



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS



DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

Carlos Geraldo Barreto Gonçalves

**INFLUÊNCIA DO CAMPO MAGNÉTICO ARTIFICIAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* (PENAEIDAE)
E A CAPTURA DE PEIXES NA PESCA COM COVOS**

RECIFE
Fevereiro, 2009

G635i

Gonçalves, Carlos Geraldo Barreto.

Influência do campo magnético artificial sobre o comportamento do camarão *Litopenaeus Vannamei* (PENAEIDAE) e a captura de peixes na pesca com covos / Carlos Geraldo Barreto Gonçalves. - Recife: O Autor, 2009.

xii, 69 folhas, il : tabs.,grafs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2009.

Inclui Referências Bibliográficas.

1.Oceanografia Física. 2.Campo Magnético Artificial. 3.Magnetismo Animal. 4. Magnetobiologia. 5. Biomagnetismo. 6.Camarão *Litopenaeus vannamei*. 7. Pesca com covos 8.Comportamento Animal. I. Título.

UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

Carlos Geraldo Barreto Gonçalves

INFLUÊNCIA DO CAMPO MAGNÉTICO ARTIFICIAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* (PENAEIDAE)
E A CAPTURA DE PEIXES NA PESCA COM COVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Carmen Medeiros Limongi

RECIFE

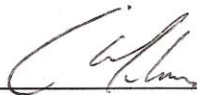
Fevereiro, 2009

**INFLUÊNCIA DO CAMPO MAGNÉTICO ARTIFICIAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* (PENAEIDAE)
E A CAPTURA DE PEIXES NA PESCA COM COVOS**

Carlos Geraldo Barreto Gonçalves

Dissertação defendida em 26 de fevereiro de 2009 e aprovada em estilo e conteúdo.

EXAMINADORES:



Dra. Carmen Medeiros Limongi



Dra. Maria Elisabeth de Araújo



Dr. Daniel Acosta Avalos

“É a imaginação, tocha divina apensa ao espírito do homem, que lhe permite mover-se nas trevas da criação. Assim os peixes das profundezas oceânicas trazem um facho que os ilumina na noite eterna. Sem isto para que lhe serviriam os olhos? Sem a imaginação, que utilidade teria para o homem a inteligência?”

Joaquim Nabuco (1849-1910), *Pensées Détachées et souvenirs, II*. (Trad. de Carolina Nabuco).

DEDICATÓRIA

À Minha filha:
Rebecca Gonçalves

à minha esposa:
Maria de Lourdes

à minha mãe:
Marlene Barreto

Ao meu irmão:
César Augusto

Dedico em especial à memória de:

Igor Vladimir (* 26/02/1979 – † 18/04/2003) - Irmão querido.

José Carlos (* 14/05/1946 – † 15/05/2003) - Pai zeloso.

Helena Pimentel (* 06/08/1919 – † 05/09/2008) - Avó especial.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dr.^a Carmen Medeiros Limongi pela orientação, dedicação, apoio, paciência e por aceitar me conduzir cientificamente neste grande desafio.

À Prof^a Dr^a Maria Elisabeth de Araújo, pelos inúmeros incentivos, conselhos e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Daniel Acosta Avalos, pela boa vontade de comparecer a minha banca examinadora e pelos inúmeros esclarecimentos sobre a Magnetobiologia.

À Prof^a Dr^a Kênia Valença Correia, por ter plantado em mim a semente do conhecimento acerca do magnetismo animal.

À Profa. Dr^a Maria José do CAC pelas correções de português feitas na minha dissertação e pelos seus valiosos conselhos.

Profa. Dr^a Gilda da Editora Universitária, por suas dicas acerca da estrutura do meu trabalho e pelo seu incentivo.

Ao prof. Dr. Wilson Vieira do CEFET-PE pelos ensinamentos acerca do funcionamento das bobinas e solenóides, e pelo apoio científico.

Ao Prof. MSc. Guilherme do CEFET-PE por elucidar vários aspectos do campo geomagnético.

Aos técnicos em eletrônica Jardenes Fernando de Oliveira Junior e Dalasiel Lima dos Santos pela colaboração no cálculo e montagem das bobinas de Helmholtz e por suas amizades.

Ao Engenheiro de Pesca Franco Cavallazzi que tão gentilmente cedeu os espécimes de *Litopenaeus vanammei* possibilitando os testes de laboratório.

Ao pescador Sr. Jairo e a toda sua família pelo apoio, boa vontade e hospitalidade nas ocasiões em que executei os experimentos em ambiente natural no litoral Sul de Pernambuco e pelo aprendizado proporcionado na prática da navegação costeira, na previsão do tempo e na pesca com covos. Agradeço também aos companheiros de despesca Sr. Manuel e ao André por sua ajuda durante os embarques.

Ao prof. Dr. Antônio de Azevedo do Departamento de Física da UFPE, pelas produtivas conversas acerca do campo magnético.

Ao Prof. Dr. Francisco Fernandes Amâncio do Departamento de Biofísica da UFPE, pelo apoio, incentivo e conhecimentos passados bem como pelos contatos com bons profissionais que me propiciou.

A Prof^a. Dr^a. Beatrice Padovani Ferreira pela gentileza em aceitar participar da banca examinadora deste trabalho.

À Profa. Dr^a Núbia Chaves Guerra pela ajuda científica e amizade.

Ao Prof. Paulo Barros pelos aprendizados proporcionados na sua disciplina, Magnetometria Avançada 1, que tive a honra de cursar.

Ao amigo Alexandre Bulhões por ter tão gentilmente cedido sua casa na praia do Paiva e ter me ajudado a entrar em contato com o pescador Sr. Jairo, auxiliando nos testes em ambiente natural.

Aos pesquisadores: Débora Lucatelli de Albuquerque; Catarina Lourdes Araújo Silva; Jesser Fidelis Souza Filho e Vanessa Mendes Marques pelo apoio científico na identificação dos peixes e outros diversos organismos.

A todos os professores e funcionários do DOCEAN.

Carlos Geraldo Barreto Gonçalves

**INFLUÊNCIA DO CAMPO MAGNÉTICO ARTIFICIAL SOBRE O
COMPORTAMENTO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* (PENAEIDAE) E A
CAPTURA DE PEIXES NA PESCA COM COVOS**

RESUMO

Este trabalho enfoca o comportamento de organismos marinhos (peixes e camarões) submetidos a um campo magnético artificial e a utilização desta resposta magnética como mecanismo para atrair ou afastar esses organismos de/para áreas específicas. Apesar do campo geomagnético se fazer presente no planeta muito antes do surgimento da vida, pouco se conhece sobre a sua interação com os organismos vivos. Este campo constitui uma das fontes de informação direcional mais uniforme e acessível que os animais podem utilizar em suas migrações. São sensíveis ao campo geomagnético espécies de tartarugas marinhas, aves, peixes, mamíferos, anfíbios, insetos, moluscos e crustáceos. Os objetivos deste estudo foram constatar possíveis respostas comportamentais geradas através de campo magnético artificial em diferentes intensidades no camarão *Litopennaeus vannamei* em condições de laboratório e em alguns peixes ósseos importantes economicamente (no ambiente natural). Assim como idealizar a construção de um par de bobinas magnéticas dimensionadas para testes de magnetobiologia de comportamento em pequenos animais marinhos, sendo útil tal equipamento, não apenas para este trabalho como para outros relacionados ao tema. Os resultados obtidos através de testes utilizando 17 armadilhas tipo covo (marcadas e não marcadas com magneto permanente de 480 Gauss) em ambiente costeiro demonstraram que existem diferenças numéricas significativas na captura entre cada covo. Os covos com magneto apresentaram uma maior quantidade de organismos capturados comparado aos covos isentos de magnetos. Os resultados gerados no laboratório, com o uso de um par bobinas circulares e quatro aquários (quatro tratamentos e um controle, contendo 20 camarões cada), evidenciaram a redução da atividade do *L. vannamei* quando expostos a 60 μ T e sua paralisia total a partir de 150 μ T.

Palavras-chave: oceanografia física; campo magnético artificial; magnetismo animal; magnetobiologia; biomagnetismo; camarão *Litopenaeus vannamei*; pesca com covos; comportamento animal.

Carlos Geraldo Barreto Gonçalves

INFLUENCE OF ARTIFICIAL MAGNETIC FIELDS UPON THE BEHAVIOR OF THE SHRIMP *Litopenaeus vannamei* (PENAEIDAE) AND FISH CATCH USING FISH-TRAPS

ABSTRACT

This work focuses on the behavior of marine organisms (fishes and shrimps) when submitted to artificial magnetic fields and on the use of this behavior as a mechanism to attract or to move away these organisms to/for specific areas. Although the geomagnetic field has existed in the planet a long time before of the beginning of the life rise little is known about its interaction with the living beings. This field constitutes a directional information guide, and it is easily accessible and uniform that animals can use in its migrations. Species of sea turtles, birds, fish, mammals, amphibians, insects, clams and crustaceans are sensible to the geomagnetic field. The goals of this study were, evidence behavior generated by artificial magnetic fields in different intensities on *Litopennaeus vannamei* shrimp under laboratory conditions and on some important economically fishes (in the natural environment). As well as idealizing the construction of a pair of dimensioned magnetic coils for tests magneto biology behavior in small marine animals, being useful such equipment, not only for this work but also for other relates to the subject. The results gotten with the tests using 17 fish-traps (marked and not marked with a permanent magnet of 480 Gauss) in coastal environment, had demonstrated the existence of significant numerical differences in the capture between each fish-trap. Catches in fish-traps with magnetos were significantly higher them that in fish-traps without magnetos. The results generated in the laboratory, with the use of a pair of circular coils and four aquariums (four treatments and a control, with 20 shrimps each), had evidenced the reduction of the activity of the *L. vannamei* when exposed to a 60 μ T and its complete paralysis for fields bigger than 150 μ T.

Keywords: *physical oceanography, artificial magnetic fields, animal magnetism; magneto biology; biomagnetism; shrimp Litopenaeus vannamei; fish-traps; animal behavior.*

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 O Magnetismo	4
2.2 Magnetita: essência do magnetismo animal.....	8
2.3 O Magnetismo e as Pesquisas Aplicadas aos Organismos Marinhos.....	10
2.3.1 Peixes, Orientação e Magnetorecepção.....	11
2.3.2 O Camarão Penaeidae <i>Litopenaeus vannamei</i> e seu cultivo	16
3. JUSTIFICATIVA	21
4. OBJETIVOS	23
4.1 Objetivo Geral.....	23
4.2 Objetivos Específicos	23
5. HIPÓTESES DE TRABALHO.....	24
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
6.1 Experimentos em Ambiente Natural	25
6.1.1 Área de Pesca	25
6.1.2 Desenho Experimental	27
6.2 Experimentos em Laboratório.....	33
6.2.1 Concepção e Montagem do Sistema de Bobinas Circulares.....	33
6.2.2 Obtenção e Aclimação dos Espécimes Teste	36
6.2.3 Desenho Experimental	38
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
7.1 Experimento em ambiente natural.....	40
7.2 Experimento em Laboratório com o Camarão <i>Litopenaeus vannamei</i>	56
8. CONCLUSÕES	61
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do campo magnético e dos pólos geográficos terrestres. FONTE: http://www.portale.ingv.i.t/temi-ricewrca/la-terra , 2009.....	6
Figura 2. Magnetita incrustada na rocha e detalhe da sua estrutura. FONTE: SANTANA (2008).....	9
Figura 3. (A) Lamela olfatória da narina de salmão (<i>Oncorhynchus nerka</i>); (B) detalhe dos arranjos lineares de cristais de magnetita das lamelas. FONTE: WALKER <i>et al.</i> (1997).....	14
Figura 4. Esquema de percepção de corrente elétrica induzida pelo deslocamento de um peixe através de um campo magnético. FONTE: ACOSTA-AVALOS (2006).....	15
Figura 5. O camarão não nativo <i>Litopenaeus vannamei</i> empregado em cultivo.	16
Figura 6. Ciclo de vida do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> (FONTE: MAGALHÃES, 2004).....	18
Figura 7. Localização dos locais de pesca (G1-G5) onde foram conduzidos os experimentos em condições naturais.	25
Figura 8. Vista panorâmica da área de pesca utilizada para os experimentos em ambiente natural e detalhe dos afloramentos rochosos na praia de Pedra do Xaréu.....	26
Figura 9. Embarcação e motor a diesel utilizados nas pescarias e embarcação a remo (canto superior esquerdo) utilizada para chegar da praia até a mesma.	27
Figura 10. Magnetos permanentes utilizados nos covos.....	28
Figura 11. Covos artesanais empregados nas pescarias.....	28
Figura 12. Esquema do arranjo dos grupos de covos e flutuadores de sinalização.	30
Figura 13. Exemplo de capturas obtidas em diferentes covos e pescarias.	32
Figura 14. Diagrama da bobina de Helmholtz. FONTE: TOGINHO FILHO & LAURETO, 2008).	33
Figura 15. Representação das linhas de campo magnético entre duas bobinas iguais, de raio R, (A) dispostas a uma distância $L > R$; (B) dispostas a uma distância $L = R$ e (C) dispostas a uma distância $L < R$. (FONTE: TOGINHO FILHO & LAURETO, 2008).	34
Figura 16. Arranjo geral das bobinas de Helmholtz utilizadas nos testes em laboratório.	35
Figura 17. Fonte digital variável DC Minipa, MPL 1303 (30V/3A) de alimentação das bobinas.....	36
Figura 18. Viveiro da fazenda fornecedora dos camarões (<i>Litopenaeus vannamei</i>) teste e da caixa de transporte.	37
Figura 19. Aquários utilizados na aclimação e testes.....	37
Figura 20. Capturas durante a pescaria 1. Covos 1 a 13.	42
Figura 21. Capturas durante a pescaria 2. Covos 1 a 6	43
Figura 22. Capturas durante a pescaria 3. Covos 1 a 6	44
Figura 23. Capturas durante a pescaria 4. Covos 1 a 6	45
Figura 24. Captura durante a pescaria 5. Covos 1 a 17.....	46
Figura 25. Captura durante a pescaria 6. Covos 1 a 17	47

Figura 26. Capturas durante a pescaria 7. Covos 1 a 17.	48
Figura 27. Índices médio de diversidade Shannon-Wiener das capturas nos covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.	51
Figura 28. Ocorrência de ataques a covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.	54
Figura 29. Índices de captura por hora de pesca efetiva para os covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.	55
Figura 30. Comprimento médio dos peixes capturados nos covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.	55
Figura 31. Ocupação percentual das regiões norte, central e sul do aquário teste por <i>L. vannamei</i> nos experimentos 1 a 3 durante exposições a campos magnéticos de 30, 60, 150 e 300 μ T.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de corrente e tensão para obtenção dos diferentes valores de campo.	38
Tabela 2. Peixes identificados nas capturas com covos com e sem magneto.	40
Tabela 3. Número de espécimes capturados nos covos com magneto (c/Mg) e sem magneto permanente (s/Mg) e capturas médias (por covos) nas sete pescarias experimentais.....	41
Tabela 4. Percentagem de ocupação das áreas sul, central e norte dos aquários por camarões <i>L. vannamei</i> submetidos a diferentes intensidades de campo magnético artificial.....	58
Tabela 5. Quadro sumário da análise de variância (ANOVA).....	58
Tabela 6. Quadro sumário dos testes de comparação das médias de ocupação das áreas sul, central e norte dos aquários controle e expostos a campos magnéticos artificial de 30, 60, 150 e 300 μ T.....	59

1. INTRODUÇÃO

O campo magnético terrestre ou campo geomagnético é composto de três campos principais: externo, local e principal, este último representa cerca de 95% do campo geomagnético. Comporta-se como um imenso imã centrado no interior da terra onde partículas imantadas tendem a se orientar na direção do norte magnético (NETO; PONZI; SICHEL, 2004). Existem também no planeta verdadeiros depósitos de minerais magnéticos, como magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3), presentes na matriz mineralógica de certas rochas magmáticas da terra e que geram magnetização, caracterizando o campo magnético local. Este campo é responsável pelas anomalias magnéticas presentes no interior da terra (NETO; PONZI; SICHEL, 2004).

O campo geomagnético é um componente abiótico em que os seres vivos interagem permanentemente e tem estado presente desde muito antes do surgimento da vida em nosso planeta (ACOSTA-AVALOS *et al.*, 2000). A interação complexa, com uma dinâmica temporal não repetitiva, tem levado os seres vivos a tomarem diferentes caminhos evolutivos (ACOSTA-AVALOS *et al.*, 2000). A percepção de sinais do meio por microrganismos e animais superiores leva ao desenvolvimento de diferentes mecanismos ao longo do tempo, que são responsáveis pela sobrevivência das espécies, como a orientação e a navegação, contribuindo para o processo de seleção natural (SKILES, 1985).

Os organismos individuais não somente se adaptam ao ambiente físico, mas, através da sua ação conjunta nos ecossistemas, também se adaptam o ambiente geoquímico para atender as suas necessidades biológicas. Desta forma, as comunidades de organismos e seus ambientes de entrada e saída desenvolvem-se em conjunto, como os ecossistemas. (NETO; PONZI; SICHEL, 2004). A presença e o sucesso de um organismo ou de um grupo de organismos dependem de um complexo de condições ambientais. Fatores abióticos tais como o pH, salinidade, luminosidade, elementos climáticos (ventos, chuva, pressão, temperatura e umidade), correntes superficiais e profundas, concentração de sais dissolvidos na água, são comuns em pesquisas ecológicas e oceanográficas. Muito embora o

campo geomagnético apresente um papel seletivo e condicionante significativo para os seres vivos, sua inclusão no conjunto científico dos demais fatores abióticos é ainda inexpressiva nos vários ramos de estudos (GONÇALVES, 2006).

A oceanografia abrange o estudo dos ambientes costeiros, marinhos e oceânicos e de suas biotas, e busca de forma interativa, compreender os mecanismos físicos, químicos, geológicos e biológicos que operam nesses ambientes. Tendo em vista que os oceanos e mares correspondem a cerca de 72% da superfície terrestre, que a vida começou na água, e que os organismos vivos e seu ambiente estão inseparavelmente inter-relacionados (ODUM, 1988), fica evidente a importância de se buscar entender como o campo magnético terrestre influencia os organismos aquáticos.

Trabalhos como os de SIMMONS *et al.* (2004), LINS DE BARROS & ESQUIVEL (2000) e BLAKEMORE (1975) evidenciam o papel do magnetismo terrestre sobre o comportamento e ecologia de organismos marinhos, como bactérias planctônicas flageladas e outras bactérias com propriedades biológicas magnéticas. Sugerem que o mesmo possa também influenciar outros seres vivos e reforçam a importância de sua inclusão em estudos de nos campos da oceanografia, taxonomia, ecologia, evolução, bioquímica celular, microbiologia, e muitas outras.

Embora muitos efeitos no comportamento dos seres sejam reconhecidos, os diferentes mecanismos que cada espécie utiliza para perceber esse campo são ainda pouco compreendidos (LINS DE BARROS & ESQUIVEL, 2000). Os efeitos que os campos magnéticos podem produzir sobre os organismos vivos são em geral tratados pela magnetobiologia, (CARNEIRO *et al.*, 2000) enquanto o biomagnetismo trata dos campos magnéticos gerados pelo próprio organismo vivo (atividade de despolarização celular) ou por marcadores magnéticos presentes no mesmo como substâncias paramagnéticas ou ferromagnéticas (ARAÚJO *et al.*, 1999).

O biomagnetismo é um campo de estudo relativamente novo, se comparado com outras áreas interdisciplinares envolvendo a física. Somente a partir da década de 70, com o desenvolvimento de sensores magnéticos ultra-sensíveis, como o

SQUID, foi possível desenvolver experiências nesta área, haja vista, que há uma necessidade de instrumentação avançada na detecção de campos com mínimas intensidades no organismo. (CARNEIRO *et al.*, 2000).

O termo magnetotaxia é empregado para indicar o efeito do campo magnético sobre os organismos na forma de resposta passiva sem orientação ou deslocamentos espaciais complexos. Ou seja, o animal ao perceber o campo responde de forma imediata quer seja alinhando-se às suas linhas de fluxo, quer seja na forma de uma outra resposta comportamental como o atordoamento.

As interações do campo magnético com os seres vivos abrange um amplo espectro de questões, que vão desde o mistério das migrações de peixes e outros animais, até o estudo da Física Quântica em cristais magnéticos de proporções nanométricas presentes no interior de vários microorganismos (LINS DE BARROS & ESQUIVEL, 2000). Apesar de sua importância, o campo magnético é ainda um fator ambiental pouco estudado relativamente aos demais fatores abióticos. Esse panorama é ainda mais desfavorável, quando se considera os trabalhos que incluem a influência do campo magnético no comportamento e/ou aplicada aos organismos marinhos.

O presente estudo foi conduzido visando investigar experimentalmente, possíveis respostas comportamentais pelo camarão *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) e por peixes ósseos capturados na pesca com covos quando expostos a campo magnético artificial de diferentes intensidades e que pudessem ser posteriormente empregadas como ferramenta de proteção ambiental, como por exemplo, para afastar organismos de áreas impactadas; para reduzir as capturas de organismos não alvo da pesca comercial (*by catch*); atrair organismos migratórios para as escadas de passagens em áreas de represas, etc., bem como adaptar e desenvolver um sistema para condução de testes de resposta comportamental a exposição de campo magnético para pequenos animais marinhos.

2. ANTECEDENTES

2.1 O Magnetismo

A história do magnetismo iniciou-se muito cedo com os nossos antepassados pertencentes às civilizações da Ásia Menor e foi nesta região conhecida como Magnésia que foram encontradas algumas rochas que tinham o poder de atrair uma outra. Os primeiros fenômenos magnéticos observados foram, sem dúvida, aqueles associados aos chamados imãs naturais, fragmentos das rochas (minério de ferro) encontradas perto da cidade de Magnésia. Esses imãs naturais têm a propriedade de atrair ferro desmagnetizado, o efeito sendo mais pronunciado em certas regiões do imã conhecidas como pólos.

A primeira aplicação tecnológica dos materiais magnéticos foi a bússola, inventada pelos chineses em torno de 2000 a.C. A bússola tornou-se um instrumento de grande utilidade para os povos da Ásia e da Europa em seus deslocamentos, e também serviu para aguçar a curiosidade dos cientistas (REZENDE, 2000)

Os chineses já sabiam, desde 121 D.C., que uma barra de ferro, depois de colocada perto de um imã natural, adquiria e retinha essa propriedade do imã e que quando uma dessas barras era suspensa livremente em torno de um eixo vertical, ela se dispunha, aproximadamente, ao longo da direção geográfica Norte-Sul. Este fenômeno levou a utilização dos imãs como instrumentos de navegação, pelo menos, desde o século XI. Durante muitos anos, o estudo dos fenômenos magnéticos esteve restrito aos imãs feitos daquele modo.

Os primeiros relatos sobre as propriedades surpreendentes de um certo minério de ferro foram feitos pelos gregos e datam de 800 a.C. o minério conhecido hoje como magnetita, durante séculos intrigou cientistas e filósofos como suas propriedades de atrair e repelir minérios de ferro e de se orientar na terra. Passaram-se séculos para surgir o primeiro livro sobre o assunto. Foi publicado em latim em 1269 d.C., no qual Piere Pélerin de Maricourt discorria sobre as

propriedades dos magnetos, tornando-se o primeiro tratado de física experimental. Cerca de três séculos depois, mais precisamente em 1600, William Gilbert publicou seu famoso livro, “De Magnete”, que descrevia situações e tentava explicar como uma agulha magnética se orientava na terra. Gilbert nasceu em 1544, portanto depois de Copérnico e antes de Galileu, e tendo vivido na época da renascença não conhecia o método científico. Seu livro é um exaustivo compêndio que mistura um pouco de ciência e muita filosofia, especulações e superstições (REZENDE, 2000)

A Terra, assim muitos dos planetas do sistema solar, possui um campo magnético natural. O campo magnético terrestre pode ser comparado ao de um dipolo geocêntrico, com as linhas de força por ele originadas estando distribuídas no espaço como se um ímã cujo Pólo Sul estaria localizado no hemisfério norte estivesse situado no centro da Terra (MUNDIM, 1997).

Os pólos magnéticos estão deslocados em relação aos pólos geográficos (eixo de rotação) e a sua posição varia ao longo do tempo. O pólo norte magnético (pólo negativo) está situado próximo do paralelo 79.° N, enquanto que o pólo sul magnético (pólo positivo) se encontra localizado a 79.° S de latitude. O eixo que une os dois pólos magnéticos forma um ângulo em relação ao eixo de rotação de aproximadamente 11°. Este campo magnético é responsável pela orientação da agulha magnetizada de uma bússola (Fig. 1).

Embora o magnetismo e a eletricidade sejam fenômenos diretamente relacionados, esta relação só foi claramente estabelecida no século dezenove. Até 1819, não havia sido mostrada conexão alguma entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Naquele ano, o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted (177-1851) observou que um ímã pivotado (um agulha magnética) era defletido quando colocado na vizinhança de um fio por onde passava uma corrente elétrica. Doze anos mais tarde, depois de tentativas que se estenderam por vários anos, o físico inglês Michael Faraday (1791-1867) verificou que aparecia uma corrente momentânea em um circuito quando, em um circuito vizinho, se iniciava ou se interrompia uma corrente.

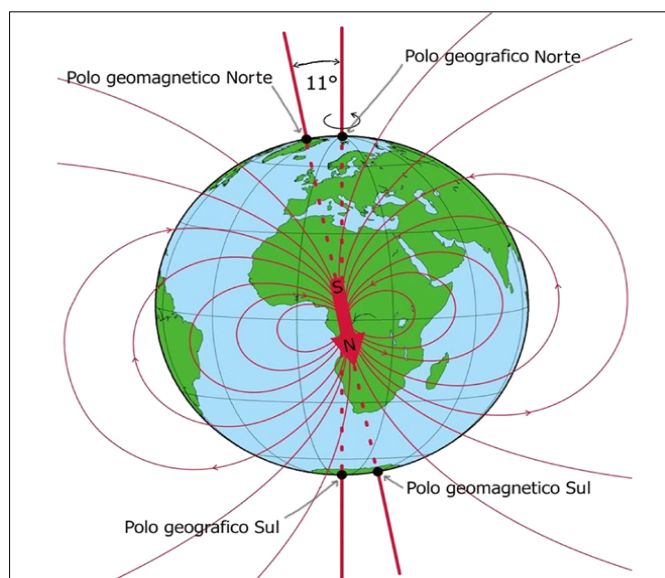


Figura 1. Ilustração do campo magnético e dos polos geográficos terrestres. FONTE: <http://www.portale.ingv.i.t/temi-ricewrca/la-terra>, 2009.

Pouco depois, seguiu-se a descoberta de que o movimento de um ímã se aproximando ou se afastando de um circuito produziria o mesmo efeito. Joseph Henry (1797-1878), cientista americano havia se antecipado de uma das descobertas de Faraday. Porém, como este último foi o primeiro a publicar os seus resultados, os créditos são-lhe, usualmente, atribuídos (MUNDIM, 1997).

Em 1920, Oersted demonstrou que efeitos magnéticos podiam ser produzidos por cargas elétricas em movimento. No entanto, não considerou que na corrente elétrica ocorrem perdas de elétrons de camadas mais afastadas desequilibrando a força magnética do material condutor e esta diferença magnética positiva cria um campo magnético, não a corrente elétrica em si.

Acredita-se, hoje em dia, que os chamados fenômenos magnéticos resultam de forças entre cargas elétricas em movimento. Isto é, cargas em movimento, relativo a um observador, criam tanto um campo magnético quanto um campo elétrico e esse campo magnético exerce força sobre um segunda carga que esteja em movimento em relação ao observador. O campo elétrico é criado pelo movimento dos elétrons (rotação, de spin ou na própria corrente elétrica). A corrente elétrica, por si só, não cria campo magnético.

O campo magnético estando relacionado à atração entre pósitrons e elétrons. Quando não existe uma diferença de potencial, o campo magnético dos pósitron a mais nos prótons é anulado pelo campo magnético dos elétrons. Por outro lado, se existe uma diferença de potencial e ocorre corrente elétrica, a saída dos elétrons deixa o átomo com “excesso” de pósitrons, resultando na formação de campo magnético. Quando os elétrons giram em torno do núcleo ocorre formação de um campo elétrico, mas o campo magnético existe na atração do pósitron ao elétron, mas a força magnética resultante está equilibrada pelo pólo positivo pósitron a mais do núcleo e o pólo negativo elétron da eletrosfera. A possibilidade de que as propriedades magnéticas da matéria resultassem de minúscula correntes atômicas foi, primeiramente, sugerida por Ampère em 1820.

Em 1913 Bohr divulga sua teoria quântica e propõe um modelo para o átomo que explicava as linhas discretas do espectro de descarga no hidrogênio e em outros gases. Em 1922 Stern fez as medidas do momento angular e do momento magnético do elétron. Em 1927 a mecânica quântica era reformulada corretamente por Schrödinger e Heisenberg.

A partir da década de 1950, as propriedades dos materiais magnéticos passaram então a integrar os livros didáticos e os especializados da nova área da física que se formava a física do estado sólido. Ao mesmo tempo a pesquisa em magnetismo ganhou dimensão, surgiram revistas especializadas na área, encontros e conferencias de magnetismo, e a área firmou-se como um importante ramo da física e da ciência (REZENDE, 2000).

Um aspecto realmente importante do magnetismo é a aproximação que existe entre pesquisa básica e pesquisa aplicada. Isto decorre da crescente sofisticação que existe nas aplicações tecnológicas de materiais magnéticos.

Esses materiais desempenham papel de destaque na tecnologia moderna, pois encontram aplicações em um grande numero de produtos e processos industriais nos mais variados setores (REZENDE, 2000). O que se expõe neste

trabalho é apenas uma das aplicações do magnetismo na oceanografia física para compreensão do mecanismo biológico magnético dos organismos marinhos.

2.2 Magnetita: essência do magnetismo animal

Os óxidos de ferro exercem papel fundamental na crosta terrestre dada a abundância do ferro e suas propriedades. Dentre eles, destaca-se a magnetita (Fe_3O_4), que é um óxido de ferro com características bastante peculiares. À temperatura ambiente, a magnetita tem uma estrutura cristalina cúbica formada por dois sítios: um octaédrico e outro tetraédrico. Nessa estrutura cristalina encontram-se átomos de Fe^{2+} e de Fe^{3+} , distribuídos da seguinte forma: $[\text{Fe}^{3+}]\{\text{Fe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}\}\text{O}_4$, em que [] sítio tetraédrico e { } sítio octaédrico (Fig. 2).

O sistema cristalino cúbico confere à magnetita dois tipos de *spins* cuja propriedade ferrimagnética está entre 850 e 127 K. A uma temperatura de 850 K a magnetita apresenta a transição Curie e a 127 K, a transição Verwey. O arranjo cristalino confere à magnetita a capacidade de ter propriedades magnéticas, o que permitiu que a mesma fosse usada nas antigas cabeças de gravação, na fitas cassetes, no armazenamento de informações, filmes finos, (DIEBOLD, 2008). mais tarde sendo substituída pelo Crômio. A magnetita é também empregada em trens balas e mais recentemente no tratamento e diagnóstico de câncer. (DIEBOLD, 2008).

Na natureza, a magnetita é encontrada incrustada em rochas (Fig. 2) e solo, Por causa dos seus processos de formação é normal encontrar em sua estrutura cúbica cátions, que são diferentes do Fe. As presenças desses cátions substituintes do Fe fizeram com que alguns autores considerassem a magnetita uma fonte de nutrientes para o solo. Esse processo ocorre durante a sua transformação a hematita (gama- Fe_2O_3).

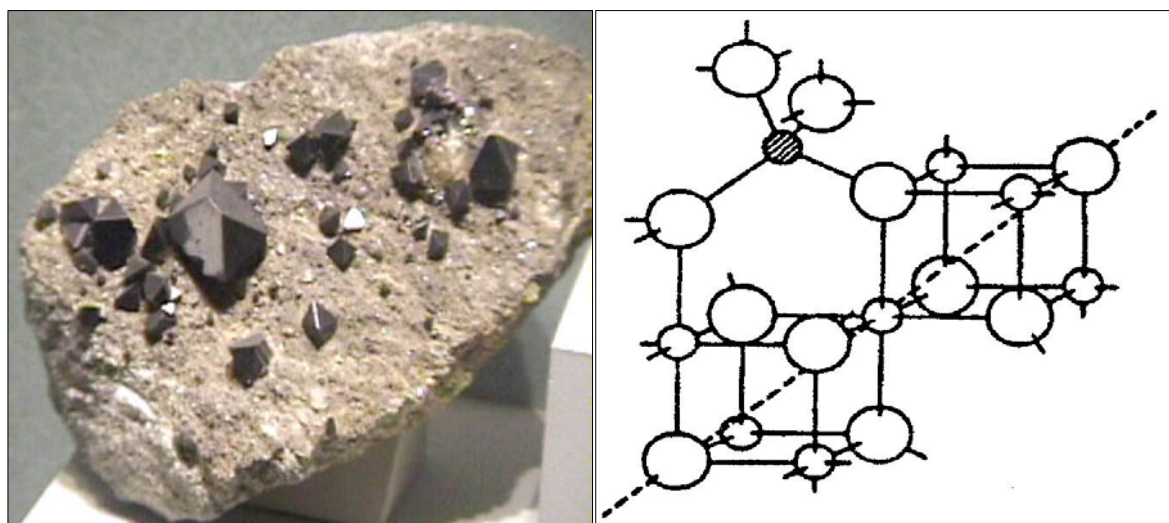


Figura 2. Magnetita incrustada na rocha e detalhe da sua estrutura. FONTE: SANTANA (2008)

A magnetita também é encontrada em bactérias (*magnetospirillum*, *magnetotacticum*) e abdômen de abelhas, antenas de cupins, corpo de alguns pássaros e até mesmo em cérebros humanos. Partícula magnéticas foram observadas por microscopia eletrônica, na base dos pêlos pretos e duros da região antero dorsal do abdômen da abelha *Apis mellifera*, e através de estudos de ressonância paramagnética eletrônica também foram revelados em abdomens da formiga *Pachycondyla marginata* pequenos aglomerados de nanopartículas magnéticas (ACOSTA-AVALOS, 2000). (Acredita-se que os cristais de magnetita estão envolvidos na magnetorecepção, no senso de polaridade ou inclinação do campo gravitacional da terra.

Na área biomédica, a magnetita tem sido utilizada na nanotecnologia (ou nanobiotecnologia). Dadas as suas propriedades físicas e químicas esse óxido de ferro possui potencial para produzir avanços importantes no diagnóstico por imagem e terapêutica do câncer (DIEBOLD, 2008).

As primeiras hipóteses sobre a influência do campo magnético no comportamento dos organismos vivos remontam à década de 50, através das observações na orientação de pombos (KIRSCHVINK, 1982). Os efeitos que o campo geomagnético produz nos sistemas biológicos são comprovados desde a

década de 70, quando foram descobertas bactérias que respondem diretamente a este comando magnético, nadando na direção das linhas de campo (BLAKEMORE, 1975), constituindo a primeira evidencia inequívoca de que o campo magnético pode influir diretamente no comportamento do ser vivo (LINS DE BARROS & ESQUIVEL, 2000).

Muitas espécies de animais efetuam suas migrações orientando-se por diferentes sinais ambientais, por exemplo, a posição do sol, das estrelas, a luz polarizada, percepções química no ambiente configurando os estímulos olfativos, sons de baixa frequência, direção do vento, e inclusive, pelo campo magnético terrestre (ABLE, 1980).

O campo geomagnético constitui uma das fontes de informação direcional mais uniforme e acessível que os animais podem utilizar em suas migrações. São sensíveis ao campo geomagnético espécies de tartarugas marinhas, aves, peixes, mamíferos, anfíbios, insetos, moluscos e crustáceos (WILTSCHKO & WILTSCHKO, 1995). Alguns representantes da classe Malacostraca, como os camarões, são influenciados, em termos de comportamento, pelo campo magnético ou utilizam as forças geradoras das marés para realizar a navegação vertical (PIO, 2003).

2.3 O Magnetismo e as Pesquisas Aplicadas aos Organismos Marinhos

O magnetismo é atualmente um dos campos de pesquisa mais férteis e mais ativos na física da matéria condensada. Do ponto de vista da pesquisa básica, os fenômenos magnéticos representam uma aplicação complexa de mecânica quântica, física estatística e eletromagnetismo, atraindo assim a atenção de físicos teóricos e experimentais (REZENDE, 2000). A mesma afinidade, porém, não ocorre entre pesquisadores das áreas da oceanografia, ciências biológicas e áreas afins. A divulgação de trabalhos em biomagnetismo em revistas específicas dessas áreas, sobretudo no Brasil, é ainda reduzida, mas aos poucos começa a ganhar maior expressão.

No Brasil as pesquisas envolvendo a resposta de organismos ao campo magnético estabeleceram-se razoavelmente tarde, apenas a partir dos estudos sistemáticos de Esquivel e Barros, no início da década de 80. Devido à falta de tradição desse tipo de pesquisa científica no país, e a dependência de grandes centros no exterior, somente em 1964 o jornal *Physics Letters* publicou o primeiro artigo de pesquisa em magnetismo feita no Brasil (REZENDE, 2000).

Dentre os principais tópicos de pesquisa atual em magnetismo, podemos destacar a influencia deste nos sistemas orgânicos (REZENDE, 2000). Este fenômeno físico-biológico necessita de estudos mais aprofundados para se compreender um pouco mais a vida em nosso planeta. A falta de equipamentos específicos para condução de testes experimentais de comportamento com pequenos animais marinhos instigou a idealização e construção de um sistema para tal, empregando-se um par de bobinas dimensionadas de modo a permitir a geração de campo magnético com intensidade variável de 0 a 300 μT , conforme detalhado mais adiante.

2.3.1 Peixes, Orientação e Magnetorecepção

Os peixes podem ser agrupados em duas grandes categorias, a dos cartilaginosos e a dos ósseos.

Os peixes cartilaginosos englobam os tubarões (cerca de 450 espécies), as raias (cerca de 600 espécies) e as quimeras (cerca de 30 espécies). São considerados, do ponto de vista evolutivo, os mais primitivos. Apresentam ainda como características primordiais o esqueleto e o crânio cartilaginosos, sem ossos verdadeiros, e por apresentarem pele rija, cobertas de escamas tipo placóide (ORR, 1986). A maioria dos peixes cartilaginosos é marinha, entretanto algumas espécies de raias e tubarões ocorrem em rios e lagos. Os tubarões e raias são predominantemente predadores, embora algumas de suas espécies, i.e. os tubarões-baleia e a raia jamanta alimentam-se de pequenos organismos que fazem parte do plâncton (STORER & USINGER, 1991). Os peixes cartilaginosos,

principalmente os tubarões, possuem uma importância ecológica relevante. Como são essencialmente predadores, estão inseridos no topo da cadeia alimentar, geralmente tendo como inimigos naturais apenas outros tubarões. Por esta razão, os tubarões, tal como os mamíferos marinhos, são considerados como indicadores da “saúde” do meio ambiente (FOWLER, 2000).

Os peixes ósseos caracterizam-se pela presença de nadadeiras raiadas (Actinoptérígios) e formam o maior e mais diversificado grupo dentre os vertebrados atuais, e estão estimados em 20.850 espécies (POUGH *et al.*, 1993). Apresentam grande biodiversidade nos mares, oceanos e águas continentais. São de enorme importância econômica e social em todo o mundo, pois constituem a parcela mais significativa dos recursos pesqueiros hoje explorados. Por exemplo, a pesca é uma das atividades mais importantes realizada na zona costeira, exercendo grande pressão e enorme influência sobre os recursos vivos, especialmente sobre os peixes ósseos (AQUASIS, 2003)

A orientação dos peixes usualmente é visual, mas estruturas sensoriais especiais, tais como, o sistema da linha lateral (que detecta as ondas de baixa frequência) e os eletorreceptores são muito desenvolvidos em alguns peixes (POUGH, 1993).

Partículas magnéticas presentes na linha lateral do salmão *Salmo solar L* vem sendo estudadas desde 1990. Medidas de magnetização utilizando um SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*) mostraram a presença de material magnético associado com a linha lateral de salmões (MOORE *et al.*, 1990). As partículas magnéticas foram isoladas da linha lateral e do tecido nervoso, e apresentavam características de uma magnetita de origem biogênica com tamanho apropriado para a magnetorecepção. Sua presença, possivelmente desempenha papel importante na orientação de salmões durante sua fase migratória (MOORE *et al.*, 1990).

Em algumas espécies das famílias Siluridae, Acipenseridae, Polyodontidae e Centrarchidae, também foram constatadas mudanças no comportamento quando

estes são submetidos a campo magnético induzido (MANN *et al.*, 1988).

Os estudos envolvendo magnetismo de animais marinhos são fundamentados em diversos modelos de percepção magnética, intermediada por receptores biológicos específicos. Vários modelos nos quais tais receptores podem mediar informação magnética têm sido propostos (THALAU *et al.*, 2007). O modelo da transdução ferromagnética, baseado na presença de nanopartículas magnéticas, é o modelo de magnetorecepção mais bem aceito atualmente (ACOSTA-AVALOS *et al.*, 2000). Este sistema agiria como um magnetômetro biológico detectando a intensidade magnética local (THALAU *et al.*, 2007).

No que se refere às espécies de peixes teleósteos, incluem-se neste âmbito os de importância comercial, estudos corroboram a existência de alterações na conduta (em termos de movimento) entre o animal e o seu meio. Quando estes são submetidos a estímulos magnéticos, é provado, além da sua relação com o campo magnético terrestre, que existe uma capacidade biológica em captá-los com o auxílio de órgãos sensitivos.

Foram encontrados alguns neurônios no nervo trigeminal em peixes da família Salmonidae, grupo que inclui as trutas e os salmões, peixes de elevado valor comercial, desportivo e gastronômico (ROGADO *et al.*, 2005). A truta arco-íris, por exemplo, (*Oncorhynchus mykiss*), responde a mudanças na intensidade no campo magnético aplicado. Finas ramificações do nervo estudado aproximam-se de células magnetoreceptoras na narina do animal (WALKER *et al.*, 1997) (Fig 3).

A proximidade da associação entre o nervo receptor magnético e as células candidatas à magnetorecepção, sugerem a existência de uma conexão funcional entre essas estruturas, fazendo com que a truta exiba padrões de resposta ao campo magnético, acompanhando inclusive, o deslocamento desse campo (WALKER & GREEN, 2000). Na família Salmonidae, os indivíduos apresentam preferências direcionais pela percepção do geomagnetismo, o que confere a este grupo um sistema magnetosensorial semelhante a dos demais vertebrados (QUINN *et al.*, 2005).

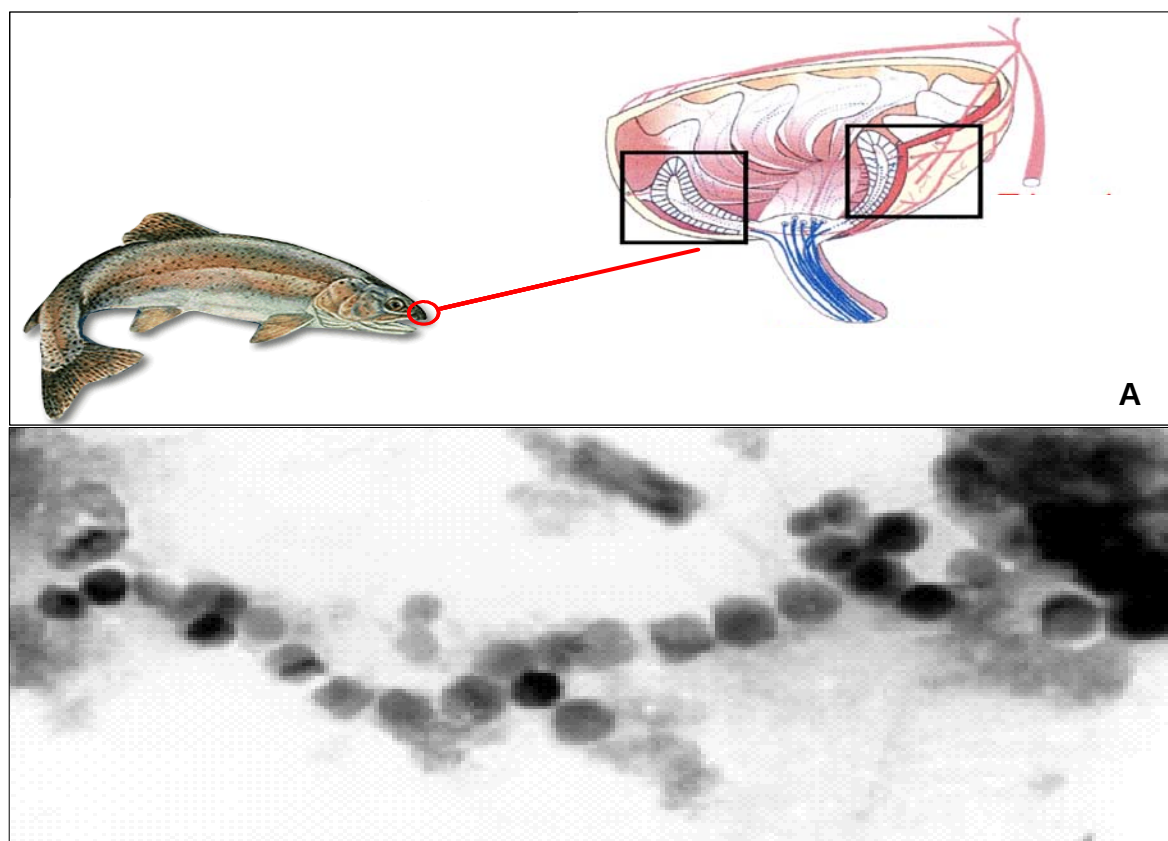


Figura 3. (A) Lamela olfatória da narina de salmão (*Oncorhynchus nerka*); (B) detalhe dos arranjos lineares de cristais de magnetita das lamelas. FONTE: WALKER *et al.* (1997).

Na década de 80, respostas a estímulos magnéticos em salmões foram comprovadas. Testes evidenciaram a expressão deste fator abiótico nos peixes, através do acompanhamento em laboratório na mudança de direção dos salmões, quando era alterada a posição do campo em aquários (QUINN & BRANNON, 1982).

A presença de respostas comportamentais e eletrofisiológicas, mediante diferentes intensidades de fluxo magnético em truta e salmões, evidenciam a presença de material magnético biogênico e cristalino, que no caso desses organismos, está localizado em uma camada discreta de célula em suas lamelas olfatórias), e sugerem que os outros vertebrados, além dos peixes, possam detectar o campo magnético (WALKER & GREEN, 2000). Existe uma grande complexidade quando se refere à distribuição do material magnético nos peixes marinhos. Por exemplo, descobertas acerca de partículas magnéticas associadas à linha lateral,

corroboram ainda mais o mecanismo das migrações em varias espécies (MOORE *et al.*, 1990).

Há uma diversidade de efeitos eletroquímicos, em níveis celulares, quando da presença do campo magnético. Uma das principais hipóteses é que tais efeitos são conseqüências do mecanismo da transdução magnetosensorial (SONNIER & MARINO, 2001).

Algumas espécies de peixe são equipadas com eletroceptores ao longo de seus corpos que possuem grande sensibilidade às flutuações do campo magnético (WALKER, 1984a). Por exemplo, os elasmobrânquios e os peixes elétricos, cujos órgãos laterais (como as ampolas de Lorenzini) produzem campos elétricos que os circundam, podem detectar em obediência à lei de Faraday, pequenas variações no campo magnético ambiental. Desta forma, o movimento de um peixe com sensibilidade elétrica num campo magnético induz uma corrente elétrica que pode ser percebida pelo peixe (ACOSTA-AVALOS, 2006) (Fig. 4).

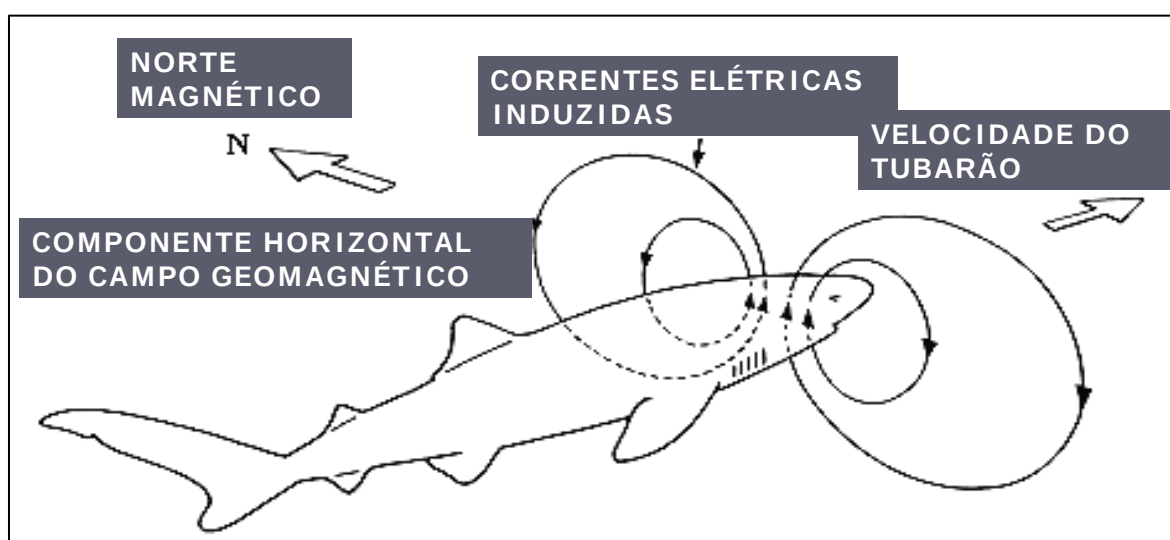


Figura 4. Esquema de percepção de corrente elétrica induzida pelo deslocamento de um peixe através de um campo magnético. FONTE: ACOSTA-AVALOS (2006).

Outros como o peixe ósseo *Thunnus albacares*, percebem diretamente pequenas variações na intensidade do campo geomagnético (WALKER, 1984b).

2.3.2 O Camarão Penaeidae *Litopenaeus vannamei* e seu cultivo

O camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Fig. 5) é uma espécie nativa da costa Sul Americana do Oceano pacífico, que se estende do Peru ao México, com acentuada predominância na faixa costeira do Equador, sendo cultivado em todos os países produtores de camarão do mundo ocidental.



Figura 5. O camarão não nativo *Litopenaeus vannamei* empregado em cultivo.

Com base nos trabalhos de Bownam e Abelle (1982), Schram (1986) e Pérez Farfante & Kensley (1997), citados por Magalhães (2004) é possível classificar o *Litopenaeus vannamei* na forma:

REINO: Animalia
FILO: Crustácea (Pennant, 1777)
CLASSE: Malacostraca (Latreille, 1806)
SUBCLASSE: Eumalacostraca (Grobbsen, 1892)
SUPERORDEM: Eucarida (Calman, 1904)
ORDEM: Decapoda (Latreille, 1806)
SUBORDEM: Dendrobranchiata (Bate, 1888)
SUPERFAMÍLIA: Penaeoidea (Rafinesque, 1815)
FAMÍLIA: Penaeidae (Rafinesque, 1815)
GÊNERO: *Litopenaeus*
ESPÉCIE: *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)

O *Litopenaeus vannamei*, apresenta em geral taxa de crescimento uniforme, fácil adaptabilidade a diferentes condições físico-químicas do meio ambiente, como por exemplo salinidade e temperatura (MAGALHÃES, 2004).

Este crustáceo pode chegar a 230 milímetros de comprimento e o comportamento reprodutivo no cativeiro é melhor que o do *Penaeus monodon*, tendo inclusive mostrado maior sobrevivência em laboratório. Tem uma excelente aceitação no mercado mundial o que dá maior segurança aos investidores (MAGALHÃES, 2004).

No Brasil a produção de camarão está concentrada nesta espécie que, corroborando as expectativas, adaptou-se muito bem aos estuários brasileiros (ROCHA, 2000). Seu crescimento num curto período, rusticidade e a facilidade em desenvolver-se em salinidades de 5 a 55, somadas à capacidade de utilização de uma dieta de níveis de proteínas variadas de 20 a 40%, em diferentes condições, tornam esta espécie a terceira mais cultivada no mundo (MENDES, 1999).

O camarão marinho *Litopennaeus vannamei* vive comumente em bancos de lama numa profundidade média de 72m e se distribui do leste do Pacífico, de Sonora/México até Tumbes, no norte da Peru (DORE & FRIMODT, 1979). No período reprodutivo os machos deixam as fêmeas fecundadas através do espermatóforo emanado pelo seu túlico. Ao ser fecundada uma fêmea de *Litopennaeus vannamei* pode desovar entre 100.000 a 250.000 ovos, o que equivale a uma biomassa de 30 a 45g de ovos com aproximadamente 0,22mm de diâmetro. A desova ocorre geralmente em mar aberto e em grandes profundidades, e quatorze horas após a desova, os ovos eclodem na forma de náuplios (AQUACOP, 1979).

O período larval do *Litopennaeus vannamei* (Fig. 6) se constitui de seis fases como náuplio, três como protozoa e três como mysis (KITANI, 1986), todas planctônicas. Quando se encontra com aproximadamente 0,88 a 3,00mm de comprimento realiza a metamorfose final para pós-larva (KITANI, 1993) assumindo hábitos bentônicos e migrando para áreas costeiras.



Figura 6. Ciclo de vida do camarão *Litopenaeus vannamei* (FONTE: MAGALHÃES, 2004)

Um dos principais motivos que impulsionam os interesses e os investimentos para o desenvolvimento da aquicultura é a crescente demanda em nível mundial por crustáceos, peixes e outros organismos aquáticos.

A aquicultura como atividade produtora de alimentos tem sua importância relevada quando a relacionamos com a finalidade de suprir o déficit da pesca extrativa. Este fato confirma seu crescimento contínuo nos últimos anos (CORREIA, 1993). Neste contexto destaca-se a carcinicultura, atividade de grande crescimento no Brasil, que inclui o cultivo de camarões marinhos, amplamente cultivados no Brasil, principalmente na região Nordeste (MAGALHAES, 2004).

A produção do camarão cultivado foi aproximadamente 60.128 toneladas em 2002, significando 43% do total produzido em todo o mundo, em que o volume nos

últimos dez anos esteve em torno dos 2 milhões de toneladas por ano (MAGALHÃES, 2004). A produção no Brasil foi 90.190 toneladas em 2003, com uma produtividade de 6.084 por kg/hectare/ano e com uma expectativa de 6.500 kg/hectare/ano para o ano seguinte (ROCHA *et al.* 2004).

O aparato tecnológico se reverte em eficiência e coloca o Brasil na posição de liderança mundial em produtividade superando os asiáticos, com tradição de quase 60 anos na atividade. O Brasil ocupou sexto lugar no ranking mundial de criadores de camarão. Todavia essa produção é considerada modesta frente ao enorme potencial da carcinicultura marinha brasileira. O Brasil pode ser levado à condição de maior produtor mundial de camarão marinho, graças à excepcional qualidade da água dos seus estuários em termos de produtividade natural, somada às favoráveis condições de topografia, temperatura, salinidade e luminosidade ao longo do ano (MAGALHÃES, 2004).

O cultivo de camarão é uma atividade em plena ascensão em todo o mundo (MAGALHÃES *et al.* 2007). No Brasil, apesar dos problemas enfrentados pelos carcinicultores, com relação a enfermidades que afetaram o camarão, em 2003 o país superou o Equador em produção e tornou-se líder desse segmento na América Latina (Associação Brasileira dos Criadores de Camarão, 2004).

A Bahia é o terceiro maior produtor de camarão em cativeiro do Brasil, e a região de Canavieiras, no Sul do Estado, possui um numero significativo de fazendas de cultivo e é a que mais se destaca nessa atividade. O *Litopenaeus vannamei*, conhecido como camarão branco do pacífico, foi introduzido no Brasil no início dos anos 80 e é, atualmente, a principal espécie de camarão marinho cultivada no país (GONÇALVES *et al.*, 2005).

O camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, a despeito da sua relevante importância econômica, não faz parte dos ecossistemas marinhos ou dulcícolas brasileiros. Por exemplo, na década de 80 teve início a prática da carcinicultura no Brasil a nível industrial com a introdução da espécie exótica *Penaeus Japonicus*.

Todavia, devido à inexistência de pesquisas que possibilitassem o alcance de produtividades economicamente aceitáveis e a inaptidão desta espécie em suportar baixas salinidades, a carcinicultura brasileira se viu obrigada a descartar o *P. japonicus* e redirecionar seus objetivos ao cultivo de espécies nativas, tais como o *P. subtilis*, *P. paulensis*, *P. schimitti* e *P. brasiliensis*, bem como para a espécie exótica *Litopenaeus vannamei* (MAIA, citado por MARQUES & ANDREATA, 1998).

Outrossim, é conhecido o potencial migratório desta espécie, tornando-o viável para testes de percepção do campo magnético, o que permitiu neste trabalho, tentar levantar e discutir, algumas hipóteses acerca dos deslocamentos ordenados desta espécie relacionando-as com as possíveis respostas biológicas ao campo magnético terrestre. O camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, bem como muitos representantes deste grupo, se reproduzem no mar e migram para as zonas costeiras onde se desenvolvem (SANTOS *et al.* 2002).

A importância econômica e ecológica do *Litopenaeus vannamei*, sua facilidade de obtenção, seu potencial migratório e sua adaptação ao ambiente artificial de laboratório, foram os principais fatores atrativos que favoreceram sua escolha para os testes experimentais em magnetobiologia. Por exemplo, animais estuarinos como o *Litopennaeus vannamei* são considerados ótimos osmorreguladores, devido à grande variação de salinidades destes ambientes (MENDES E PEDRESCHI, 1998). Este fato deixa claro a adaptabilidade deste animal às condições de laboratório.

3. JUSTIFICATIVA

Áreas costeiras e estuarinas desempenham importante função ecológica, servindo de berçário, sítios reprodutivos e de alimentação para espécies costeiras e marinhas (HOSS & THAYER, 1993; ROSS, 1987; ROUTREE & ABLE, 1993 e 1997). Esses ambientes acham-se hoje comprometidos pela carga poluidora a que vem sendo submetidos (FONSECA, 1995; FONSECA, 2003).

Organismos que habitam os estuários e poças de marés são particularmente impactados, devido à pequena dimensão de seu habitat e sua condição semi-fechada (LANA *et al.*, 1989). No que se refere aos peixes ósseos, as principais ameaças são: superexploração dos estoques das espécies de valor comercial; a captura de espécies de peixes ornamentais; e a degradação dos ambientes marinhos e costeiros (AQUASIS, 2003).

No presente trabalho, algumas espécies de peixes capturados na pesca artesanal com covos em áreas costeiras próxima ao Porto de Suape foram testadas, por serem estas mais susceptíveis à contaminação por óleos, metais e impactadas pelos lançamentos de efluentes por emissários submarinos, ou arrastadas por sistemas de captação de água. Neste sentido o uso do campo magnético na atração ou afastamento das espécies destas áreas, seria de grande importância para suas preservações.

Outra ameaça crescente aos sistemas costeiros se deve à introdução de espécies exógenas (bioinvasão) via água de lastro e/ou via cultivos comerciais em viveiros ou amadorista em aquários. A entrada de organismos não nativos em um ambiente é por si só fato preocupante, tendo em vista a possibilidade de vir a ocupar nichos importantes e de deslocar ou eliminar espécies locais pela falta de predadores ou competidores específicos e/ou pela disseminação de patógenos a ela associada. No Nordeste do Brasil já foram capturadas no meio natural (mar e estuário), concluindo o ciclo biológico, duas espécies de penídeos exóticos: *Penaeus monodon* e *Litopenaeus vannamei*. A colonização bem sucedida dessas espécies, especialmente o *L. vannamei*, poderia resultar numa competição indesejável (por

alimentação, espaço, dentre outros), além de existir a probabilidade de contaminação com vírus exóticos, contra os quais as espécies brasileiras não desenvolveram nenhum tipo de defesa imunológica (LIMA, 2004).

Dentre as espécies a serem testadas, destacamos o camarão não nativo *Litopenaeus vannamei*. A escolha desta espécie se deve principalmente ao fato da mesma estar sendo amplamente utilizada em cultivos comerciais, e não raro apresentam atacados por vírus (mancha branca, cabeça amarela) e de já haverem registros de escape da mesma para o entorno estuarino e de recifes de corais, com riscos de contaminação (LIMA, 2004).

Caso mostrem resposta positiva ao estímulo magnético no sentido de atordoamento, campos magnéticos poderiam ser aplicados às áreas de despesca e de comportas, como medida ambiental protetora para minimizar o escape desses organismos para áreas estuarinas e costeiras. A aplicação do conhecimento do magnetismo animal, sobretudo para organismos marinhos, em benefício do meio ambiente e da sociedade, outrossim, carece de informações atualizadas e constituem motivação da presente pesquisa.

Muitos fatores abióticos são convencionalmente utilizados nas pesquisas científicas envolvendo ecologia, como, pH, salinidade, concentração de nutrientes, luminosidade, elementos climáticos (ventos, chuva, pressão, temperatura e umidade), correntes superficiais e profundas, concentração de sais dissolvidos na água, dentre outros fatores (ODUM, 1988). Entretanto, pouca relevância é dada ao campo magnético, que pelo seu papel seletivo e condicionante para os seres vivos, deveria estar incluso no mesmo âmbito científico dos demais fatores. No presente trabalho, enfoca assim uma área ainda pouco explorada, mas com um grande potencial para aplicações ambientais.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Investigar experimentalmente, em condições naturais e controladas, a capacidade de algumas espécies de peixes economicamente importantes e do camarão Peneídeo *Litopenaeus vannamei* em utilizar seus órgãos sensoriais na detecção do campo magnético induzido artificialmente.

4.2 Objetivos Específicos

- Conceber e desenvolver a construção de um sistema empregando um par de bobinas circulares que possa ser utilizado na condução de testes de exposição a campo magnético de pequenos animais marinhos.
- Avaliar o efeito de diferentes intensidades de um campo magnético artificial produzido por um par de bobinas sobre o comportamento (natação, nível de agressividade e atordoamento) do camarão *Litopenaeus vannamei* e determinar o limiar de percepção e as faixas de diferentes respostas comportamentais ao campo magnético.
- Avaliar o efeito do campo magnético artificial, induzido por magnetos permanentes nas capturas artesanais de peixes de importância econômica empregando armadilhas tipo covos.
- Fornecer subsídios para futuros estudos do efeito do campo magnético sobre o comportamento de pequenos animais marinhos, e indícios científicos da existência de possíveis estruturas magnetoreceptoras presentes nos animais estudados a partir do comportamento observado e da base teórica do modelo da transdução ferromagnética.
- Ressaltar a importância do fator ambiental geomagnetismo, e colocá-lo na mesma categoria dos demais fatores abióticos usualmente utilizados em pesquisa de ecologia em ambientes marinhos.

5. HIPÓTESES DE TRABALHO

- O camarão *Litopenaeus vannamei* e alguns peixes, usualmente alvo da pesca costeira com covos, podem utilizar seus órgãos sensoriais na detecção do campo magnético e esta capacidade pode ser função do tamanho dos espécimes.
- Campos magnéticos de baixa intensidade (um pouco acima do campo da terra) podem ser percebidos pelos organismos teste.
- O campo magnético controlado gerado a partir de um par de bobinas pode produzir nos organismos teste algum comportamento visivelmente diferenciado em relação à situação onde apenas existe o campo ambiental. A resposta ao estímulo magnético, poderá estar associada à presença de cristais de magnetita nos órgãos receptores do animal, ratificado pelo modelo da transdução ferromagnética.
- O campo geomagnético devido ao pouco conhecimento de suas interações com os organismos, não se encontra na mesma categoria dos demais fatores abióticos usualmente utilizados em pesquisa de ecologia. Uma vez constatado determinado fator, um novo subsídio científico pode ser considerado nas pesquisas científicas correlacionadas a este assunto.
- Alguns peixes capturados na pesca costeira com covos e crustáceos usados para cultivo apresentam respostas sensoriais a estímulos magnéticos. Quando conhecidas, essas respostas poderiam ser empregadas em benefício do meio ambiente, por exemplo: na captura de espécie alvo; redução de *bycatch*; redução de escape de espécies não nativas para ambiente natural; atração de espécimes para áreas específicas (não poluídas) visando favorecer sua sobrevivência ou reprodução (aumentando probabilidade de encontro entre espécimes de mesma espécie); sua alimentação (atração para áreas favoráveis) e para propiciar capturas específicas (aumentar índices de capturas de espécie não nativas em áreas de entorno de viveiros de cultivo); na repulsão de espécimes de áreas potencialmente perigosas (áreas poluídas, canais de captação de água, etc.).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Experimentos em Ambiente Natural

6.1.1 Área de Pesca

Os experimentos no ambiente natural foram realizados em cinco pontos (G1-G5) em uma área de pesca costeira do litoral sul Pernambucano, situada entre as coordenadas LAT 008°20'30" e 008°21'00" e LONG 034°50'15" e 034°51'12", cerca de 10-12 km da costa, pelo través da praia de Pedra do Xaréu, Município do Cabo de Santo Agostinho (Fig. 7).

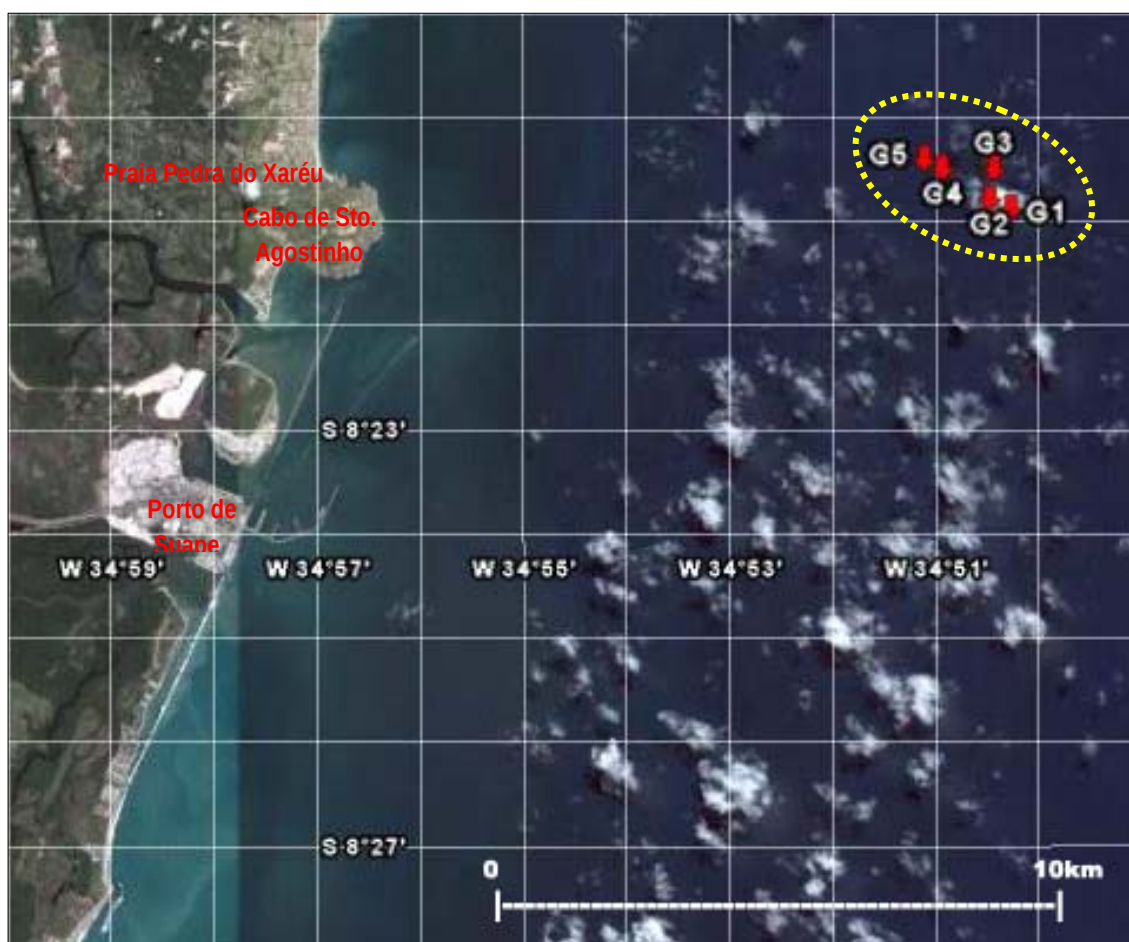


Figura 7. Localização dos locais de pesca (G1-G5) onde foram conduzidos os experimentos em condições naturais.

A praia de Pedra do Xaréu limita-se ao sul pela praia de Itapuama e a norte pela praia de Enseada dos Corais e caracteriza-se pela presença de afloramento rochoso de origem vulcânica com vegetação esparsa e pequenos trechos de areia (ACCIOLY, 1992) (Fig. 8).



Figura 8. Vista panorâmica da área de pesca utilizada para os experimentos em ambiente natural e detalhe dos afloramentos rochosos na praia de Pedra do Xaréu.

Esta praia funciona como um ponto de apoio para os pescadores que a utilizam para fundeio de suas embarcações, para limparem e guardarem suas redes, para estocagem de combustível, para tratarem os peixes capturados, bem como para repousar e abrigar-se das chuvas. Esta área foi igualmente utilizada como base para o preparo dos equipamentos e materiais utilizados nos experimentos em ambiente natural.

Duas embarcações foram utilizadas, nos trabalhos. Uma do tipo catraia, com propulsão a remo, para o transporte dos equipamentos, materiais e pessoal entre a praia e a jangada principal, empregada no deslocamento até a área de pesca e na efetivação das pescarias. Esta com 5,5m de comprimento, 2,0m de boca, e motorização a diesel (10HP) que ficava fundeada a 500m do ponto de saída da praia (Fig. 9).



Figura 9. Embarcação e motor a diesel utilizados nas pescarias e embarcação a remo (canto superior esquerdo) utilizada para chegar da praia até a mesma.

6.1.2 Desenho Experimental

Visando investigar o efeito do campo magnético nas capturas artesanais de peixes de importância econômica empregando armadilhas tipo covo, magnetos circulares permanentes (usados em alto falantes) com 15cm de diâmetro, pesando 5kg e capazes de gerar individualmente campo magnético de 480 Gauss (Fig. 10) em um raio de 2 metros, foram fixados próximos à abertura, em 6 dos 17 covos (Fig. 11) empregados na pesca por um grupo de pescadores artesanais de modo a permitir comparação dos índices qualitativos e quantitativos das capturas. Exceto pela inclusão dos magnetos, toda a rotina da pesca foi mantida de sua forma usual.



Figura 10. Magnetos permanentes utilizados nos covos..



Figura 11. Covos artesanais empregados nas pescarias.

Covos de inúmeras formas e tamanho são utilizados para captura de peixes, crustáceos e outros animais (MAHON & HUNTE, 2001). Na região Nordeste do

Brasil, o tipo de armadilha tradicionalmente utilizado nas pescarias costeiras é o covão de palheta, seguido do covão retangular, que surgiu como aperfeiçoamento tecnológico do primeiro tipo (RIBEIRO, 2000). Os covões (Fig. 11) utilizados nas pescarias experimentais eram razoavelmente grandes (comprimento=2m; largura=1m; altura=0,5m) em forma de semi-arco, em forma de “U” em sua região convexa e em forma de “V” em sua região côncava, onde está localizada uma sanga.

Esses covões foram confeccionados pelos próprios pescadores, com madeiras especiais, de forma a não requerer lastro para sua submersão. A estrutura dos covões é revestida com tela em PEAD (extrusão de polietileno de alta densidade) com abertura de malha de 3 cm. A sanga, abertura da armadilha, consiste de um cone da mesma tela, com vértice direcionado para o interior do covão formando uma abertura de forma elíptica com raio maior de 28 cm e raio menor de 10cm.

O tipo de malha utilizada (3 cm) evitou a captura de muitos juvenis com tamanho diametral inferior a esta medida, além disso, quando acidentalmente os juvenis vinham a bordo, eram rapidamente soltos, com o intuito de minimizar o impacto causado pela atividade. Vale salientar que a pesca com covões, é considerada uma técnica passiva, em que as armadilhas por não serem deslocadas sobre o fundo, produzem supostamente uma menor perturbação no ambiente relativa às técnicas empregando, por exemplo, redes de arrasto, assim minimizando alterações na estrutura dos microhabitats (RIBEIRO & ZUANOM, 2006).

Os covões foram lançados nos diferentes pontos de pesca (G1-G5; Fig. 7) em grupos de 3 a 4 unidades. A distância entre covões de um mesmo grupo foi de cerca de 60 m (35 braças, considerando o valor de 1,65 m equivale à envergadura do pescador), enquanto a distância entre grupos foi de 500 m.

Os covões de um mesmo grupo eram conectados por cabo 8 mm em PE (polietileno) e os covões das extremidades ligados a um bóia de superfície através de cabos 10 mm em PE com comprimento correspondente ao triplo da profundidade local, no caso, 36 braças (~60 m). A extensão máxima dos arranjos foi de 240 m ao

longo do leito marinho. Vale ressaltar que normalmente nessas pescarias, não são empregadas isca, o que de certo modo facilitou a observação sobre as preferências magnéticas de cada espécie, uma vez que as únicas variáveis eram covo com e sem campo magneto.

Ao todo foram empregados 17 covos (C1-C17). Todos os covos foram marcados, para permitir sua posterior identificação. Visando minimizar os efeitos das variações de local e tipo de fundo, alternaram-se em cada grupo de covos lançados, unidades sem e com magneto, embora toda a região apresente um fundo relativamente homogêneo. Os covos foram distribuídos em 5 grupos (G1-G5). Um esquema da disposição dos vários covos e grupos é apresentado na figura 12.

Os grupos foram organizados da forma abaixo, com os covos identificados em negritos correspondendo àqueles que receberam o magneto permanente e com o Grupo G5, sendo deixado como controle geral, sem adição de magneto a nenhum de seus covos (C14-C17).

- 1º Grupo: **C1**, C2, e **C3**.
- 2º Grupo: C4, **C5** e C6.
- 3º Grupo: **C7**, C8 e **C9**.
- 4º Grupo: C10, **C11**, C12 e C13.
- 5º Grupo: C14, C15, C16 e C17.

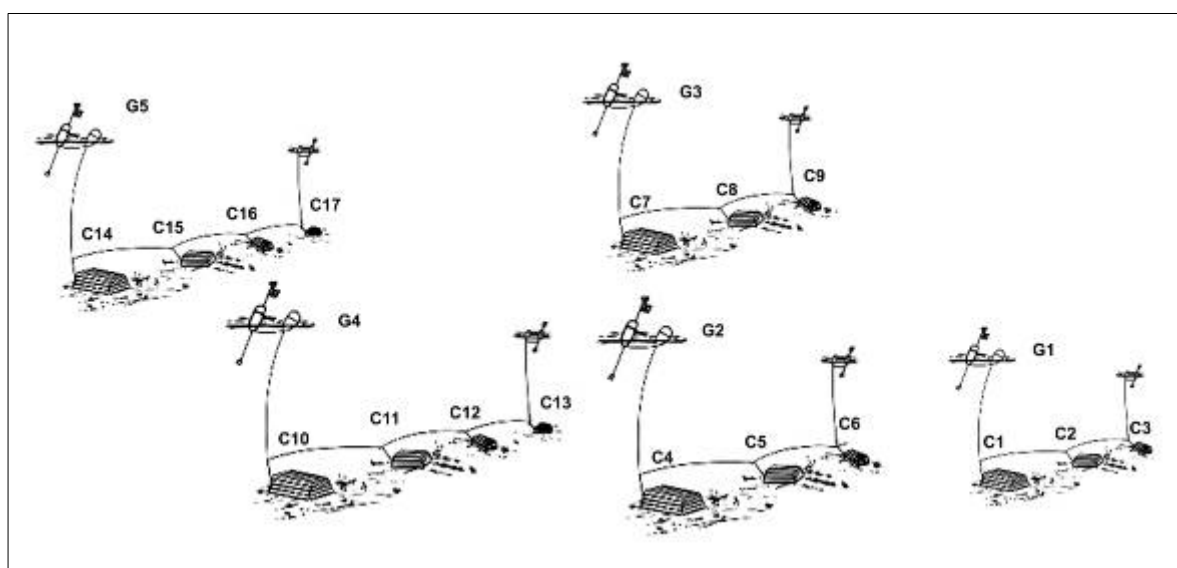


Figura 12. Esquema do arranjo dos grupos de covos e flutuadores de sinalização.

Ao todo foram realizadas 7 pescarias durante o período de 7/Nov a 8/dez/2008. Cada pescaria com uma duração média de 2 dias, exceto a pescaria de numero 7, com duração de 12 dias, devido às mas condições de mar, que impedindo a navegação impediram e o resgate mais cedo dos covos.

Uma vez trazidos à superfície os covos eram rapidamente abertos e os organismos capturados transferidos para sacos de nylon com gelo. Os sacos eram então lacrados e etiquetados e mantidos em uma caixa térmica contendo gelo. Durante a realização dos experimentos, empregou-se um maior volume de gelo, uma vez que a separação das capturas em sacos de nylon constitui uma pequena barreira térmica entre o peixe e o gelo, bem como para compensar o tempo gasto durante o registro das capturas, evitando deterioração dos pescados e prejuízos para o pescador.

Cada pescaria correspondeu a uma incursão de cerca de 15 horas entre entrada no mar, despesca e reposição dos covos, retorno à terra firme e coleta dos dados. A navegação usualmente empregada pelo pescador para a área de pesca é do tipo costeira, com posicionamento a partir de marcação de pontos em terra. Durante os experimentos, a posição do ponto de partida na praia, das áreas de pesca e de colocação dos covos, foi obtida com uso de um GPS portátil Garmin II.

Uma vez em terra firme, os espécimes capturados em cada covo eram dispostos sobre uma lona branca (Fig. 13), juntamente com uma escala graduada de modo a permitir sua identificação, contagem, e medição a partir de registro fotográfico. Quando a identificação imediata dos espécimes não era possível, os mesmos eram preservados para sua posterior identificação em laboratório. Exemplos das várias espécies capturadas foram igualmente preservadas para permitir a posterior confirmação das identificações realizadas no campo.



Todos os dados obtidos foram digitalizados para planilhas eletrônicas para permitir seu tratamento estatístico e análise. As capturas obtidas nos diferentes covos foram normalizadas (No. Ind/h pesca) com base no número de horas efetivas em que os covos permaneceram pescando.

Visando comparar o efeito do campo magnético na variedade de espécies capturadas ao nível local, índice de diversidade alfa Shannon-Wiener foi calculado para cada covo (C1-C17), área de pesca (G1-G5) e conjunto de covo (com e sem magnético) para cada pescaria e em seu conjunto com base no número de indivíduos total e capturado por espécie, na forma:

$$H' = -\sum p_i \log p_i \quad \text{Eq. (1)}$$

onde p_i é a proporção da espécie em relação ao número total de espécimes encontrados nos levantamentos realizados. Este índice foi selecionado, por apresentar a vantagem relativa aos de Margalef, Gleason e Menhinick de ser apropriado para amostras de espécies de uma comunidade ou sub-comunidade de interesse, como das capturas realizadas na área de pesca considerada.

6.2 Experimentos em Laboratório

6.2.1 Concepção e Montagem do Sistema de Bobinas Circulares

Conforme já historiado, pesquisas envolvendo a exposição de organismos marinhos a campos magnéticos são ainda escassas e recentes, sem que haja um protocolo ou um sistema de teste já estabelecido, apesar de técnicas experimentais para medidas de grandezas magnéticas existam desde a década de 50 (REZENDE, 2000). Assim a condução dos experimentos em laboratório, requereu em uma primeira etapa, a idealização e montagem de um sistema próprio para a condução dos testes com a espécie alvo.

O acondicionamento dos espécimes teste requereria um aquário de 48 litros de capacidade, de difícil manuseio. Assim na concepção do sistema, considerou-se que o mesmo deveria permanecer estacionário, e que a geração do campo se daria a partir de um par de bobinas circulares idênticas (mesmo raio R e mesmo número de espiras N) Helmholtz (bobinas chatas) móveis que poderiam ser posicionada de cada lado da maior dimensão do aquário. Nesse tipo de configuração as duas bobinas devem estar dispostas uma defronte da outra, a uma distância L igual ao valor de seus raios R (Fig. 14) (TOGINHO FILHO & LAURETO, 2008).

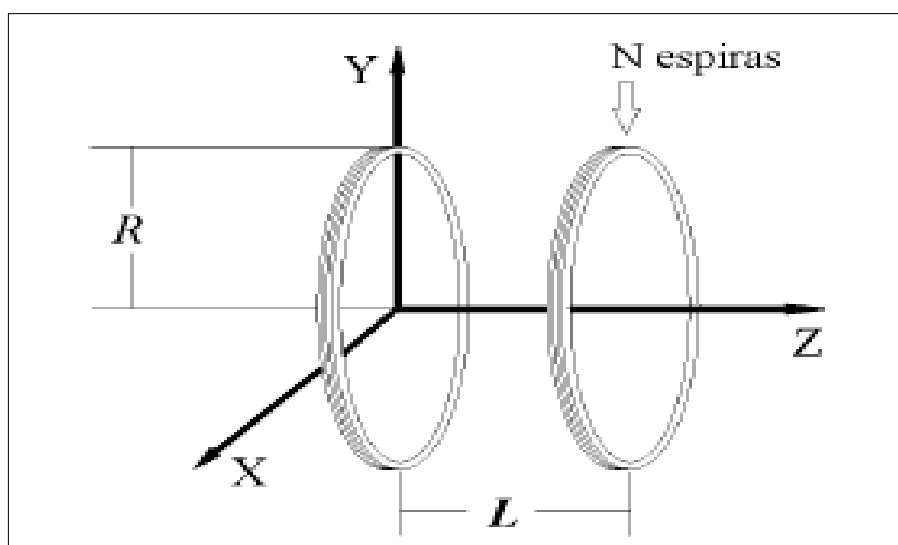


Figura 14. Diagrama da bobina de Helmholtz. FONTE: TOGINHO FILHO & LAURETO, 2008).

Na região central entre as bobinas, o vetor indução magnética $\vec{B}$ (Tesla) é resultado da soma vetorial das contribuições de cada bobina e seu valor pode ser calculado pela expressão:

$$\vec{B} = N \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde N é o número de espiras; i é a intensidade de corrente; R o raio da bobina, e μ_0 é a constante de permeabilidade magnética do vácuo equivalente a $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$ no SI.

No centro das bobinas o campo magnético tenderá a ser homogêneo, com a configuração de suas linhas sendo função da distância entre as bobinas relativas ao seu raio (Fig. 15).

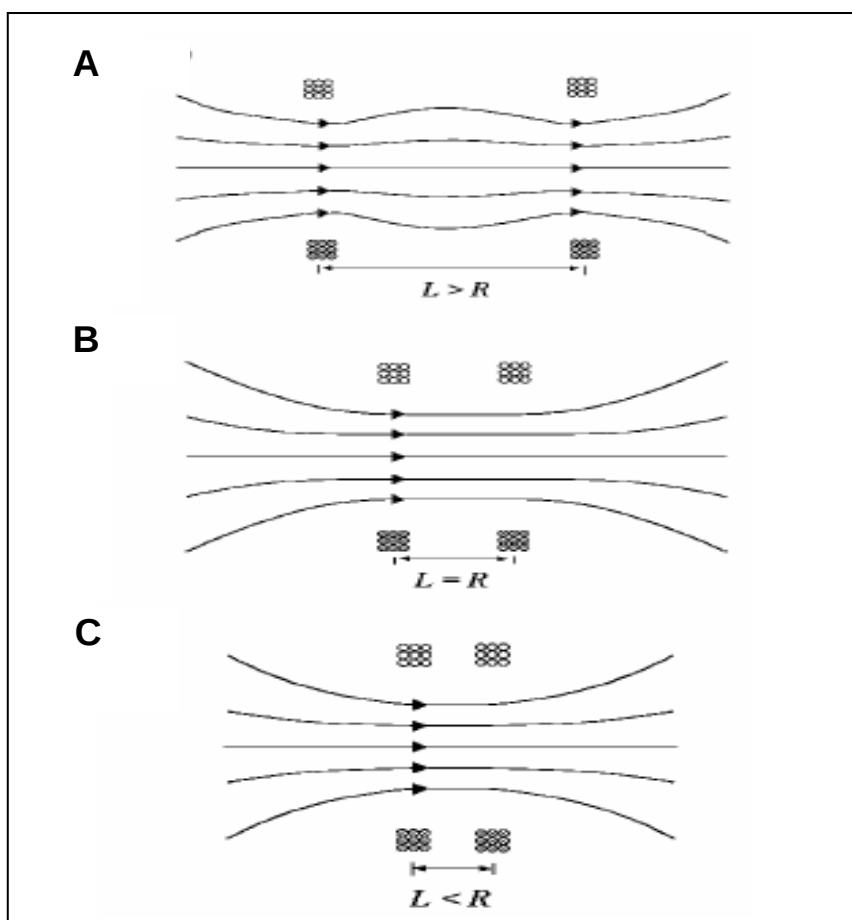


Figura 15. Representação das linhas de campo magnético entre duas bobinas iguais, de raio R , (A) dispostas a uma distância $L > R$; (B) dispostas a uma distância $L = R$ e (C) dispostas a uma distância $L < R$. (FONTE: TOGINHO FILHO & LAURETO, 2008).

As bobinas utilizadas nos experimentos foram confeccionadas, empregando-se dois anéis em PEAD com 60 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento, extraídos por corte de um tonel de 230 litros. Para fixação dos cilindros, os mesmos foram circunscrito em quadrados (80cm x 80 cm) vazados de compensado de 15 mm e apoiados em 4 bases triangulares de 30 cm de lado (Fig. 16).



Figura 16. Arranjo geral das bobinas de Helmholtz utilizadas nos testes em laboratório.

A superfície externa de cada cilindro foi revestida por uma camada de fita auto-fusão para melhor acomodação do fio e para evitar acúmulo de umidade. Cada bobina foi formada por 46 espiras de fio de cobre 15AWG ($\Phi=1,5$ mm; resistência linear=0,010 Ohms) envernizado sobrepostas, de forma a ocupar uma extensão de 2 cm, capaz de suportar uma corrente máxima de 13 A.

No ponto médio dos pares de bobinas, uma base de granito polido 50 cm x 40 cm x 2 cm recoberta por uma manta emborrachada foi utilizada para apoiar o aquário de teste (Fig. 16). Os aquários utilizados apresentaram 40 cm de comprimento resultando em uma configuração de linha de campo conforme indicada na figura 15A.

As bobinas foram alimentadas com uma fonte digital variável DC, (Fig. 17) para permitir obterem-se diferentes intensidades de campo, em função da intensidade de corrente aplicada.



Figura 17. Fonte digital variável DC Minipa, MPL 1303 (30V/3A) de alimentação das bobinas.

Como o par de bobinas utilizado não foi longo, a densidade de fluxo magnético em seu ponto médio pode ser calculada com base na lei de Ampère (MÁXIMO & ALVARENGA, 1994). Uma bússola e um multímetro foram também empregados, respectivamente para a determinação da direção e sentido do campo magnético e para aferição da fonte. Durante os testes, a fonte coberta com papel de alumínio para isolar seu campo elétrico e mantida distante das bobinas e tanques teste e controle para evitar interferências de seu campo magnético no experimento.

6.2.2 Obtenção e Aclimação dos Espécimes Teste

Os exemplares de *Litopenaeus vannamei* foram obtidos em uma fazenda de camarão localizada no município de Igarassu, a cerca de 20 km do Recife-PE (Fig. 18). Estes animais foram selecionados de modo a permitir a obtenção de grupos relativamente homogêneos em termos de estágio de desenvolvimento (indivíduos entre 9 e 10cm) e boas condições físicas (ausência de parasitoses, danos em nadadeiras, deformidades, etc.).



Figura 18. Viveiro da fazenda fornecedora dos camarões (*Litopenaeus vannamei*) teste e da caixa de transporte.

Os exemplares capturados foram acondicionados em caixas térmicas para transporte até laboratório. Uma vez em laboratório, os espécimes teste foram transferidos para aquários (23 cm x 40 cm x 50 cm) com água do viveiro de origem (Fig. 19) e deixados aclimatar por 72 horas antes de serem submetido aos testes. Durante o período de aclimação, foi mantida a ração e horário de alimentação utilizado na fazenda.

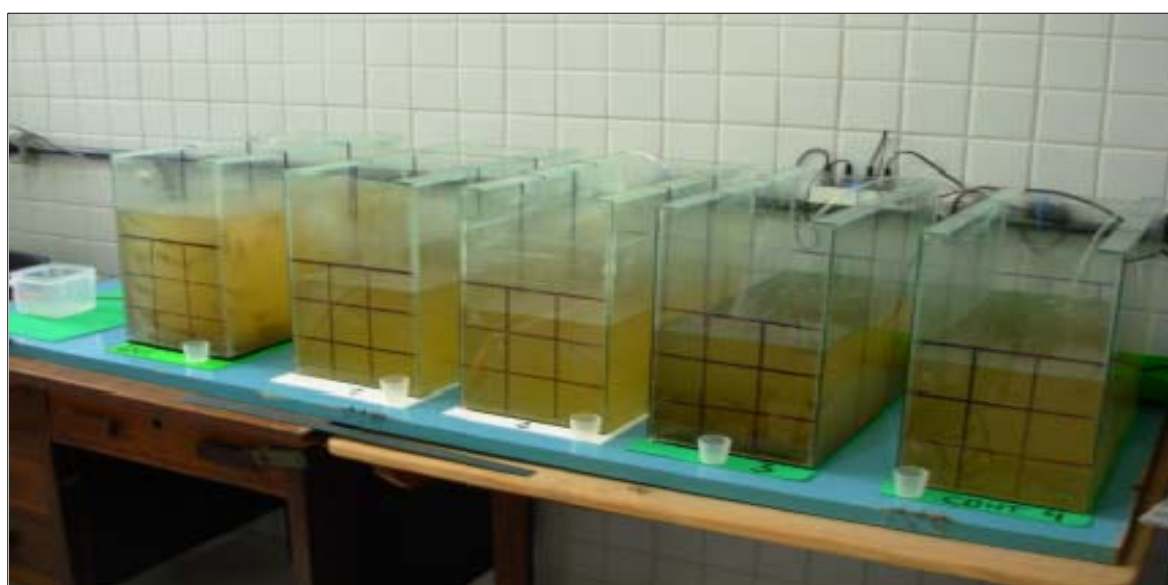


Figura 19. Aquários utilizados na aclimação e testes.

6.2.3 Desenho Experimental

Os testes em laboratório foram conduzidos em ambiente fechado em condições de iluminação e temperatura (20° C) controlada. Ao todo foram empregados 4 grupos de 20 camarões, distribuídos em 4 aquários, 3 para os testes (grupos 1, 2 e 3) e 1 como grupo-controle (grupo Controle).

Cada um dos três grupos experimentais foi submetido a campos magnéticos de 30, 60, 150, e 300 μT , correspondendo a 1, 2, 5 e 10 vezes o valor do campo magnético terrestre ou Campo Geomagnético (CGM). Na tabela 1, são indicadas as tensões e corrente aplicadas às bobinas para obtenção dos diferentes níveis de campo magnético.

Tabela 1. Valores de corrente e tensão para obtenção dos diferentes valores de campo.

EQUIVALÊNCIA COM O CGM	TENSÃO (Volts)	CORRENTE (A)	CAMPO MAGNÉTICO (μT)
1 x CGM	15	0,16	30
2 x CGM	15	0,31	60
5 x CGM	15	0,78	150
10 x CGM	15	1,56	300

Cada bateria de teste consistiu de 30 minutos de observação, sendo os 10 primeiros minutos sem exposição a campo magnético, para determinação da condição inicial, os seguintes 10 minutos, com exposição a uma intensidade de campo específico (i.e. 30 μT) e os últimos 10 minutos, novamente sem exposição a campo magnético, para observação da recuperação dos indivíduos testes.

Após um intervalo de 30 minutos, uma nova bateria de teste era realizada com o mesmo grupo de camarões teste, passando-se ao próximo nível de campo magnético (i.e. 60 μT), e assim sucessivamente até completar a exposição aos 4 níveis de campo. O mesmo procedimento foi então realizado com os grupos 2 e 3,

obtendo-se 3 replicas de 20 indivíduos para cada nível de exposição de campo.

Uma *webcam* SPC900NC foi fixada por sobre o aquário teste, a uma altura de 55cm por meio de um suporte de alumínio, de modo a permitir visualizar toda a superfície do mesmo. Para observação do deslocamento preferencial dos indivíduos, cada aquário foi marcado com canetas permanentes pretas, de forma a subdividir seu comprimento em 3 setores (norte, mediano e sul), relativos a polaridade do campo.

A câmera esteve conectada a um laptop, para minimizar interferência do pesquisador com o experimento e permitiu também a obtenção de registros permanentes (arquivos digitais) das observações, e a reavaliação dos dados, sempre que necessário.

Registros fotográficos instantâneos foram obtidos a intervalos de 1 minuto durante as baterias de teste. Paralelamente, o comportamento dos organismos foi monitorado *on line* de modo contínuo quando eram anotadas observações sobre a direção de deslocamento preferencial, nível de atividade, tempo de permanência em uma área do aquário, sintomas de atordoamento, nível de agressividade, etc. uma vez que na literatura científica ainda são escassas as informações sobre o comportamento da espécie teste frente ao estímulo magnético.

Os dados obtidos foram digitalizados para planilhas eletrônicas para possibilitar seu tratamento e análise e permitir identificar variabilidade entre as 3 regiões do aquário e os níveis de campo magnético aplicados.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Experimento em ambiente natural

Trinta e duas espécies de peixes foram encontradas para a área de pesca estudada, considerando as capturas realizadas com os covos sem e com magneto. As mesmas foram identificadas com base nos trabalhos HUMANN & DELOACH, 2006 e do Banco de dados eletrônico Fishbase. Seus nomes vulgares foram considerados de acordo com o conhecimento popular do pescador artesanal (Sr. Jairo) que auxiliou na pesquisa de campo e são indicadas na Tabela 2.

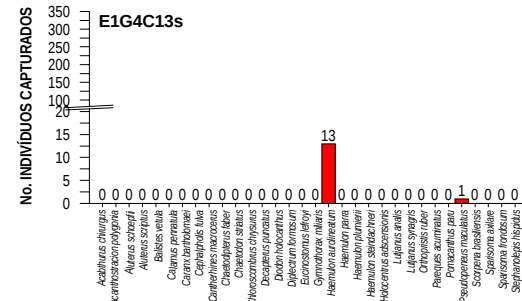
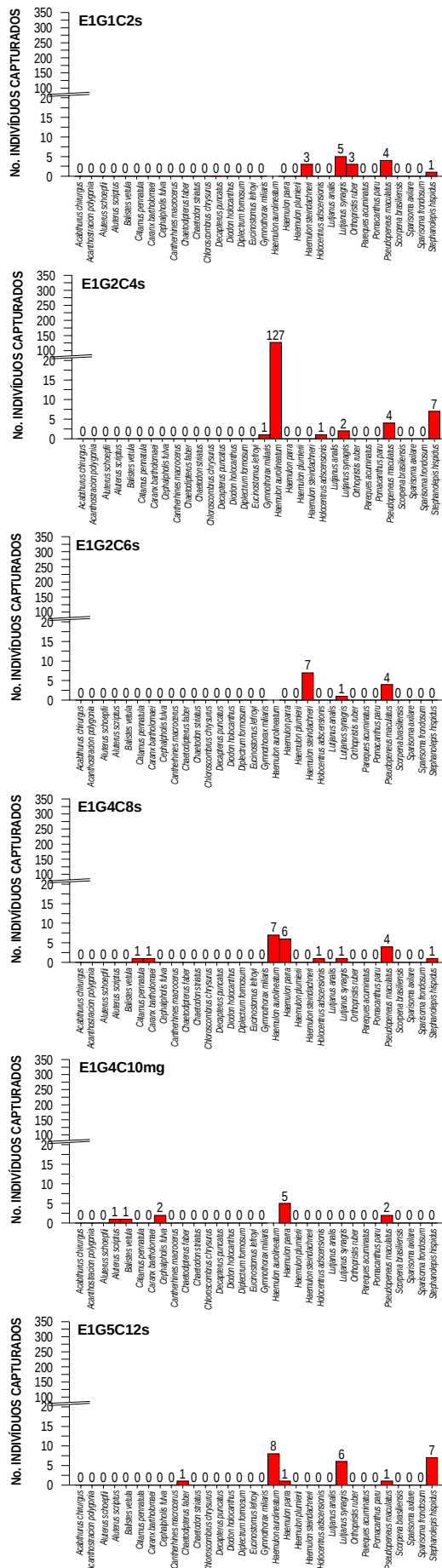
Tabela 2. Peixes identificados nas capturas com covos com e sem magneto.

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO
Anequim/ Peixe-pedra	<i>Scorpaena brasiliensis</i>
Ariocó	<i>Lutjanus synagris</i>
Baiacu-caixão	<i>Acanthostracion polygonia</i>
Baiacu de espinho	<i>Diodon holocanthus</i>
Beija Moça/ Piraúna	<i>Cephalopholis fulva</i>
Bicuara	<i>Haemulon plumieri</i>
Budião batata/ Beja	<i>Sparisoma frondosum</i>
Budião/ Bobó	<i>Sparisoma axillare</i>
Caico	<i>Haemulon steindachneri</i>
Caico (Corocoro)	<i>Orthopristis ruber</i>
Carapicu	<i>Eucinostomus lefroyi</i>
Caico comum	<i>Chloroscombrus chrysurus</i>
Cangulo -pavão	<i>Aluterus scriptus</i>
Cangulo branco	<i>Aluterus schoepfii</i>
Cangulo azulado	<i>Balistes vetula</i>
Cangulo cinza	<i>Stephanolepis hispidus</i>
Cacain/ Xira parra	<i>Haemulon parra</i>
Cioba-vermelha	<i>Lutjanus analis</i>
Falso tubarão	<i>Pareques acuminatus</i>
Guarajuba	<i>Caranx Bartholomaei</i>
Lagartixa/ Jacundá	<i>Diplectrum formosum</i>
Paru	<i>Pomacanthus paru</i>
Paru branco	<i>Chaetodipterus faber</i>
Peixe-borboleta	<i>Chaetodon striatus</i>
Peixe-cirurgião	<i>Acanthurus chirurgus</i>
Peixe-porco	<i>Cantherthines macrocerus</i>
Mariquita branca	<i>Holocentrus adscensionis</i>
Moréia	<i>Gymnothorax miliaris</i>
Pena	<i>Calamus pennatula</i>
Saramunete	<i>Pseudupeneus maculatus</i>
Xira branca	<i>Haemulon aurolineatum</i>
Xixarro	<i>Decapterus punctatus</i>

Os níveis de capturas por espécie, obtidos nos covos com e sem magneto permanente nas 7 pescarias realizadas são sumarizadas na Tabela 3 e detalhadas nas figuras 20 a 26.

Tabela 3. Número de espécimes capturados nos covos com magneto (c/Mg) e sem magneto permanente (s/Mg) e capturas médias (por covo) nas sete pescarias experimentais.

	PESCA 1		PESCA 2		PESCA 3		PESCA 4		PESCA 5		PESCA 6		PESCA 7	
ESPÉCIE	c/Mg	s/Mg	c/Mg	s/Mg	c/Mg	s/Mg	c/Mg	s/Mg	c/Mg	s/Mg	c/Mg	s/Mg	c/Mg	s/Mg
<i>Acabthurus chirurgus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Acanthostracion polygonia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
<i>Aluterus schoepfii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Aluterus scriptus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Balistes vetula</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calamus pennatula</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3
<i>Caranx bartholomaei</i>	0	1	1	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0
<i>Cephalpholis fulva</i>	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cantherhines macrocerus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetodipterus faber</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	6	3	0	0	2	7
<i>Chaetodon striatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0	1
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Decapterus punctatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Diodon holocanthus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	6	0	0
<i>Diplectrum formosum</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
<i>Eucinostomus lefroyi</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnothorax miliaris</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haemulon aurolineatum</i>	279	281	103	298	165	233	328	37	92	197	418	163	319	63
<i>Haemulon parra</i>	8	12	2	3	1	0	18	3	6	9	4	3	34	25
<i>Haemulon plumierii</i>	1	0	0	0	0	1	1	1	3	11	0	2	7	48
<i>Haemulon steindachneri</i>	6	10	12	0	0	0	1	2	2	1	4	1	4	0
<i>Holocentrus adscensionis</i>	4	2	2	5	1	0	2	1	4	4	8	2	0	1
<i>Lutjanus analis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	12
<i>Lutjanus synagris</i>	35	15	15	7	10	5	18	14	5	27	31	17	25	29
<i>Orthopristis ruber</i>	6	3	1	0	0	0	1	0	1	4	6	4	44	21
<i>Pareques acuminatus</i>	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2	1	0	1	3
<i>Pomacanthus paru</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pseudopeneus maculatus</i>	36	20	22	11	13	14	13	12	37	65	22	48	49	90
<i>Scorpena brasiliensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
<i>Sparisoma axillare</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Sparisoma frondosum</i>	1	0	0	0	2	2	0	0	2	10	0	2	6	6
<i>Stephanolepis hispidus</i>	14	16	14	8	17	5	5	2	12	14	8	12	0	4
No. COVOS	6	7	3	3	3	3	3	3	6	11	6	11	6	11
CAPTURA p/COVO	65,5	52,4	58,3	111,0	70,3	86,7	129,7	25,0	29,5	33,8	84,0	23,8	83,0	29,4





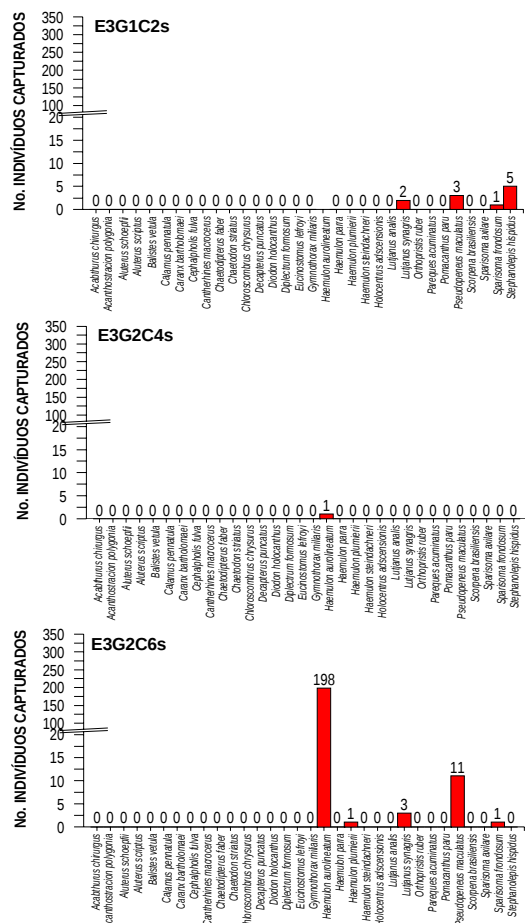
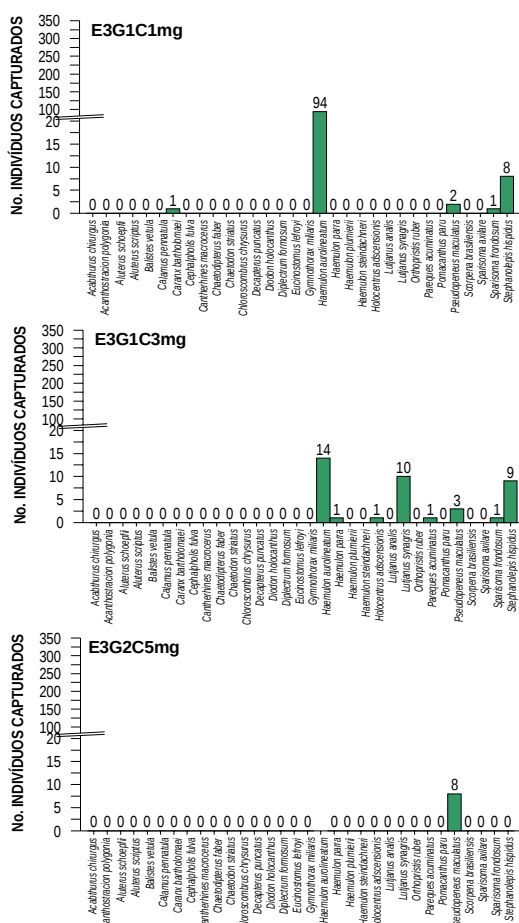


Figura 22. Capturas durante a pescaria 3. Covos 1 a 6

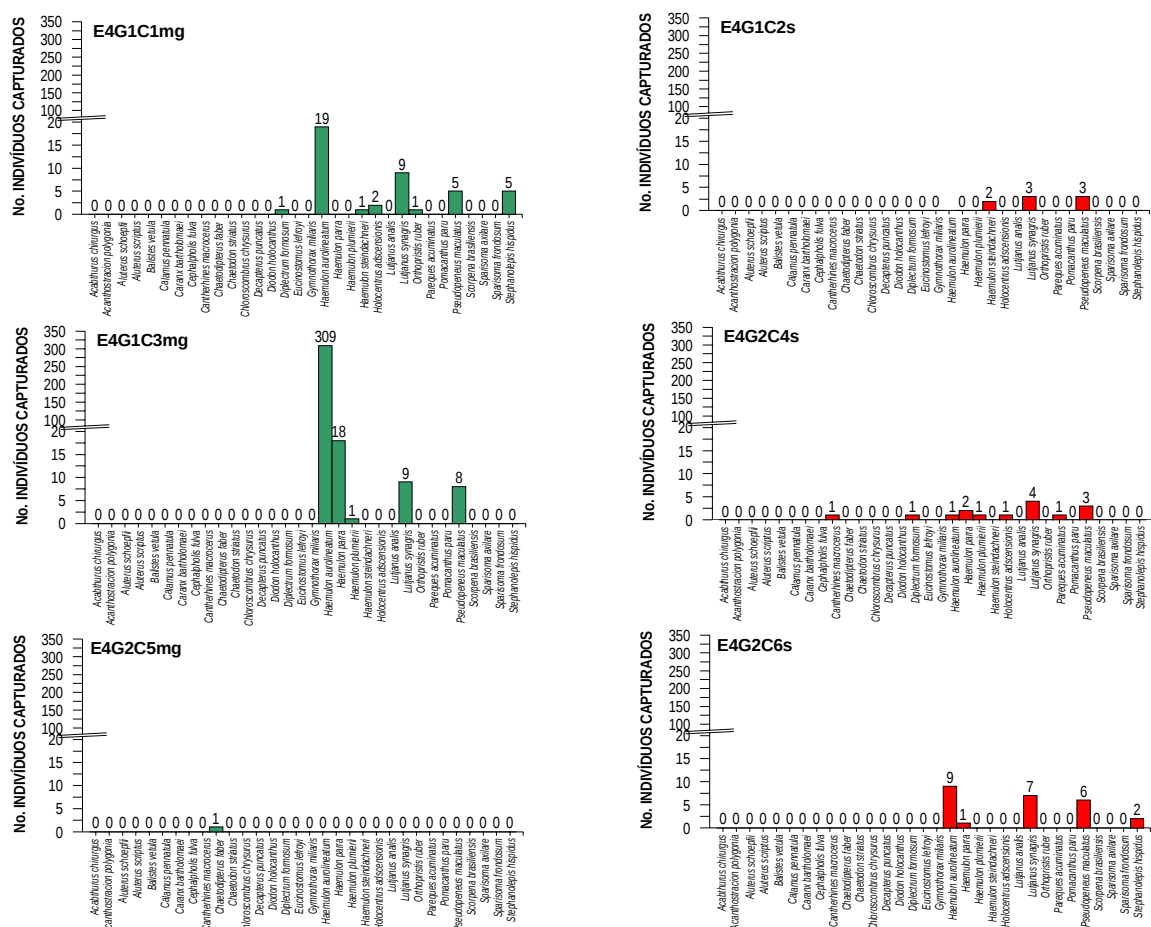


Figura 23. Capturas durante a pescaria 4. Covos 1 a 6



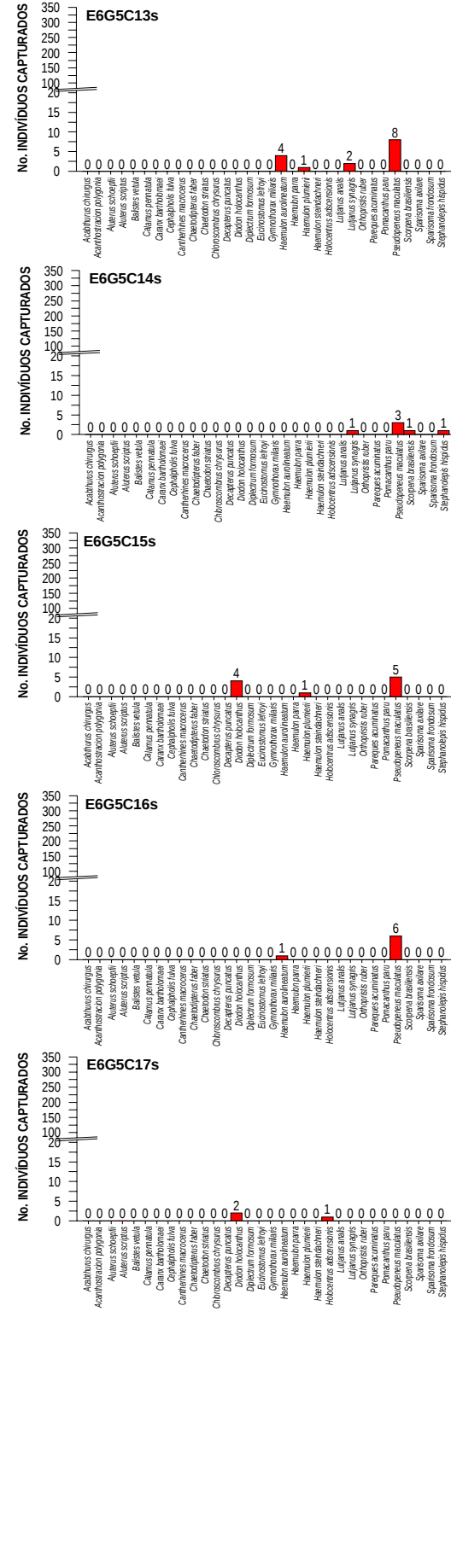
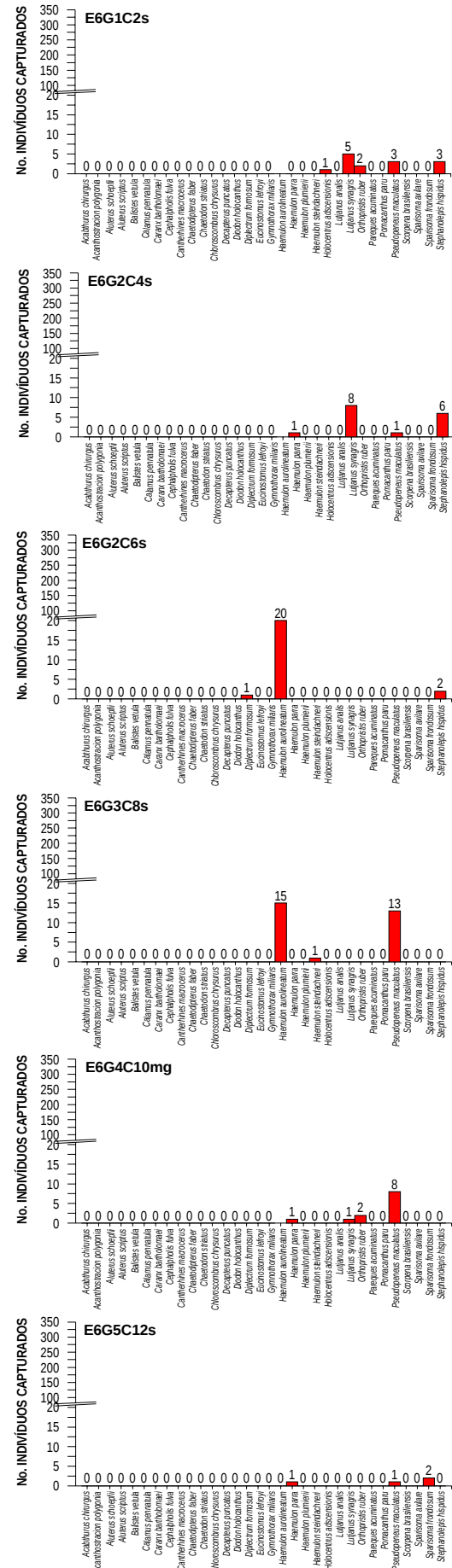
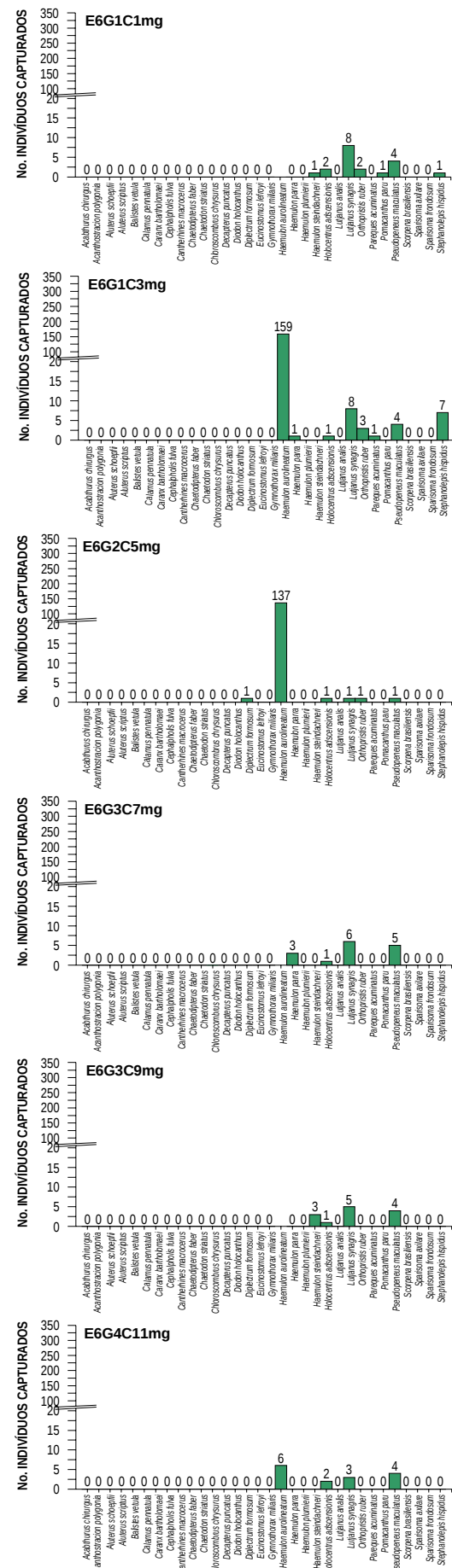


Figura 25. Captura durante a pescaria 6. Covos 1 a 17



Os níveis de captura de peixes nos covos com magneto permanente variou entre 29,5 a 129,7 indivíduos (média=74,3 ind/covo), enquanto os níveis médios de captura nos covos sem magneto permanente variou entre 23,8 e 111,0 indivíduos. (média=51,7 ind./covo). Resultados do teste t-pareado aplicado aos pares covos com e sem magneto das 7 pescarias (Tabela 3), indicam que os níveis médios de captura pelos covos com magneto permanente foram significativamente ($\alpha=0,05$) superiores àqueles verificados nos covos sem magneto.

Dentre as espécies capturadas com os covos, merece destaque especial a *Haemulon aurolineatum*, Xira-branca, cuja magnitude de ocorrência foi de 1-2 ordens superior (10 a 100x) das demais, principalmente nos covos com magneto (Fig. 20-26).

Espécies como o cangulo (*Balistes vetula*) tiveram uma única ocorrência. No entanto sua ausência não pode ser necessariamente vinculada a um comportamento de aversão ao campo magnético, visto que o *Balistes vetula* vem apresentando reduções em suas capturas, acompanhadas por um aumento da procura desta espécie na sua fase juvenil para o mercado de peixes ornamentais. Em nível mundial, o cangulo já é considerada uma espécie ameaçada, constando da lista vermelha da IUNC (versão 2000) como *vulnerável* (VU–Vulnerable) (AQUASIS, 2003).

Não tão diferente a cioba vermelha (*Lutjanus analis*) ocorreu apenas no último experimento em covos com e sem magneto permanente. Num estudo sobre conservação da paisagem e biodiversidade na zona costeira do Ceará, o *Lutjanus analis*, também é considerada pela IUNC como vulnerável, em nível global (AQUASIS, 2003).

Dentre as espécies que ocorreram em muito baixa frequência incluem-se ainda o paru preto (*Pomacanthus paru*); o paru branco (*Chaetodipterus faber*) e o peixe-borboleta (*Chaetodon striatus*). Os peixes-anjo (família Pomacanthidae) estão entre as espécies mais procuradas por aquaristas marinhos pela sua beleza de formas e de cores e fazem parte do grupo de peixes ameaçados e se incluem entre

as doze espécies de peixe mais exportadas a partir de Fortaleza. Destes organismos supramencionados, mais de 90% das capturas no estado do Ceará são direcionados para o paru jandaia (*Holocanthus ciliaris* sem registro nas capturas experimentais deste trabalho) e para o paru preto (*Pomacanthus paru*). Estas duas espécies foram elencadas como as mais ameaçadas pela captura indiscriminada (por ser o maior alvo do comércio de peixes ornamentais) e destruição de seus habitats (AQUASIS, 2003). Apesar de ambas as espécies serem restritas ao Atlântico tropical, com populações que vão desde o Sudeste do Brasil até a Flórida, os maiores estoques concentram-se em localidades no Nordeste do Brasil e do Caribe (AQUASIS, 2003). Mesmo assim os covos não apresentaram estes organismos com significância em sua amostragem.

Das trinta e duas espécies encontradas na área, algumas ocorreram com mais constância e outras de forma mais eventual, por vezes tendo estado representada por um único indivíduo. A princípio, um alto índice de ocorrência de uma espécie nos covos com magneto poderia ser indicativa de sua maior atração pelo campo magnético e da presença de estruturas magnetoreceptoras em seu organismo, a exemplo do material magnético associado à linha lateral e a lamela olfativa evidenciados nos estudos de Moore, 1990 e Walker, 2000.

Por outro lado, a não ocorrência ou baixa ocorrência de uma determinada espécie poderia indicar comportamento de repulsão ao campo magnético e/ou a ausência de estruturas magnetoreceptoras. No entanto, deve-se ter presente que vários outros fatores podem também contribuir para esses resultados, como a ação seletiva dos covos, predação dentro dos covos, seu comportamento territorial, hábitos alimentares e reprodutivos, ou ainda se sua maior ou menor ocorrência nas capturas não se deve a agressões antrópicas (poluição, sobrepesca, etc.), mudanças climáticas, etc. No presente trabalho, empregou-se uma estratégia comparativa de capturas com covos sem e com magnetos permanentes, visando minimizar outros efeitos que pudessem influenciar as capturas. De toda forma, a continuidade dos estudos de comportamento e no caso daquelas espécies que ocorreram com maior frequência, da pesquisa da presença de nanocristais de magnetita biogênica em suas estruturas seria desejável para validar os resultados

obtidos.

Estudos envolvendo a execução de testes usando microscopia eletrônica (estudo de material magnético na linha lateral e lamela olfatória), SQUID, e bobinas elétricas na simulação do campo ambiental, possibilitariam a geração de dados mais detalhados sobre o mecanismo de magnetorecepção destas espécies. Experimentos com o Zebrafish ou peixe-zebra constataram a presença do senso magnético devido ao seu comportamento, mediante o campo magnético, produzido em laboratório (SHCHERBAKOV et al, 2007). No entanto, de acordo com a literatura consultada até este momento, não foram encontrados registros de estudos relacionados à resposta magnética, nas 32 espécies de peixes capturados nos covos e identificados no presente trabalho.

Índices médios de diversidade Shannon-Wiener calculado para as capturas nos covos com e sem magneto nas 7 pescarias experimentais realizadas, são apresentados comparativamente para os pontos de pesca G1-G7 na figura 27. Os valores encontrados são equivalentes ou ligeiramente mais acentuados para as capturas nos covos sem magneto que com magneto. Os resultados podem refletir a maior dominância da Xira-branca nas capturas com os covos com magneto ou uma maior seletividade das capturas.

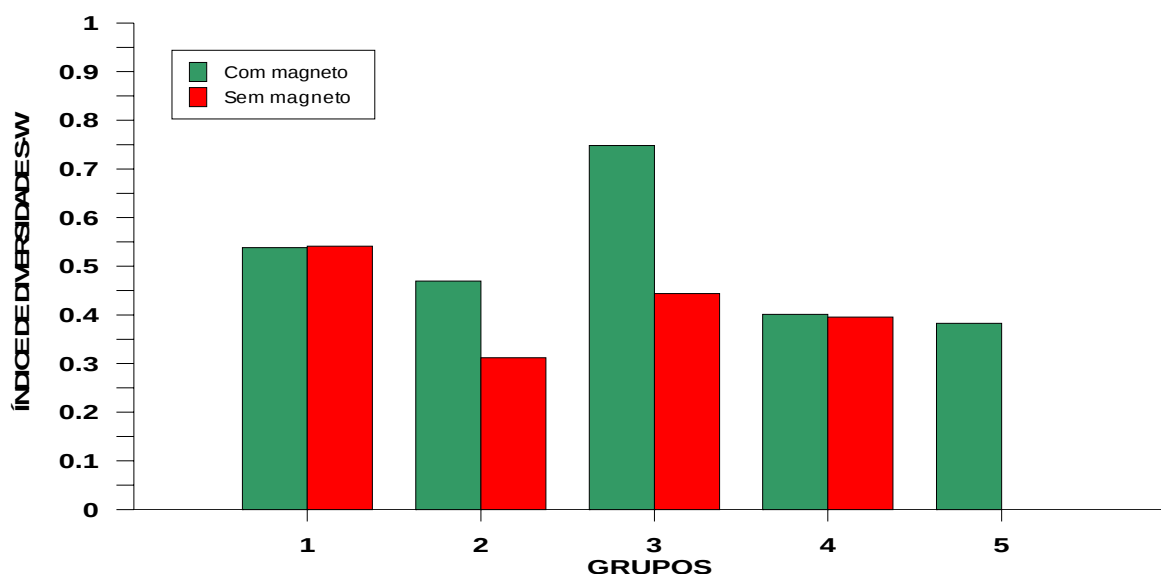


Figura 27. Índices médio de diversidade Shannon-Wiener das capturas nos covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.

Peixe cartilaginoso não ocorreram dentre os organismos capturados nos covos com e sem magnético. Esta ausência pode em parte se dever aos baixos estoques de suas populações.

Populações de peixes cartilaginosos, principalmente tubarões, tem sido afetadas em todo o mundo, direta ou indiretamente, por atividades pesqueiras. Como consequência, muitas populações são consideradas ameaçadas de extinção pela *IUCN Species Survival commision* (HILTON & TAYLOR, 2000). Tubarões e peixes cartilaginosos em geral, são especialmente susceptíveis à sobrepesca por apresentarem baixa fecundidade, crescimento lento, maturidade sexual tardia e vida longa (MUSICK *et al.*, 2000). Estas características resultam em um potencial reprodutivo baixo e uma pequena capacidade de crescimento das populações (PRATT Jr. & CASEY, 1990). Muitos outros fatores tem afetado diversas espécies de peixes cartilaginosos, como o crescimento rápido da pesca de tubarões devido ao interesse comercial pelas barbatanas, e as capturas acidentais em pescarias direcionadas a outros recursos pesqueiros (CAMHI, 1998). No caso das capturas acidentais, seria bastante interessante a realização de estudos envolvendo a utilização de magnetos permanentes em redes e outros petrechos de pesca, visando aumentar, quem sabe, a especificidade da pesca e reduzir o bycatch através do uso de magnetos para afastar alguns peixes cartilaginosos e consequentemente livrá-los do emalhamento e morte nas redes. Um estudo neste sentido seria de grande importância não só para peixes como também para outros grupos de animais marinhos como os mamíferos. Em todo o mundo já foram registrados muitos eventos esporádicos de emalhamento, por exemplo, em baleias de barbata (Misticetos).

Na maioria das vezes os animais conseguem soltar-se das redes e cabos onde se prenderam, contudo, os filhotes são mais susceptíveis a esse tipo de evento (GONÇALVES, 2003). O crescente abuso das frotas pesqueiras pelágicas, especialmente as de origem do capital Asiático, vem causando a progressiva destruição dos estoques pesqueiros de maior valor comercial, contudo, ainda mais grave é a matança indiscriminada da fauna marinha dita acompanhante que

justamente representa na captura, um subproduto das atividades pesqueiras e simplesmente descartadas como refugo. Esse verdadeiro crime ambiental que constitui o corriqueiro das frotas pelágicas tem-se agravado com o uso cada vez mais comum, das redes de monofilamento de nylon, capazes de atingir centenas de quilômetros de comprimento, o que torna a captura ainda mais indiscriminada. São simplesmente desconhecidas as proporções do dano ao funcionamento dos ecossistemas marinhos que essa atividade predatória pode causar e vem causando. Mesmo assim está fartamente registrada na literatura científica especializada o volumoso registro de captura acidental de grandes e pequenos Cetáceos (GONÇALVES, 2003).

Entre os anos 1988 e 1993, a captura de tubarões e raias no Brasil aumentou aproximadamente 64%, representando cerca de 4% da pesca mundial (LESSA *et al.*, 2000). Cerca de 126 espécies de elasmobrânquios (tubarões e raias) foram registradas até o momento nas águas brasileiras, sendo 79 espécies de tubarões e 47 espécies de raias (AQUASIS, 2003). Mesmo que estas pescas não sejam acidentais e sim o alvo, a diminuição da sobrepesca utilizando ferramentas magnéticas pode ser uma ótima solução para por fim ao aniquilamento dos estoques pesqueiros.

Dentre os cartilaginosos, registros na literatura indicam que os tubarões podem detectar mudanças no campo geomagnético. A ativação do campo artificial, gerado em laboratório, produz uma resposta imediata no condicionamento dos tubarões (MEYER *et al.* 2004).

A área geral da pesca experimental e costeira adjacente apresenta uma alta frequência de ataques por tubarões a surfistas e banhista. A não captura dos mesmos nos covos mais provavelmente, se deve ao seu maior porte, relativo ao tamanho de abertura das armadilhas, embora não se possa também descartar a possibilidade deles evitarem campos de altíssima densidade de linhas de fluxo (como o campo de 480 Gauss gerado pelos magnetos permanentes nos covos do experimento. Essa hipótese merece ser testada, uma vez que se confirmada, não faltariam aplicações benéficas tanto para o animal como para a sociedade, como por

exemplo, a utilização de barreiras magnéticas em bóias visando o afastamento dos tubarões nas áreas freqüentadas pelos banhistas.

Por outro lado, o índice de ataque as armadilhas, quase que exclusivamente àquelas com magneto, poderiam ser indicativos da presença de tubarões na área e para um alto índice de resposta ao campo gerado pelos magnetos permanentes relativas àquelas sem magneto (Fig. 28).

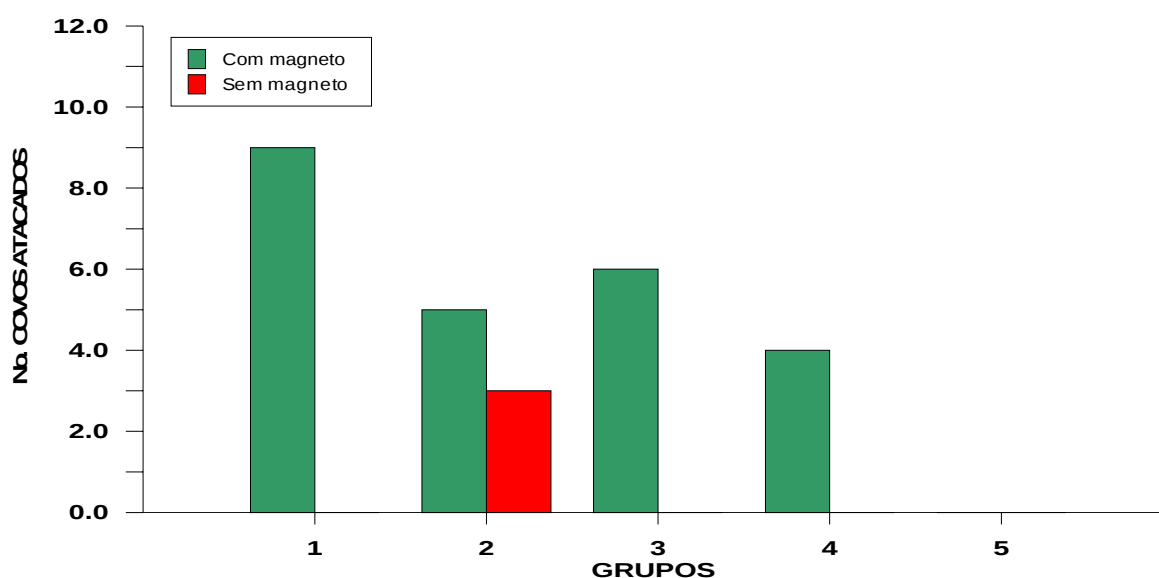


Figura 28. Ocorrência de ataques a covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.

No entanto não se pode dizer com exatidão que tipo de animal causou os danos às armadilhas. Durante as pescarias foram visualizados grupos de três a quatro botos, nadando em círculos em torno dos covos.

É igualmente possível que algum vertebrado marinho (como peixes e mamíferos) possa usar a habilidade na detecção do campo magnético, como a navegação, para associar a posição das anomalias magnéticas dos covos com fontes de alimento. Funcionando como marcos magnéticos, uma vez que a armadilha mantém grandes quantidades de animais presos por longas horas.

Nas figuras 29 e 30 são respectivamente indicados os índices de captura por horas de pesca efetiva e os comprimentos médios dos peixes capturados nos covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5. No ponto de pesca G1, os índices de capturas nos covos com magneto permanente foram bastante superiores àqueles dos covos sem magneto. No ponto G2, a situação foi inversa, com melhor índice de captura para os covos sem magneto e nos pontos G3 e G4 os índices dos dois tratamentos de covos foram próximos. De forma geral, os peixes capturados nos covos com magneto, apresentaram comprimentos médios equivalentes ou ligeiramente superior àqueles capturados nos covos sem magneto.

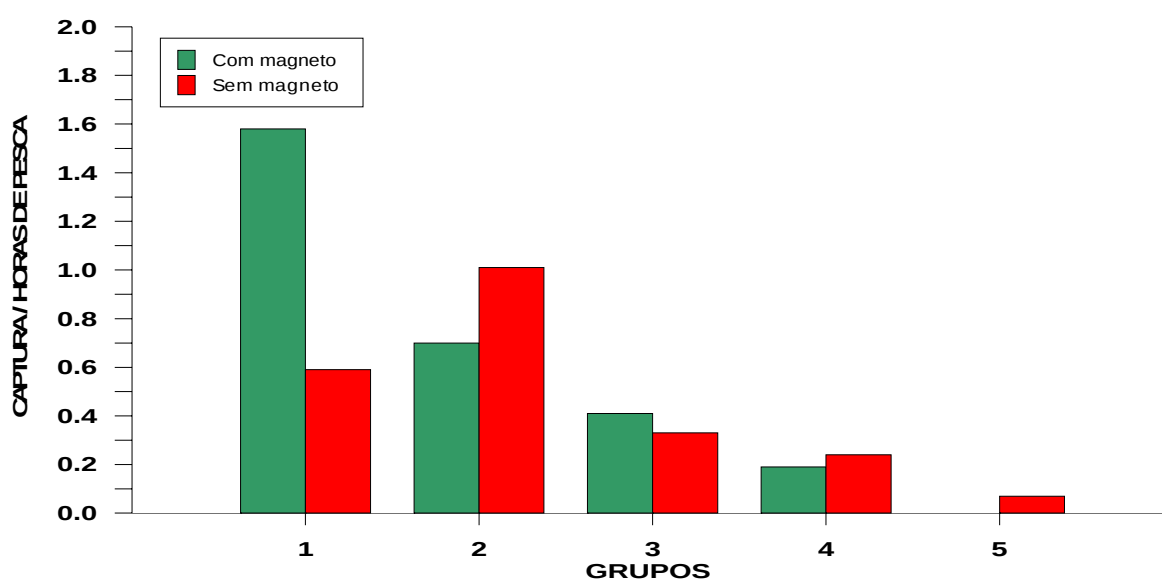


Figura 29. Índices de captura por hora de pesca efetiva para os covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.

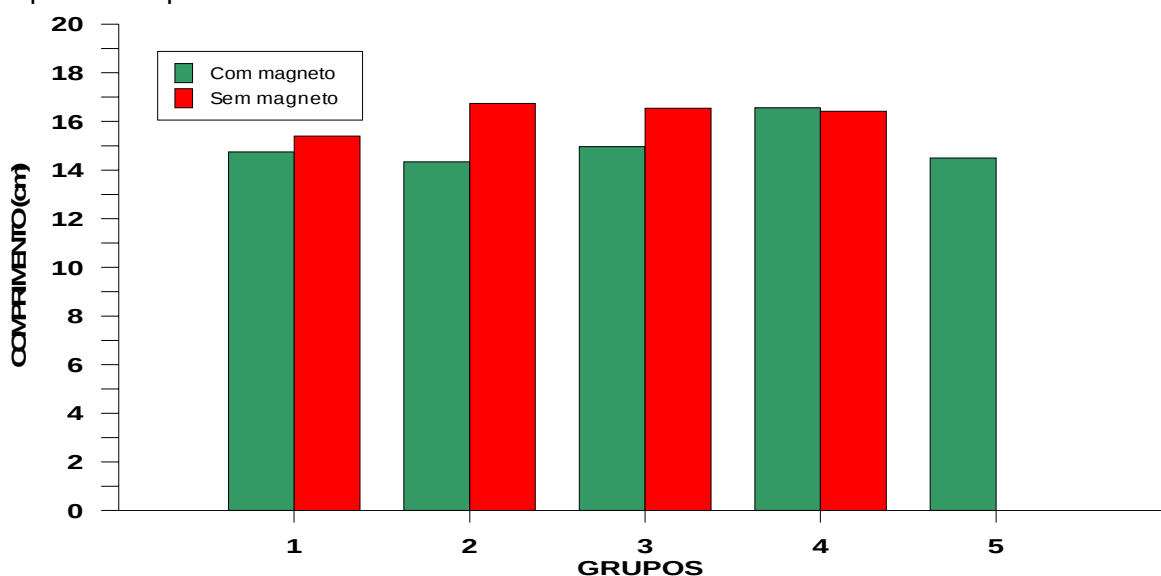


Figura 30. Comprimento médio dos peixes capturados nos covos com e sem magneto nos pontos de pesca G1-G5.

7.2 Experimento em Laboratório com o Camarão *Litopenaeus vannamei*

Durante o período de aclimação dos organismos testes, nenhuma mortalidade foi verificada. O mesmo sendo verificado para o grupo controle não submetido aos testes e para todos os indivíduos empregados nos testes, durante o período de observação pós-testes.

Os resultados dos testes controlados em laboratório indicaram que os camarões *L. vannamei* não submetidos a campos magnéticos artificiais, tendem a distribuir-se de forma relativamente homogênea, ocupando as várias regiões do aquário, conforme evidenciado nos experimento controles. (Fig. 31, Tabela 4).

Sob influencia de campo magnético artificial, os camarões *L. vannamei* apresentaram uma nítida preferência pela ocupação da região sul do aquário relativa à polaridade do campo magnético aplicado, uma menor frequência de ocupação da região central, e mais raramente, ocuparam a extremidade associada ao pólo norte para os 4 níveis de campo testados (30, 60, 150 e 300 μ T) (Fig. 31, Tabela 4).

Trabalhos que tratam diretamente com exposição da espécie teste *L. vannamei* ou para outros peneídeos não foram detectados nos levantamentos bibliográficos realizados. Os trabalhos mais próximos correspondem aos testes com lagostas da espécie *Panulirus argus*. Nesses trabalhos, indica-se que o compasso magnético da lagosta pode funcionar no comportamento de direção auxiliando na migração, pois é baseado na polaridade do campo (LOHMANN *et al.*, 1995).

Mediante o conhecimento referente à capacidade do *L. vannamei* em realizar complexos deslocamentos, inerentes ao seu ciclo de vida, é possível, a partir dos resultados obtidos para esta espécie, fazer divagações acerca da relação das respostas magnéticas observadas com os seus potenciais de navegação.

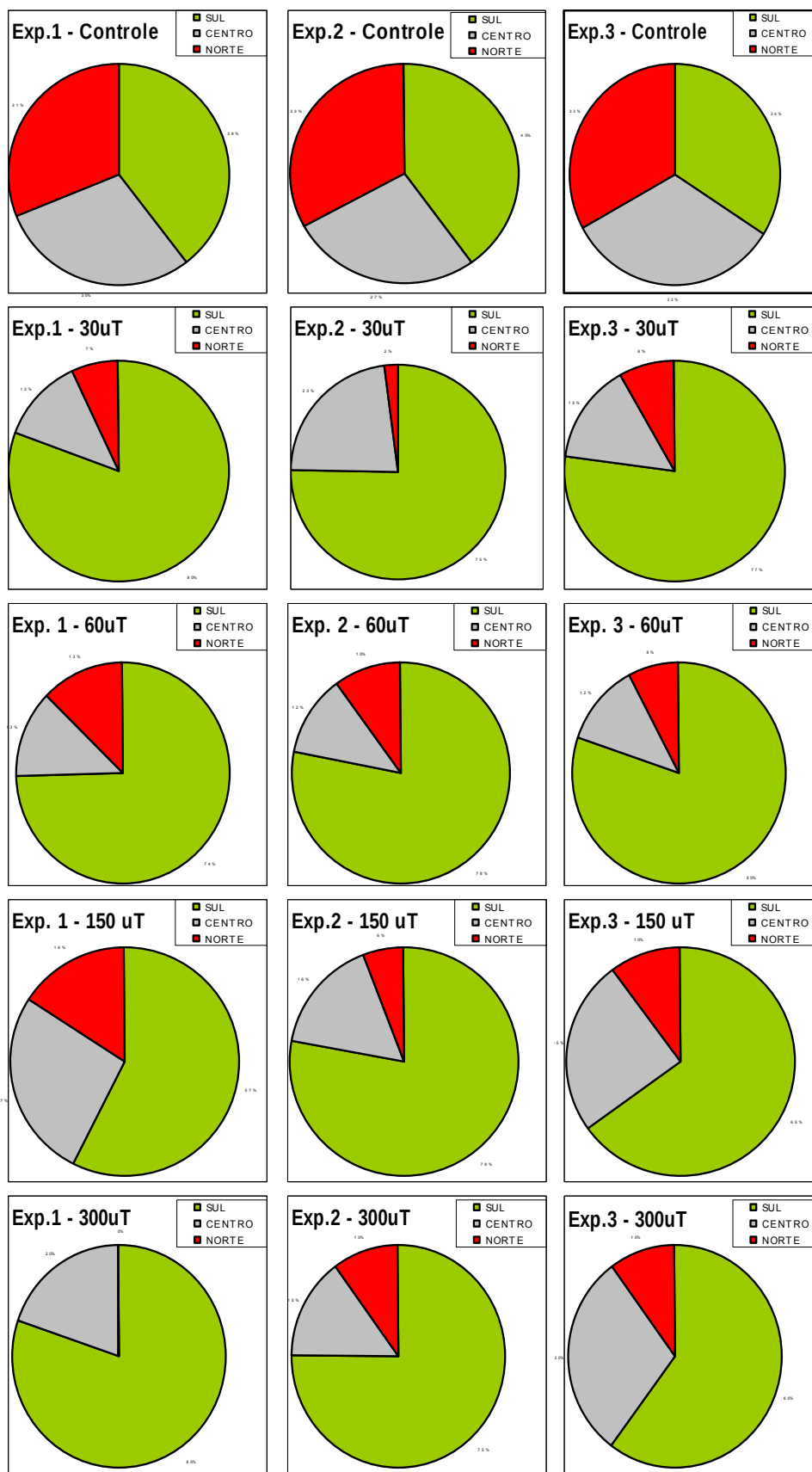


Figura 31. Ocupação percentual das regiões norte, central e sul do aquário teste por *L. vannamei* nos experimentos 1 a 3 durante exposições a campos magnéticos de 30, 60, 150 e 300 μT .

Tabela 4. Percentagem de ocupação das áreas sul, central e norte dos aquários por camarões *L. vannamei* submetidos a diferentes intensidades de campo magnético artificial.

EXPERIMENTO	TRATAMENTO	ÁREA DO AQUÁRIO		
		SUL	CENTRO	NORTE
1	CONTROLE	39.5	29.5	31.0
1	30 μ T	80.5	12.7	6.8
1	60 μ T	74.5	12.7	12.7
1	150 μ T	57.3	26.8	15.9
1	300 μ T	80.0	20.0	0.0
2	CONTROLE	40.0	27.0	33.0
2	30 μ T	75.5	22.7	1.8
2	60 μ T	78.2	11.8	10.0
2	150 μ T	77.7	16.4	5.9
2	300 μ T	75.0	15.0	10.0
3	CONTROLE	34.0	33.0	33.0
3	30 μ T	76.8	15.0	8.2
3	60 μ T	80.0	12.3	7.7
3	150 μ T	65.0	25.0	10.0
3	300 μ T	60.0	30.0	10.0

Análise de variância aplicada para investigar possíveis diferenças de comportamento dos camarões submetidos a diferentes intensidades de campo magnético e diferenças nas áreas ocupadas pelos camarões durante os teste é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Quadro sumário da análise de variância (ANOVA).

FONTES	df	SQ	MQ	F
TRATAMENTOS: Controle; 30; 60; 150 e 300 μ T	4	49966.7	12491.7	4,15*
ÁREA AQUÁRIO(TRATAMENTO): Norte; Centro e Sul	10	30088.7	3008.9	101,55*
ERRO: treplicas dos experimentos	30	888.9	29.6	
TOTAL	44	80944.2	15530.2	

Existem diferenças significativas ($\alpha=0,05$) entre os grupos de tratamento e entre as áreas ocupadas pelos camarões durante os experimentos. Os tratamentos respondendo por 80,4% da variabilidade total e a posição ocupada pelos camarões durante os experimentos por 19,4% da variabilidade total. A porção não explicada pelo modelo foi pequena, correspondendo a 0,2% da variabilidade total.

Teste de Tukey ($\alpha=0,05$) aplicados às médias de ocupação nas áreas sul, central e norte do aquário (Tabela 6), indicaram diferenças significativas entre o controle e os demais tratamentos para as regiões norte e sul do aquário, sem diferenças significativas entre os diferentes intensidades de campo, enquanto que na região central do aquário, as maiores diferenças detectadas foram entre o controle e os níveis mais baixos de campo testado (30 e 60 μT). Esses resultados evidenciam o deslocamento dos camarões da área norte para a sul, ou para a região central, no caso da exposição aos mais baixos níveis de campo testado.

Tabela 6. Quadro sumário dos testes de comparação das médias de ocupação das áreas sul, central e norte dos aquários controle e expostos a campos magnéticos artificial de 30, 60, 150 e 300 μT

SUL					CENTRO					NORTE				
CONT	150	300	30	60	60	30	300	150	CONT	30	300	60	150	CONT
37,83	66,67	71,67	77,59	77,58	12,27	16,81	21,67	22,73	29,83	5,60	6,67	10,15	10,61	32,33
a	b	b	b	b	a	a	a	a		b	b	b	b	a
						b	b	b	b					

Nas exposições a intensidade de campo de 30 μT os exemplares de *L. vannamei* apresentaram alguns sintomas de agressividade traduzidas através de movimentos bruscos, zigue-zague e saltos. Após os 10 minutos de exposição ao campo, embora os ataques não fossem numerosos, ficou evidente uma reação de hostilidade entre os 20 indivíduos, com um comportamento mais territorialista e de intolerância para com qualquer outro indivíduo que se aproxime ou acidentalmente entre em contato físico.

Nos 10 minutos que precediam a exposição dos camarões ao campo de 60 μT , notou-se um baixo nível de atividade por parte dos organismos refletida nos raros movimentos e atordoamento. No momento em que o campo de 60 μT começava a ser aplicado, novamente os animais responderam com reações de agressividade, deslocamentos curtos e bruscos e saltos. Após os 10 minutos de exposição e desligamento do campo, verificou-se novamente uma redução da atividade dos camarões com um padrão similar aos 10 minutos iniciais da bateria.

Na seqüência, após os 30 minutos de intervalos entre baterias de teste e durante os 10 minutos que antecederiam a exposição ao nível 150 μ T, os organismos continuavam apresentando baixo nível de atividade e raríssimos movimentos estáticos, parecendo não terem ainda se recobrado da exposição anterior.

Quando da exposição ao campo de 300 μ T, os organismos permaneciam paralisados, sem capacidade de se locomoverem, exceto por um leve movimento de antenas. Esta situação permanência, mesmo ao tornar a desligar o campo e de um período de repouso de 40 minutos. Esse comportamento se confirmou com nas baterias de replicas e réplicas.

O ciclo de vida dos peneídeos envolve um período planctônico-pelágico durante as fases larvais de náuplio, protozoé e misis, seguido por um período de transição, denominada pós-larva, também planctônico-pelágico, e um período bentônico demersal, com fases juvenil e adulta (CALAZANS, 1993). As pós-larvas adentram ambientes estuarinos ao longo de todo o ano (PEREZ & FARFANTE, 1970). Os camarões peneídeos são mais pelágicos do que se imagina, podendo deixar de ser bentônicos para sair em busca de alimento (KRISTJONSSON, 1968).

Os experimentos controlados indicaram um comportamento diferenciado por parte dos camarões quando expostos a um campo magnético artificial. O uso deste tipo de resposta para reter estes organismos exóticos nos viveiros nos momentos da despesca, seria uma ótima ferramenta para minimizar impactos ambientais. É evidente que seriam necessários novos testes para identificar diferenças de comportamento para os diferentes estágios de vida, entre sexos, e para se compreender melhor todo esse mecanismo e se determinar os limiares de aplicação do campo em função da área de atuação desejada.

Uma semana após os testes os animais apresentaram mortalidade zero, o que leva a crer que a os efeitos da exposição ao campo magnético não tenha causado danos aos organismos (ao menos a curto prazo). Durante esta pesquisa, não foram encontrados registros que mencionassem mortalidade de qualquer ser vivo a exposição a campos magnéticos artificiais.

8. CONCLUSÕES

- Dentre as 32 espécies de peixes de valor comercial capturadas na pesca artesanal com covos ocorrentes na região de Pedra do Xaréu algumas, com destaque para *Haemulon aurolineatum*, Xira-branca, parecem ser capazes utilizar seus órgãos sensoriais na detecção do campo magnético induzido artificialmente. Embora ainda não se possa precisar o tipo de sistema magnetoreceptor utilizado por esse peixe, receptores baseados em magnetita biogênica, reações químicas magneticamente sensíveis, estão dentre os mais prováveis.
- Um sistema composto por um par de bobinas chatas (bobinas circulares) móveis, fonte variável, tanques em vidro e uma câmera de vídeo acoplada a um laptop, pode ser construído e montado com relativa facilidade e baixo custo e mostrou-se de fácil manuseio e eficiente para condução de estudos de comportamento, em ambiente controlado, de pequenos animais aquáticos marinhos e que possivelmente pode também ser empregado no teste de outros organismos de pequeno porte.
- Espécies alvo da pesca artesanal e/ou utilizadas em aquarofilia como a cioba vermelha (*Lutjanus analis*); o cangulo (*Balistes vetula*); o paru preto (*Pomacanthus paru*); o paru branco (*Chaetodipterus faber*) e o peixe-borboleta (*Chaetodon striatus*) de ocorrências no Atlântico tropical tiveram baixa frequência nas capturas com covos tanto com magneto quanto sem magneto, na área costeira de Pedra do Xaréu, indicando a redução de seus estoques na área de estudo.
- A ausência de ocorrência de peixes cartilaginosos nas capturas com os covos pode ser reflexo dos baixos estoques de suas populações na área de estudos e/ou seu maior porte relativo a abertura das armadilhas, ou ainda um comportamento de aversão ao campo magnético, hipótese que se confirmada poderia ser potencialmente empregada para minimizar as capturas desses

animais em redes de pesca bem como mantê-los afastadas de áreas freqüentadas por banhistas.

- O alto índice de ataque aos covos com magnetos acoplados pode estar relacionado a ocorrência de tubarões na área, sendo igualmente possível que algum vertebrado marinho (peixes e mamíferos) possam usar a habilidade na detecção do campo magnético, como a navegação, para associar a posição das anomalias magnéticas dos covos com fontes de alimento. Grupos de três a quatro botos, foram avistados nadando em círculos em torno dos covos, que funcionariam como marcos magnéticos, uma vez que a armadilha mantém grandes quantidades de animais presos por longas horas.
- Estudos envolvendo o comportamento de organismos marinhos sob campo magnético são ainda escassos. Dentre os organismos testados, uma atratividade pelo pólo sul magnético e a paralisação das atividades quando expostos a campos magnéticos superiores a 30 μT , são respostas comportamentais com alto potencial para aplicações ambientais, tais como seletividade nas capturas e redução de bycatch, atração para áreas seguras, e exclusão de área de risco (poluídas, sob derrocagem, etc.), redução de escape de espécie exógenas utilizadas na aquicultura durante despescas, e que apontam para a necessidade de continuidade das pesquisas, no sentido de uma análise comportamental mais profunda juntamente com a análise microscópica das estruturas relacionadas com a percepção do campo magnético.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABLE, K. P. Mechanisms of Orientation, Navigation and Homing. In: S.A Gauthreaux (Ed.). **Animal Migration**. New York: Academic Press, 1980. p. 283 - 373.
- ACCIOLY, M. C. **Metodologia de amostragem e zanação das comunidades bentônicas do costão rochoso da praia de Pedra do Xaréu – estado de Pernambuco (Brasil)**. 1992. 146f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 1992.
- ACOSTA-AVALOS, D. A.; WAJNBERG, E.; ESQUIVEL, D. M. S. & EL-JAICK, L. J. Insetos sociais: um exemplo de magnetismo animal. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 317 - 323, 2000..
- ACOSTA-AVALOS, D. A. Modelos para magnetorecepção: magnetismo biológico. Curso de curta duração ministrado/outra. Escola de verão. Ministério da ciência e tecnologia. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Rio de Janeiro, 2006.
- AQUACOP. Penaid reared bood stock closing the cycle of *P. monodom*, *P. stylirostris* and *L. vannamei*. **ProceEdings of the World Mariculture Society**, V. 10, P. 445-452, 1979.
- AQUASIS. Associação de Pesquisa e preservação de Ecosystemas Aquáticos. A Conservação da Paisagem e da Biodiversidade, parte 3. in: **A zona Costeira do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada** p126-131, Fortaleza-CE. 293p. 2003.
- ARAÚJO, D. B.; CARNEIRO, A. A. O.; MORAES, E. R.; BAFFA, O. Biomagnetismo - Nova Interface entre a Física e a Biologia, **Revista Ciência Hoje**, v. 26, n. 24, p. 74-88, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE CAMARÃO – **ABCC**. Projeto executivo para apoio político ao desenvolvimento do camarão marinho cultivado. Recife: ABCC, 11p. 2004.
- BLAKEMORE, R. P. Magnetotactic Bacteria. **Science**, v. 190, p. 377 - 379, 1975.
- CALAZANS, D. Key to the larvae and decapodids of genera of the infraorder Penaeidea from the southern Brazilian coast. **Nauplius**, Rio Grande, v. 1, p. 45-62, 1993.
- CAMHI, M. Sharks and their relatives: ecology and conservation. **Occasional Paper of the IUNC Species Survival Commission**, [S.I.]: IUNC. n.20, p.1-39. 1998.
- CARNEIRO, A. A. O.; FERREIRA, A.; MORAES, E. R.; ARAUJO, D.B.; SOSA, M.; BAFFA, O. Biomagnetismo: Aspectos Instrumentais e Aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 324 - 328, 2000.

CORREIA, E. S. **Efeito da substituição do milho por raspa de mandioca em rações do camarão da Malásia *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879).** Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. 90p. 1993.

DIEBOLD, U. Magnetic minerals, Surface science, n. 602, p. 1297-1298, 2008.

DORE, I. & FRIMODT, C. *Illustrated guide shrimp of the world*. Osprey Books: Hantington, NY, USA. 229p. 1979.

FONSECA, F. T. B. Copépodes parasitas de peixes mugilídeos cultivados em Itamaracá, Pernambuco-Brasil. 161p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.

FONSECA, F. T. B. Copépodos parasitas de peixes mugilidae, Centropomidae e Gerreidae do canal de Santa Cruz (Pernambuco-Brasil). 131p. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

FOWLER, S. IUNC Red List Assessments for sharks and rays. In: FOWLER, S., et al. *Sharks, rays and chimeras: the status of the chondrichthyan fishes*. [S.I.]: IUNC, 2000.

GONÇALVES, C. G. B. **Relações do homem com as baleias (Mysticeti) desde a Antigüidade aos dias atuais.** 109p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2003.

GONÇALVES, C. G. B. Influência do campo magnético no tatismo de microrganismos flagelados bacterioplânctônicos: Um estudo com base em dados secundários. 21p. Monografia (especialização em oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Oceanografia, Recife, 2006.

GONÇALVES, M. M.; LEMOS, M. V. F.; GALETTI JUNIOR, P. M.; FREITAS, P. D.; FURTADO NETO, M. A. A. Fluorescent amplified fragment length polymorphism (FAFLP) analyses and genetic diversity in *Litopenaeus vannamei* (Peneidae). **Genetics and Molecular Biology**, v.28, p.267-270, 2005.

HUMANN, P.; DELOACH, N. **Reef fish identification: Florida, Caribbean, Bahamas**. New World Publication, INC. Jacksonville, Florida U.S.A. 481p. 2006.

HILTON & TAYLOR, C. (Compiler). **IUCN Red List Threatened Species**. Gland: IUCN, 2000.

HOSS, D. E. & THAYER, G. W. The importance of habitat to the early life history of estuarine dependent fishes. **Am. Fish. Soc. Symp.**, Bethelsda, v. 14, p. 147 – 158, 1993.

ISTITUTE NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA. Disponível em <http://www.portale.ingv.i.t/temi-ricewrca/la-terra> Acesso em: 2009. on line.

KIRSCHVINK, J. L. birds, Bees and magnetism. **Trends in Neuroscience**, v. 5, n. 5, p. 160 – 167, 1982.

KIRSCHVINK, J. L. birds, Bees and magnetism. **Trends in Neuroscience**, v. 5, n. 5, p. 160 – 167, 1982.

KITANI, H. Larval development of the whitc shrimp L. Vannamei (Boone, 1931) reared in the laboratory and the statistical observation of its naupliar stages. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**. V. 52, n.7, p. 1131-1139. 1986.

KITANI, H. Morfhology of post-larvae of the whiteleg shrimp L. Vannamei. **Nippon Suisan Gakkaishi**. V.59, n.2, p. 223-227. 1993.

KRISTJONSSON, H. Técnicas para localizar y capturar camarones en la pesca comercial. **CARPAS, Doc. Téc.**, Rio de Janeiro, v.2, p.1-69, 1968.

LANA, P. C.; ALMEIDA, M. V. O.; FREITAS, C. A. F.; COUTO, E. C. G.; CONTI, L. M. P.; GONZALES-PERONTI, A. L.; GILES, A. G.; LOPES, J. S.; SILVA, M. H. C. & PEDROSO, L. A. Estrutura espacial de associações macrobênticas da Gamboa Perequê (Pontal do Sul, Paraná). **Nerítica**, Curitiba, v. 4, p. 119 – 136, 1989.

LESSA, R.P. et al. Biodiversidade de Elasmobrânquios do Brasil: avaliação da utilização de componentes da biodiversidade. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA ESTUDO DE ELASMOBRÂNQUIOS, 2., 2000, Santos. **Resumos...** Santos: Sbeel, 2000. p.22.

LIMA, R. Criadores de Pernambuco começam a sentir os efeitos de uma doença que diminui a capacidade de sobrevivência do camarão. **Jornal do Comércio**, Caderno de Economia, p. 1, em 04-11-2004.

LINS DE BARROS, H. G. P. L.; ESQUIVEL, D. M. S. Interação do Campo Magnético da Terra com os Seres Vivos: História da sua Descoberta. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 312 - 316, 2000.

LOHMANN, K. J.; PENTCHEFF, N. D.; NEVITT, G. A.; STETTEN, G. D.; ZIMMER-FAUST, R. K.; JARRARD, H. E. ; BOLES, I. C. Magnetic orientation of spiny lobsters inthe ocean: experiments wiht undersea coil systems. **The Journal of Experimental biology**. n 198, p.2041-2048, 1995.

MACEDO, S. J.; MUNIZ, K. & MONTES, M. J. F. 2004. Hidrologia da região costeira e plataforma continental do estado de Pernambuco. Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S & Costa, M. F. E. (Eds) In: **Oceanografia – Um cenário tropical**. Universidade Federal de Pernambuco. 255 – 286 pp.

MAGALHÃES, M. E. S. **Cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) em sistema multifásico**. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco 58p. 2004.

MAGALHÃES, M.; MARTINEZ, R. A.; GALOTTO, F. A. . Diversidade genética de *Litopenaeus vannamei* cultivado na Bahia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1131-1136, ago.2007.

MAHON, R. & HUNTE, W. Trap mesh selectivity and the management of reef fishes. **Fish and Fisheries**, Ofor, v. 2, p. 356-375, 2001.

MANN, S.; SPARKS, N. H. C.; WALKER, M. M.; KIRSCHVINK, J. L. Ultrastructure, morphology and organization of biogenic magnetite from sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*: Implications for magnetoreception. **J. Exp. Biol**, v. 140, p. 35-49, 1988.

MARQUES, L. C.; ANDREATA, E. R. Efeito da frequência alimentar sobre o consumo de ração e crescimento de juvenis do camarão rosa *Penaeus paulensis* (Perez-Farfante, 1967). In: Congresso Brasileiro de Engenharia de pesca, 11., 1999,. **Anais...** Recife: AEP-BR, 1999. P.571-580.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA B. (Ed.). **Curso de Física**. 3a ed. São Paulo: Editora Harbra Ltda, 1394p. 1994.

MENDES, P. P. **Estatística aplicada à aquicultura**, Recife, Bagaço, p265. 1999.

MENDES, G. N.; PEDRESCHI, Aclimação de juvenis de *Litopenaeus vannamei*, à água doce. In: Simpósio Brasileiro de Aqüicultura, 10., 1998, Anais...Recife:ABCC, p.309-313. 1998.

MEYER, C. G.; HOLLAND, K. N.; PAPASTAMATIOU, Y. P. Sharks can detect changes in the geomagnetic field. **J. R. Soc. Interface**, v. 2, p.129-130. 2004.

MOORE, A.; FREAK, S, M.; THOMAS, F, M. **Magnetic particles in the lateral line of the atlantic salmon (*Salmo salar* L)**. Royal society Publishing. V. 329, n. 1252, p. 11-15, 1990.

MUNDIM, K. C. História do magnetismo. Biblioteca Nacional. **Ministério da Cultura**. n 169.766, 1997.

MUSICK J. A. et al. Management of sharks and their relatives (Elasmobranchii). **Fisheries**. [S.l.], p.9-13. 2000.

NETO, J. A. B.; PONZI, V. R.; SICHEL, S. E. (Ed.). **Introdução a Geologia Marinha**. 1a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 279 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. 1a ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 434 p. 1988.

ORR, R. T. **Biologia dos Vertebrados**. 5ª ed. São Paulo. ROCA. 508p. 1986.

PEREIRA, R. C.; GOMES, A. S. **Biologia Marinha**. (Ed.). 1a ed. Rio de janeiro: Interciência, 2002. 382p.

- PÉREZ & FARFANTE, I. Sinopsis de dados biológicos sobre el camarón blanco *Penaeus schmitti* Burkenroad, 1936. FAO **Fish. Rep.**, Roma, n. 37, v.4, p. 1417-1438, 1970.
- PIO, J. L. S.; CAMPOS, M. F. M.; Navegação robótica. **Revista brasileira de ensino de física**, v. 22, n. 9, p. 1- 50, 2003.
- POUGH, F.H, HEISER, J.B.; MACFARLAND, W.N. **A Vida dos Vertebrados**. São Paulo:ateneu editora. 839p. 1993.
- PRATT Jr., H.L.; CASEY, J.G. Shark reproductive strategies. In: PRATT Jr., H.L.; GRUBER, S.H.; TANIUCHI, T. (Eds.). **Elasmobranchs as living resources: advances in biology, ecology, systematics, and the status of fisheries**. [S.I.]: NOAA Technical Report NMFS, n. 90, p.97-109. 1990.
- QUINN, T. P.; BRANNON, E. L. The use of celestial and magnetic cues by orienting sockeye salmon smolts. **Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and behavioral Physiology**, v. 147, n. 4, p. 547 552, 1982.
- QUINN, T. P.; MERRILL, R. T.; BRANNON, E. L. Magnetic field detection in sockeye salmon, **Journal of interscience**, v. 217, n. 1, p. 137 – 142, 2005.
- REZENDE, S. M. Magnetismo na Terra Brasilis. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 293-298, 2000.
- RIBEIRO, R. P. **Caracterização e análise da pesca do saramunete, *Pseudupeneus maculatus* (Bloch, 1793), com a utilização de armadilhas (covos) na plataforma continental de Pernambuco – Recife**, Tese Doutorado, 90p. 2000.
- RIBEIRO, M. O. & ZUANOM, J. Comparação da eficiência de dois métodos de coleta de peixes em igarapés de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. CPBA. Manaus, v. 36, n 3, p. 389-394. 2006.
- ROCHA, I. P. **Agronegócio do camarão cultivado**. Revista da ABCC, Recife, p.23. Abril, 2000.
- ROCHA, I. P.; RODRIGUES, J.; AMORIM L. Aquicultura Brasileira em 2003. Revista da ABCC, Recife, ano 6, nº - 1, p 30-36, 2004.
- ROGADO, L. ; ALEXANDRINO, P. ; ALMEIDA P. R.; ALVES, J.; BOCHECHAS, P.; CORTES, R.; DOMINGOS, I.; FILIPE, F.; MADEIRA, J.; MAGALHÃES F. Salmo salar salmão IN: **Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal**. CABRAL, M. J. et al. (eds). Instituto da conservação da natureza, lisboa, 2005.

ROUNTREE, R. A.; ABLE, K. W. Diel variation in decapoda crustacean and fish assemblages in New Jersey polyhaline marsh creeks. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 37, p. 181-201, 1993.

ROUNTREE, R. A. & ABLE, K. W. Nocturnal fish use of New Jersey marsh creek and adjacent bay shoal habitats. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.44, p. 703-711, 1997.

ROSS, S. T.; MCMICHAEL JR, R.H; RUPLE, D. L. Seasonal and diel variation en the standing crop of fishes and macroinvertebrates from a gulf of Mexico surf zone. **Estuarine, Coastal & Shelf Science**, p. 391-412, 1987.

SANTOS, C.H. A.; ROCHA, R. B.; IGARASHI, M. A. Cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em água doce, alimentados com dietas naturais. **Ciência Agrônômica**, vol. 33. n. 1. p.58-63. 2002.

SHCHERBAKOV, D.; WINKLHOFER, M.; PETERSEN, N.; STEIDLE, J.; HILBIG, R.; BLUM, M. Magnetosensation in zebrafish. **Current Biology**. V. 15, n. 5. 2007.

SIMMONS, S. L.; S. M. SIEVERT, S. M.; FRANKEL, R. B.; BAZYLINSKI, D. A.; EDWARDS, K. J. Spatiotemporal Distribution of Marine Magnetotactic Bacteria in a Seasonally Stratified Coastal Salt Pond. **Appl Environ Microbiol**, v. 70, n.10, p. 6230-6239, 2004.

SKILES, D. D. The geomagnetic field: its nature, history, and biological relevance. In: **Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms: a new biomagnetism**. KIRSCHVINK, J. L.; JONES, D. L.; MACFADEN, B. J. (Eds.). New york: Plenum Press, 1985. p. 43 - 102.

SONNIER, H. & MARINO, A. A. Sensory transduction as a proposed model for biological detection of electromagnetic fields. **Electro- and magnetobiology**. v. 20, n. 2, p. 153-175. 2001.

STORER, T.I.; USINGNER, R. L. **Zoologia geral**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 508p. 1991.

THALAU, P.; HOLTKAMP-RÖTZER, E.; FLEISSNER, G.; WILTSCHKO. **Homing pigeons (*Columba livia f. domestica*) can use magnetic cues for locating food**. Springer-Verlag, v 94, p. 813-819, 2007.

TOGINHO FILHO, D.O.; LAURETO,E. Campo Magnético Ambiental – Bobina de Helmholtz. **Catálogo de Experimento do Laboratório Integrado de Física Geral**. Departamento de Física. Universidade Estadual de Londrina, Junho, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Associação Científica dos Médicos Veterinários do Ceará. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal (versão on line). O ciclo do camarão. Disponível na internet: <http://www.higieneanimal.ufc.br>. capturado em: 20 Mai 2009.

WALKER, M. M. Magnetic sensitivity and its possible physical basis in the Yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. In: McCLEAVE, J. D.; ARNOLD, G. P.; DODSON, J. J. & NEIL, W. H. (Ed.). **Mechanisms of migration in fishes**. New York: Plenum Press, p. 125-141, 1984a.

WALKER, M. M. Learned magnetic field discrimination in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. **Journal of comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and behavioral Physiology**, v. 155, n. 5, p. 673 – 679. 1984b.

WALKER, M. M.; DIEBEL, C. E.; HAUGH, C. V.; PANKHURST, P. M.; MONTGOMERY, J. C.; & GREEN, C. R. Structure and function of the vertebrate magnetic sense. **Nature**, v 390, p. 371-376, 1997.

WALKER, M. M.; GREEN, C. R. Structure, function, and use of the magnetic sense in animal. **Journal of Applied Physics**, v. 5, n. 5, p. 1 - 10, 2000.

WILTSCHKO, R.; WILTSCHKO, W. (Ed.). **Magnetic Orientation in Animals**. 1a ed. New York: Springer-Verlag, 225 p. 1995