



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA**



**MARIANE DE ARAÚJO SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA TERMOHALINA NO ENTORNO DAS  
ILHAS OCEÂNICAS DE FERNANDO DE NORONHA, ATOL DAS ROCAS E SÃO  
PEDRO E SÃO PAULO**

**RECIFE – PE  
2016**

MARIANE DE ARAÚJO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA TERMOHALINA NO ENTORNO DAS  
ILHAS OCEÂNICAS DE FERNANDO DE NORONHA, ATOL DAS ROCAS E SÃO  
PEDRO E SÃO PAULO**

Monografia apresentada ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Oceanografia.

**Orientador (a):** Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleda

**Co-orientador:** Msc. Pedro Tyaquiçã

RECIFE – PE  
2016

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

S586c Silva, Mariane de Araújo.  
Caracterização da estrutura termohalina no entorno das ilhas oceânicas de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e São Pedro e São Paulo./ Mariane de Araújo Silva - 2016.  
60 folhas. Il., Tabs.; Abre.; e Sigl.

Orientadora: Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleda.  
Coorientador: Msc. Pedro Tyaquiã.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Departamento de Oceanografia, 2016.  
Inclui Referências e Apêndice.

1. Oceanografia. 2. Ilhas oceânicas. 3. Estrutura termohalina. 4. Correntes.  
5. Efeito ilha. I. Veleda, Dóris Regina Aires (Orientadora). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2017 - 17

MARIANE DE ARAÚJO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA TERMOHALINA NO ENTORNO DAS  
ILHAS OCEÂNICAS DE FERNANDO DE NORONHA, ATOL DAS ROCAS E SÃO  
PEDRO E SÃO PAULO**

Monografia apresentada ao departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Oceanografia.

Data de aprovação: 14/12/2016

Nota: 9,5

BANCA EXAMINADORA:

---

**Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleda (orientadora)**  
**Departamento de Oceanografia – UFPE**

---

**Profa. Dra. Carmen Medeiros Limongi (titular)**  
**Departamento de Oceanografia – UFPE**

---

**Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa (titular)**  
**Departamento de Oceanografia – UFPE**

---

**Dr. Daniel Grados (suplente)**  
**Departamento de Oceanografia – UFPE**

Recife, dezembro de 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente ao CNPq e à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA) pela concessão de bolsa de Iniciação Tecnológica e Industrial; também à minha orientadora Dr.<sup>a</sup> Dóris Veleda e ao meu co-orientador Pedro Tyaquiã, pela orientação e ajuda indispensável na realização deste trabalho. Às pessoas que fazem parte do LOFEC e convivem comigo diariamente; ao secretário André Cordeiro, que sem sua ajuda provavelmente não me formaria; aos meus amigos do DOCEAN (os que já foram e os que permanecem), que sabem exatamente o que é passar por essa graduação. Aos amigos de intercâmbio, que fiz para a vida; aos professores que ajudaram na minha formação acadêmica. Às meninas que moram comigo e aos meus gatos, por me aguentarem. A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho e para minha formação ao longo destes seis anos; e, principalmente, aos meus pais, pelo apoio incondicional.

## RESUMO

As ilhas oceânicas do nordeste brasileiro estão inseridas em águas oligotróficas, apresentando baixa concentração de nutrientes e biomassa planctônica, apresentando uma termoclina permanente. A presença de ilhas oceânicas podendo desencadear uma série de processos que alteram a hidrodinâmica local, afetando as correntes que circundam a região, promovendo assim a mistura vertical e, conseqüentemente, o aumento da produtividade fitoplanctônica. Este fenômeno é denominado “efeito ilha”. Com o objetivo de estudar a estrutura termohalina em torno do Arquipélago de Fernando de Noronha, do Atol das Rocas e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, localizados na porção equatorial do oceano Atlântico, foram utilizadas as campanhas oceanográficas CAMADAS FINAS I (2010), II (2012) e IV (2014) para obtenção de dados *in situ* de temperatura, salinidade e fluorescência na região. Esta área é composta por um sistema complexo de correntes movido pela circulação dos Giros Equatorial e Tropical e sua interação com forçantes atmosféricas. Sendo o deslocamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical o maior responsável pela variabilidade dos mecanismos de interação oceano-atmosfera nesta região. Os dados de temperatura, salinidade e fluorescência foram obtidos através do uso de uma sonda CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) durante as três campanhas oceanográficas, em estações formando transectos. A partir dos dados processados foram gerados gráficos com os perfis de temperatura, salinidade e fluorescência nos primeiros 300 m da coluna d’água. O “efeito ilha” foi identificado no Arquipélago de Fernando de Noronha em 2010 e no Atol das Rocas em 2010 e 2012. A possibilidade de ressurgência foi descartada devido à permanência de altas temperaturas nas camadas superficiais. As correntes que influenciam estas ilhas estavam em períodos de máxima velocidade no momento dos cruzeiros, perturbando a estrutura termohalina. No Arquipélago de São Pedro e São Paulo, um núcleo de salinidade máxima na base da termoclina foi detectado na estrutura termohalina, devido à forte influência da Subcorrente Equatorial. Não foram encontradas grandes concentrações de clorofila-*a* próximas à superfície neste arquipélago em nenhum dos anos estudados. O presente estudo foi significativamente importante para entendimento dos processos físicos e oceanográficos no entorno destas ilhas e como estes se relacionam, além de servir de apoio para outras áreas da oceanografia.

**Palavras-chave:** ilhas oceânicas; estrutura termohalina; correntes; efeito ilha.

## ABSTRACT

The oceanic islands off northeastern Brazil are inserted in typically oligotrophic waters, presenting low nutrients concentration and planktonic biomass and characterised by a permanent thermocline. However, the presence of islands can trigger a series of mechanisms that alter local hydrodynamics, which can affect the currents that influence the islands and promote vertical mixing, thus increasing productivity. This is known as “island mass effect”. In order to study the thermohaline structure around the oceanic islands of Fernando de Noronha, Atol das Rocas and São Pedro e São Paulo, which are located in the Equatorial portion of the Atlantic Ocean, data from the oceanographic campaigns CAMADAS FINAS I (2010), II (2012) and IV (2014) were used. This area has a complex system of currents in which are driven by the circulation of the Tropical and Equatorial Gyres and its interactions with atmospheric forcing, being the Intertropical Convergence Zone the major responsible for the variability of the ocean-atmosphere’s mechanisms in this region. Temperature, salinity and fluorescence data were obtained using a CTD probe during the three oceanographic cruises, at stations forming transects. The data were processed and plotted in temperature, salinity and fluorescence profiles in the first 300m of the water column. The “island mass effect” was identified in the Fernando de Noronha archipelago in 2010 and in the Atol das Rocas in 2010 and 2012. The possibility of upwelling was rejected due to the persistence of high temperatures in the upper layers. The currents that influence both of these islands were in their maximum velocity period when the cruises happened, disturbing the thermohaline structure. In the São Pedro e São Paulo archipelago, the thermohaline structure was marked by a core of maximum salinity at the base of the thermocline, due to the strong influence of the Equatorial Undercurrent. No great concentrations of chlorophyll *a* were found near the surface waters of this archipelago in any of the years studied. The present study was important for understanding the physical and oceanographic processes around these islands, as well as supporting other fields in oceanography.

**Keywords:** oceanic islands; thermohaline structure; currents; island mass effect.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Área de estudo compreendendo as ilhas oceânicas de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e São Pedro e São Paulo..... 18**
- Figura 2 - Área de estudo relacionada com suas principais correntes, compreendendo o Arquipélago de Fernando de Noronha (FN), o Atol das Rocas (AR), o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (SPSP), a Subcorrente Equatorial (SCE) e os ramos norte e central da Corrente Sul Equatorial (CSEn e CSEc) (modificado de EDWARDS e LUBBOCK, 1983)..... 18**
- Figura 3 - Esquema ilustrativo das principais correntes tropicais do Atlântico nos primeiros 100m da coluna d'água. (a) é a representação durante o outono austral e (b) durante a primavera. As correntes representadas no esquema são a Corrente Norte Equatorial (CNE), Corrente Norte do Brasil (CNB), os ramos norte, equatorial, central e sul da Corrente Sul Equatorial (CSEn, CSEe, CSEc, CSEs), a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Corrente da Guiné (CG), Subcorrente Equatorial (SCE), Subcorrente Sul Equatorial (SCSE), Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE), Subcorrente Gabão-Congo (SCGC), Corrente de Angola (CA) e a Corrente do Brasil (CB). Também estão representados o Domo da Guiné (DG), o Giro de Angola (GA) e o Domo de Angola (DA). A letra R marca possíveis áreas de ressurgência (modificado de STRAMMA e SCHOTT, 1999). ..... 23**
- Figura 4 - Mapa da localização das estações durante as três campanhas oceanográficas no Arquipélago de Fernando de Noronha..... 31**
- Figura 5 - Mapa da localização das estações durante as três campanhas oceanográficas no Atol das Rocas..... 32**
- Figura 6 - Mapa da localização das estações durante as três campanhas oceanográficas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. .... 32**
- Figura 7 - Diagrama de Hovmöller para a temperatura nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010, 2012 e 2014. A linha tracejada representa a localização da ilha. Os transectos SW estão representados à esquerda do diagrama, e os NE à direita. .... 34**
- Figura 8 - Diagrama de Hovmöller para a salinidade nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha. Os transectos SW estão representados à esquerda do diagrama, e os NE à direita..... 35**
- Figura 9 - Diagrama de Hovmöller para a fluorescência nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada**

representa a localização da ilha. Os transectos SW estão representados à esquerda do diagrama, e os NE à direita.....	36
<b>Figura 10 - Diagrama de Hovmöller para a temperatura nos primeiros 300m da coluna d'água no Atol das Rocas, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 11 - Diagrama de Hovmöller para a salinidade nos primeiros 300m da coluna d'água no Atol das Rocas, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 12 - Diagrama de Hovmöller para a fluorescência nos primeiros 300m da coluna d'água no Atol das Rocas, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.</b>	<b>39</b>
<b>Figura 13 - Diagrama de Hovmöller para a temperatura nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 14 - Diagrama de Hovmöller para a salinidade nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 15 - Diagrama de Hovmöller para a fluorescência nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.....</b>	<b>42</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Estações, data de coleta e localização das respectivas estações da campanha oceanográfica Camadas Finas I nas três ilhas da área de estudo. ....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 2 - Estações, data de coleta e localização das respectivas estações da campanha oceanográfica Camadas Finas II nas três ilhas da área de estudo.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 3 - Estações, data de coleta e localização das respectivas estações da campanha oceanográfica Camadas Finas IV nas três ilhas da área de estudo.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AR** – Atol das Rocas

**ADCP** – *Acoustic Doppler Current Profilers*

**CA** – Corrente de Angola

**CB** – Corrente do Brasil

**CCNE** – Contra Corrente Norte Equatorial

**CCSE** – Contra Corrente Sul Equatorial

**CG** – Corrente da Guiné

**CNB** – Corrente Norte do Brasil

**CNE** – Corrente Norte Equatorial

**CSE** – Corrente Sul Equatorial

**CSEc** – Ramo central da Corrente Sul Equatorial

**CSEe** – Ramo equatorial da Corrente Sul Equatorial

**CSEn** – Ramo norte da Corrente Sul Equatorial

**CSEs** – Ramo sul da Corrente Sul Equatorial

**CTD** – *Current, Temperature and Depth*

**DA** – Domo de Angola

**DG** – Domo de Guiné

**DHN** – Diretoria de Hidrografia e Navegação

**DOCEAN-UFPE** – Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco

**E** – Leste

**ESE** – Leste Sudeste

**FN** – Arquipélago de Fernando de Noronha

**GA** – Giro de Angola

**N** – Norte

**NE** – Nordeste

**NW** – Noroeste

**PMC** – Profundidade Máxima de Clorofila

**S** – Sul

**SCE** – Subcorrente Equatorial

**SCGC** – Subcorrente Gabão-Congo

**SCNB** – Subcorrente Norte do Brasil

**SCNE** – Subcorrente Norte Equatorial

**SCSE** – Subcorrente Sul Equatorial

**SE** – Sudeste

**SPSP** – Arquipélago de São Pedro e São Paulo

**SW** – Sudoeste

**UNESCO** – *United Nations Scientific, Education and Cultural Organization*

**W** – Oeste

**ZCIT** – Zona de Convergência Intertropical

**ZEE/NE** – Zona Econômica Exclusiva do Nordeste

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Arquipélago de Fernando de Noronha .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Atol das Rocas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Arquipélago de São Pedro e São Paulo .....</b>	<b>17</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Propriedades físicas da água do mar .....</b>	<b>19</b>
3.1.1. Temperatura .....	19
3.1.2. Salinidade.....	20
<b>3.2. Fluorescência .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Circulação superficial no Atlântico .....</b>	<b>22</b>
3.3.1. Subcorrente Sul Equatorial (SCSE).....	24
3.3.2. Subcorrente Equatorial (SCE) .....	25
3.3.3. Corrente Sul Equatorial (CSE) .....	27
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Objetivo geral.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>29</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1. Aquisição de dados.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2. Tratamento dos dados .....</b>	<b>33</b>
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>6.1. Arquipélago de Fernando de Noronha .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2. Atol das Rocas .....</b>	<b>37</b>
<b>6.3. Arquipélago de São Pedro e São Paulo .....</b>	<b>40</b>
<b>7. DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>7.1. Arquipélago de Fernando de Noronha .....</b>	<b>44</b>
<b>7.2. Atol das Rocas .....</b>	<b>45</b>
<b>7.3. Arquipélago de São Pedro e São Paulo.....</b>	<b>47</b>
<b>8. CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – Tabelas das estações utilizadas e a localização de cada estação .....</b>	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Ilhas oceânicas são formadas a partir da atividade vulcânica ou da convergência de placas tectônicas, sendo consideradas únicas devido à biodiversidade que abrigam. Estes habitats são altamente sensíveis ao clima, principalmente os atóis, o que as tornam ambientes de grande importância científica (GILLESPIE, 2007). As ilhas oceânicas do nordeste brasileiro, dentre elas o Arquipélago de Fernando de Noronha, o Atol das Rocas e o Arquipélago de São Pedro e São Paulo estão em águas consideradas tipicamente oligotróficas, apresentando baixa concentração de nutrientes e biomassa planctônica, caracterizadas por uma termoclina permanente (BOLTOVSKOY, 1981; LESSA *et al.*, 2009). Há uma estratificação térmica acentuada na região onde as ilhas estão inseridas, mantendo a Água Tropical na camada superior da coluna d'água e a Água Central do Atlântico Sul sempre abaixo desta, impossibilitando a ocorrência de ressurgências no oeste do Atlântico Tropical (BRANDINI *et al.*, 1997). Entretanto, a presença de ilhas e montes submarinos pode desencadear uma série de mecanismos que alteram a hidrodinâmica local, afetando as correntes circundantes e provocando mistura vertical, dessa forma, podendo favorecer a produtividade. A este fenômeno é dado o nome de “efeito ilha” (DOTY; OGURI, 1956; GOVE *et al.*, 2015). Araujo e Cintra (2009) também destacam que a interação das correntes com a topografia de ilhas e montes submarinos pode acarretar em produção de vórtices, redução na velocidade das correntes e perturbações na estrutura termohalina.

A porção equatorial do oceano Atlântico é compreendida de um sistema complexo de correntes fluindo majoritariamente no sentido Leste-Oeste (E-W), movido pela circulação dos Giros Equatorial e Tropical e sua interação com as forçantes atmosféricas (ARAUJO; CINTRA, 2009). Segundo Stramma e Schott (1999), o maior responsável pela variabilidade dos mecanismos de interação oceano-atmosfera no oceano Atlântico tropical é o deslocamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Com o deslocamento da ZCIT, ocorre também o deslocamento de mesma direção das principais correntes zonais que afetam o Atlântico Equatorial, conseqüentemente alterando o transporte de calor na superfície do oceano.

Nos oceanos, os processos físicos, químicos e biológicos estão em constante interação e influenciam a biota marinha. Fatores como temperatura, salinidade e luz são particularmente importantes devido à suas influências na circulação oceânica e tornando-se fatores limitantes para a distribuição dos organismos vivos. Deste modo, as relações com a temperatura e a salinidade regulam a vida no mar, fazendo-se necessária uma melhor compreensão destas

propriedades para o conhecimento dos ciclos abióticos e bióticos que se desenvolvem nos oceanos (MIRANDA, 1982; MACEDO; FLORES; COSTA, 2009).

O conhecimento sobre os processos físicos, químicos e bióticos no Atlântico Sul ainda é incipiente quando comparado ao dos outros oceanos. Nos últimos anos tem se notado um esforço da comunidade científica em ampliar as pesquisas nas áreas de oceanografia, biologia e geologia marinha, especialmente em temas atuais, como a relação oceano-atmosfera com o clima global. O potencial econômico das águas jurisdicionais brasileiras também impulsiona o avanço técnico-científico (COSTA, 2014). Nota-se então a importância da realização periódica de campanhas oceanográficas no Atlântico Sul, especialmente na região equatorial, onde se encontram a pluma do Amazonas e ilhas oceânicas de importância estratégica. (CAROLLI, 2010).

## 2. ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Arquipélago de Fernando de Noronha

O Arquipélago de Fernando de Noronha (FN) ( $03^{\circ}45' - 03^{\circ}57' \text{ S}$ ,  $32^{\circ}19' - 32^{\circ}41' \text{ W}$ ) (Fig. 1) está situado a 345 km da cidade de Natal e é constituído de 21 ilhas, ilhotas e rochedos, abrangendo uma área de 18,4 km<sup>2</sup>. A ilha principal, a Ilha de Fernando de Noronha, constitui 91% da área total do arquipélago (MABESOONE; COUTINHO, 1970). É o maior arquipélago do Brasil e constitui um Parque Nacional Marinho e uma Área de Proteção Ambiental Estadual, sob jurisdição do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (MARQUES *et al.*, 2007). O Arquipélago faz parte da Cadeia de Fernando de Noronha, constituída de um único segmento de montes submarinos de direção Leste-Oeste (E-W) que se elevam de profundidades superiores a 400 m até próximo à superfície (BECKER, 2001). O clima na região do Arquipélago possui duas estações distintas: o período chuvoso, entre março e julho e o período seco, entre agosto e janeiro (MOHR *et al.*, 2009). O regime de maré é semidiurno, com amplitude de 2 a 3,2 m e os ventos são predominantemente de SE. O arquipélago recebe influência direta da Corrente Sul Equatorial (CSE), com salinidade média 36 e temperaturas entre 26 e 27°C (SOTO, 2001).

### 2.2. Atol das Rocas

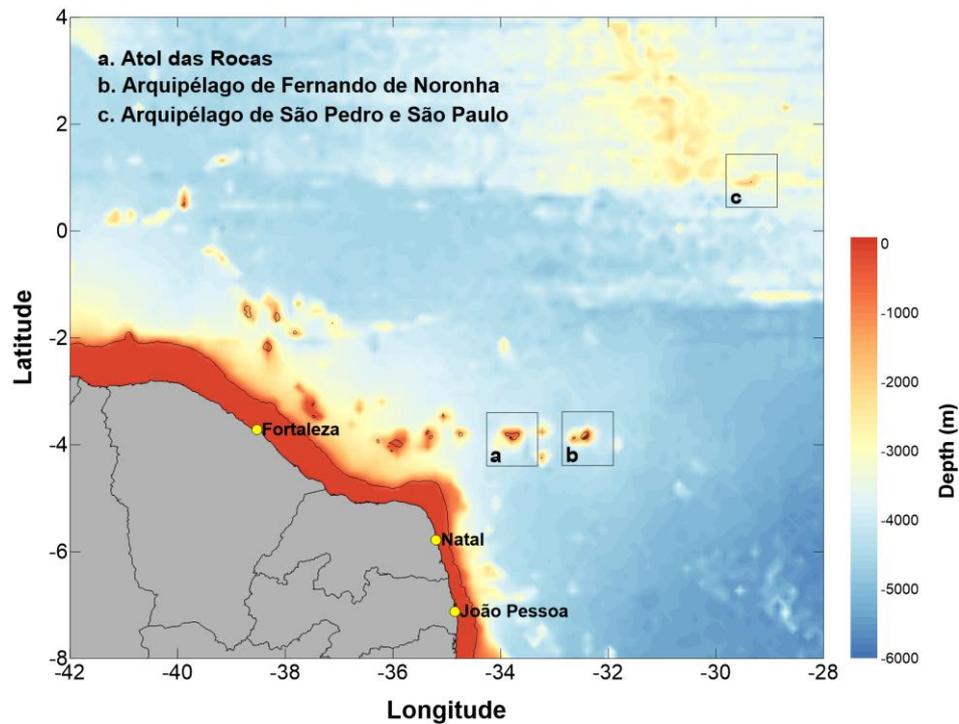
O Atol das Rocas (AR) ( $03^{\circ}48' - 03^{\circ}59' \text{ S}$ ,  $33^{\circ}34' - 33^{\circ}59' \text{ W}$ ) (Fig. 1) é o único atol do oceano Atlântico Sul Ocidental e um dos menores do mundo (KIKUCHI; LEÃO, 1997). Foi a primeira Reserva Biológica Marinha do Brasil, criada em 1979, envolvendo uma área de aproximadamente 360 km<sup>2</sup> (VILLAÇA *et al.*, 2010). Localizado a 266 km da costa do estado do Rio Grande do Norte (GHERARDI; BOSENCE, 2001), o atol possui formato elíptico, medindo 3,5 km no eixo E-W e 2,5 km no eixo norte-sul (N-S) (VILLAÇA *et al.*, 2010). O Atol das Rocas também está inserido na Cadeia de Fernando de Noronha, sobre um monte vulcânico (PEREIRA *et al.*, 2010) a 145 km do Arquipélago de Fernando de Noronha (KIKUCHI; SCHOBENHAUS, 2002). A temperatura média da água do mar na região do atol é 27°C, porém, na parte interior do recife, pode chegar a 39°C; a salinidade média é 37 (KIKUCHI; LEÃO, 1997). O regime de maré no atol é semidiurno e de mesomaré, com altura máxima de 3,8 m (GHERARDI; BOSENCE, 2001). Os ventos dominantes E-SE ocorrem ao longo de todo o ano (KIKUCHI; LEÃO, 1997), com uma frequência de 50% de SE e 35% de E durante o verão, e 70% de SE e 25% de E durante o inverno (HOFLICH, 1984).

O Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas estão localizados nas mesmas proximidades e em latitudes semelhantes, recebendo influência das mesmas correntes zonais (Fig. 2). A Corrente Sul Equatorial (CSE) domina esta região, com sua direção E-W (BECKER, 2001). Esta corrente possui três grandes ramos, além de um ramo equatorial, sendo o ramo central da CSE (CSEc) o de maior influência sobre estas ilhas na região superficial. Já na camada de subsuperfície, a corrente dominante é a Subcorrente Sul Equatorial (SCSE), na direção W-E (ASSUNÇÃO *et al.*, 2016).

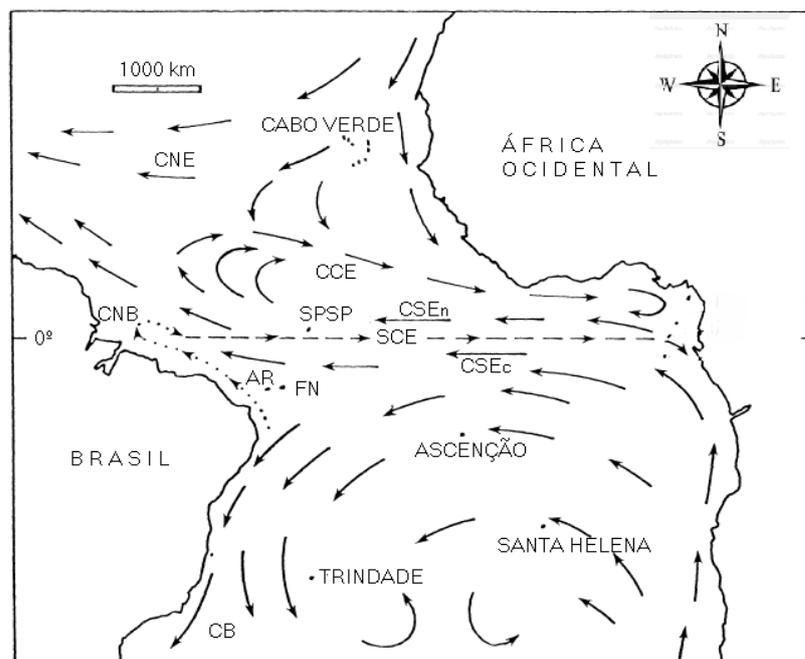
### **2.3. Arquipélago de São Pedro e São Paulo**

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (SPSP) (00° 53' - 00°58' N, 29°16' - 29°24' W) (Fig. 1) é o ponto pertencente ao Brasil mais próximo do continente africano, estando a 937 km do Brasil e a 1824 km de Guiné-Bissau e é formado por 15 pontos rochosos (BECKER, 2001). Considerado o menor arquipélago oceânico do território brasileiro e o único localizado acima da linha do Equador, é também o único arquipélago do oceano Atlântico formado essencialmente por rochas plutônicas. A região do arquipélago é tectonicamente ativa e está relacionada à uma falha transversal da Cadeia Meso-Atlântica (MABESOONE; COUTINHO, 1970; CAMPOS *et al.*, 2009). A temperatura superficial da água do mar está em torno de 27°C e a salinidade também na superfície oscila entre 33,38 e 34,99 (MACEDO; FLORES; COSTA, 2009). Os ventos são predominantemente de SE, com intensidade predominante da ordem de 7 m s<sup>-1</sup>. Os padrões de clima na região do Arquipélago são determinados pelo deslocamento da ZCIT (SOARES *et al.*, 2009). A dinâmica de correntes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo está condicionada à influência do ramo norte da Corrente Sul Equatorial (CSEn), na camada superficial, e, na subsuperfície, da Subcorrente Equatorial (SCE), no sentido oposto (Fig. 2) (ARAUJO; CINTRA, 2009; MACEDO-SOARES *et al.*, 2011).

**Figura 1 - Área de estudo compreendendo as ilhas oceânicas de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e São Pedro e São Paulo.**



**Figura 2 - Área de estudo relacionada com suas principais correntes, compreendendo o Arquipélago de Fernando de Noronha (FN), o Atol das Rocas (AR), o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (SPSP), a Subcorrente Equatorial (SCE) e os ramos norte e central da Corrente Sul Equatorial (CSEn e CSEc) (modificado de EDWARDS e LUBBOCK, 1983).**



### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. Propriedades físicas da água do mar**

Três variáveis físicas determinam o sistema oceano: temperatura, salinidade e pressão. Estas propriedades são conservativas, ou seja, não se criam ou se extinguem no sistema. O conjunto destas variáveis determina a densidade da água, que por sua vez, está diretamente relacionada ao conceito de massas d'águas e à circulação termohalina.

A distribuição da temperatura e salinidade nos oceanos sofre influência da evaporação/precipitação, dos fluxos de calor, das vazões dos rios e da formação/derretimento de gelo afetando a densidade da água. As propriedades analisadas no presente trabalho (temperatura e salinidade) são melhores discutidas ao longo do texto.

##### **3.1.1. Temperatura**

A temperatura é uma propriedade física que caracteriza o estado térmico de um sistema, ou seja, é uma medida do nível energético das moléculas de uma substância, medida em Kelvin (K) ou graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Nos oceanos ela é resultante do balanço dos fluxos de calor e varia no tempo (diariamente, sazonalmente, anualmente e interanualmente) e no espaço (horizontal e verticalmente).

Horizontalmente a temperatura apresenta um padrão de distribuição latitudinal, variando desde  $28^{\circ}\text{C}$  próximo ao Equador, até  $-2^{\circ}\text{C}$  nos polos. A variação latitudinal tem característica permanente na região equatorial, sazonal nos trópicos e desaparece nos polos, visto que, em regiões polares, a temperatura da superfície é similar ao fundo. Em média, a temperatura dos oceanos está em torno dos  $4^{\circ}\text{C}$ , devido à sua profundidade média, que é em torno dos 4000 m.

Já verticalmente, são geralmente identificadas três grandes camadas com padrões distintos de temperatura: a camada de mistura, que compreende a parte mais superior dos oceanos e sofre influência das interações da atmosfera com a superfície oceânica; o limite da camada de mistura é a região da termoclina, uma camada onde a temperatura reduz bruscamente com o aumento da profundidade; e por último há a camada profunda, que é compreendida desde o fim da termoclina até o fundo da bacia oceânica. Dentro destas camadas encontram-se diferentes massas d'águas com diferentes temperaturas.

### 3.1.2. Salinidade

Desde 1902 a salinidade é definida como: “a quantidade total em gramas de matéria sólida contida em um quilograma de água do mar quando todo o carbonato for convertido a óxido, bromo e iodo substituídos por cloro e toda a matéria orgânica for completamente oxidada”. Posteriormente, a salinidade passou a ser definida a partir da determinação de cloro (principal componente), tendo partes por mil (‰) como unidade:

$$S(\text{‰}) = 0,003 + 1,805 \text{ Cl}(\text{‰}) \quad (1)$$

Onde a clorinidade (Cl) é definida como “a massa de prata requerida para precipitar completamente os halogênios em 0,3285234 kg de uma amostra de água do mar”.

Em 1969, a definição foi atualizada pela UNESCO (*United Nations Scientific, Education and Cultural Organization*), conhecida como salinidade absoluta:

$$S(\text{‰}) = 1,80655 \text{ Cl}(\text{‰}) \quad (2)$$

Em 1978, a partir do início do uso de condutímetro para medições de salinidade com precisão, vem sendo usada a Escala de Salinidade Prática, na forma de uma razão entre medidas de condutividade e, deste modo, a salinidade prática não possui unidade de medida (adimensional):

$$S = 0.0080 - 0.1692 K^{1/2} + 25.3853 K + 14.0941 K^{3/2} - 7.0261 K^2 + 2.7081 K^{5/2} \quad (3)$$

"A salinidade prática (S) de uma amostra de água do mar é definida em termos da razão K, que é a medida de condutividade elétrica de uma amostra a 15°C e pressão igual a 1 atm dividida pela condutividade elétrica de uma solução de cloreto de potássio (KCl) contendo a proporção em peso de 0,0324356, na mesma temperatura e pressão. O valor de K igual a 1,000 corresponde por definição, a uma salinidade prática de 35."

A salinidade também apresenta distribuição horizontal e vertical. Sofre influência da evaporação e precipitação, dos fluxos de água doce provenientes da descarga de rios e do degelo polar. Horizontalmente, a salinidade decresce em direção aos polos e também em direção ao Equador, apresentando máximos em aproximadamente 25° de latitude norte e sul. Já verticalmente, comporta-se similarmente à temperatura, dividindo-se em três camadas: camada de mistura, haloclina (análoga à termoclina, representa a camada em que a salinidade decresce bruscamente com o aumento da profundidade) e uma camada de fundo. Além destas

camadas principais, há a presença de diferentes massas d'águas compreendidas de diferentes salinidades.

### 3.2. Fluorescência

A fluorescência é definida como a emissão de energia na forma de luz quando um elétron retorna a um estado de menor energia a partir de um estado excitado singlete. No caso da fluorescência da clorofila-*a*, uma molécula de clorofila-*a* pode se tornar excitada e atingir estado singlete 1 após absorver um fóton de comprimento de onda menor que 670 nm (BOLHÀR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993).

O fitoplâncton, de modo geral, um dos únicos tipos de material em suspensão nos oceanos que contém clorofila-*a*, fazendo com que este pigmento seja utilizado como marcador de biomassa fitoplanctônica. A fluorescência da clorofila-*a* apresenta um comprimento de onda máximo de 685 nm e é um parâmetro utilizado para se estimar a quantidade de clorofila-*a* presente em uma amostra. A baixa concentração de pigmentos na água do mar torna a fluorescência da clorofila-*a* o sinal mais específico que pode ser medido em tempo real, tornando-se uma medida padrão para estimar a biomassa fitoplanctônica nos oceanos (FALKOWSKY; KOLBER, 1995).

A presença da termoclina, geralmente entre 50 e 170 m em regiões tropicais, forma uma barreira física, reduzindo o transporte de nutrientes entre as camadas profunda e superficial do oceano, fazendo com que as camadas superficiais da zona fótica tenham uma redução no aporte de nutrientes e limitando a produção primária (SOUZA *et al.*, 2013). A produção primária também é limitada pela redução da penetração de luz abaixo da termoclina, fazendo com que a região próxima à termoclina seja a única onde não há limitação de nutrientes ou luz, favorecendo a fotossíntese. Essa região, próxima à base da camada de mistura, é caracterizada por um máximo de clorofila, e é, portanto, denominada Profundidade Máxima de Clorofila (PMC) (METZLER *et al.*, 1997). A PMC é comum em regiões oligotróficas, onde um máximo subsuperficial de clorofila-*a* ocorre dentro da picnoclina, associada à presença de uma nutriclina (GIANESELLA, 2000). Esta camada, apesar de estreita, possui um papel ecológico fundamental para o sistema pelágico, com maiores valores de oxigênio e maior produtividade local.

Águas oligotróficas, ou seja, regiões com baixas concentrações de nutrientes e produção primária, tipicamente possuem concentrações de clorofila-*a* abaixo de 0,05 mg m<sup>-3</sup> na

superfície e um máximo entre 0,10 e 0,50 mg m<sup>-3</sup> em profundidades entre 100 e 150 m, enquanto que regiões eutróficas, ou seja, regiões de águas ricas em nutrientes e com grande densidade fitoplanctônica, possuem concentrações de clorofila-*a* que variam entre 1 e 10 mg.m<sup>-3</sup> na superfície (LALLI; PARSONS, 2006).

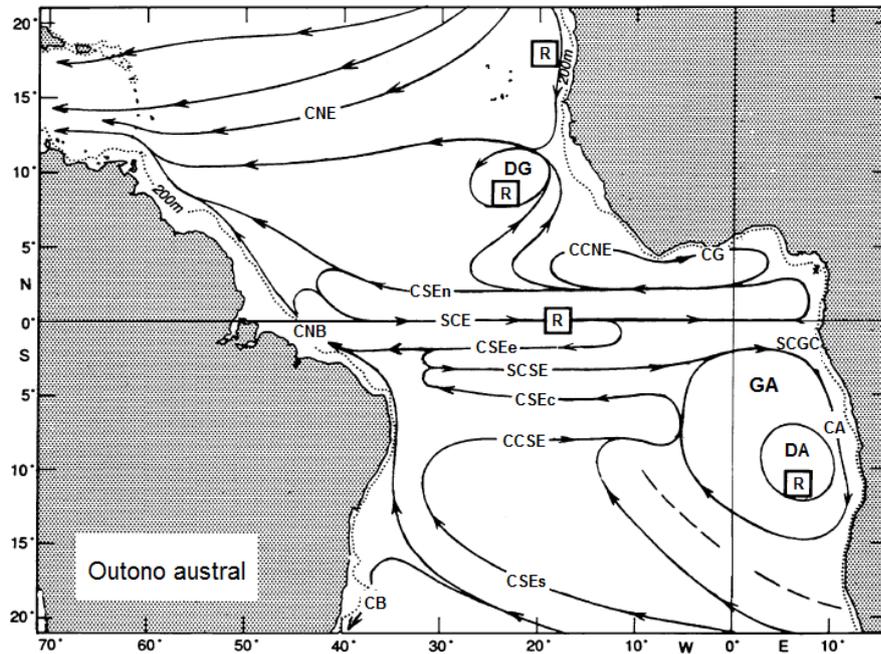
### **3.3. Circulação superficial no Atlântico**

A circulação superficial (ou horizontal) oceânica é regida, a partir da ação dos ventos e águas superficiais oceânicas. Na região equatorial, os ventos que originam as correntes são os alísios, onde estas são denominadas equatoriais e comuns a todos os oceanos. No Atlântico, devido a presença dos continentes, estas correntes são desviadas para norte ou para sul, deslocando-se a partir daí ao longo do oeste do oceano. Os ventos alísios empurram as águas para o oeste (devido ao efeito de rotação da Terra), havendo um empilhamento de água na região. Este acúmulo então retorna à leste, a partir das contracorrentes equatoriais. Já os ventos de oeste originam as correntes que retornam para a região equatorial, completando assim giros subtropicais, ocorrendo no sentido horário no hemisfério norte e no sentido anti-horário no hemisfério sul, devido ao efeito de Coriolis. Nas regiões polares, há a formação de um giro subpolar no hemisfério norte, porém este é inexistente no hemisfério sul, visto que a água não possui obstrução geográfica, fluindo assim ao redor do polo. As correntes oceânicas podem formar meandros, que dependendo da área, podem formar vórtices nas fronteiras de correntes frias e quentes.

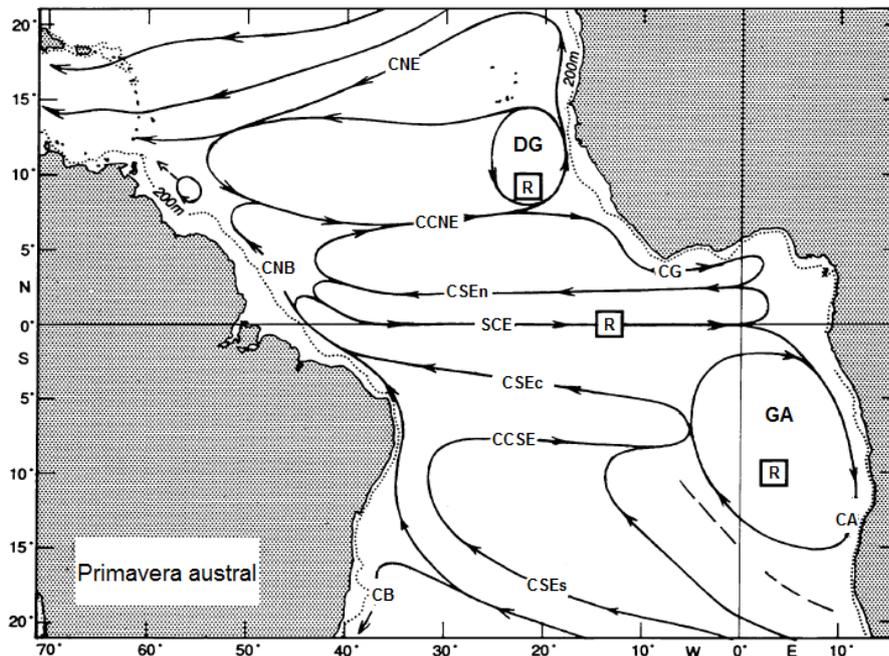
No Atlântico Tropical, a circulação se torna mais complexa devido ao forte deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), zona esta que marca a transição entre os alísios de nordeste (NE) e sudeste (SE). A ZCIT no Atlântico está associada a uma banda zonal de alta precipitação e sua maior variabilidade anual ocorre na primavera e no verão austral, quando esta se encontra em sua posição mais ao sul. Do mesmo modo, sua posição está mais ao norte durante o inverno austral (o deslocamento é impulsionado pela incidência de radiação solar). Este deslocamento sazonal da ZCIT faz com que as correntes equatoriais também se desloquem de acordo com sua posição (CHIANG; KUSHNIR; GIANNINI, 2002; STRAMMA; SCHOTT, 1999) (Fig. 3). As principais correntes que influenciam a área de estudo deste trabalho são descritas em detalhes a seguir.

Figura 3 - Esquema ilustrativo das principais correntes tropicais do Atlântico nos primeiros 100m da coluna d'água. (a) é a representação durante o outono austral e (b) durante a primavera. As correntes representadas no esquema são a Corrente Norte Equatorial (CNE), Corrente Norte do Brasil (CNB), os ramos norte, equatorial, central e sul da Corrente Sul Equatorial (CSEn, CSEe, CSEc, CSEs), a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Corrente da Guiné (CG), Subcorrente Equatorial (SCE), Subcorrente Sul Equatorial (SCSE), Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE), Subcorrente Gabão-Congo (SCGC), Corrente de Angola (CA) e a Corrente do Brasil (CB). Também estão representados o Domo da Guiné (DG), o Giro de Angola (GA) e o Domo de Angola (DA). A letra R marca possíveis áreas de ressurgência (modificado de STRAMMA e SCHOTT, 1999).

(a)



(b)



### 3.3.1. Subcorrente Sul Equatorial (SCSE)

Molinari, Voituriez e Duncan (1981) afirmam que subcorrentes abaixo da termoclina existem nos dois hemisférios, aproximadamente a distâncias iguais do Equador. Estas subcorrentes são distintas das contracorrentes equatoriais superficiais, sendo denominadas Subcorrente Norte Equatorial (SCNE) e Subcorrente Sul Equatorial (SCSE). Estes autores apresentaram dados de velocidades geostróficas, transportes, temperatura, salinidade e nutrientes ao longo da SCSE, entre 1978 e 1980. O núcleo da SCSE foi observado entre 3° S e 5° S para o Atlântico Oeste e estende-se verticalmente a partir dos 100 m até abaixo dos 300 m de profundidade. A largura do núcleo é de aproximadamente 120 km e a origem da corrente ocorre a partir da costa brasileira em 5° S. As velocidades geostróficas máximas no núcleo desta corrente na porção oeste do Atlântico chega a 40 cm s<sup>-1</sup>. O transporte na seção de 33° W é de 15.9 Sv, com uma média de 15 Sv para quatro seções, desde 25° W até 33° W. A distribuição horizontal da corrente é determinada pela topografia, ou seja, uma variabilidade zonal considerável é observada à medida que há uma intensificação de cadeias na região equatorial. Em relação ao oxigênio, nota-se que o núcleo da SCSE coincide com um máximo em sua distribuição. Medidas de distribuição de oxigênio em 150 m de profundidade mostram camadas de altos valores de oxigênio que se originam na costa brasileira e se estendem em direção leste ao longo do eixo da SCSE. Temperatura e salinidade se comportam de maneiras similares, sem apresentar um sinal de variabilidade sazonal em suas estruturas.

Bourlès, Gouriou e Chuchla (1999) observaram uma SCSE localizada entre 3° S e 4° S, nos meses de fevereiro de 1993 e abril de 1996 (para a seção de 35° W) com velocidade do núcleo acima de 30 cm s<sup>-1</sup> localizada entre 200 e 300 m de profundidade e transportes de 3,1 Sv para fevereiro de 1993 e 2,2 Sv para abril de 1996. Foi observada também uma conexão entre a SCSE e a Subcorrente Equatorial (SCE), de maneira que em setembro de 1995, entre o Equador e 3° S, estas correntes estavam superpostas verticalmente, impossibilitando uma clara distinção entre as duas correntes.

Stramma e Schott (1999) afirmam que a SCSE é tipicamente observada entre 3° S e 5° S e que em sua região de origem (a oeste de 35° W) é aparentemente alimentada por águas pobres em oxigênio oriundas do ramo central da Corrente Sul Equatorial (CSEc). Já a leste de 35° W, águas ricas em oxigênio originadas no ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSEs) são transportadas pela SCSE, acarretando em uma estrutura de camadas de águas pobres e ricas em oxigênio nesta corrente. Reverdin *et al.* (1991) discute que, na porção leste do Atlântico

Tropical, a SCSE tem sua intensidade mais fraca entre julho e setembro, com comportamento oposto no oeste, onde a corrente apresenta máxima intensidade nesta mesma época.

Fischer *et al.* (2008) analisaram a SCSE utilizando boias de deriva, obtendo médias de 10 dias do fluxo zonal desta corrente entre as latitudes 3° S e 6° S e longitudes entre 35° W e 10° W, totalizando uma extensão de mais de 2500 km. Estes autores calcularam uma velocidade média de 16,5 cm s<sup>-1</sup> a oeste de 28° W, e determinaram que o núcleo da SCSE pode ter velocidades de até 50 cm s<sup>-1</sup>. Salinidades acima de 32,25 foram observadas na seção próxima a 3° S, 35° W. Utilizando ADCPs (*Acoustic Doppler Current Profilers*), os autores analisaram a corrente em todas as estações do ano, na seção de 35° W. Os maiores transportes são nos meses de abril de 1996 e 2000 (8,9 e 8,7 Sv), fevereiro de 1993 (8 Sv) e agosto de 2004 (6,6 Sv). Nesta mesma seção, o núcleo da corrente está fracamente desenvolvido, com uma velocidade média de 10 cm.s<sup>-1</sup>, e a corrente como um todo está localizada mais à norte, centralizada em 3° S, comparada às outras seções. Mais à leste (30° W e 28° W), a SCSE é mais extensa e também mais intensa, com velocidades acima de 20 cm s<sup>-1</sup> e seu núcleo está ligeiramente ao sul de 4° S. Em relação ao transporte, este aumenta de 5,6 Sv próximo à borda em 35° W para 10 Sv a 800 km leste.

Segundo o modelo apresentado por Hüttl-Kabus e Böning (2008), a SCSE não está conectada à borda oeste, mas é alimentada ao longo do ano por uma recirculação proveniente do ramo central da Corrente Sul Equatorial (CSEc). Meandros estáveis se desenvolvem a leste de 35° W, havendo uma variação sazonal da SCSE, com seu fluxo máximo durante o inverno austral.

### **3.3.2. Subcorrente Equatorial (SCE)**

A Subcorrente Equatorial (SCE) é conhecida pela comunidade científica desde os anos 60, quando evidências de sua existência foram introduzidas por Neumann (1960), a partir de dados obtidos em 1946. Esta corrente é introduzida como um fluxo zonal de sentido W-E, com 200 km de largura e centralizada a 100 km do Equador. A velocidade máxima, geralmente entre 60 e 130 cm s<sup>-1</sup>, está presente entre 50 e 125 m de profundidade, na parte superior da termoclina, enquanto que o transporte está entre 14 e 37 Sv. As águas presentes no núcleo da SCE são anormalmente salinas. A corrente atravessa todo o oceano Atlântico, sendo originada na costa do Brasil e terminando no Golfo da Guinéa (KATZ *et al.*, 1981). Estes autores analisaram o transporte sazonal da SCE, através de perfis de correntes traçados durante campanhas oceanográficas entre agosto de 1978 e março de 1980. De modo geral,

para o ano de 1979, entre as longitudes 25° W e 33° W, a média de transporte pela SCE foi de 20,7 Sv. Sazonalmente, porém, foi observado um grande aumento no transporte durante o mês de março e um mínimo nos meses de junho e julho, influenciados pelo movimento da ZCIT.

Peterson e Stramma (1991) descrevem a SCE como um fluxo estreito que ocorre na região da termoclina no sentido oeste-leste (W-E), originado na Corrente Norte do Brasil (CNB), com velocidades que chegam a ser superiores a 100 cm s<sup>-1</sup> em aproximadamente 100 m da superfície. No núcleo desta corrente (entre 0° 50' N e 0° 50' S), são encontrados altos valores de salinidade (36,5) quando comparadas com as águas ao redor (35 a 35,5). O máximo de salinidade da SCE é encontrado a 30 km sul do máximo de velocidade desta corrente. Ainda no núcleo, a velocidade máxima em 28° W varia entre 60 cm s<sup>-1</sup> até mais de 120 cm s<sup>-1</sup>, e o volume de transporte entre 4 e 15 Sv. Segundo Stramma e Schott (1999), uma grande parte da CNB sofre retroflexão a oeste de 44° W, alimentando a SCE. Esta corrente cruza todo o Atlântico a medida que perde força, e parte dela ressurge no Atlântico leste. Em sua parte oeste, as estimativas de transporte da SCE não mostram uma sazonalidade bem definida, apesar de que valores menores foram identificados entre abril e julho, em relação ao período entre outubro e fevereiro. Na região leste, não se sabe quanto da SCE vai para a porção norte da Corrente Sul Equatorial (CSEn) e quanto vai para a porção equatorial (CSEe).

Brandt *et al.* (2006) identificaram um transporte de 13,8 Sv para a seção de 26° W e um núcleo da SCE localizado a 85 m de profundidade. Os mesmos autores encontraram um fluxo máximo entre abril e outubro logo acima e abaixo do núcleo da corrente. Hormann e Brandt (2007) descrevem um transporte de 19,9 Sv para a seção de 35° W, com um núcleo a 100 m de profundidade, centralizado no equador e com velocidade máxima de 65 cm s<sup>-1</sup>. Sazonalmente, na mesma seção, dois máximos de transporte de mesma magnitude foram identificados, durante março/abril e em setembro. Já para a seção de 23° W, o transporte diminui para 13,7 Sv, com máximos durante setembro e abril e mínimos durante fevereiro e maio/junho.

Brandt *et al.* (2014) também discutem a variabilidade da SCE. Em 23° W, o transporte desta corrente é dominado por um ciclo sazonal, com média de 18 Sv na primavera austral (máximo em setembro) e 12 Sv no verão (mínimo em março). A profundidade do núcleo também varia sazonalmente, estando mais rasa durante março e abril e mais profunda em setembro. As velocidades máximas do núcleo são encontradas em abril e em setembro/outubro, quando o núcleo está mais raso, e quando este está mais profundo. Já as

velocidades mínimas ocorrem em janeiro e julho. Em relação à posição deste núcleo (em média em  $0^{\circ} 10' S$ ), não há um ciclo sazonal definido, mas aparenta ter uma variabilidade interanual, com posições mais ao sul do que a média em 2007 e mais ao norte em 2009/2010.

### 3.3.3. Corrente Sul Equatorial (CSE)

Richardson e McKee (1984) descrevem que a CSE flui no sentido E-W, possuindo dois máximos de velocidade com média de  $35 \text{ cm s}^{-1}$ , em  $2^{\circ} N$  e  $4^{\circ} S$ . Esta corrente alimenta a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) e está centralizada próximo ao Equador, entre  $0$  e  $10^{\circ} W$ . O ramo norte da CSE (CSEn) se funde com a Corrente da Guiana próximo a  $4^{\circ} N$ ,  $50^{\circ} W$ . Este ramo está localizado próximo a  $2^{\circ} N$  no começo de junho e apresenta um aumento repentino na velocidade de  $24 \text{ cm s}^{-1}$  em maio para  $61 \text{ cm s}^{-1}$  em junho. A velocidade da CSEn possui um período semianual dominante, com picos em junho e dezembro (amplitude de  $14 \text{ cm s}^{-1}$ ). Já o ramo central da CSE (CSEc), localizado próximo a  $4^{\circ} S$  apresenta variações menores, aparentando ser regido por um período anual. Durante setembro-fevereiro, os dois ramos possuem velocidades semelhantes. Já durante junho-agosto, a CSEn possui maior velocidade e, durante março-maio, a CSEc possui maior velocidade. Na porção oeste, estes dois ramos da CSE só estão presentes entre agosto e novembro. Durante o restante do ano eles se fundem, formando um máximo único entre  $2$  e  $3^{\circ} S$ , com maior velocidade em maio com valores de  $80 \text{ cm s}^{-1}$ .

Arnault (1987) descreve a CSE fluindo a sul de  $4^{\circ}$  a  $6^{\circ} N$ , sendo zonal no sentido E-W, como o principal componente da circulação média, com velocidades superiores a  $30 \text{ cm s}^{-1}$ . Próximo à costa brasileira, a corrente se intensifica paralelamente a costa e se divide em ramos distintos. Os resultados deste autor indicam uma CSEn (entre  $1$  e  $2^{\circ} N$ ) mais forte em junho-julho, com velocidades acima de  $50 \text{ cm s}^{-1}$  e em novembro-dezembro, com velocidades em torno de  $40 \text{ cm s}^{-1}$ . Esta mesma corrente possui mínimos durante o início da primavera e outono, com velocidades em torno de  $15\text{-}20 \text{ cm s}^{-1}$ . Entre  $2$  e  $8^{\circ} S$  e  $28$  e  $36^{\circ} W$ , o ramo central da CSE tem um período anual com pico durante o início do inverno austral com um maior fluxo em junho e julho, com velocidades de  $30 \text{ cm s}^{-1}$ . A CSEc também possui um mínimo, geralmente na primavera, com velocidades de  $15 \text{ cm s}^{-1}$ .

Tanto Richardson e McKee (1984) como Arnault (1987) descrevem dois ramos da CSE, um norte e um sul. Este trabalho segue a divisão de Molinari (1982), que inclui um ramo central e um equatorial. O ramo sul indicado pelos primeiros autores corresponde ao central aqui denominado, de acordo com as latitudes descritas.

Peterson e Stramma (1991) descrevem a origem da CSE na Corrente de Benguela, no Atlântico leste, enquanto que a oeste a CSE se bifurca na Corrente Norte do Brasil (CNB) e na Corrente do Brasil (CB). Próximo do Equador, a CSE possui um grande fluxo no sentido E-W (aproximadamente  $30 \text{ cm s}^{-1}$ ) e está dividida em ramos, enfraquecendo ao sul de  $10^\circ \text{ S}$  ( $10\text{-}15 \text{ cm s}^{-1}$ ). A CSE está limitada a norte pela CCNE, e estas duas correntes são mais intensas quando estão mais à norte (durante o inverno austral), seguindo o movimento da ZCIT. As velocidades máximas da CSE estão localizadas imediatamente a norte e sul do Equador, com um mínimo no Equador, devido à presença da SCE. Stramma e Schott (1999) mencionam que a CSE diminui rapidamente de espessura na região do Equador devido a presença da CSE em sentido contrário. Estes mesmos autores citam uma divisão de ramos da CSE, sendo a CSEn localizada acima da SCSE, a CSEc entre a SCSE e a Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE) e a CSEs abaixo da CCSE, além de um ramo equatorial (CSEe) entre a SCE e a SCSE. A CCSE retroalimenta parcialmente a CSEc (esta corrente também é alimentada pelo Giro de Angola) e esta, em  $35^\circ \text{ W}$ , alimenta a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB). O encontro da CSEc com a SCNB forma a CNB (VELEDA *et al.*, 2012). A CSEc possui um sinal sazonal fraco. A CSEn alimenta a SCNE. Em relação ao transporte, Wienders, Arhan e Mercier (2000) encontraram 12 Sv para a CSEn, 17 Sv para a CSEc e 49 Sv para a CSEs.

Dentro do giro equatorial, a CSE é claramente dividida em dois ramos de sentido E-W (CSEn e CSEc), separados por uma banda de fracas velocidades no sentido sul. Na porção leste do Atlântico, a CSEn e a CSEc são alimentadas pela recirculação da CCNE e da Corrente da Guiné. A leste de  $5^\circ \text{ W}$ , os ramos não são distinguíveis, sendo a CSE equatorial fraca e ampla. Já a  $10^\circ \text{ W}$ , a CSEn é forte, com velocidades de aproximadamente  $37 \text{ cm s}^{-1}$  na região do Equador. Em  $30^\circ \text{ W}$ , a CSEn (em  $2^\circ \text{ N}$ ) e a CSEc (em  $4^\circ \text{ S}$ ) estão bem separadas, com velocidades de aproximadamente 33 e  $34 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente. A divisão ocorre por um fluxo de direção leste com velocidade de  $6 \text{ cm s}^{-1}$  em  $1^\circ \text{ S}$ . A CSEc continua a fluir para oeste, até se juntar com a CNB na costa brasileira. Já a CSEn não chega à costa, mas retroalimenta a CCNE, sendo esta recirculação forte na porção  $30 - 40^\circ \text{ W}$ . A oeste disto, a CSEn enfraquece, principalmente durante o verão austral. Esta corrente possui amplitudes semi-anuais elevadas, atingindo o máximo na bacia central. (LUMPKIN; GARZOLI, 2005).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo geral**

O objetivo principal deste trabalho é analisar a estrutura termohalina no entorno das ilhas oceânicas de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e São Pedro e São Paulo, através de dados *in situ* das campanhas oceanográficas CAMADAS FINAS I, II e IV.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Analisar dados de temperatura, salinidade e fluorescência obtidos através de uma sonda CTD nos transectos realizados no entorno das ilhas;
- Investigar a ocorrência de “efeito ilha” e ressurgência nas ilhas;
- Relacionar os dados aos processos oceanográficos no entorno das ilhas;
- Gerar análises que produzam subsídios para as outras áreas da oceanografia.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Aquisição de dados

As campanhas Camadas Finas foram resultado da colaboração entre o Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (DOCEAN-UFPE) e a Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN). A campanha Camadas Finas I ocorreu entre 26 de junho e 07 de agosto de 2010. Já a Camadas Finas II ocorreu entre 17 de setembro e 01 de outubro de 2012. A Camadas Finas IV ocorreu entre 01 de julho e 01 de setembro de 2014. Perfis verticais durante as campanhas foram medidos ao longo de todo o percurso do navio. Os perfis estudados no presente trabalho foram somente aqueles nas proximidades da área de estudo. No Apêndice A encontram-se as datas e localizações de todos os perfis levantados nas três campanhas oceanográficas. As estações utilizadas neste trabalho formam transectos, como mostram as figuras 4, 5 e 6.

Os valores de profundidade, temperatura, salinidade e fluorescência na região de estudo foram obtidos através de medições utilizando uma sonda CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) Sea-Bird SBE 911+ (campanhas Camadas Finas I e IV) e Sea-bird SBE 25 (campanha Camadas Finas II) no perfil vertical de cada estação. O CTD é equipado com sensores de alta resolução para medidas de condutividade (resolução =  $0,00004 \text{ sm}^{-1}$ ), temperatura (resolução =  $0,0003 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e pressão (resolução =  $0,068 \text{ db}$ ). Este tipo de equipamento tem a capacidade de fazer uma leitura contínua de até 30 amostras por segundo. Outros sensores são acoplados ao CTD, como o fluorímetro, que é utilizado para a determinação da clorofila-*a*.

Figura 4 - Mapa da localização das estações durante as três campanhas oceanográficas no Arquipélago de Fernando de Noronha.

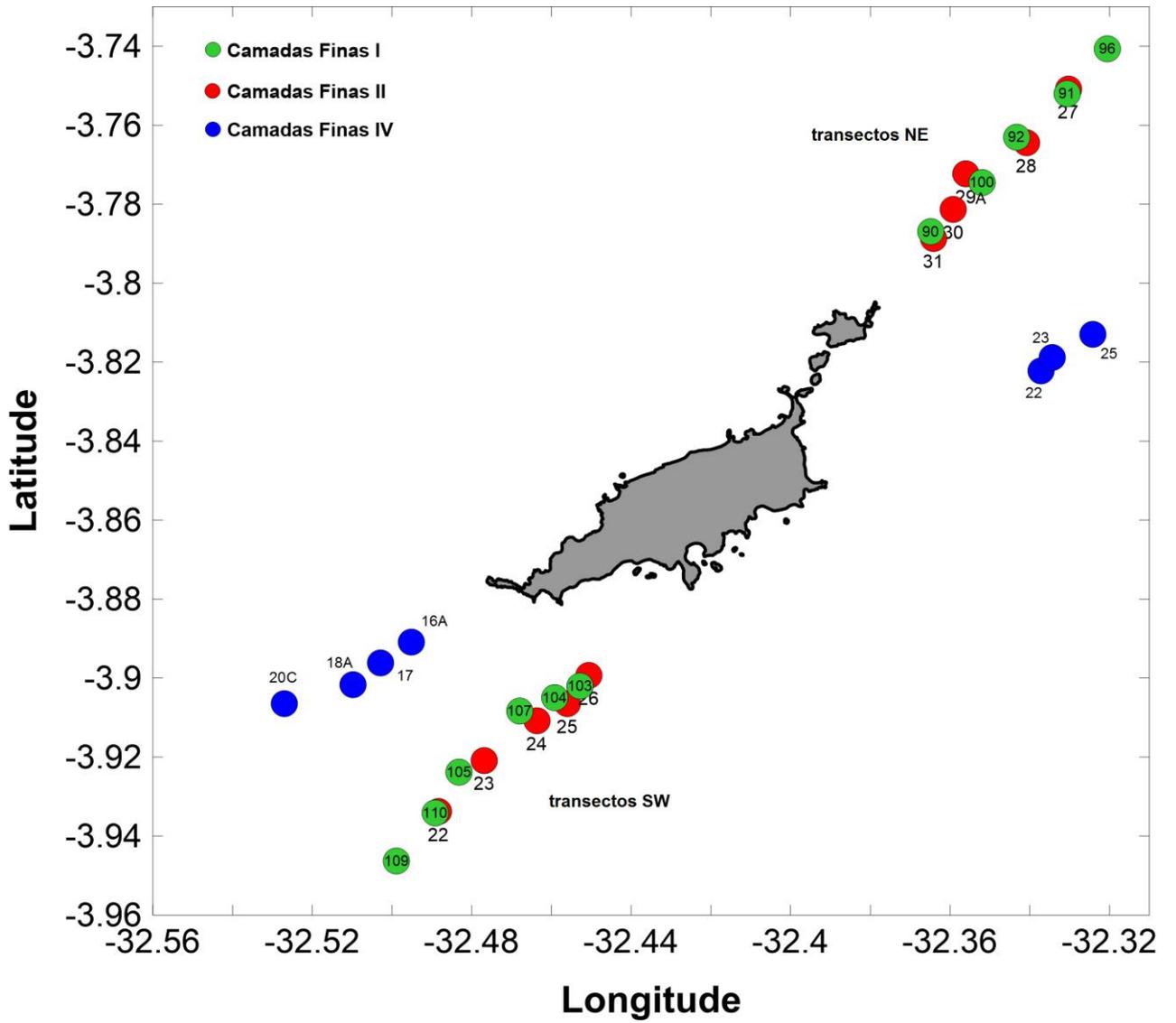


Figura 5 - Mapa da localização das estações durante as três campanhas oceanográficas no Atol das Rocas.

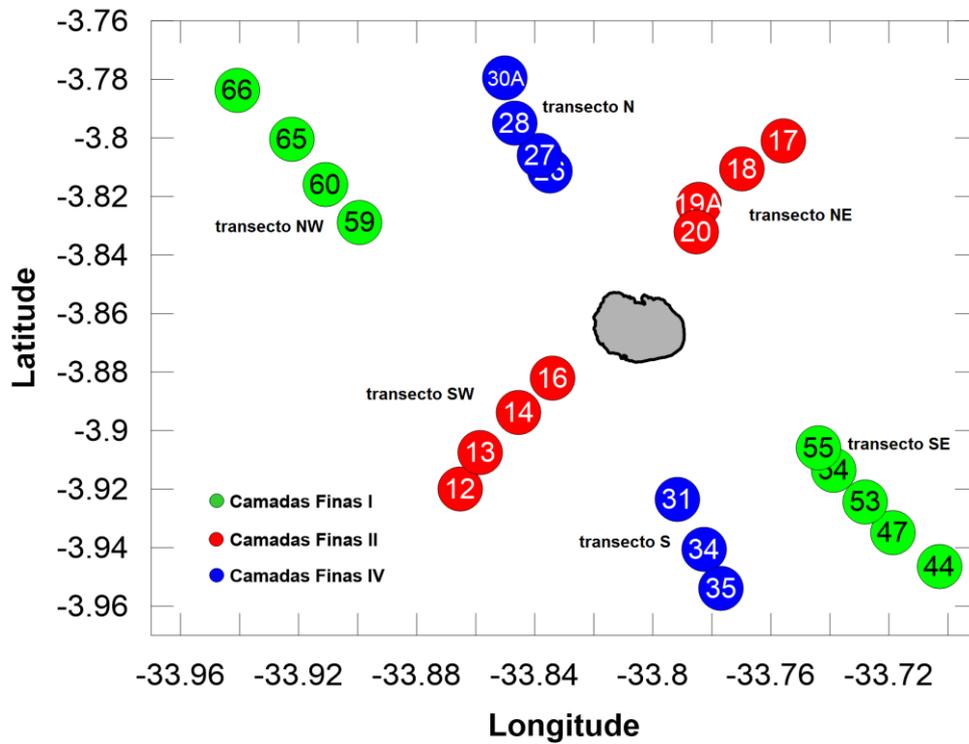
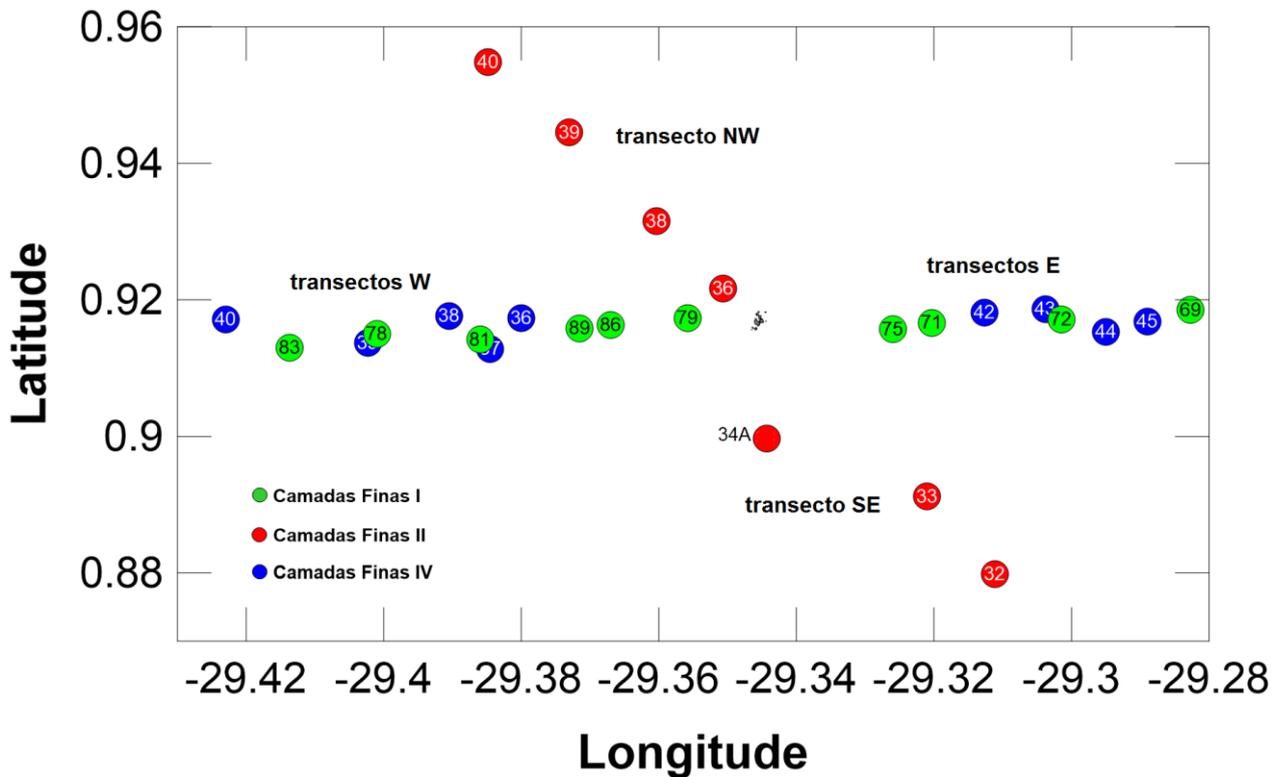


Figura 6 - Mapa da localização das estações durante as três campanhas oceanográficas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.



## 5.2. Tratamento dos dados

Os dados brutos, em formato hexadecimal, foram pré-processados através do software proprietário do fabricante da sonda CTD SeaBird Eletronics (Seasave V2, versão 2.6.1), fazendo com que os dados passassem por um controle de qualidade, ou seja, filtros matemáticos que retiram ruídos (*spikes*), gerando ao fim arquivos de texto do tipo .cnv já tratados e divididos em *downcast* e *upcast*. Os dados utilizados no presente trabalho foram somente de *downcast*, ou seja, somente os dados da descida do aparelho de CTD. Os registros foram integrados a intervalos de 1 metro, iniciando em 5 m de profundidade, sendo esta profundidade referida como superfície. As réplicas foram eliminadas da análise, visto que não há réplicas para todas as estações.

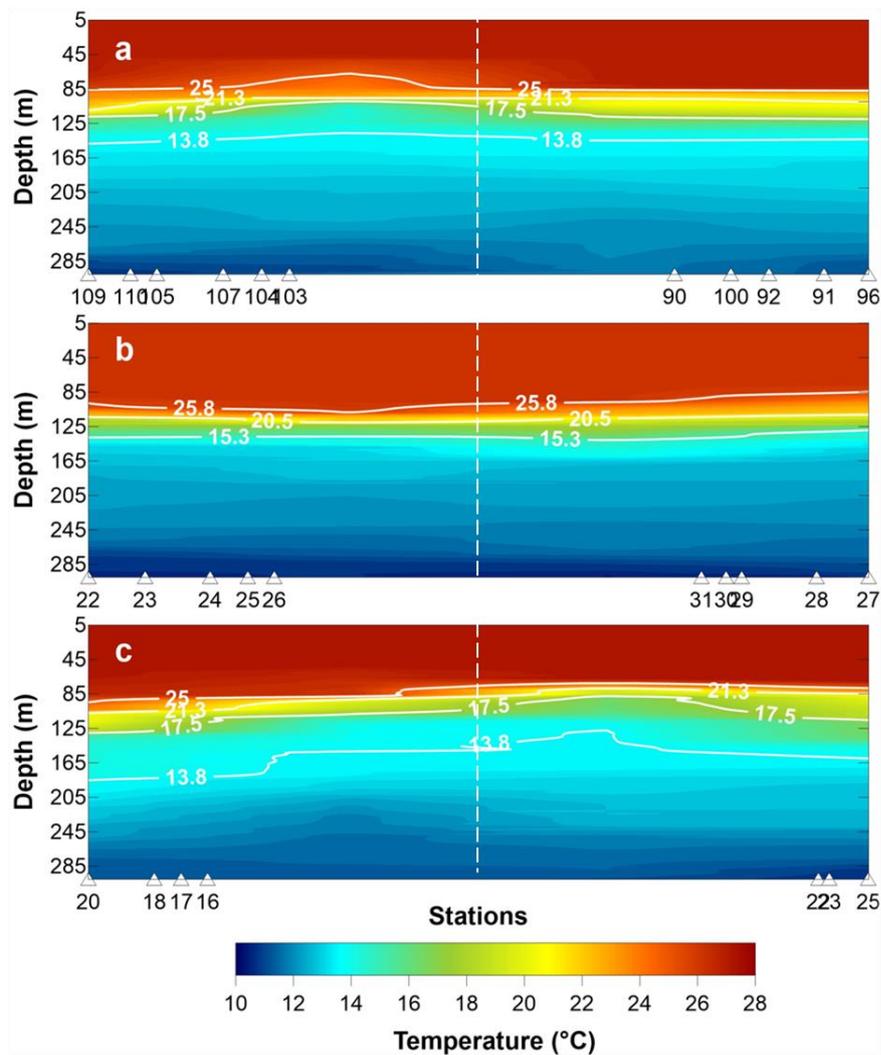
Foi preparada uma rotina no software Matlab (versão r2013a) para a geração dos gráficos dos perfis termohalinos e de clorofila-*a*, adaptada para cada uma das três campanhas oceanográficas. Os cálculos das propriedades físicas foram realizados seguindo-se as especificações da UNESCO (1983;1988). Os dados de clorofila-*a* foram inferidos a partir das medições de fluorescência. Visando uma melhor compreensão dos processos inerentes à coluna d'água para as variáveis analisadas, e melhor visualização dos resultados, os perfis estão representados em diagramas do tipo Hovmöller, apresentados e discutidos neste trabalho, sendo considerados os primeiros 300 m de profundidade.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Arquipélago de Fernando de Noronha

A seguir, nas figuras 7, 8 e 9, estão apresentados os resultados obtidos para, respectivamente, temperatura, salinidade e fluorescência, referentes ao Arquipélago de Fernando de Noronha para os três cruzeiros oceanográficos (Camadas Finas I, II e IV):

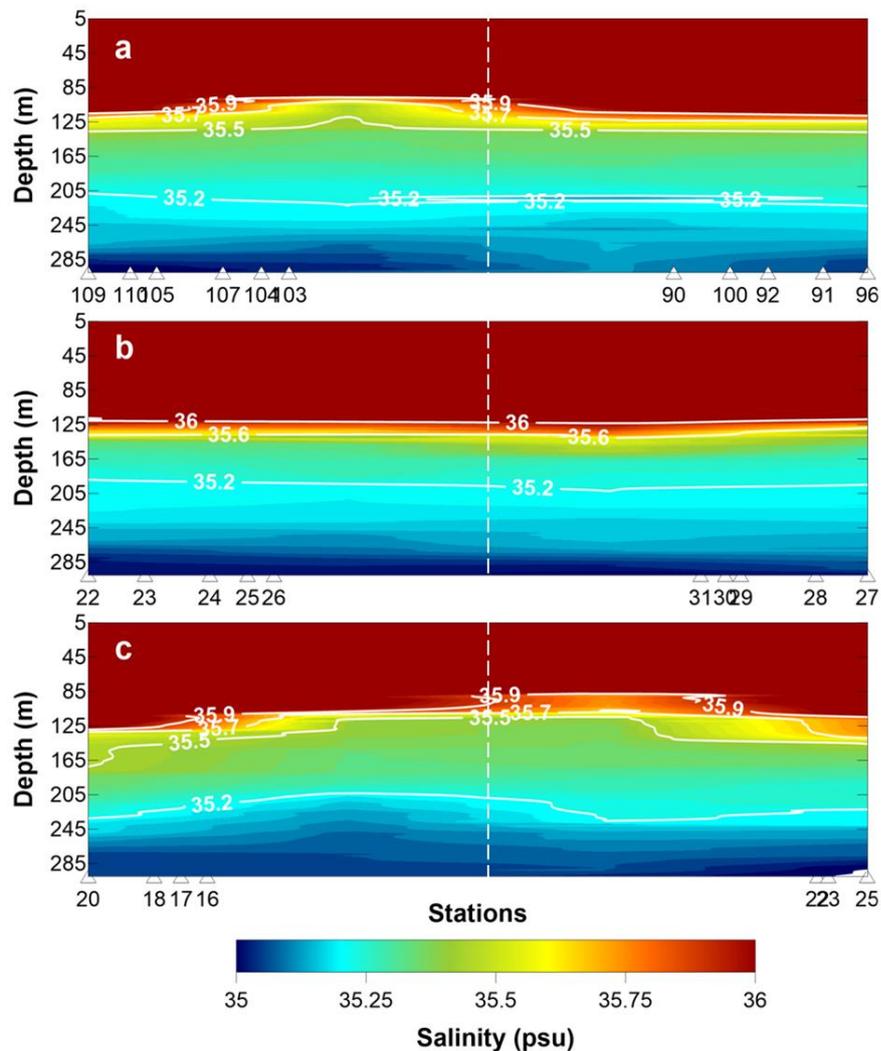
**Figura 7 - Diagrama de Hovmöller para a temperatura nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010, 2012 e 2014. A linha tracejada representa a localização da ilha. Os transectos SW estão representados à esquerda do diagrama, e os NE à direita.**



Em 2010, o transecto sudoeste (SW) apresentou isolinhas de temperatura em profundidades menores que o transecto nordeste (NE). Neste transecto, a isolinha de 25 °C está em 85 m, enquanto que no transecto SW esta mesma isolinha chega aos 60 m de profundidade. Já em 2012, a termoclina mantém-se estável, entre 95 e 150 m. No transecto

NE nota-se uma pequena ascendência das isolinhas de temperatura, quando comparadas ao transecto SW. A isolinha de 25,8 °C neste transecto se apresenta próximo de 100 m, enquanto que, no transecto NE, esta se encontra em torno dos 92 m. Em 2014, há uma desestabilização das isolinhas de temperatura. No transecto SW, a isolinha de 25 °C encontra-se em 68 m, enquanto que, no transecto NE, esta se encontra em 73 m. Já a isolinha de 17,5 °C encontra-se em 116 m no transecto SW, enquanto que no de NE encontra-se em 87 m. A isolinha de 13,8 °C encontra-se em 125 m neste mesmo transecto, enquanto que no SW encontra-se em 180 m de profundidade.

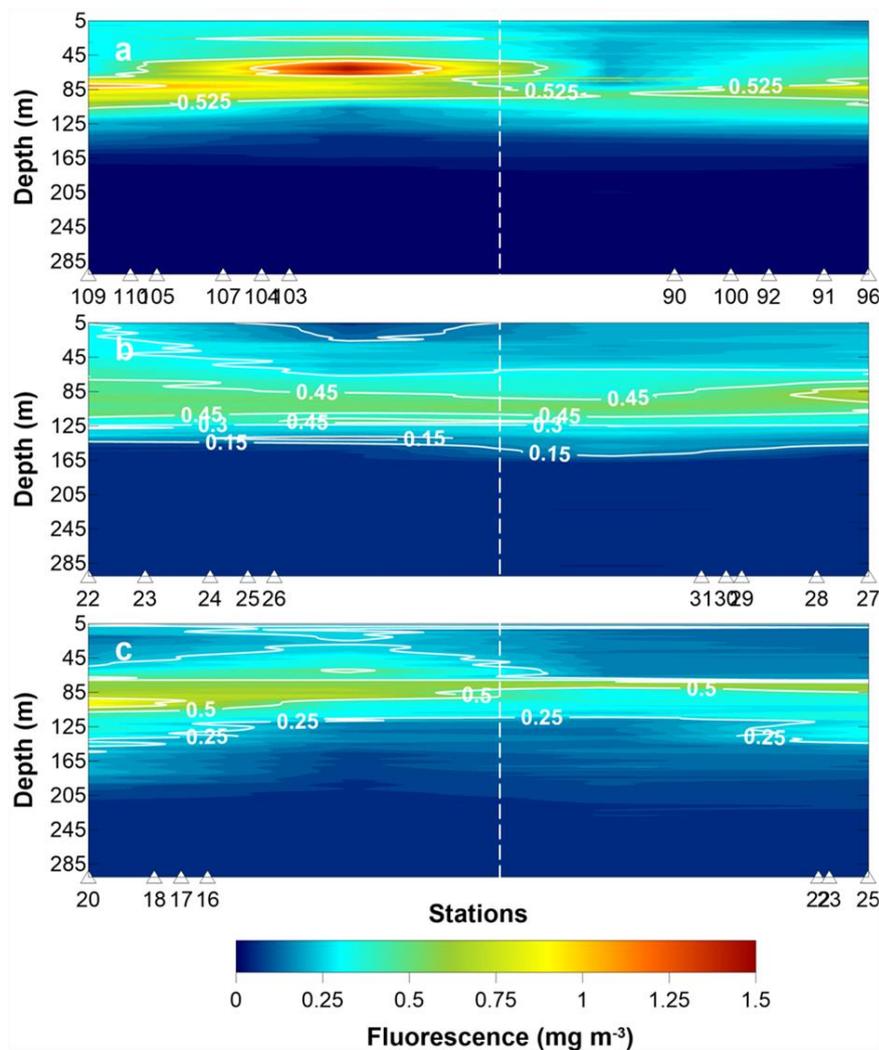
**Figura 8 - Diagrama de Hovmöller para a salinidade nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha. Os transectos SW estão representados à esquerda do diagrama, e os NE à direita.**



Em geral, a salinidade acompanha as variações de temperatura ao longo dos três anos para o Arquipélago de Fernando de Noronha. No ano de 2010 (Fig.8a), nota-se uma

ascendência das isolinhas de salinidade no transecto SW. Por exemplo, a isolinha de 35,7 encontra-se em 100 m neste transecto, enquanto que no transecto NE esta isolinha é encontrada em 127 m. Em 2012 (Fig. 8b), a haloclina mantém uma estabilidade, localizada entre 125 e 175 m. Não há grande variação entre os transectos. Já em 2014 (Fig. 8c), há uma desestabilização da haloclina. A isolinha de 35,9 chega aos 87 m de profundidade no transecto NE, enquanto que, no transecto SW, esta mesma isolinha chega aos 115 m. Para a isolinha de 35,5, esta encontra-se em 138 m no transecto SW e em 113 m no transecto NE.

**Figura 9 - Diagrama de Hovmöller para a fluorescência nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha. Os transectos SW estão representados à esquerda do diagrama, e os NE à direita.**



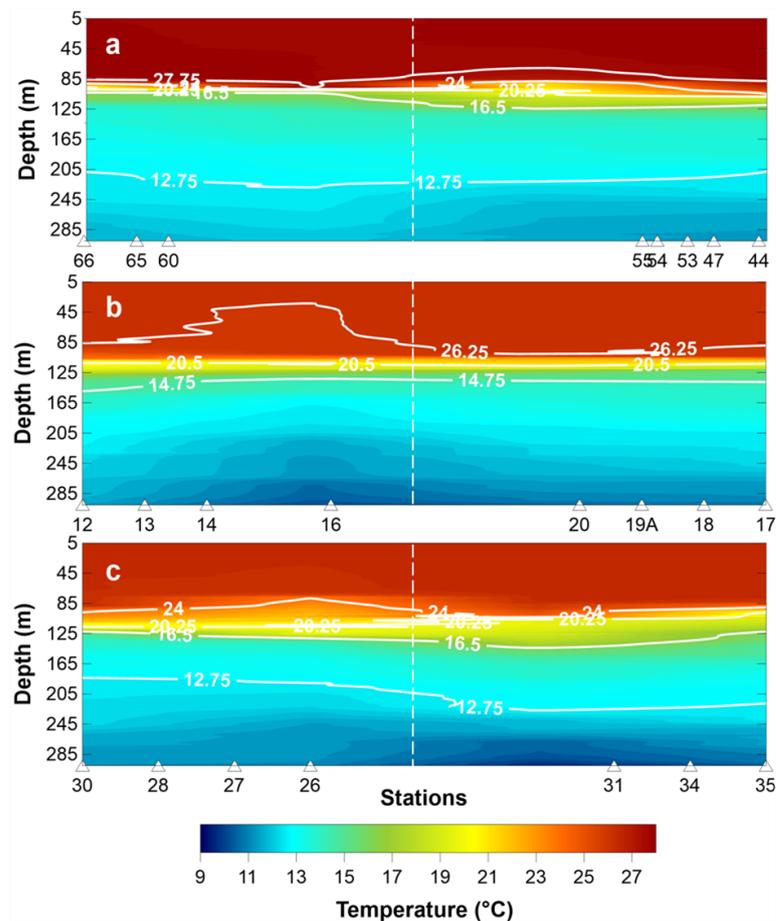
No ano de 2010 (Fig. 9a), o sinal de clorofila-*a* apresenta grande variação, quando comparados os dois transectos. Valores de até  $1,5 \text{ mg m}^{-3}$  são encontrados numa profundidade

de 65 m no transecto SW, enquanto que no transecto NE os maiores valores não ultrapassam  $0,525 \text{ mg m}^{-3}$ , encontrados numa profundidade de 90 m. Em 2012 (Fig. 9b), nos dois transectos, os maiores valores encontrados estavam entre  $0,45$  e  $0,70 \text{ mg m}^{-3}$ , em profundidades variando entre 80 e 110 m. Para o ano de 2014 (Fig. 9c), os maiores valores encontrados foram em torno de  $1 \text{ mg m}^{-3}$ , no transecto SW, em profundidades entre 90 e 100 m. Valores acima de  $0,5 \text{ mg m}^{-3}$  foram encontrados entre 70 e 110 m. Para o transecto NE, valores na faixa de  $0,5 \text{ mg m}^{-3}$  estavam confinados entre 75 e 90 m.

## 6.2. Atol das Rocas

A seguir, nas figuras 10, 11 e 12, estão apresentados os resultados obtidos para, respectivamente, temperatura, salinidade e fluorescência, referentes ao Atol das Rocas para os três cruzeiros oceanográficos (Camadas Finas I, II e IV):

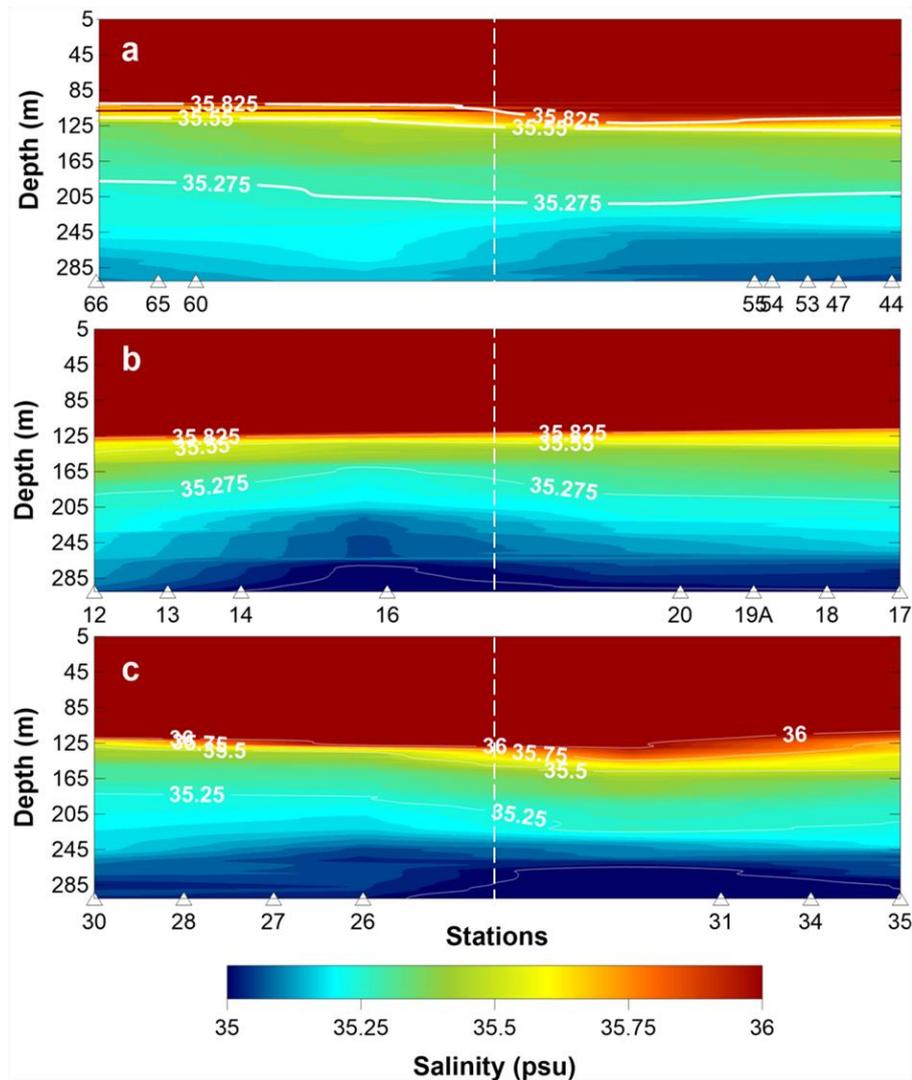
**Figura 10 - Diagrama de Hovmöller para a temperatura nos primeiros 300m da coluna d'água no Atol das Rocas, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.**



Em 2010 (Fig. 10a), a temperatura se manteve estável, e a termoclina no transecto

sudeste (SE) (direita do diagrama) estava suavemente mais espessa em relação ao transecto noroeste (NW) (esquerda do diagrama), localizada entre 90 e 117 m neste transecto e entre 70 e 125 m no transecto SE. Já em 2012 (Fig. 10b), os transectos são bastante distintos. No transecto SW (esquerda do diagrama), a isolinha de 26,25 °C atinge os 30 m, enquanto que no transecto NE (direita do diagrama), esta isolinha encontra-se em 85 m. As outras isolinhas mantiveram-se estáveis. Em 2014 (Fig. 10c), os transectos norte (N) (esquerda do diagrama) e sul (S) (direita do diagrama) não apresentaram grandes diferenças entre si. A termoclina estava presente entre 80 e 150 m de profundidade.

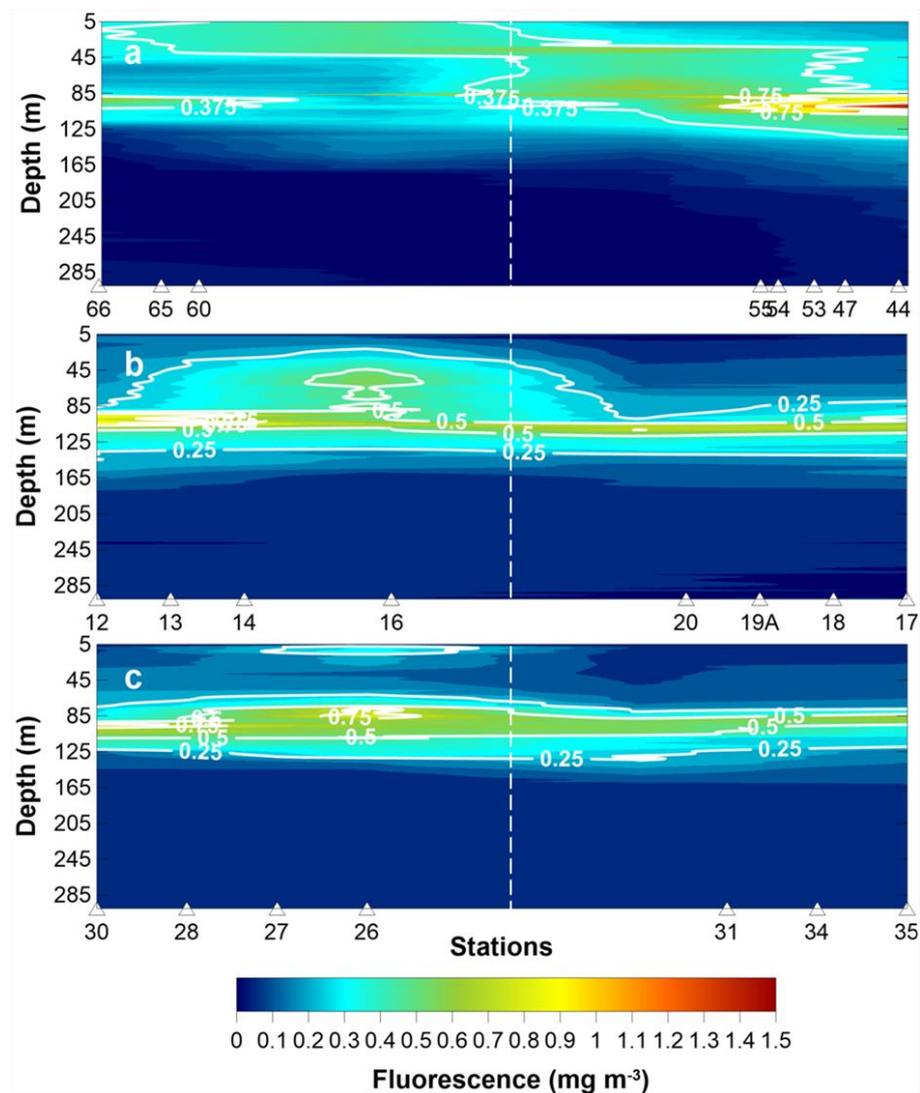
**Figura 11 - Diagrama de Hovmöller para a salinidade nos primeiros 300m da coluna d'água no Atol das Rocas, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.**



No ano de 2010 (Fig. 11a), a haloclina não apresentou grandes diferenças entre os transectos. Salinidades entre 35,4 e 35,5 persistiram entre 117 e 160 m. Em 2012 (Fig. 11b), a

haloclina apresentou-se entre 125 e 160 no transecto SW, enquanto que, no transecto NE, estava apresentada entre 120 e 180 m. No transecto SW, salinidades por volta de 34,95 apresentam-se em profundidades menores que no transecto NE. No ano de 2014 (Fig. 11c), as salinidades se mantêm estáveis em relação aos dois transectos, com uma haloclina ligeiramente mais espessa no transecto S, entre 108 e 190 m, enquanto que o transecto N apresenta uma haloclina entre 127 e 180 m de profundidade.

**Figura 12 - Diagrama de Hovmöller para a fluorescência nos primeiros 300m da coluna d'água no Atol das Rocas, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.**



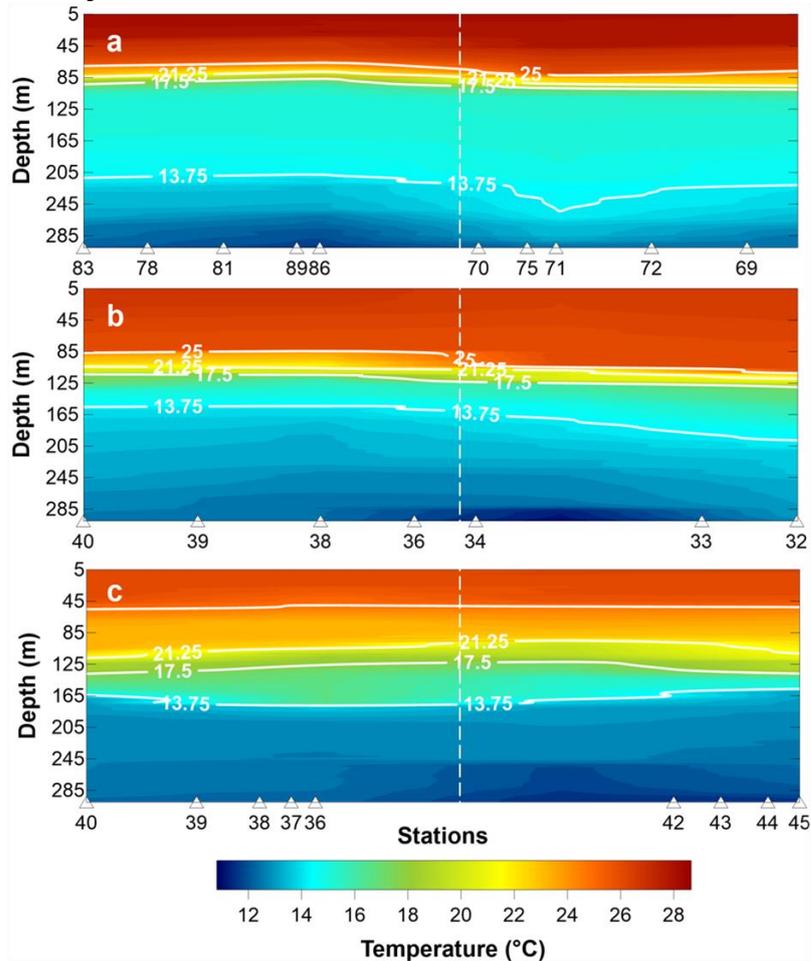
Em 2010 (Fig. 12a), o teor de clorofila-*a* no transecto NW não apresentou valores maiores do que 0,5 mg m<sup>-3</sup>. Este valor foi encontrado em pequenas profundidades, próximas a superfície (entre 5 e 45 m) e também na região da termoclina. Já no transecto SE, valores de até 1,5 mg m<sup>-3</sup> foram encontrados nas profundidades da termoclina, enquanto que, entre 45 e

85 m de profundidade, foram encontrados valores até  $0,7 \text{ mg m}^{-3}$ . Já no ano de 2012 (Fig. 12b), o transecto SW, entre 50 e 95 m, apresentou valores de  $0,5 \text{ mg m}^{-3}$ . Valores de  $0,25 \text{ mg m}^{-3}$  aparecem numa profundidade de 25 m neste transecto. Na região da termoclina, os valores chegam até  $0,75 \text{ mg m}^{-3}$ . Já para o transecto NE, valores máximos de  $0,7 \text{ mg m}^{-3}$  são encontrados nas profundidades da termoclina. Em 2014 (Fig. 12c), o transecto N apresenta valores máximos de  $0,75 \text{ mg m}^{-3}$  confinados na região da termoclina, enquanto que no transecto S valores até  $0,5 \text{ mg m}^{-3}$  também são encontrados na região da termoclina.

### 6.3. Arquipélago de São Pedro e São Paulo

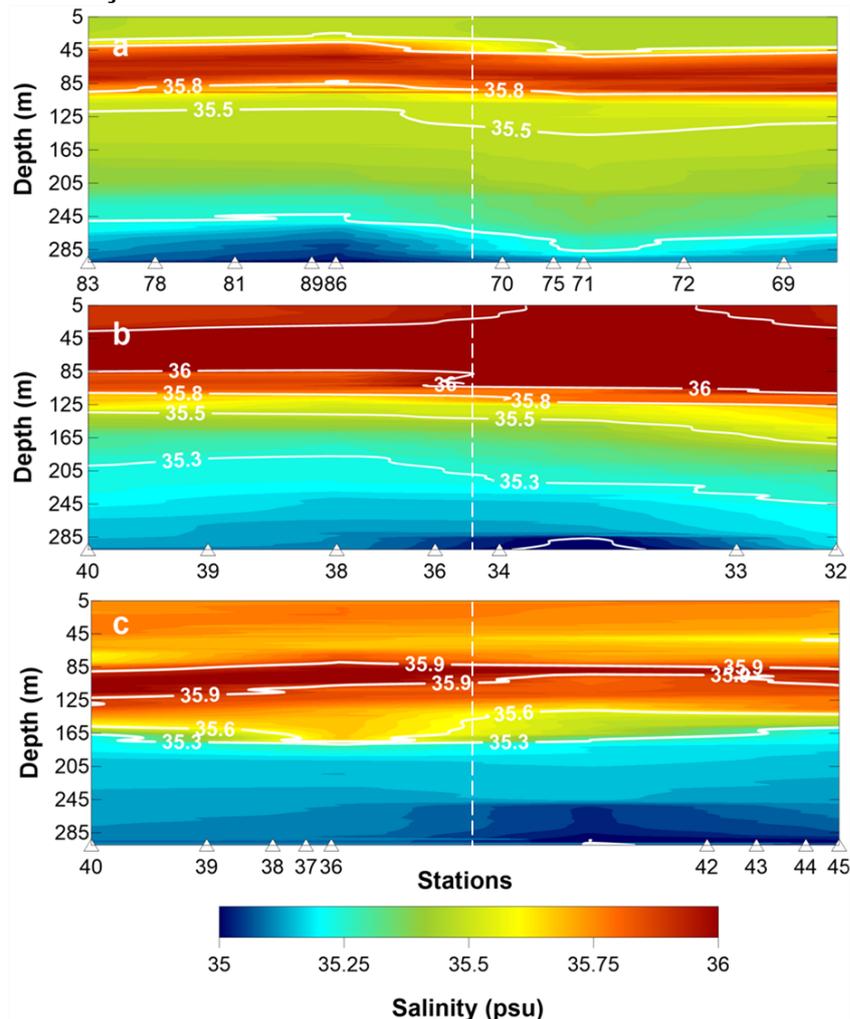
A seguir, nas figuras 13, 14 e 15, estão apresentados os resultados obtidos para, respectivamente, temperatura, salinidade e fluorescência, referentes ao Atol das Rocas para os três cruzeiros oceanográficos (Camadas Finas I, II e IV):

**Figura 13 - Diagrama de Hovmöller para a temperatura nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.**



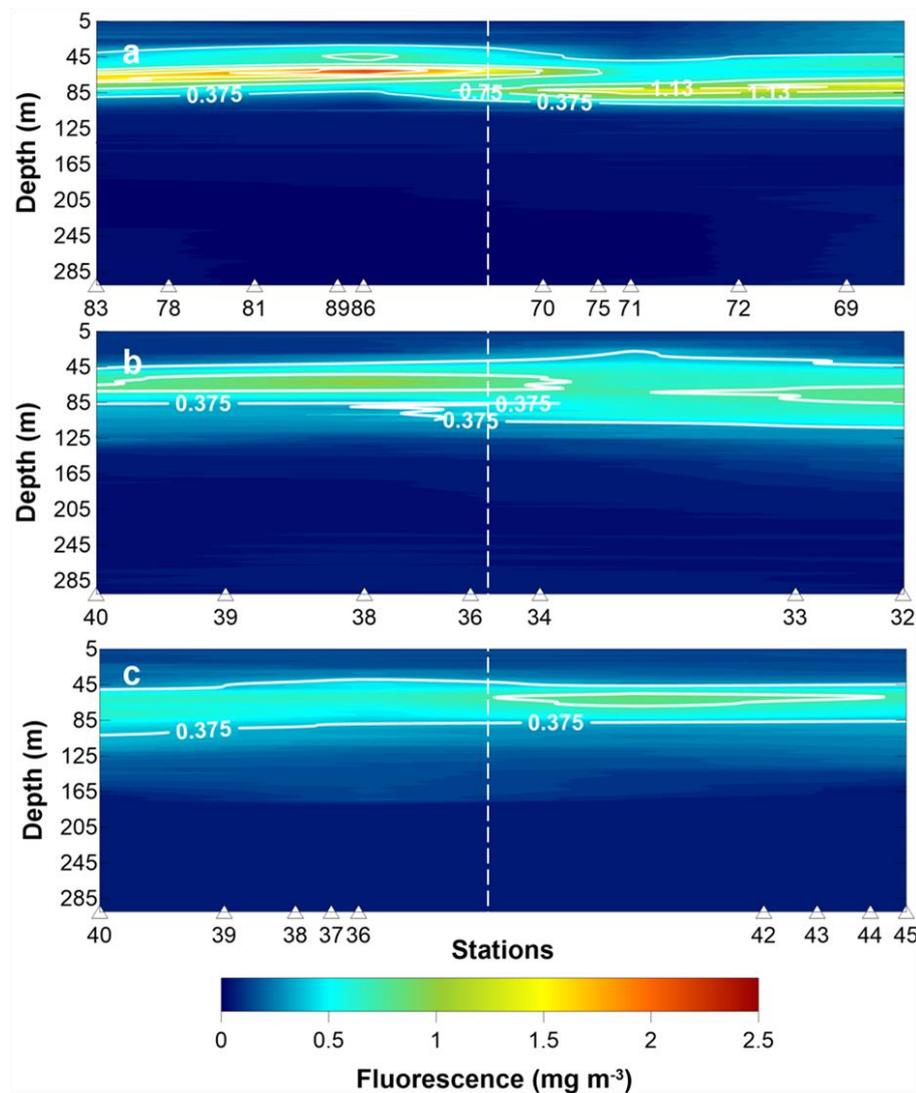
Em 2010 (Fig. 13a), tanto o transecto oeste (W) (esquerda do diagrama) quanto o transecto leste (E) (direita do diagrama) possuem uma termoclina estável e bem definida, entre 70 e 100 m de profundidade. A isolinha de 13,75 °C encontra-se em 210 m de profundidade. Já em 2012 (Fig. 13b), o transecto NW (esquerda do diagrama) possui isolinhas de temperatura em profundidades um pouco menores que o transecto SE (direita do diagrama). A isolinha de 25 °C encontra-se em 97 m de profundidade neste transecto, enquanto que no transecto NW, encontra-se em 87 m de profundidade. Neste ano, a isolinha de 13,75 °C encontrava-se em 156 m de profundidade. No ano de 2014 (Fig. 13c), a isolinha de 25 °C encontra-se em 47 m de profundidade em ambos os transectos, e, em geral, o transecto W (esquerda do diagrama) e o transecto E (direita do diagrama) possuem o mesmo padrão de isolinhas de temperatura ao longo da coluna d'água. Neste ano, a isolinha de 13,75 °C encontrava-se em 170 m de profundidade.

**Figura 14 - Diagrama de Hovmöller para a salinidade nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.**



No ano de 2010 (Fig. 14a), em ambos os transectos, entre 45 e 98 m de profundidade, é observado um núcleo de salinidade máxima, com valores entre 35,8 e 35,9. Acima e abaixo deste núcleo são observadas salinidades entre 35,4 e 35,5, até a profundidade de 230 m. Já em 2012 (Fig. 14b), no transecto NW, um núcleo de salinidade 36 é encontrado entre 34 e 86 m de profundidade, enquanto que no transecto SE esta salinidade é encontrada entre a superfície e 105 m, ao longo de toda a camada de mistura. No ano de 2014 (Fig. 14c), um estreito núcleo de salinidade máxima de valor 35,9 é encontrado em ambos os transectos, ocorrendo entre 89 e 110 m no transecto W e entre 82 e 94 m no transecto E. Salinidades entre 35,5 e 35,7 são encontradas acima e abaixo deste núcleo, desde a superfície até profundidades de 160 m.

**Figura 15 - Diagrama de Hovmöller para a fluorescência nos primeiros 300m da coluna d'água no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, ao longo de cada transecto. Estão representados de cima para baixo: 2010 (a), 2012 (b) e 2014 (c). A linha tracejada representa a localização da ilha.**



Em 2010 (Fig. 15a), valores máximos para a clorofila-*a* de 2,2 mg m<sup>-3</sup> são encontrados no transecto W em profundidades em torno de 60 m. Já no transecto E, os maiores valores encontrados (1,5 mg m<sup>-3</sup>) estavam em profundidades em torno de 80 m. Já em 2012 (Fig. 15b), os maiores valores encontrados estavam em torno de 1,0 mg m<sup>-3</sup> no transecto NW, em aproximadamente 60 m de profundidade. No transecto SE, os maiores valores encontrados não ultrapassaram 0,8 mg m<sup>-3</sup>, numa profundidade ao redor dos 70 m. Em 2014 (Fig. 15c), no transecto W, os máximos valores encontrados estavam entre 0,6 e 0,7 mg m<sup>-3</sup> e entre 45 e 100 m de profundidade. Já no transecto E, foram encontrados valores máximos de 0,9 mg m<sup>-3</sup> entre 60 e 70 m de profundidade.

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1. Arquipélago de Fernando de Noronha

Em relação à temperatura e salinidade, somente em 2014 foram observadas grandes diferenças na estrutura das isotermas e isohalinas. Há uma desestabilização das mesmas, e esta desestabilização se faz mais presente no transecto NE. Estes perfis foram levantados no início de julho, período em que, segundo Reverdin *et al.* (1991) e Hüttl-Kabus e Böning (2008), a SCSE está em seu momento mais forte. Esta corrente subsuperficial flui no sentido W-E e possui grande influência sobre o Arquipélago, e ao passar por este com grande intensidade, gerou turbulência, desestabilizando a estrutura termohalina. Em 2010, nota-se uma pequena ascendência das isolinhas no transecto SW, num período em que a SCSE também está em sua época de maior intensidade, e em que a CSEc, uma corrente superficial que flui no sentido E-W, segundo Richardson e McKee (1984), se faz mais presente. A influência da CSEc no Arquipélago em 2010 pode ter sido capaz de desestabilizar a estrutura termohalina no transecto SW. É importante salientar que, para uma análise mais detalhada e um maior suporte aos resultados, é necessária uma análise das correntes no momento dos cruzeiros. Em 2012, nota-se uma camada de mistura, termoclina e haloclina bem definidas nos dois transectos, sem perturbações na estrutura em geral. A profundidade de 100 m encontra-se na termoclina, e em profundidades de 150 m nota-se baixas temperaturas, que estão de acordo com os resultados encontrados por Medeiros *et al.* (2009), quando analisaram a estrutura termohalina da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste (ZEE/NE). Vale ressaltar que o período do cruzeiro neste ano para esta ilha foi durante a primavera, caracterizado por um período de mínimo de velocidade da CSEc (ARNAULT, 1987).

A análise de clorofila-*a* para o Arquipélago de Fernando de Noronha nos revela concentrações relativamente altas (considerando a característica oligotrófica da região) no ano de 2010, no transecto SW. Estes valores, que atingem  $1,5 \text{ mg m}^{-3}$ , aparecem em baixas profundidades, em 65 m. Esta ascendência de altos valores de clorofila-*a* é refletida na perturbação da estrutura termohalina observada neste mesmo ano e transecto. Souza *et al.* (2013) também observaram manchas de altas concentrações de clorofila-*a* em FN em anos anteriores. De acordo com Lalli e Parsons (2006), águas com altas densidades fitoplanctônicas apresentam concentrações de clorofila-*a* entre 1 e  $10 \text{ mg m}^{-3}$ , os resultados apresentados neste trabalho se encaixam nestes valores. É importante ressaltar que apesar de altas concentrações de clorofila-*a* indicarem águas ricas em nutrientes, visto que a disponibilidade de nutrientes é

um dos fatores determinantes para o crescimento do fitoplâncton (GROSS; GROSS, 1996), somente uma análise dos nutrientes inorgânicos poderia confirmar esta hipótese. Mesmo com a observação de uma ascendência do fitoplâncton e uma perturbação na estrutura termohalina, nota-se que não há uma ascendência de baixas temperaturas, descartando a possibilidade de ocorrência de ressurgência. Devido às características das correntes que passam por FN na época do ano em que o cruzeiro ocorreu, é provável que estes altos valores de clorofila-*a* tenham sido causados por um “efeito ilha”. Este efeito já foi identificado anteriormente em FN no mesmo ano, por Lira *et al.* (2014). Em relação aos anos de 2012 e 2014, observamos que, em 2012, as maiores concentrações de clorofila-*a* encontram-se na PMC, e os valores são considerados típicos de águas oligotróficas. Já em 2014, foram encontradas regiões de maiores concentrações de clorofila-*a* (em torno de  $1,0 \text{ mg m}^{-3}$ ) no transecto SW. Vale ressaltar que estes altos valores de clorofila-*a* foram encontrados entre 90 e 100 m, ou seja, na PMC, não havendo uma ascendência de altas concentrações na coluna d’água.

## 7.2. Atol das Rocas

Em relação à estrutura termohalina, temperaturas altas foram observadas em 2010 no Atol, com valores similares aos observados por Jales *et al.* (2015). AR, por ser parte da Cadeia de Fernando de Noronha e estar na mesma latitude que o Arquipélago, sofre influência do mesmo sistema de correntes. Este cruzeiro foi realizado na região de AR em meados de julho, o que caracteriza como período em que a SCSE e a CSEc estão com suas velocidades máximas. No transecto SE, as isotermas encontram-se mais espaçadas, com uma termoclina mais espessa quando comparada com o transecto NW. Nos dois transectos, a salinidade manteve-se bem misturada. A diferença nas isotermas entre os transectos pode estar relacionada à passagem de uma forte SCSE nesta direção. Já em 2012, o transecto SW apresentou uma grande elevação da isoterma de  $26,25 \text{ }^\circ\text{C}$ , porém, as temperaturas mantiveram-se altas dentro de toda a camada de mistura. Uma elevação das isohalinas também pôde ser observada neste mesmo transecto. Nota-se que, neste período de cruzeiro (primavera), a CSEc encontra-se no seu mínimo de velocidade (ARNAULT, 1987), enquanto que a SCSE ainda encontra-se em período de velocidade máxima. Um enfraquecimento da corrente superficial e uma corrente subsuperficial ainda forte pode ter provocado uma diminuição da profundidade das isotermas e isohalinas, sem fazer com que esta ascensão atingisse regiões próximas à superfície. Souza *et al.* (2013) sugere que a típica alta evaporação dessa região explique os altos valores de temperatura e salinidade nas porções mais superficiais da coluna d’água. Em 2014, as temperaturas chegam a ser menores que nos

anos anteriores, porém a salinidade se mantém alta. Valores como 36 são encontrados até o início da termoclina, e é possível que as altas taxas de evaporação nesta região estejam provocando esta larga camada de alta salinidade. Há uma desestabilização da termoclina, possivelmente provocada pela passagem da SCSE em seu período de velocidade máxima durante o período do cruzeiro no AR (agosto).

Já em relação à clorofila-*a*, no transecto SE em 2010, foram observados altos valores de concentração de clorofila-*a*, porém em profundidades onde se encontra a termoclina. Ainda que estes valores próximos a  $1,5 \text{ mg m}^{-3}$  tenham sido observados na PMC, são consideradas concentrações altas para a região de estudo. Valores como  $0,7 \text{ mg m}^{-3}$  ascendem até 45 m, o que caracteriza como concentrações relativamente altas em baixas profundidades nesta região, visto à característica oligotrófica destas águas. No transecto NW, surgem concentrações de até  $0,5 \text{ mg m}^{-3}$  na superfície. Considerando que geralmente são encontrados valores inferiores a  $0,05 \text{ mg m}^{-3}$  em regiões com baixas concentrações de nutrientes (LALLI; PARSONS, 2006), as concentrações observadas são altas. Valores semelhantes para AR já foram observados por outros autores, como Jales *et al.* (2015), Souza *et al.* (2013) e Feitosa e Passavante (2004). É importante salientar que, apesar das concentrações serem consideradas altas devido à característica comum da região, estes valores não são considerados altos em geral, como por exemplo, para ter características de águas eutróficas. É possível que estas concentrações maiores, próximas à superfície, tenham sido causadas por um “efeito ilha”, visto que a estrutura termohalina no transecto de SE estava desestabilizada. Em 2014, os maiores valores encontrados permaneceram confinados na profundidade de 1% de penetração de luz, ou PMC. Em 2012, os valores encontrados são baixos, porém nota-se uma ascensão de concentrações na faixa de  $0,25 \text{ mg m}^{-3}$  somente no transecto de SW, atingindo profundidades de 25 m. Visto que foram observadas mudanças também na estrutura termohalina deste transecto, sugere-se que processos turbulentos possivelmente ocasionados pela passagem da SCSE com máxima velocidade neste período provocaram um “efeito ilha”, acarretando no aumento da clorofila-*a* nas profundidades próximas à superfície. As elevações das isotermas e isohalinas juntamente com o aumento na concentração de clorofila-*a* não caracterizam uma ressurgência orográfica, devidos aos altos valores de temperatura e salinidade que permaneceram na camada de mistura, levando a acreditar que realmente há um efeito ilha neste ano. Este efeito já foi identificado anteriormente no Atol das Rocas por Jales *et al.* (2015).

### 7.3. Arquipélago de São Pedro e São Paulo

Analisando a estrutura termohalina de SPSP, observa-se que a temperatura não varia muito entre transectos (nos três anos), mas é perceptível uma variação grande na profundidade das isotermas de 25 °C e de 13,75 °C entre os três cruzeiros. A isoterma de 25 °C encontra-se numa profundidade inferior no ano de 2014 em relação aos outros dois anos, atingindo 47 m de profundidade neste ano. Neste mesmo ano, as isotermas encontraram-se bem espaçadas, indicando uma mistura vertical. No ano de 2010, a isoterma de 13,75 °C encontra-se em profundidades muito superiores em relação aos outros anos, atingindo 210 m de profundidade e indicando uma grande mistura vertical na porção abaixo da termoclina. Em 2010 e 2014 nota-se a presença de núcleos de salinidade máxima estreitos e bem definidos, em profundidades que coincidem com a presença da termoclina ou com a base da mesma. Em 2012, este núcleo se faz presente, porém melhor definido no transecto NW. No ano de 2010, o cruzeiro em SPSP foi realizado em julho, época em que, segundo Peterson e Stramma (1991), a SCE ainda se encontra em um período de velocidade mínima. Em 2014, o cruzeiro foi realizado entre agosto e setembro, o que caracteriza como um período de intensificação da SCE, que possui um de seus máximos em setembro (BRANDT *et al.*, 2006). Já em 2012, o cruzeiro ocorreu entre setembro e outubro, período considerado de máxima intensificação da SCE (PETERSON; STRAMMA, 1991; BRANDT *et al.*, 2006). Setembro é considerado também um período de intensificação mínima da CSEn (ARNAULT, 1987). Já em julho, esta corrente está em seu período de velocidade máxima, coincidindo com o período de cruzeiro em 2010. Claret, Rodríguez e Pelegrí (2012) identificaram um núcleo de alta salinidade da SCE que segue a estrutura da termoclina no Atlântico Equatorial, com máximos de salinidade encontrados logo acima da termoclina. Estes autores também mencionam uma relação entre a velocidade da SCE e este núcleo de alta salinidade, onde o máximo de velocidade subsuperficial coincide com a profundidade do máximo de salinidade subsuperficial. Peterson e Stramma (1991) e Katz *et al.* (1981) também citam a presença de águas com altos valores de salinidade no núcleo da SCE. A forte presença da SCE no ano de 2014 pode justificar o estreito núcleo de salinidade e a estratificação presente abaixo da termoclina neste ano. Em 2010, a situação se inverte, pois há uma forte presença da CSEn e uma fraca presença da SCE, que ainda é suficiente para formar um núcleo de máxima salinidade, mas com valores menores. Este enfraquecimento da SCE pode estar influenciando na mistura vertical observada logo abaixo da termoclina. 2012 estava inserido num período de máxima velocidade da SCE e mínima da CSEn, o que justifica a estratificação abaixo da termoclina e

o núcleo espesso de salinidade 36. Este enfraquecimento da CSEn neste período pode ter influenciado na presença de altas salinidades características da SCE próximas à superfície no transecto SE.

Em 2010, foram encontradas altas concentrações ( $1,5 - 2,2 \text{ mg m}^{-3}$ ) de clorofila-*a* entre 60 e 80 m de profundidade. No transecto E, os valores estão próximos da PMC, enquanto que no transecto W os valores encontram-se em profundidades um pouco menores. Não foi observada uma turbulência nesta porção da estrutura termohalina em SPSP em 2010, o que descarta o surgimento de águas profundas ou a ocorrência de um efeito ilha. Nutrientes podem estar sendo aprisionados nesta porção de altas concentrações de clorofila-*a*, justificando as mesmas. Esta hipótese, porém, não pode ser confirmada sem uma análise dos nutrientes para este cruzeiro oceanográfico. Mafalda Jr. *et al.* (2009) já observaram maiores teores de clorofila *a* nas ilhas oceânicas estudadas no presente trabalho quando comparados ao restante do nordeste brasileiro. Em 2012 e 2014, não foram encontradas grandes concentrações de clorofila-*a*, muito menos em pequenas profundidades, que pudessem indicar a ocorrência de algum tipo de efeito orográfico. A estratificação termohalina e a presença de núcleos de alta salinidade contribuem para uma baixa produtividade fitoplanctônica ao redor do Arquipélago de SPSP nos referidos anos. A intrusão salina provocada pela SCE inclusive pode contribuir para processos de *downwelling* de água e sal (CLARET; RODRÍGUEZ; PELEGRÍ, 2012).

## 8. CONCLUSÃO

No Arquipélago de Fernando de Noronha, foram observadas perturbações na estrutura termohalina nos anos de 2010 e 2014, enquanto que no Atol das Rocas foram observadas perturbações nos três anos estudados. A perturbação na estrutura foi suficientemente forte para causar um “efeito ilha” em 2010 tanto em FN quanto em AR; e em 2012 somente no Atol. A possibilidade de ocorrência de ressurgência nestas ilhas foi descartada, pois apesar da detecção do aumento nos níveis de clorofila-*a*, a temperatura na coluna d’água manteve-se alta, o que leva a concluir a não ocorrência de ressurgência. As duas ilhas sofrem influência do mesmo sistema de correntes, e estas, ao passarem ao redor das ilhas em seus períodos de máxima velocidade, provocam turbulência e tem potencial para desestabilizar a estrutura termohalina e provocar um aumento na produtividade fitoplanctônica nas profundidades da camada de mistura. Já no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, a estrutura termohalina foi marcada por um núcleo bem definido de salinidade máxima na base da termoclina, sob forte influência da Subcorrente Equatorial. A intrusão salina contribuiu para a baixa produtividade ao redor do Arquipélago nos anos de 2012 e 2014. Em 2010, foram observadas regiões de altas concentrações de clorofila-*a* na base da termoclina, onde geralmente se encontra a Profundidade Máxima de Clorofila. Em águas oligotróficas como estas, as maiores concentrações de clorofila-*a* são encontradas na profundidade de 1% de penetração de luz, devido à disponibilidade de luz e nutrientes.

A produtividade planctônica ao redor das ilhas oceânicas estudadas é de grande importância, pois influencia toda a teia trófica, incluindo a produtividade pesqueira. Analisar os processos que provocam possíveis mudanças na estrutura da coluna d’água é fundamental para entender o papel de ilhas oceânicas e montes submarinos no ecossistema marinho. Para dar suporte às hipóteses levantadas, sugere-se uma análise dos nutrientes inorgânicos, da variabilidade do sistema de correntes e das massas d’água no período de realização dos três cruzeiros. É importante salientar a necessidade de realização de cruzeiros oceanográficos com frequência nesta região, para que haja um monitoramento e um maior número de estudos dos processos físicos e oceanográficos que ocorrem no entorno de regiões insulares do Atlântico Tropical. É preciso também que haja um bom planejamento na realização de cruzeiros e projetos oceanográficos, visto as dificuldades encontradas neste estudo para fazer uma análise interanual da estrutura termohalina. Os cruzeiros foram realizados em épocas do ano distintas e, além disso, não houveram campanhas em todas as estações do ano, impossibilitando uma análise sazonal. Os transectos também tornaram-se um empecilho para análises 2 mais

detalhadas, visto que em diferentes anos foram realizados transectos diferentes, o que dificultou a análise interanual da influência das correntes na estrutura termohalina observada.

A análise da estrutura termohalina permite dar suporte às diferentes áreas da oceanografia, e o presente estudo visou relacionar diferentes processos oceanográficos que ocorrem ao redor de regiões insulares. Ainda assim, o presente estudo elucida a importância de se analisar dados de campanhas oceanográficas, visto a escassez de estudos físicos a partir de dados *in situ* no Atlântico Tropical.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.; CINTRA, M. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial. In HAZIN, F. H. Z. (Ed.). **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica**. SECIRM, Brasília. p. 106-113, 2009.
- ARNAULT, S. Tropical Atlantic Geostrophic Currents and Ship Drifts. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, n. C5, p. 5076–5088, 1987.
- ASSUNÇÃO, R. V.; SILVA, A. C.; MARTINS, J.; MONTES, M. F. Spatial-Temporal Variability of the Thermohaline Properties in the Coastal Region of Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 512–516, 2016.
- BECKER, H. Hidrologia dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro. Uma contribuição ao Programa REVIZEE. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p. 152, 2001.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: **Photosynthesis and Production in a Changing Environment**. Dordrecht: Springer Netherlands. p. 193–206, 1993.
- BOLTOVSKOY, D. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. **Mar del Plata**, INIDEP. p. 936, 1981.
- BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; CHUCHLA, R. On the circulation in the upper layer of the western equatorial Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 104, p. 151-170, 1999.
- BRANDINI, F.P.; LOPES, R.M. ; GUTSEIT, K.S. ; SPACH, H.L.; SASSI, R. Planctonologia na Plataforma Continental do Brasil. Diagnose e Revisão Bibliográfica. Rio de Janeiro: **REVIZEE**. MMA, CIRM, FEMAR. 196 p., 1997.
- BRANDT, P.; FUNK, A.; TANTET, A.; JOHNS, W. E.; FISCHER, J. The Equatorial Undercurrent in the central Atlantic and its relation to tropical Atlantic variability. **Climate Dynamics**, p. 1–13, 2014.
- BRANDT, P.; SCHOTT, F. A.; PROVOST, C.; KARTAVTSEFF, A.; HORMANN, V.; BOURLÈS, B.; FISCHER, J. Circulation in the central equatorial Atlantic: Mean and intraseasonal to seasonal variability. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 7, p. 2003–2006, 2006.

CAMPOS, T. F. C.; PETTA, R. A.; THEYE, T.; SICHEL, S. E.; SIMÕES, L. S. A.; SRIVASTAVA, N. K.; MOTOKI, A. A.; VIRGENS NETO, J. V.; ANDRADE, F. G. G. Posição ímpar do Arquipélago de São Pedro e São Paulo na diversidade geológica da Terra. In Hazin, F. H. V. (Ed.). **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica**. Brasília: SECIRM. p. 55–64, 2009.

CAROLLI, L. H. A importância estratégica do mar para o Brasil no século XXI. **Cadernos Estratégicos**. Escola Superior de Guerra, 2010.

CHIANG, J. C. H.; KUSHNIR, Y.; GIANNINI, A. Deconstructing Atlantic ITCZ variability: Influence of the local cross-equatorial SST gradient and remote forcing from the eastern equatorial Pacific. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D1, p. 1–19, 2002.

CLARET, M.; RODRÍGUEZ, R.; PELEGRÍ, J. L. Salinity intrusion and convective mixing in the Atlantic Equatorial Undercurrent. **Scientia Marina**, v. 76S1, p. 117-129, 2012.

COSTA, W. M. Projeção do Brasil no Atlântico Sul: geopolítica e estratégia. **Confins**, n. 22, 2014.

DOTY, M. S.; OGURI, M. The Island Mass Effect. **ICES Journal of Marine Science**, v. 22, n. 1, p. 33–37, 1956.

EDWARDS, A. J. & LUBBOCK, R. Marine zoogeography of St. Paul's Rocks. **Journal of Biogeography**, v. 10, p. 65-72, 1983.

FALKOWSKI, P.; KOLBER, Z. Variations in Chlorophyll Fluorescence Yields in Phytoplankton in the World Oceans. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 2, p. 341-355, 1995.

FEITOSA, F. A. N.; PASSAVANTE, J. Z. O. Produtividade fitoplanctônica e hidrologia do Atol das Rocas (Brasil). In: CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPA, S.; PASSAVANTE, J. Z. O. (Eds.). **Ecologia aquática tropical**. Natal: ServGraf, p. 143-156, 2004.

FISCHER, J.; HORMANN, V.; BRANDT, P.; SCHOTT, F. A.; RABE, B.; FUNK, A. South Equatorial Undercurrent in the western to central tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 21, p. 1–5, 2008.

GHERARDI, D. F. M.; BOSENCE, D. W. J. Composition and community structure of the coralline algal reefs from Atol das Rocas, South Atlantic, Brazil. **Coral Reefs**, v. 19, n. 3, p. 205–219, 2001.

GIANESELLA, S. M. F. Variabilidade da camada de clorofila máxima na região de quebra da Plataforma Continental Sudeste Brasileira. 166f. **Tese (Livre-Docência)** - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GILLESPIE, R. G. Oceanic Islands: Models of diversity. **Encyclopedia of Biodiversity**, p. 1–36, 2007.

GOVE, J. M.; MCMANUS, M. A.; NEUHEIMER, A. B.; POLOVINA, J. J.; DRAZEN, J. C.; SMITH, C. R.; MERRIFIELD, M. A.; FRIEDLANDER, A. M.; EHSES, J. S.; YOUNG, C.; DILLON, A. K.; WILLIAMS, G. J. Ocean Oases: near-island biological hotspots in barren ocean basins. **Nature Communications**, v. 7, p. 1–34, 2015.

GROSS, M. G.; GROSS, E. Oceanic life and ecosystems. In: GROSS, M. G. e GROSS, E. (Eds.). **Oceanography a View of Earth**. Prentice Hall: Upper Saddle River, p. 277–299, 1996.

HOFLICH, O. Climate of the South Atlantic Ocean. In: Van Lood H (Ed.). **Climates of the oceans**. Elsevier, Amsterdã. p. 1-192, 1984.

HORMANN, V.; BRANDT, P. Atlantic Equatorial Undercurrent and associated cold tongue variability. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 112, n. 6, p. 1–18, 2007.

HÜTTL-KABUS, S.; BÖNING, C. W. Pathways and variability of the off-equatorial undercurrents in the Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 113, n. 10, p. 1–14, 2008.

JALES, M. C.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L.; MONTES, M. J. F.; ARAUJO, M.; SILVA, R. A. Phytoplankton biomass dynamics and environmental variables around the Rocas Atoll Biological Reserve, South Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 63, n. 4, p. 443-454, 2015.

KATZ, E. J.; MOLINARI, R. L.; CARTWRIGHT, D. E.; HISARD, P.; LASS, H. U.; deMESQUITA, A. The seasonal transport of the Equatorial Undercurrent in the western Atlantic (during the Global Weather Experiment). **Oceanologica Acta**, v. 4, n. 4, p. 445–450, 1981.

KIKUCHI, R. K. P.; LEÃO, Z. M. A. N. Rocas (Southwestern Equatorial Atlantic, Brazil): An Atoll built primarily by coralline algae. **Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium**, v. 1, p. 731–736, 1997.

KIKUCHI, R. K. P.; SCHOBENHAUS, C. Atol das Rocas, Litoral do Nordeste do Brasil-Único atol do Atlântico Sul Equatorial Ocidental. **Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos**, p. 379–393, 2002.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. Biological oceanography: an introduction. 2. ed. Amsterdã: **Elsevier**. 314 p., 2006.

LESSA, R.; BEZERRA JR., J. L.; NASCIMENTO, E. D.; LIMA, M; PEREIRA, A. A. Oceanografia biológica: composição, distribuição e abundância do ictioneuston na ZEE da região Nordeste do Brasil. IN: Hazin, F. H V. **Biomassa fitoplanctônica: Biomassa primária e secundária, macrozooplâncton, ictioplancton, ictioneuston, macrofauna bêntica** (volume 2). Fortaleza: Martins & Cordeiro. p. 166-194, 2009.

LIRA, S. M. A.; TEIXEIRA, I. A; LIMA, C. D. M; SANTOS, G. S.; LEITÃO, S. N.; SCHWAMBORN, R. Spatial and nycthemeral distribution of the zooneuston of Fernando de Noronha, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 1, p. 35-45, 2014.

LUMPKIN, R.; GARZOLI, S. L. Near-surface circulation in the Tropical Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 52, n. 3, p. 495–518, 2005.

MABESOONE, J. M; COUTINHO, P. N. Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. **Trabalhos do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 12, p. 1–214, 1970.

MACEDO, S. J.; FLORES-MONTES, M. J.; COSTA, K. M. P. Hidrologia. In HAZIN, F. H. Z. (Ed.). **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica**. SECIRM, Brasília. p. 100-105, 2009.

MACEDO-SOARES, L. C. P.; CARVALHO, M.; FREIRE, A. S.; MUELBERT, J. H. Variabilidade temporal e espacial da temperatura superficial do mar e da clorofila-a no entorno do Arquipélago São Pedro e São Paulo e seus efeitos na comunidade ictioplanctônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p. 7129-7136, 2011.

MAFALDA JR., P. O.; MOURA, G. F.; MELO, G. N.; SAMPAIO, J. A. A.; FEITOSA, F. A.; PASSAVANTE, J. Z.; MOREIRA, M. O.; SOUZA, C. S. Oceanografia biológica: biomassa fitoplanctônica na ZEE da região nordeste do Brasil. IN: Hazin, F. H V. **Biomassa fitoplanctônica: Biomassa primária e secundária, macrozooplâncton, ictioplancton, ictioneuston, macrofauna bêntica** (volume 2). Fortaleza: Martins & Cordeiro. p. 11-26, 2009.

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S. M. B.; LIMA NETO, J. A.; LIMA, J. F. W. F. Caracterização e Classificação de Cambissolos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1023-1034, 2007.

MEDEIROS, C.; ARAÚJO, M.; ROLLNIC, M.; FREITAS, I. Estrutura termohalina da região oeste do Atlântico Tropical – ZEE/NE. IN: Hazin, F. H V. **Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Geológica** (volume 1). Fortaleza: Martins & Cordeiro. p. 40-55, 2009.

METZLER, P. M.; GLIBERT, P. M.; GAETA, S. A.; LUDLAM, J. M. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 44, n. 3, p. 363–384, 1997.

MIRANDA, L. B. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP). **Tese Livre Docente**. Departamento de Oceanografia Física, IOUSP. São Paulo, SP. 123 p., 1982.

MOHR, L. V.; CASTRO, J. W. A.; COSTA, P. M. S.; ALVES, R. J. V. Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo. Vol. II, **MMA Secretaria de Biodiversidade e Floresta**, Brasília, Brasil. 496 p., 2009.

MOLINARI, R. L. Observations of eastward currents in the tropical South Atlantic Ocean: 1978-1980. **Journal of Geophysical Research**, v. 87, p. 9707-9714, 1982.

MOLINARI, R. L.; VOITURIEZ, B.; DUNCAN, P. Observations in the subthermocline undercurrent of the Equatorial South Atlantic Ocean : 1978-1980. **Oceanologica Acta**, v. 4, n. 4, p. 451–456, 1981.

NEUMANN, G. Evidence for an equatorial undercurrent in the Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research**, v. 6, n. February, p. 328–334, 1960.

PEREIRA, N. S.; MANSO, V. A. V.; SILVA, A. M. C.; SILVA, M. B. Mapeamento Geomorfológico e Morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 3, p. 331–345, 2010.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South-Atlantic Ocean. **Progress In Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1–73, 1991.

REVERDIN, G.; RUAL, P.; DU PENHOAT, Y.; GOURIOU, Y. Vertical Structure of the Seasonal Cycle in the Central Equatorial Atlantic Ocean: XBT Sections from 1980 to 1988. **Journal of Physical Oceanography**, v. 21, p. 277–291, 1991.

RICHARDSON, P. .; MCKEE, T. K. Average Seasonal Variation of the Atlantic Equatorial Currents from Historical Ship Drifts. **Journal of Physical Oceanography**, v. 14, p. 1226–1238, 1984.

SOARES, J; OLIVEIRA, A. P.; SKIELKA, U. T.; SERVAIN, J. O ar. In HAZIN, F. H. Z. (Ed.). **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica**. SECIRM, Brasília. p. 38-44, 2009.

SOTO, J. M. R. Peixes do Arquipélago Fernando de Noronha. **Mare Magnum**, v. 1, n. 2, p. 147–169, 2001.

SOUZA, C. S.; LUZ, J. A. G.; MACEDO, S.; MONTES, M. J. F.; MAFALDA JR., P. Chlorophyll a and nutrient distribution around seamounts and islands of the tropical southwestern Atlantic. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, n. 2, p. 168–184, 2013.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research II**, v. 46, n. 1–2, p. 279–303, 1999.

UNESCO. Technical Report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. **UNESCO Technical Report in Marine Science**, n. 44, 53 p., 1983.

UNESCO. Technical Report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. **UNESCO Technical Report in Marine Science**, n. 36, 25 p., 1988.

VELEDA, D.; ARAUJO, M.; ZANTOPP, R.; MONTAGNE, R. Intraseasonal variability of the North Brazil Undercurrent forced by remote winds. **Journal of Geophysical Research**, v. 117, n. C11024, 2012.

VILLAÇA, R.; FONSECA, A. C.; JENSEN, V. K.; KNOPPERS, B. Species composition and distribution of macroalgae on Atol das Rocas, Brazil, SW Atlantic. **Botanica Marina**, v. 53, n. 2, p. 113–122, 2010.

WIENDERS, N.; ARHAN, M.; MERCIER, H. Circulation at the western boundary of the South and Equatorial Atlantic: Exchanges with the ocean interior. **Journal of Marine Research**, v. 58, n. 6, p. 1007–1039, 2000.

**APÊNDICE A – Tabelas das estações utilizadas e a localização de cada estação**

**Tabela 1. Estações, data de coleta e localização das respectivas estações da campanha oceanográfica Camadas Finas I nas três ilhas da área de estudo.**

		<b>Estação</b>	<b>Data</b>	<b>Localização</b>
<b>Camadas Finas I</b>	<b>Fernando de Noronha</b>	090	01/08/2010	3 47.22 S, 32 21.89 W
		091	01/08/2010	3 45.12 S, 32 19.84 W
		092	01/08/2010	3 45.78 S, 32 20.60 W
		096	01/08/2010	3 44.44 S, 32 19.23 W
		100	02/08/2010	3 46.47 S, 32 21.12 W
		103	02/08/2010	3 54.12 S, 32 27.17 W
		104	02/08/2010	3 54.30 S, 32 27.55 W
		105	02/08/2010	3 55.43 S, 32 28.99 W
		107	03/08/2010	3 54.50 S, 32 28.08 W
		109	03/08/2010	3 56.78 S, 32 29.93 W
		110	03/08/2010	3 56.05 S, 32 29.35 W
	<b>Atol das Rocas</b>	044	16/07/2010	3 56.79 S, 33 42.17 W
		047	16/07/2010	3 56.09 S, 33 43.12 W
		053	17/07/2010	3 55.46 S, 33 43.68 W
		054	17/07/2010	3 54.81 S, 33 44.32 W
		055	17/07/2010	3 54.36 S, 33 44.63 W
		059	18/07/2010	3 49.73 S, 33 53.96 W
		060	18/07/2010	3 48.96 S, 33 54.66 W
		065	18/07/2010	3 48.03 S, 33 55.34 W
	<b>Arquipélago de São Pedro e São Paulo</b>	066	19/07/2010	3 47.02 S, 33 56.45 W
		069	21/07/2010	0 55.11 N, 29 16.96 W
		071	21/07/2010	0 55.00 N, 29 19.22 W
		072	21/07/2010	0 55.03 N, 29 18.09 W
		075	22/07/2010	0 54.94 N, 29 19.56 W
		076	22/07/2010	0 54.72 N, 29 16.36 W
		078	22/07/2010	0 54.90 N, 29 24.06 W
		080	22/07/2010	0 54.86 N, 29 21.73 W
		081	22/07/2010	0 54.85 N, 29 23.16 W
		083	23/07/2010	0 54.78 N, 29 24.82 W
		086	23/07/2010	0 54.98 N, 29 22.02 W
089	23/07/2010	0 54.95 N, 29 22.29 W		

**Tabela 2. Estações, data de coleta e localização das respectivas estações da campanha oceanográfica Camadas Finas II nas três ilhas da área de estudo.**

		<b>Estação</b>	<b>Data</b>	<b>Localização</b>
<b>Camadas Finas II</b>	<b>Fernando de Noronha</b>	022	24/09/2012	3 56.03 S, 32 29.30 W
		023	25/09/2012	3 55.25 S, 32 28.61 W
		024	25/09/2012	3 54.65 S, 32 27.82 W
		025	25/09/2012	3 54.39 S, 32 27.36 W
		026	24/09/2012	3 53.96 S, 32 27.04 W
		027	27/09/2012	3 45.05 S, 32 19.82 W
		028	27/09/2012	3 45.87 S, 32 20.45 W
		029A	25/09/2012	3 46.34 S, 32 21.36 W
		030	26/09/2012	3 46.88 S, 32 21.55 W
		031	26/09/2012	3 47.32 S, 32 21.85 W
	<b>Atol das Rocas</b>	012	21/09/2012	3 55.20 S, 33 51.92 W
		013	21/09/2012	3 54.45 S, 33 51.51 W
		014	21/09/2012	3 53.63 S, 33 50.73 W
		016	21/09/2012	3 52.93 S, 33 50.04 W
		017	23/09/2012	3 48.06 S, 33 45.35 W
		018	23/09/2012	3 48.64 S, 33 46.19 W
		019A	22/09/2012	3 49.36 S, 33 47.06 W
		020	23/09/2012	3 49.93 S, 33 47.12 W
	<b>Arquipélago de São Pedro e São Paulo</b>	032	30/09/2012	0 52.79 N, 29 18.67 W
		033	30/09/2012	0 53.47 N, 29 19.26 W
		034A	29/09/2012	0 53.98 N, 29 20.66 W
036		30/09/2012	0 55.30 N, 29 21.04 W	
038		01/10/2012	0 55.89 N, 29 21.62 W	
039		01/10/2012	0 56.67 N, 29 22.38 W	
040		01/10/2012	0 57.29 N, 29 23.09 W	

**Tabela 3. Estações, data de coleta e localização das respectivas estações da campanha oceanográfica Camadas Finas IV nas três ilhas da área de estudo.**

		<b>Estação</b>	<b>Data</b>	<b>Localização</b>
<b>Camadas Finas IV</b>	<b>Fernando de Noronha</b>	016A	06/07/2014	3 53.50 S, 32 29.76 W
		017	06/07/2014	3 53.77 S, 32 30.17 W
		018A	06/07/2014	3 54.10 S, 32 30.59 W
		020C	06/07/2014	3 54.40 S, 32 31.62 W
		022	07/07/2014	3 49.33 S, 32 20.23 W
		023	07/07/2014	3 49.13 S, 32 20.06 W
		025	07/07/2014	3 48.78 S, 32 19.45 W
	<b>Atol das Rocas</b>	026	27/08/2014	3 48.68 S, 33 50.09 W
		027	27/08/2014	3 48.36 S, 33 50.30 W
		028	27/08/2014	3 47.70 S, 33 50.81 W
		030A	27/08/2014	3 46.77 S, 33 51.01 W
		031	28/08/2014	3 55.41 S, 33 47.50 W
		034	28/08/2014	3 56.44 S, 33 46.96 W
		035	28/08/2014	3 57.24 S, 33 46.61 W
	<b>Arquipélago de São Pedro e São Paulo</b>	036	31/08/2014	0 55.04 N, 29 22.80 W
		037	01/09/2014	0 54.77 N, 29 23.07 W
		038	31/08/2014	0 55.06 N, 29 23.43 W
		039	31/08/2014	0 54.82 N, 29 24.14 W
		040	31/08/2014	0 55.03 N, 29 25.38 W
		042	31/08/2014	0 55.09 N, 29 18.76 W
043		01/09/2014	0 55.12 N, 29 18.23 W	
044		01/09/2014	0 54.92 N, 29 17.70 W	
	045	01/09/2014	0 55.01 N, 29 17.34 W	