (1990). Classification of reproductive modes in sharks with comments on female reproductive tissues and structures. P. 111-130. Em: H.L.Pratt Jr., S.H. Gruber and T.Tainuchi (eds.) Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90,
- Palumbi, S.R. (2004). Why mothers matter. *Nature* 430:621-622
- Parsons, G.R. (1983) An examination of the vertebral rings in the Atlantic sharpnose shark *Rhizoprionodon terraenovae*. *Northeast Gulf Sci.* 6:61-73.
- Pauly, D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. CIEM* 39(2):175-192

- Peres, M.B. e Vooren, C.M. (1991). Sexual development, reproductive cycle, and fecundity of the school shark *Galeorhinus galeus*, off southern Brazil. *Fish. Bull.* 89:655-667
- Peterson, I. e Wroblewski, S.J. (1984). Mortality rate of fishes in the pelagic ecosystem. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41:1117-1120
- Pratt, H.Jr. (1979). Reproduction in the blue shark. *Fish. Bull.* 77(2):445-470
- Pratt, H.Jr. e Carrier, J.C. (2001). A review of elasmobranch reproductive behavior with a case study on the nurse shark, *Gynglimostoma cirratum*. *Env. Biol. Fish.* 60:157-188
- Pratt, H.L. e Casey, J.G. (1983). Age and growth of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, using four methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1944-1957
- Quinn, T.J. e Deriso, R.B. (1999). Quantitative fish dynamics. Oxford University Press. New York – NY. 542 pp.
- Ribot-Carballal, M.C., Galván-Magaña, F. e Quiñonez-Velásquez, C. (2005). Age and growth of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, from the western coast of Baja California Sur, Mexico. *Fish Res.* 76:14-21
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191:1-382
- Ridewood, W.G. (1921). On the calcification of the vertebral centra in sharks and rays. *Phil. Trans. Roy Soc. London Ser.* 210:311-407
- Santos, R.A. & Haimovici, M. (1997). Reproductive biology of winter-spring spawners of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) off southern Brazil. *Sci. Mar.* 61:53-64

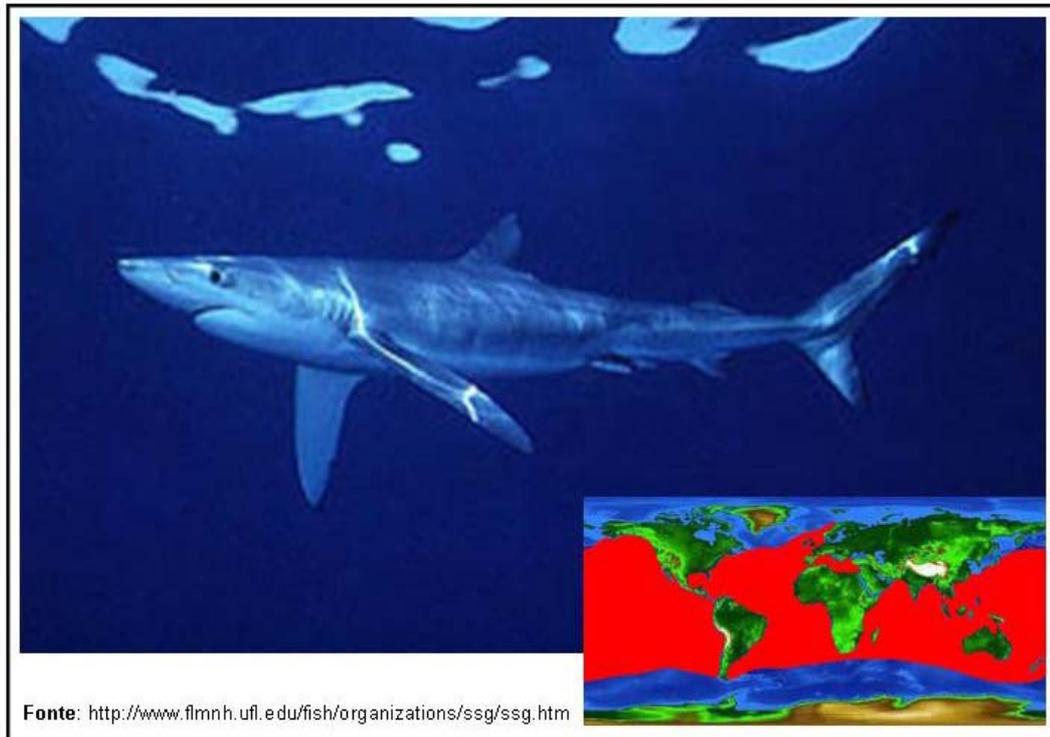
- Santos, R.A. & Haimovici, M. (2002). Cephalopods in the trophic relations off southern Brazil. *Bull. Mar. Sci.* 71(1):353-370
- SBEEL (2005). Plano nacional de ação para conservação e o manejo dos estoques de peixes elasmobrânquios no Brasil. Documento Técnico encaminhado ao MMA/SEAP. 99 p.
- Schmidt-Nielsen, K. (2002). Fisiologia animal. Adaptação e meio ambiente. Livraria Sants Editora. 611 p.
- Sciarrotta, T.C. & Nelson, D.R. (1977). Diel behavior of the blue shark, *Prionace glauca*, near Santa Catalina island, California. *Fish. Bull.* 75(3):519-528
- Senba, Y. & Nakano, H. (2004). Summary of species composition and nominal CPUE of pelagic sharks based on observer data from Japanese longline fishery in the Atlantic ocean from 1995 to 2003. *ICCAT-SCRS/2004/117*
- Simpfendorfer, C.A. (1992). Reproductive strategy of the australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori* (Elasmobranchii: Carcharhinidae), from Cleveland Bay, Northern Queensland. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 43(1):67-75
- Simpfendorfer, C.A. (1993). Age and growth of the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori*, from North Queensland, Australia. *Env. Biol. Fish.* 36:233-241
- Simpfendorfer, C.A. (1999). Mortality estimates and demographic analysis for the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori*, from northern Australia. *Fish. Bull.* 97:978-986
- Simpfendorfer, C.A. (2004). Demographic models: life tables, matrix models and rebound potential. p. 187-204. Em: Musick, J.A. e Bonfil, R. (eds.). *Elasmobranch fisheries management techniques*. APEC Secretariat.

- Simpfendorfer, C.A. e Heupel, M.R. (2004). Assessing habitat use and movement. p. 554-572. Em: Carrier, J.C., Musick, J.A. e Heithaus, M.R. (ed.). Biology of sharks and their relatives. CRC Marine Biology Series.
- Simpfendorfer, C., Chidlow, J., Mc Auley, R. & Unsworth, P. (2000) Age and growth of the whiskery shark, *Furgaleus macki*, from southwestern Australia. Env. Biol. Fish. 58: 335-343
- Simpfendorfer, C.A., Hueter, R.E., Bergman, U. & Connett, S.M.H. (2002). Results of a fishery-independent survey for pelagic sharks in the western North Atlantic, 1977 – 1994. *Fish. Res.* 55:175-192
- Simpfendorfer, C.A., Bonfil, R. e Latour, R.J. (2004). Mortality estimation. p. 165-186. Em: Musick, J.A. e Bonfil, R. (eds.). Elasmobranch fisheries management techniques. APEC Secretariat.
- Skomal, G.B. & Natanson, L.J. (2003). Age and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 101:627-639.
- Sminkey, T. e Musick, J.A. (1996). Demographic analysis of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in the western North Atlantic. *Fish. Bull.* 94:341-347
- Smith, S.E., Au, D.W. e Show, C. (Intrinsic rebound of 26 species of Pacific sharks. *Mar. Freshwater Res.* 49:663-678
- Sokal, R.R. e Rohlf, F.J. (1973). Biometry. W.H. Freeman & Co. New York. 887 p
- Sparre, P.E. & Venema, S.C. (1995) Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca 306/1. Valparaíso, Chile 420 p.
- Springer, S. (1960), Natural history of the sandbar shark *Eulamia milberti*. *Fish. Bull. U.S. Fish. Wildl. Serv.* 61(178):1-38

- Stevens, J.D. (1974). The occurrence and significance of tooth cuts on the blue shark (*Prionace glauca* L.) from british waters. *J. Mar. Biol. Ass.* 54:373-378
- Stevens, J.D. (1975). Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark. *J. Mar. Biol. Ass.U.K.* 55:657-665
- Stevens, J.D. (1976). First results of shark tagging in the north-east Atlantic. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 56:929-937
- Stevens (1984) Biological observations on sharks caught by sport fishermen off New South Wales. *Aust. J. Mar. Fresh. Res.* 35:573-590
- Stevens, J.D. (1990). Further results from a tagging study of pelagic sharks in the north-east Atlntatic. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 70:707-720
- Stevens, J.D. (1992). Blue and mako shark by-catch in the Japanese longline fishery off south-eastern Australia. *Aust. J. Mar. Fresh. Res* 43(1):227-236
- Strasburg, D.W. (1958). Distribution, abundance and habitats of pelagic sharks in the central Pacific Ocean. *Fish. Bull. U.S. Fish. Wildlife Serv.* 58:335-361
- Taylor, C.C. (1958). Cod growth and temperature. *J. Cons. Int.Explor.Mer.* 23:366-370
- Thorson, T.B. (1990). The unique roles of two liver products in suiting sharks to their environment. p. 41-47. Em: Gruber, S.H. (ed.). *Discovering sharks*. American Littoral Society. New Jersey.
- UNIVALI/CTTMar (2007). Boletim estatístico da pesca industrial de Santa Catarina – ano 2005 e panorama 2001/2005. Itajaí, SC. 80p.
- Vas, P. (1990). The abundance of the blue shark in the western English Channel. *Env. Biol. Fish.* 29:209-225

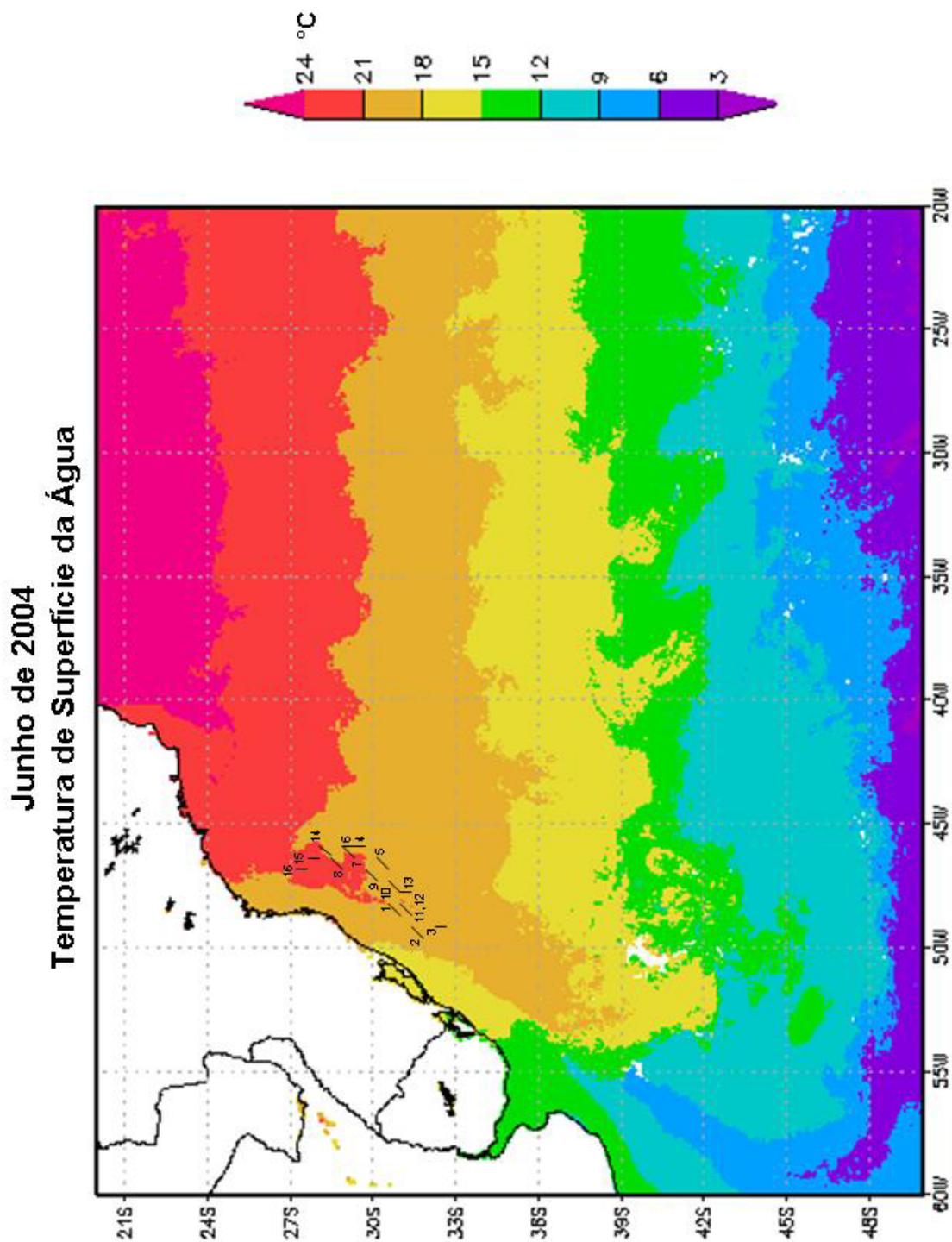
- Vaske Jr., T. & Rincon-Filho, G. (1998). Conteúdo estomacal dos tubarões azul (*Prionace glauca*) e anequim (*Isurus oxyrinchus*) em águas oceânicas no sul do Brasil. *Rev. Brasil. Biol.* 58(3):445-452.
- Vaske Jr, T. (2000). Relações tróficas dos grandes peixes pelágicos da região equatorial sudoeste do Oceano Atlântico. Tese de Doutorado. FURG 145 pp.
- von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiren on growth laws II). *Hum. Biol.* 10:181-213.
- Vooren, C.M., Castello, J.P., Bem, R,T.Jr., Gómez, I.C., Hellebrandt, D. & Isoldi, M.A. (1999). Relatório Final Projeto ARGO. Avaliação dos recursos pesqueiros de peixes pelágicos de grande porte da ZEE do Sul do Brasil. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.
- Walsh, W.A. & Kleiber, P. (2001). Generalized additive model and regression tree analyses of blue shark (*Prionace glauca*) catch rates by the Hawaii-based commercial longline fishery. *Fish. Res.* 53:115-131.
- Watson, G. e Smale, M.J. (1998). Reproductive biology of shortnose spiny dogfish, *Squalus megalops* from, the Agulhas Bank, South Africa. *Mar. Freshwater Res.* 49(7):695-703
- Yudin, K.G. e Cailliet, G.M. (1990). Age and growth of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound, *M. henlei*, sharks from central California. *Copeia* 1990:191-204
- Zar, J.H. (1999). Biostatistical analysis, Fourth ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 662 pp.

ANEXO 1. Tubarão-azul, *Prionace glauca* (L., 1758) no seu ambiente natural, e área de distribuição geográfica da espécie.



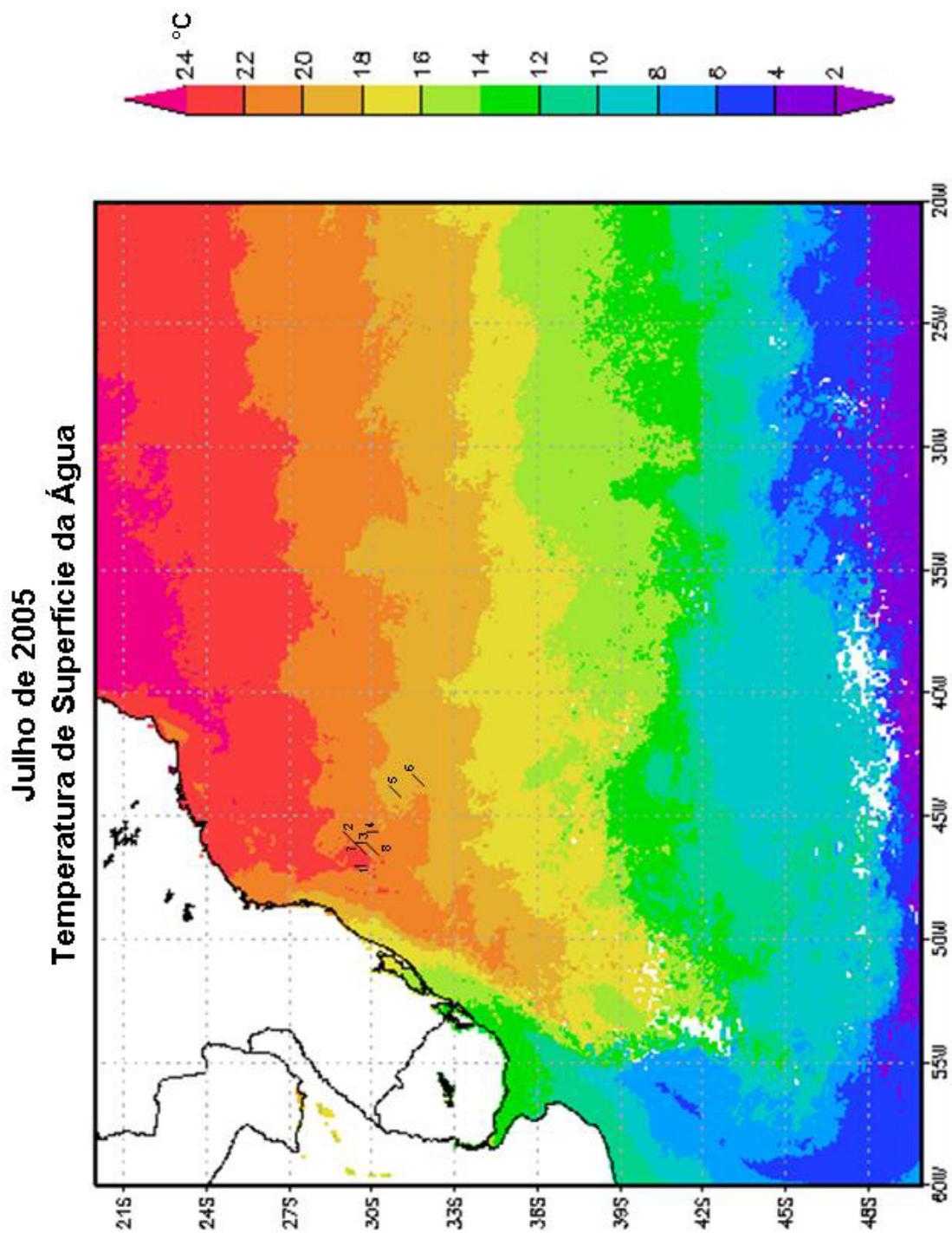
ANEXO 2. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de junho de 2004 (outono) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.



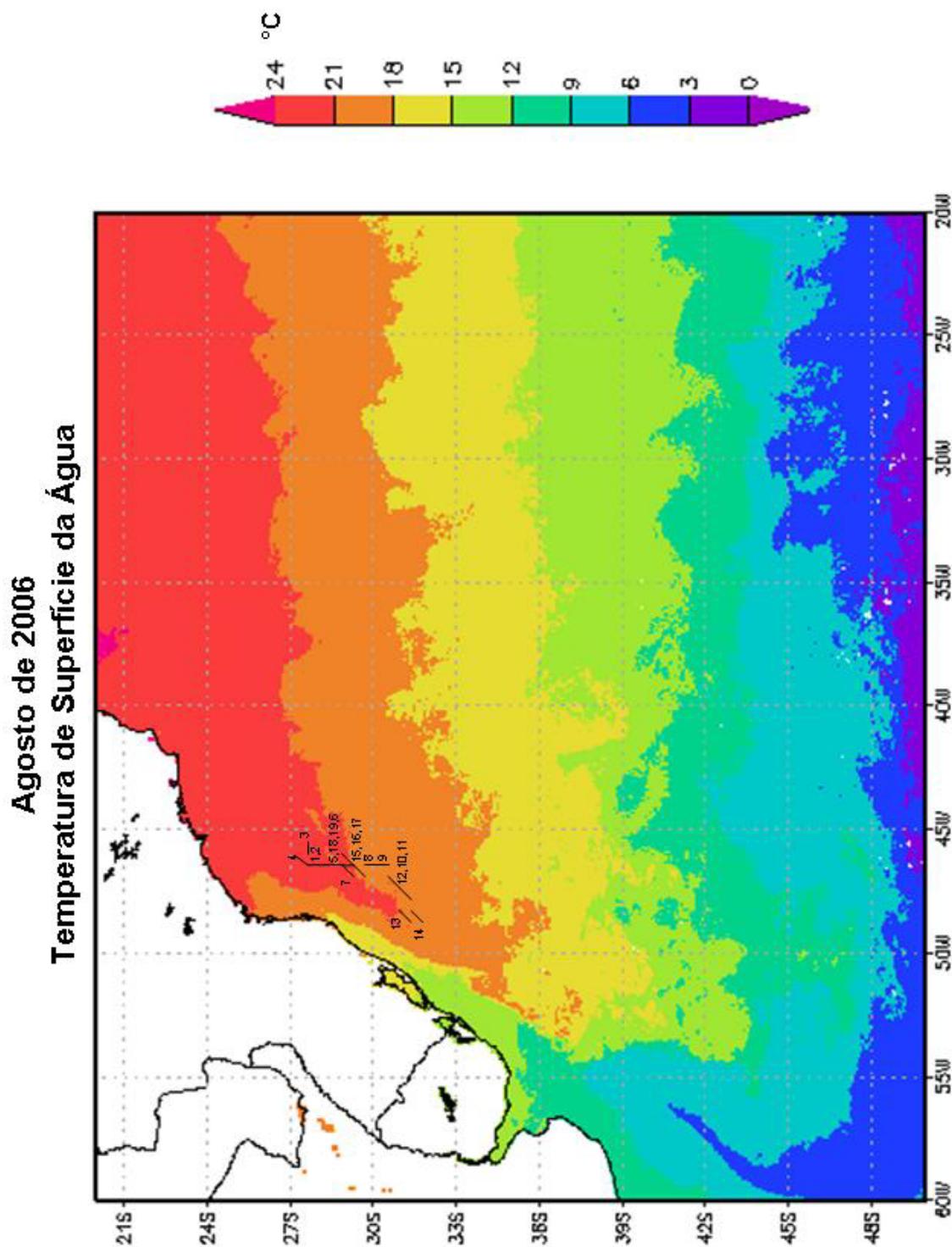
ANEXO 3. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de julho de 2005 (inverno) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.



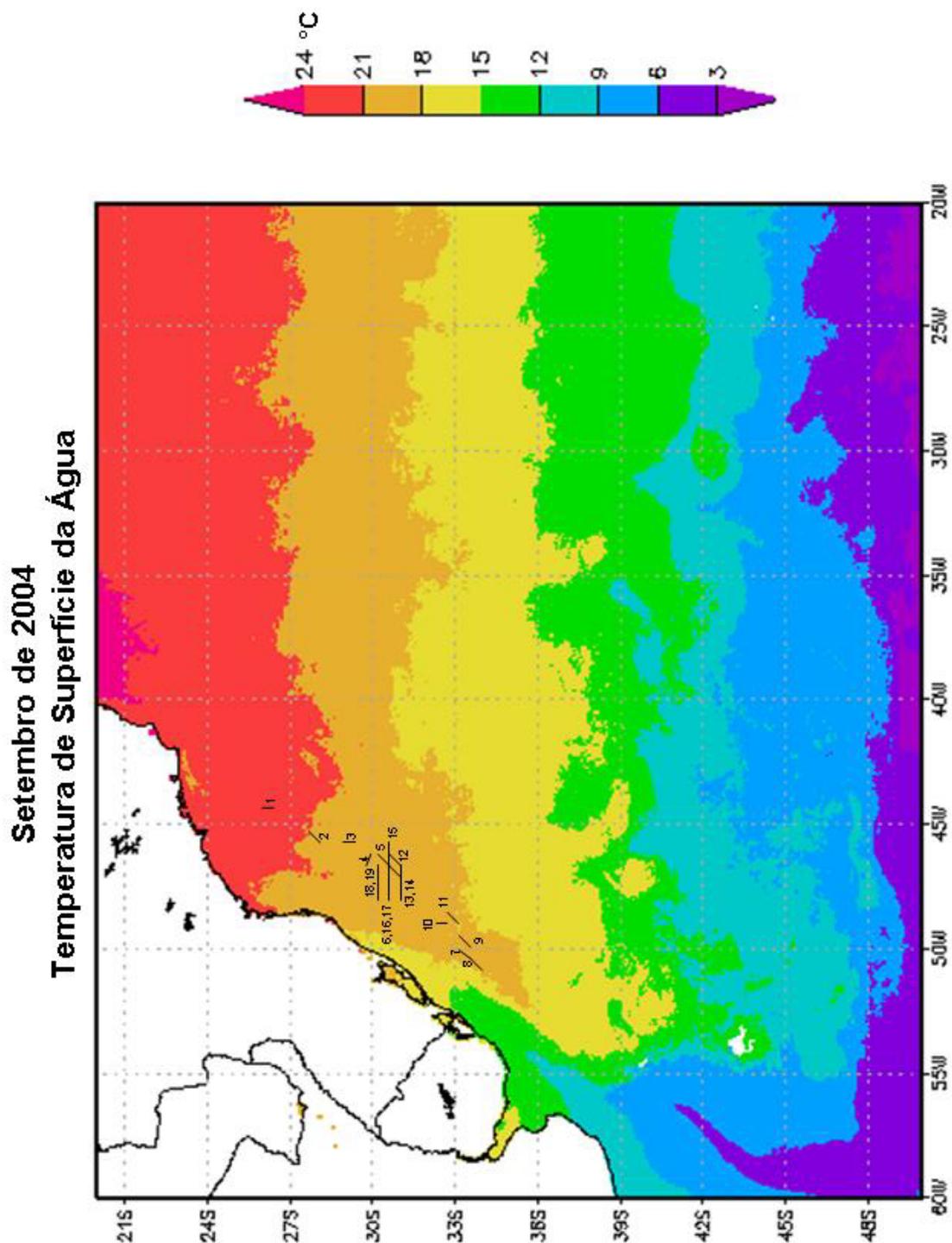
ANEXO 4. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de agosto de 2006 (inverno) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.



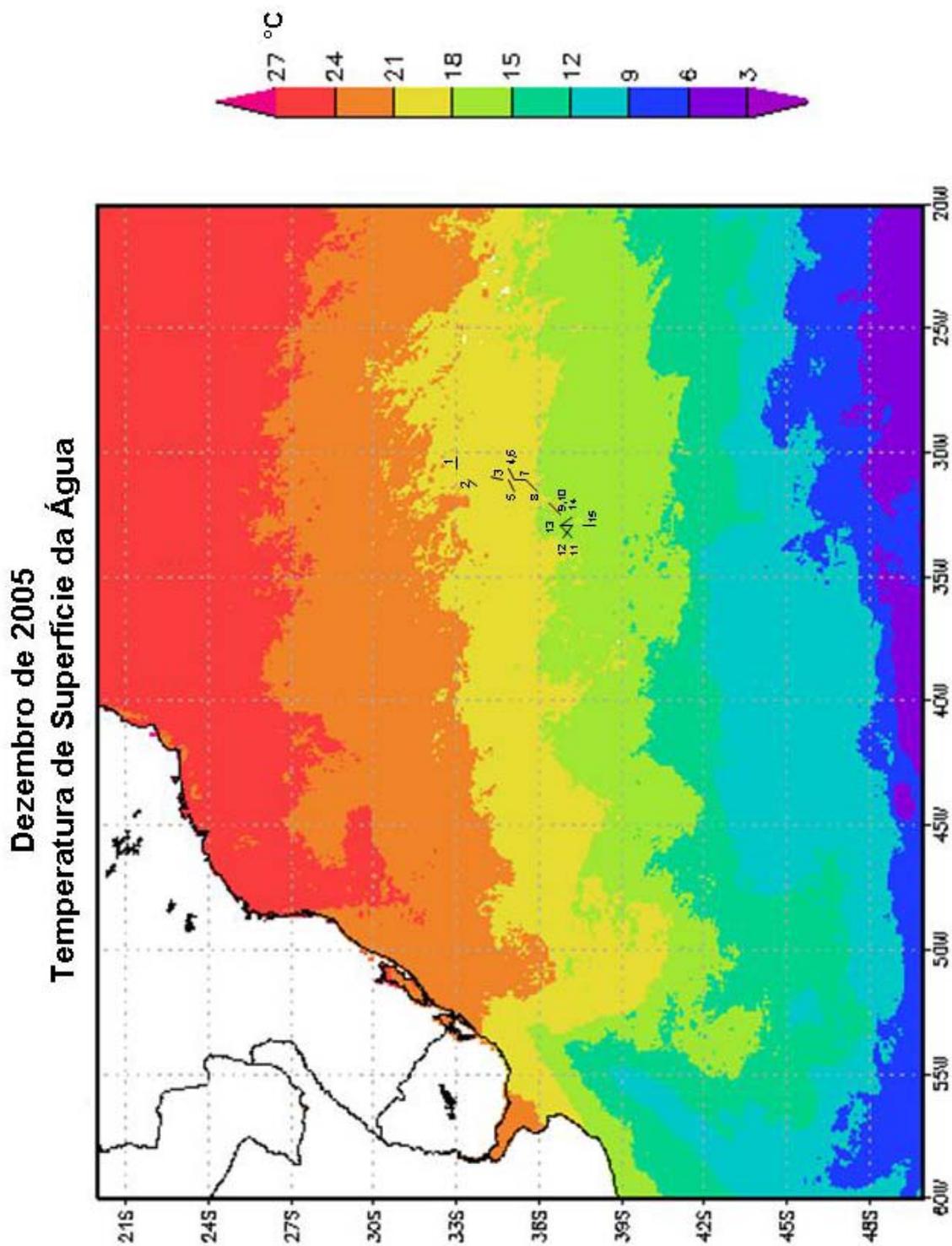
ANEXO 5. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de setembro de 2004 (inverno) em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.



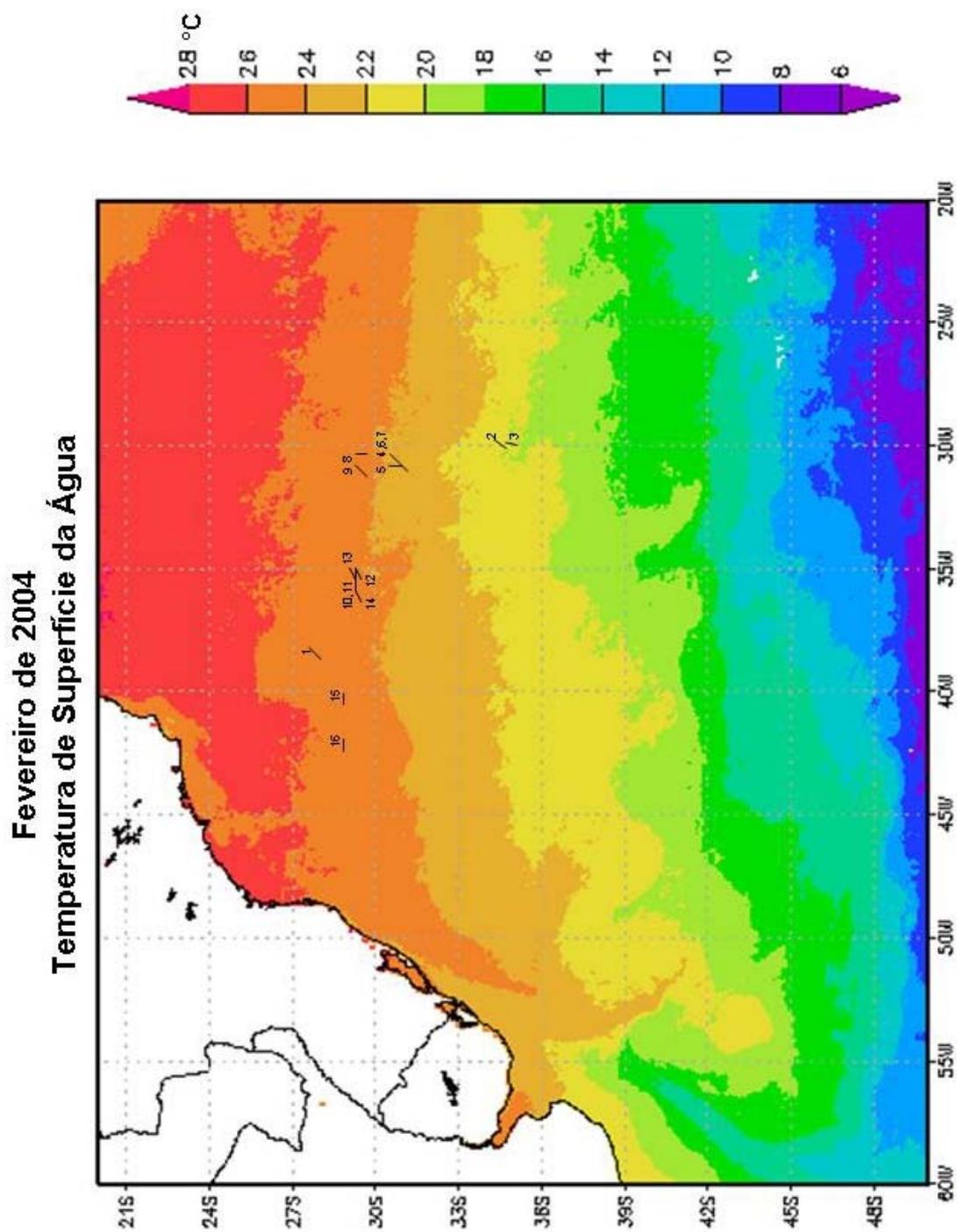
ANEXO 6. Localização dos lances no cruzeiro de dezembro de 2005 (primavera), em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.



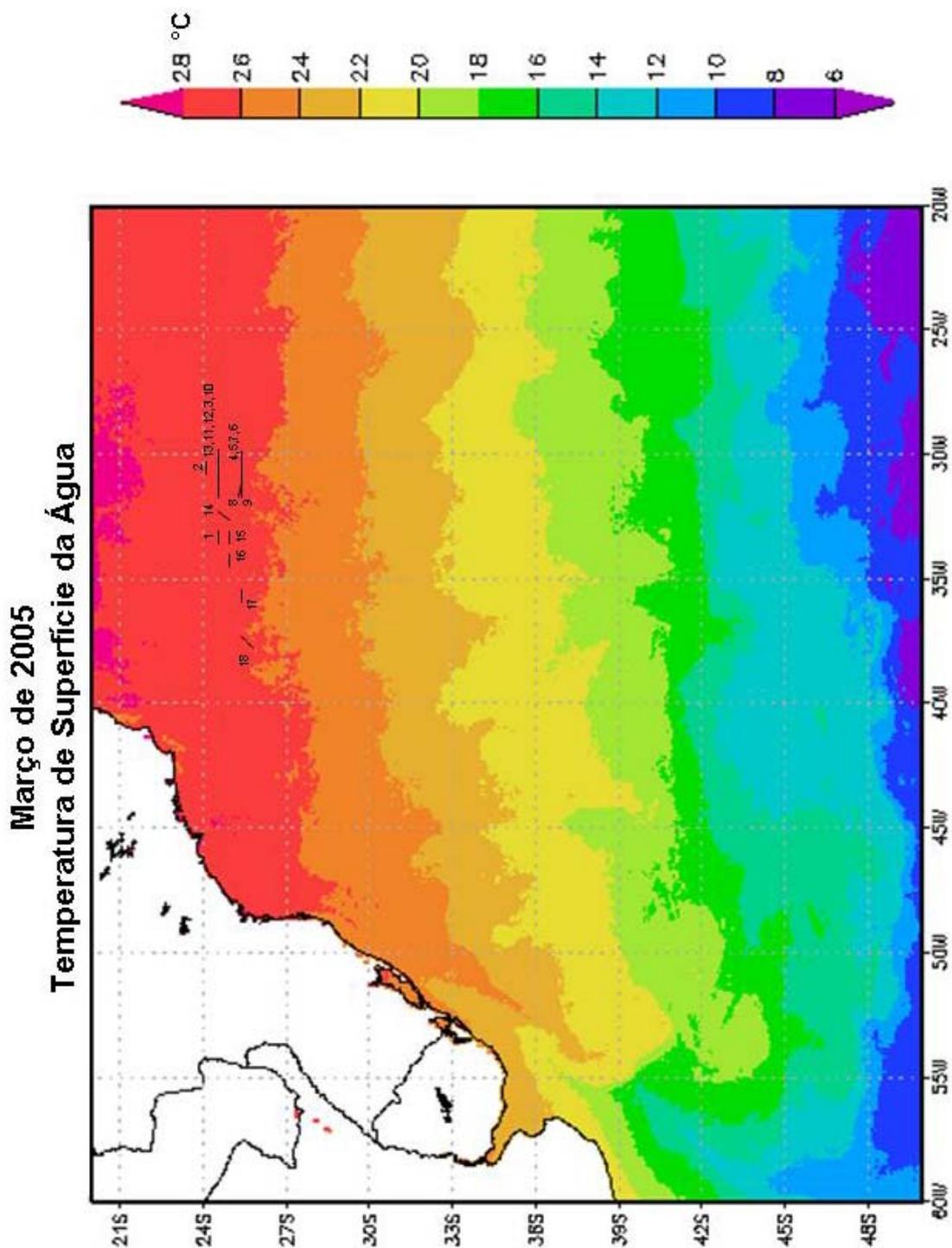
ANEXO 7. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de fevereiro de 2004 (verão), em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.

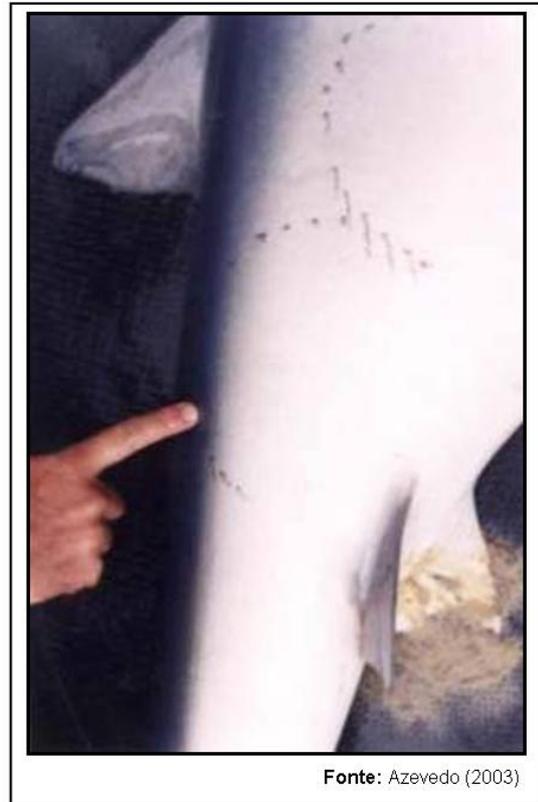
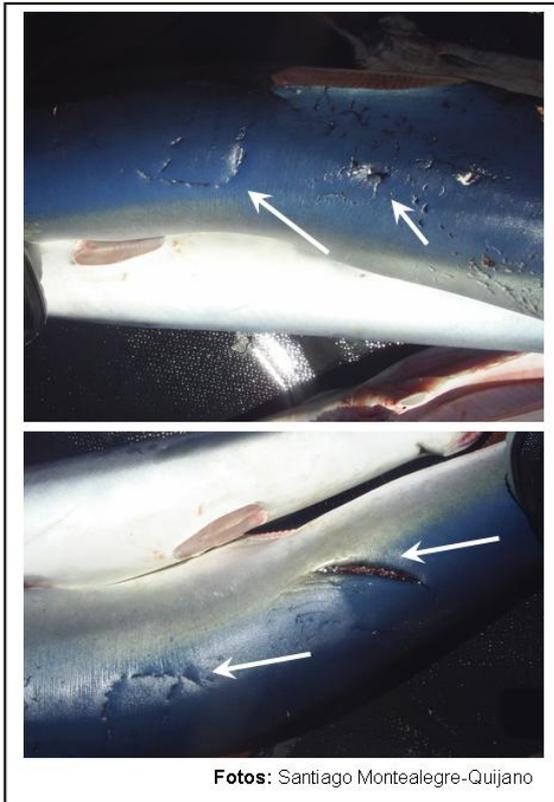


ANEXO 8. Localização dos lances de pesca no cruzeiro de março de 2005 (verão), em relação à média mensal da temperatura de superfície do mar no Atlântico Sudoeste.

Imagem obtida em <http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>.



ANEXO 9. Cicatrizes no corpo de fêmeas de *P. glauca*, causadas pelo comportamento de cortejo do macho na cópula



ANEXO 10. Ciclo reprodutivo da fêmea de *P. glauca* no Atlântico Sudoeste. Ovários e úteros em estado pré-ovulatório (**a.**, **b.**), ovulando (**c.**) e no termo (**d.**).

