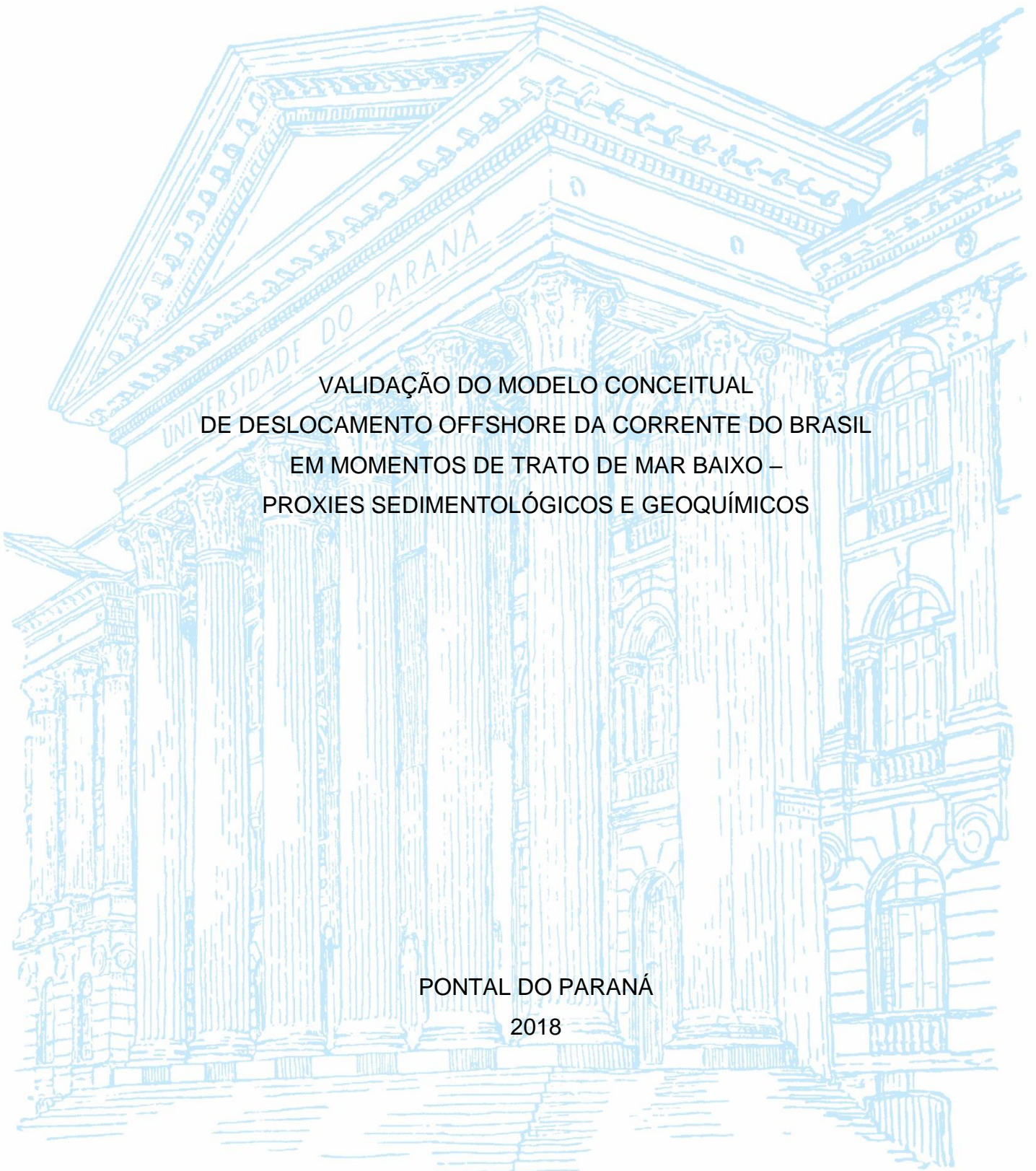


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MATEUS FARIAS MENGATTO

VALIDAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL  
DE DESLOCAMENTO OFFSHORE DA CORRENTE DO BRASIL  
EM MOMENTOS DE TRATO DE MAR BAIXO –  
PROXIES SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS

PONTAL DO PARANÁ  
2018



MATEUS FARIAS MENGATTO

VALIDAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DE DESLOCAMENTO OFFSHORE DA  
CORRENTE DO BRASIL  
EM MOMENTOS DE TRATO DE MAR BAIXO –  
PROXIES SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS

Monografia apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia,  
Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal  
do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Renata Hanae Nagai

PONTAL DO PARANÁ

2018

## TERMO DE APROVAÇÃO

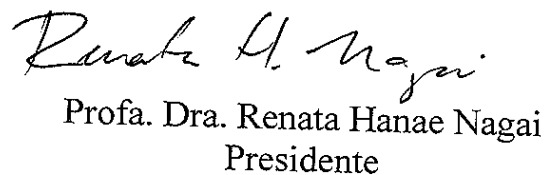
Mateus Farias Mengatto

### **“VALIDAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DE DESLOCAMENTO OFFSHORE DA CORRENTE DO BRASIL EM MOMENTOS DE TRATO DE MAR BAIXO - PRÓXIES SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS”**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

  
Prof. Dr. César de Castro Martins - CEM/UFPR

  
MSc. Amanda Gerotto - Doutoranda IOUSP

  
Profa. Dra. Renata Hanae Nagai  
Presidente

Pontal do Paraná, 06 de dezembro de 2018.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem Ele, esta jornada não seria possível.

Agradeço a meus pais, Angela Pereira de Farias Mengatto e Paulo Cesar Mengatto, por todo apoio emocional, moral e financeiro durante estes anos de graduação.

Agradeço a Anna Clara Sandi Ballardin, por todo apoio, paciência e companheirismo ao longo desses anos.

Agradeço a minha querida orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Hanae Nagai, por toda a orientação, incentivo e inspiração, não apenas no presente trabalho, como na iniciação científica e durante esta trajetória acadêmica.

Agradeço a todos os professores por toda a dedicação durante as aulas ministradas.

Agradeço a equipe LabPaleo<sup>2</sup>, por todas as reuniões, debates e risadas.

Agradeço aos meus amigos de Curitiba, irmãos de coração, por toda irmandade, apoio e incentivo.

Agradeço aos meus colegas de profissão do GRR2014, por todas as amizades, confraternizações, trabalhos em grupo e noites de estudo.

Agradeço a minha companheira canina Mucca, por todo amor e companhia durante esses anos.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo fomento durante a Iniciação Científica.

Agradeço aos Professores do IO-USP, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Helena de Mello e Sousa e Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques, pela disponibilidade dos dados essenciais para este trabalho.

Agradeço também a todos que de uma alguma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A Corrente do Brasil (CB) tem um papel importante na dinâmica sedimentar da plataforma externa e do talude superior da Bacia de Santos, margem continental sudeste brasileira. Um modelo conceitual proposto na literatura mostra que durante o Último Máximo Glacial (UMG, 23 – 19 mil anos antes do Presente), em nível médio do mar (NMM) baixo, a CB se deslocou para o largo, permitindo uma maior deposição de sedimentos de origem terrígena na plataforma externa e do talude superior desta Bacia. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo principal validar este modelo conceitual para o período do Deglacial (16 – 11,7 mil anos AP), quando o NMM estava em ascensão. Para isso, *proxies* sedimentares e geoquímicos foram aplicados a um registro sedimentar (CNT311-1, 24°27,04' S, 44°12,73' W, 452 m de profundidade de coluna d'água, 158 cm de recuperação) coletado em um depósito de contornito no talude superior da Bacia de Santos. O modelo de idade do testemunho foi obtido a partir de datações radiométricas (AMS <sup>14</sup>C) em foraminíferos planctônicos. Foram utilizados *proxies* geoquímicos (razões Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K), sedimentológicos (tamanho dos grãos), e físicos (Susceptibilidade Magnética). A partir dos resultados foi possível observar características diferentes entre Deglacial e Holoceno (11,7 – 0 mil anos AP). Essas diferenças indicam condições sedimentares e hidrodinâmicas distintas entre estes intervalos de tempo. O Deglacial apresentou características terrígenas análogas às encontradas durante o UMG, corroborando o modelo conceitual de deslocamento da CB ao largo durante períodos de NMM baixo. Os dados sugerem que durante o Deglacial, com NMM em ascensão, a CB manteve-se deslocada ao largo, possibilitando a maior deposição de sedimentos terrígenos durante esse período se comparado ao Holoceno.

Palavras-chave: Contornito. Deglacial. Corrente do Brasil. Bacia de Santos.

## ABSTRACT

The Brazil Current (CB) plays an important role in the depositional dynamics of the outer shelf and upper-slope of the Santos Basin at the SE Brazilian continental margin. A conceptual model proposes that during the Last Glacial Maximum (LGM, 23 - 19 ka BP - thousand years before Present), in a scenario of low global mean sea level (MSL), the CB was displaced offshore, allowing the deposition of terrigenous sediments at the outer shelf and upper-slope of the Santos Basin. Within this context, this study aims to validate this conceptual model for the Deglacial (16 - 11.7 ka BP), when NMM is rising. In order to achieve this, sedimentary and geochemical proxies were applied to a marine sedimentary record (CNT311-1, 24° 27.04' S, 44° 12.73' W, 452 m water depth, 158 cm recovery) collected in a contourite deposit at the Santos Basin. Core chronology was obtained by radiometric dating (AMS <sup>14</sup>C) of planktonic foraminifera tests. The Fe/Ca, Ti/Ca and Fe/K ratios were applied as geochemical proxies, grain size as sedimentological proxy, and the Magnetic Susceptibility of the sediments as a physical property proxy. It was possible to observe different sedimentary and geochemical characteristics in the sediments between Deglacial and Holocene (11.7 - 0 thousand years AP). These differences indicate different depositional and hydrodynamic scenarios. For the Deglacial grain size and terrigenous input was similar to those found during the UMG, corroborating to the conceptual model of an offshore displacement of the CB in below modern MSL moments. Thus, even during the Deglacial, when MSL is rising, the CB remained displaced offshore, allowing the greater deposition of terrigenous sediments when compared to the Holocene.

Keywords: Contourites. Deglacial. Brazil Current. Santos Basin.

## LISTA DE SIGLAS

- $\Delta R$  – Delta-R
- AMOC – *Atlantic Meridional Overturning Circulation*
- AMS – *Accelerator mass spectrometry*
- AP – Antes do Presente
- CB – Corrente do Brasil
- ICP-OES – *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*
- IOUSP – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
- MIS – *Marine Isotope Stage*
- MO – Matéria orgânica
- NMM – Nível médio do mar
- SI – Sistema Internacional de Unidades
- UMG – Último Máximo Glacial

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
1.1 OBJETIVOS.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 CONTORNITOS .....	13
2.2 <i>PROXIES</i> GRANULOMÉTRICOS E GEOQUÍMICOS .....	14
3. ÁREA DE ESTUDO .....	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
4.1 CRONOLOGIA .....	19
4.2 SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA .....	19
4.3 GRANULOMETRIA.....	19
4.4 <i>PROXIES</i> GEOQUÍMICOS.....	20
5. RESULTADOS.....	21
6. DISCUSSÃO .....	28
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO .....	33
8. REFERÊNCIAS.....	34

## 1. INTRODUÇÃO

A paleoceanografia e a paleoclimatologia são ramos da ciência de abordagem interdisciplinar, que têm o intuito de reconstruir a história dos oceanos e do clima terrestre, respectivamente, buscando entender seus processos, interações e variabilidade. Os estudos paleo utilizam como principal ferramenta os *proxies*<sup>1</sup>, e são capazes de reconstruir variáveis físicas, químicas e biológicas do passado. A distribuição granulométrica dos depósitos sedimentares marinhos, pode ser aplicada como um *proxy* no entendimento da disponibilidade de sedimentos, competência de fluxos e mecanismos de transporte (BEIERLE et al., 2002). *Proxies* geoquímicos, como a composição de elementos principais (p.e., Fe, Ca, Ti, K, Si) nos sedimentos marinhos, são também amplamente aplicados como traçadores das mudanças no aporte terrígeno para o oceano (GOVIN et al., 2012).

Os contornitos são “sedimentos depositados ou substancialmente retrabalhados pela ação das correntes de fundo” (REBESCO, 2005; REBESCO et al., 2014). Essas formações têm sido fundamentais para a compreensão da história climática dos oceanos e seu papel na evolução da Terra, uma vez que, por suas altas taxas de sedimentação, possuem grande potencial para reconstruções paleoceanográficas de alta resolução (HOWE, 2008; KNUTZ, 2008). As correntes de fundo, que formam os contornitos, podem ser geradas por uma variedade de processos oceanográficos, envolvendo forças de maré, transportes promovidos por ventos, ressurgências ou subsidências ao longo das margens das plataformas, e/ou trocas de massas de água inter-hemisféricas associadas à Circulação Meridional do Atlântico (AMOC) (KNUTZ, 2008).

A AMOC representa um dos sistemas oceânicos mais importantes para o clima terrestre, principalmente por controlar a quantidade de calor transportado para o norte do Hemisfério Norte (GUIHOU et al., 2011). No Hemisfério Sul, a AMOC é conduzida pelo sistema de Giro Subtropical do Atlântico Sul, e parte da sua porção ocidental compreende a Corrente do Brasil (CB) (SANTOS et al., 2017).

Em 2007, Mahiques et al., com base em *proxies* sedimentológicos e geoquímicos, definiram um modelo conceitual para explicar os processos

---

<sup>1</sup> *Proxies* (ou 'variáveis *proxy*'), na linguagem paleocientífica, são descritores mensuráveis que representam variáveis desejáveis (mas não observáveis), como, por exemplo, temperatura, salinidade, nutrientes, teor de oxigênio, concentração de dióxido de carbono (WEFER et al., 1999).

deposicionais da plataforma média e rasa e do talude superior na Bacia de Santos, durante o Último Máximo Glacial (UMG, 23 – 19 mil anos AP seguindo KUCERA et al., 2005) (Figura 1). De acordo com este modelo, durante períodos de nível médio do mar (NMM) alto (i.e., no MIS<sup>2</sup> 3 – 60 a 24 mil anos AP seguindo MARTINSON et al., 1987); e Holoceno – 11,7 mil anos AP ao Presente seguindo WALKER et al., 2009) (Figura 1), a CB permanece na sua posição moderna, atuando de forma mais efetiva junto ao assoalho oceânico impedindo, conseqüentemente, a deposição de sedimentos terrígenos finos. Já em períodos com NMM baixo, como é o caso do UMG, a CB se desloca para o largo diminuindo sua ação sobre o fundo, e permitindo que haja uma maior deposição de sedimentos terrígenos mais finos (MAHIQUES et al., 2007).

Nagai et al. (2010), a partir de associações de foraminíferos no testemunho 7486 (Figura 1), colocam em evidência uma alta disponibilidade de alimento para a comunidade bentônica durante o UMG (com frequência relativa maior das espécies, *Bulimina marginata* e *Uvigerina peregrina*), relatando uma maior produtividade e aporte de matéria orgânica (MO) para o meio bentônico. Lourenço et al. (2016) a partir de biomarcadores orgânicos (i.e., alquenonas, clorinas, ácidos graxos) no testemunho 7485, também sugerem que maiores taxas de sedimentação durante o UMG possam estar associadas a um aumento na produtividade primária, dado um maior aporte de nutrientes terrígenos em condições NMM mais baixo. Esses autores explicam tais variações pelo modelo de Mahiques et al. (2007), tendo como principal fator o deslocamento *offshore* da CB durante o UMG. Estes trabalhos apresentam uma boa resolução temporal para o UMG, mas sem resolução para o Deglacial (19 a 11,7 mil anos AP), ou seja, para um cenário de subida do NMM.

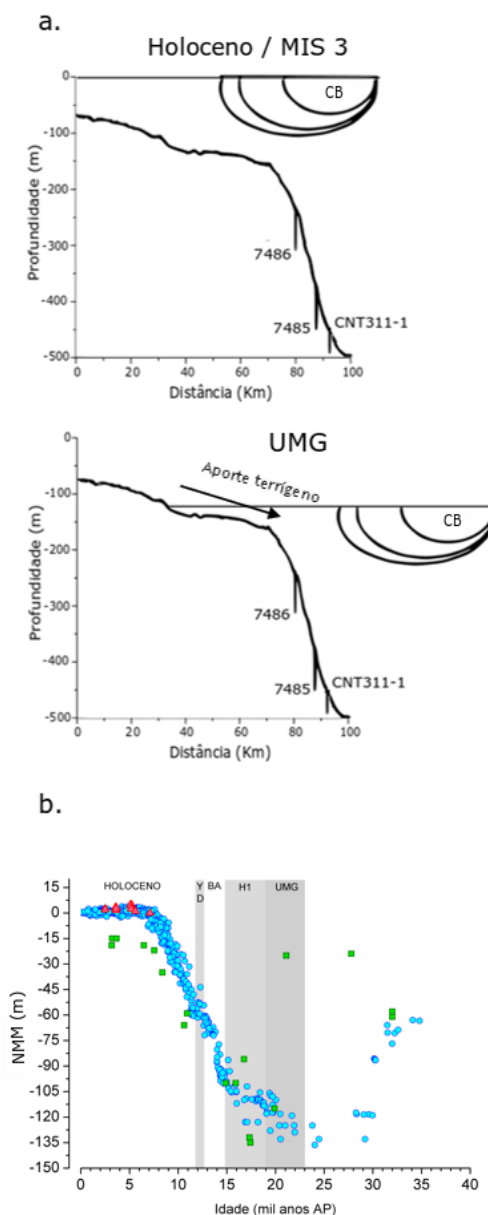
Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo validar o modelo conceitual de deslocamento *offshore* da Corrente do Brasil em momentos de nível do mar em trato baixo proposto por Mahiques et al. (2007). Para isso, as características sedimentares e geoquímicas de um registro sedimentar marinho (testemunho CNT311-1), coletado em depósitos contorníticos (Figura 2), foram aplicadas como

---

<sup>2</sup> *Marine Isotope Stages* (Estágios Isotópicos Marinhos) – São intervalos determinados por variações cíclicas dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em foraminíferos bentônicos, que refletem as mudanças no volume de gelo nos continentes e as mudanças concomitantes na composição isotópica dos oceanos, assim sendo relacionados com estágios interglaciais (números ímpares, p.e., MIS 1 que se refere ao Holoceno) e glaciais (números pares, p.e., MIS 2 que se refere ao UMG), estes que são relativos a variações orbitais da terra (BRADLEY, 1999).

*proxies* na reconstrução do aporte de sedimentos terrígenos para a Bacia de Santos, ao longo do Deglacial (de 16 a 11,7 mil anos AP) e discutidos sob uma perspectiva de flutuação do nível médio do mar global.

FIGURA 1 – MODELO CONCEITUAL E VARIAÇÃO DO NMM NOS ÚLTIMOS 35 mil anos



FONTE: a) Adaptado de Mahiques et al. (2007). b) O autor (2018)

LEGENDA: a) Modelo conceitual do deslocamento da Corrente do Brasil (CB), em momentos de trato de mar baixo (UMG) e momentos de trato de mar alto (Holoceno/ MIS3) proposto por Mahiques et al. (2007); e a localização dos testemunhos sedimentares marinhos 7485 (MAHIQUES et al., 2007; LOURENÇO et al., 2016) (452 m de coluna d'água); 7486 (NAGAI et al., 2010) (223 m de coluna d'água); e CNT311-1 (este trabalho) (452 m de coluna d'água); b) Estimativa do Nível Médio do Mar (NMM) dos últimos 35 mil anos AP, com base em Suguio et al. (1985) (triângulos vermelhos); Corrêa (1996) (quadrados verdes); e Lambeck et al. (2014) (círculos azuis).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é validar o modelo conceitual de deslocamento *offshore* da Corrente do Brasil em momentos de nível do mar em trato baixo proposto por Mahiques et al. (2007), nos últimos 16 mil anos, a partir da aplicação de *proxies* sedimentológicos e geoquímicos em um registro sedimentar marinho coletado no talude continental da margem sudeste brasileira.

Para que o objetivo principal seja alcançado, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- i. Obter um modelo de idade para o testemunho CNT311-1;
- ii. Avaliar mudanças na influência da Corrente do Brasil junto ao talude continental a partir dos dados físicos (susceptibilidade magnética), sedimentológicos (granulometria) e geoquímicos (razões de Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K, e conteúdo de carbonato de cálcio) do testemunho CNT311-1;
- iii. Comparar os resultados obtidos para o testemunho CNT311-1 com dados da literatura;
- iv. Verificar se as variações observadas para o testemunho CNT311-1 corroboram com o modelo conceitual de deslocamento *offshore* da Corrente do Brasil apresentado por Mahiques et al. (2007).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONTORNITOS

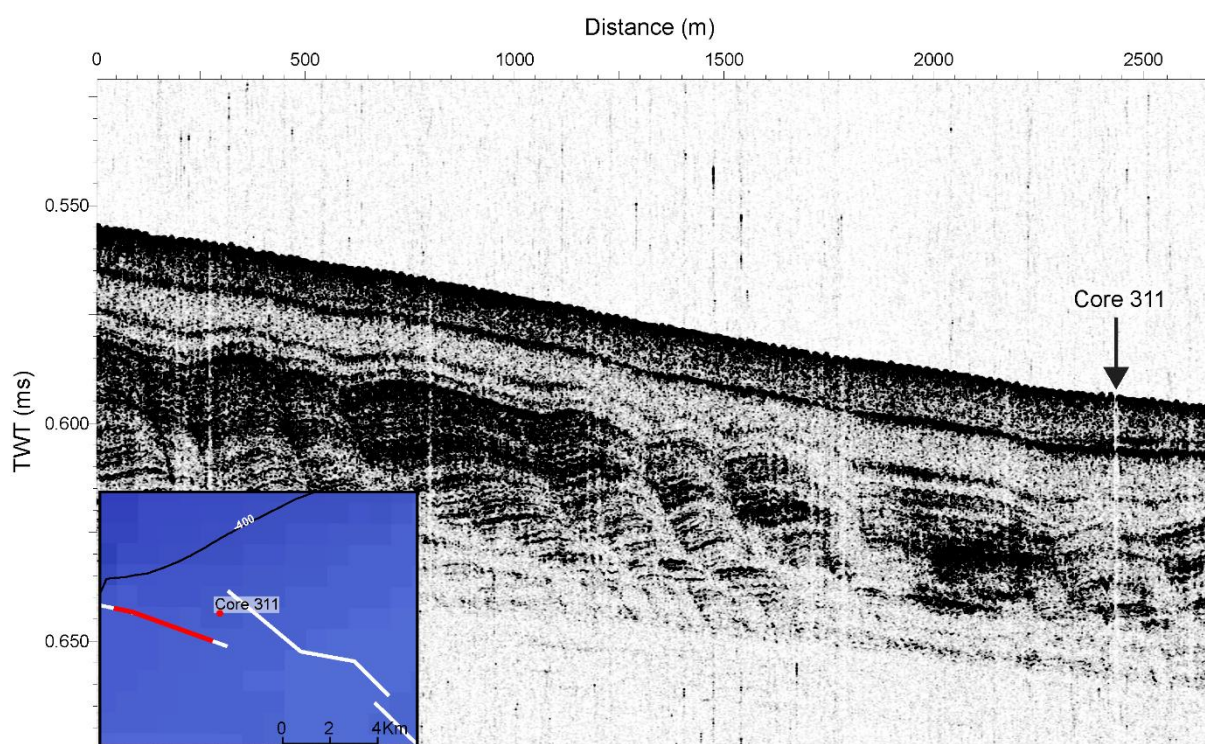
O termo contornito foi criado, inicialmente, para definir os depósitos sedimentares de mar profundo relacionados a deposição das correntes de contorno associados a circulação termohalina (REBESCO et al., 2008). Se limitados a essa definição, haveria o impedimento da aplicação a depósitos antigos, onde a profundidade e a direção das correntes raramente podem ser reconstruídas com precisão (REBESCO et al., 2008). Dessa forma, hoje consideram-se também as deposições de diferentes tipos de correntes de fundo (REBESCO et al., 2014), entretanto ainda com maior foco nos depósitos relacionados às correntes geostróficas fluindo sobre os contornos topográficos (MCCAVE et al., 2017).

O estudo de depósitos de contornito é considerado crucial em, pelo menos, três campos de pesquisa fundamental e aplicada: paleoclimatologia e paleoceanografia; avaliação de estabilidade de encostas/perigo geológico; e exploração de hidrocarbonetos (REBESCO, 2005; REBESCO et al., 2014). Nas investigações destes depósitos, os geofísicos e sedimentologistas marinhos concentram-se principalmente nos padrões deposicionais, baseando-se em mapeamentos acústicos-sísmico (KNUTZ, 2008) (Figura 2). Por outro lado, os paleoclimatólogos e paleoceanógrafos tendem sua concentração nas reconstruções de séries temporais das propriedades de massa de água baseadas em dados *proxy* faunísticos e geoquímicos (KNUTZ, 2008).

Os principais fatores que controlam a geometria e a distribuição de fácies contorníticas são: a intensidade e duração do regime das correntes de fundo, o tamanho da população de grãos disponíveis para ação das correntes, a fisiografia de fundo da região, e a configuração da margem continental (VIANA, 2008). Esses fatores regulam quando e como os contornos são depositados em uma bacia, e também determinam o lócus de deposição de areia em um sistema contornito (VIANA, 2008). A persistência e eficiência de um regime hidrodinâmico capaz de erodir, transportar e depositar, retrabalhando grandes volumes de areia é fundamental, podendo existir dois tipos de situações principais, consideradas favoráveis ao fornecimento de sedimentos grosseiros e à ação de uma corrente de contorno (VIANA,

2008). A primeira situação ocorre quando há uma vizinhança com acumulação rica em areia, e este conteúdo é parcialmente transferido para as áreas sujeitas a ação dos mecanismos (correntes de plataforma formadas por diferentes situações) que induzem o transbordamento de areia, ou, a fluxos de densidade de sedimentos relacionados a inundações catastróficas, em margens semelhantes a rampas, ou, a afundamento de águas salgadas densas (VIANA, 2008 e referências contidas). A segunda situação na presença de zonas sujeitas a deformação e movimentos onde existam camadas de areia depositadas previamente são expostas às correntes de fundo que os varrem (i.e. correntes de turbidez) (VIANA, 2008 e referências contidas).

FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO 311-1 NA FORMAÇÃO CONTORNITICA



FONTE: RELATÓRIO DO CRUZEIRO OCEANOGRÁFICO CONTORNITOS (IOUSP)

LEGENDA: Localização do testemunho 311-1 na área perfilada e na seção sísmica obtida no local de coleta;

## 2.2 PROXIES GRANULOMÉTRICOS E GEOQUÍMICOS

Nos ambientes deposicionais marinhos, processos hidrodinâmicos e características químicas das massas d'água deixam assinaturas específicas nos sedimentos, de forma que estas podem ser usadas para caracterizar as fontes sedimentares de uma região (MAHIQUES et al., 2017a). A distribuição do tamanho

das partículas em sedimentos marinhos e terrestres pode fornecer informações sobre as condições paleoambientais causadas por mudanças climáticas e tectônicas. Além disso, estudos paleoceanográficos utilizam dessa distribuição, assim como da variação da mesma, principalmente em análises de fluxos, de modo que a deposição de partículas maiores é relacionada a fluxos hidrodinâmicos mais intensos (MAHIQUES et al., 2004; 2007; MCCAVE et al., 2005; 2017).

Outra característica é a composição elementar dos sedimentos que pode ser utilizada para traçar o aporte terrígeno para os oceanos (GOVIN et al., 2012). Estudos de reconstrução paleoclimática aplicam razões entre elementos tipicamente terrígenos (i.e., Fe e Ti) e marinhos (i.e., Ca e Ba), dentre as principais razões aplicadas estão ferro/cálcio (Fe/Ca), titânio/cálcio (Ti/Ca), ferro/potássio (Fe/K) (GOVIN et al., 2012). As razões Fe/Ca e Ti/Ca, têm sido utilizadas para traçar mudanças no aporte terrígeno, principalmente de origem fluvial, tendo em vista que o Fe e o Ti são relacionados a fração terrígena, e o Ca representa o conteúdo de carbonato de origem marinha (GOVIN et al., 2012). No Oceano Atlântico Sul a razão Fe/K está associada à intensidade do intemperismo continental, relacionado à variação nos índices de chuva no continente, considerando que sedimentos mais intemperizados contêm uma assinatura geoquímica rica em Fe, e o K é característico de ambientes mais secos, com menor intemperismo (GOVIN et al., 2012). Portanto, valores maiores desta razão caracterizam um ambiente mais úmido, e menores, mais seco (GOVIN et al., 2012).

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A bacia sedimentar de Santos é a maior da margem continental brasileira, estendendo-se de Cabo Frio-RJ a Florianópolis-SC (entre 23° e 28° S), com uma área aproximada de 352 mil km<sup>2</sup>, até a isóbata de 3000 m (MAHIQUES et al., 2017b). A plataforma continental na região é larga, chegando a 230 km de extensão, com inclinações que variam entre 1:1000 e 1:1350 m, com a quebra da plataforma em ~120 m de profundidade (ZEMBRUSCKI, 1979). O talude continental apresenta largura relativamente homogênea, entre 120 e 150 km, e inclinação mais íngreme em torno de 4°, podendo chegar a 7° na sua porção superior onde há possibilidade de escorregamento de material (ZEMBRUSCKI, 1979).

A hidrodinâmica da margem continental sudeste brasileira é influenciada em superfície e subsuperfície pela CB, representando o limite oeste do Giro Subtropical do Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991). A CB flui para sul transportando superficialmente (0-100m) a Água Tropical (AT) e mais profundamente (100-600m) a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (SILVEIRA et al., 2000). Acima da bifurcação de Santos, no sentido contrário da CB, a Contracorrente de Contorno Intermediária (CCI) transporta a Água Intermediária Antártida (AIA) para norte (PETERSON; STRAMMA, 1991; SILVEIRA et al., 2000).

A CB é originada em 10° S pela bifurcação sul da Corrente Sul Equatorial, essa que também origina em direção ao norte a Corrente Norte do Brasil (CNB), e fluindo para sul, em 38° S, encontra o fluxo para norte das Corrente das Malvinas, produzindo a Confluência Brasil-Malvinas (PETERSON; STRAMMA, 1991). Na margem sudeste brasileira a CB apresenta estruturas vorticiais que favorecem o desenvolvimento de um padrão meandrante, principalmente próximo ao talude superior e a plataforma externa pelo fator do gradiente da topografia (SILVEIRA et al., 2000).

Na Bacia de Santos, a CB apresenta uma meandrante ciclônico que se propaga pela plataforma como uma onda de Rossby<sup>3</sup> topográfica (SILVEIRA et al., 2000), controlando os processos sedimentares dessa região principalmente na

---

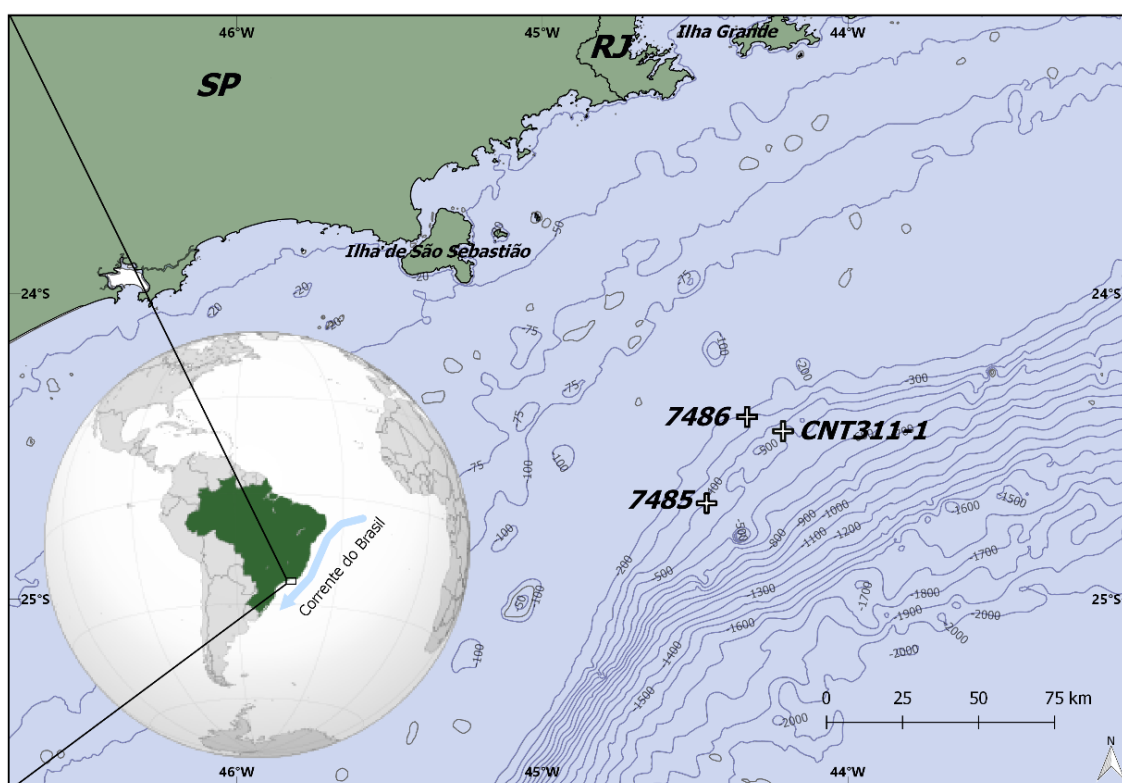
<sup>3</sup> Ondas de Rossby são ondas planetárias sub-inerciais de larga escala, associadas a vorticidade planetárias, estando sujeitas a uma variação latitudinal do parâmetro de Coriolis (ROSSBY et al., 1939). Silveira et al. (2000) considera um modelo de vorticidade potencial consequente de instabilidade barotrópica nas ondas de Rossby, sendo assim, ondas de Rossby topográficas barotropicamente instáveis que propagam a vorticidade (meandrante da CB) pela Bacia de Santos.

plataforma externa e no talude superior (MAHIQUES et al., 2002). A área da Ilha de São Sebastião-SP marca uma transição entre duas principais zonas sedimentares da Bacia de Santos, contendo, ao sul da ilha, a zona onde os processos deposicionais influenciados, principalmente pela pluma do Rio da Prata, que, junto a interação com os meandros da CB, estabelecem zonas de alta produtividade primária (MAHIQUES et al., 2004). E ao norte da ilha, a zona onde os processos sedimentares possuem uma hidrodinâmica mais complexa, apresentando uma fração orgânica nos sedimentos da plataforma interna relacionada à ressurgência costeira de Cabo Frio e outros processos costeiros, e nas plataformas média e externa uma distribuição sedimentar promovida por uma meandramento mais eficaz da CB (MAHIQUES et al. 2004).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O material deste estudo provém de um testemunho sedimentar longo CNT311-1 (24°27,04'S, 44°12,73'W, 452 m de coluna d'água, 158 cm de recuperação – Figura 3), coletado com o auxílio de um *piston corer*, durante um cruzeiro realizado em dezembro de 2016, a bordo do *N/Oc. Aplha Crucis*, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), no âmbito do projeto de pesquisa “*Evolução dos depósitos de contornitos no Quaternário superior e sua interação com massas de água na Bacia de Santos, Atlântico Sudoeste*”. O testemunho foi mantido em refrigeração até sua abertura, em seguida, descrito e amostrado a cada 1 cm, e as amostras sedimentares foram congeladas para posterior liofilização. Ao total foram utilizadas 145 amostras para a reconstrução do testemunho.

FIGURA 3 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS TESTEMUNHOS /  
ÁREA DE ESTUDO



FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: Mapa de localização dos testemunhos CNT311-1 (24°27,04' S, 44°12,73' W, 452 m de profundidade – este trabalho); 7485 (24°39,27' S, 44°27,74' W, 374 m de profundidade – MAHIQUES et al., 2007); e 7486 (24°24,24' S, 44°19,80' W, 223 m de profundidade – NAGAI et al., 2010) coletados na Bacia de Santos.

#### 4.1 CRONOLOGIA

O modelo de idade do CNT311-1 foi baseado em quatro datações de Radiocarbono (via AMS) obtidas no *Poznan Radiocarbon Laboratory* (Polônia) em aproximadamente 10 mg de testas bem preservadas de foraminíferos planctônicos (fração > 150  $\mu\text{m}$ ). As idades de radiocarbono foram calibradas com o software Calib v 7.1 (<http://calib.org>) usando a calibração *Marine 13* (REIMER et al., 2013). Seguindo Lund et al. (2015), foi aplicado um  $\Delta R = 7$  como a idade do efeito reservatório de águas superficiais modernas da costa brasileira, com um erro associado de  $\pm 200$  anos ( $1\sigma$ ). Esta margem de erro considera mudanças não conhecidas no efeito do reservatório ao longo do tempo.

Para a confecção do modelo de idade, foi utilizado o software *PAST* (*PAleontological STatistics*) versão 3.21, baseando-se nos modelos de regressão não-lineares, optou-se pelo modelo de Michaelis (*Michaelis-Menten*), que melhor se ajustou as datações.

#### 4.2 SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

A susceptibilidade magnética do testemunho foi mensurada com auxílio de um *Multi-Sensor Core Logger* (MSCL) da *Geotek*, utilizando um *Loop Sensor* (MS2C) da *Bartington*, no Instituto de Energia e Ambiente da USP.

#### 4.3 GRANULOMETRIA

A granulometria foi determinada em alíquotas de aproximadamente 2 g de sedimento de cada amostra, com auxílio de um analisador *Malvern Mastersizer 2000* do IOUSP. Previamente às análises, as amostras foram descarboxatadas com ácido clorídrico (HCl) 10%, no qual já se calculou o conteúdo de  $\text{CaCO}_3$  por diferença entre o peso antes e após este processo, e tratadas com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 10% para remoção da MO. Durante cada etapa de processamento, as amostras foram agitadas e deixadas a decantar. As amostras foram então lavadas com água destilada e armazenadas, ainda úmidas, até a análise. Antes de serem inseridas no analisador, foi adicionado a cada amostra aproximadamente 1 mL de pirofosfato de sódio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) 10%. No analisador, a velocidade do agitador e do bombeamento foram

ajustados a 1000 e 1900 rpm, respectivamente. Com as amostras inseridas, o ultrassom permaneceu ligado por um minuto a 40%, para separar melhor as partículas, em seguida foi desligado para a análise.

#### 4.4 PROXIES GEOQUÍMICOS

Para as razões elementares de Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K, foram obtidas as concentrações dos elementos principais a partir da digestão total dos sedimentos. A determinação da concentração de metais nas amostras digeridas foi realizada pela técnica de espectrometria de emissão ótica com plasma induzido com auxílio de um ICP-OES da Varian, modelo 710-ES do IOUSP.

Para digestão total de sedimentos foi utilizado o protocolo SW-846 3052 (USEPA, 1996). Seguindo o protocolo, para cada amostra, foram pesados aproximadamente 0,07 g de sedimento seco, e colocados em unidades digestoras de *Teflon*®. Seguidamente, foram adicionados ao conteúdo sedimentar, 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>), 4 mL de ácido fluorídrico (HF) e 3 mL de peróxido de hidrogênio 30% (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Para amostras não completamente digeridas (e.g. presença de resíduos sólidos), foi colocado, adicionalmente, mais 1 mL de HF. Estes reagentes são responsáveis pela extração dos teores totais de metais da amostra, sendo HF o agente de dissolução dos silicatos, e o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o agente de oxidação da MO. Posteriormente a adição dos reagentes, as amostras foram introduzidas em um sistema fechado de micro-ondas. Após esse processo, todo o conteúdo da unidade digestora de cada amostra foi transferido para béqueres de *Teflon*®. Em seguida os béqueres foram colocados em uma chapa aquecedora a aproximadamente 150 °C até que o volume das amostras fosse reduzido a uma gota. A este volume, as amostras foram diluídas com 10 mL de HNO<sub>3</sub> 5% e colocadas novamente na chapa aquecedora para uma segunda evaporação. Após a segunda evaporação, o conteúdo final foi filtrado e transferido para tubos *Falcon* de 15 mL e mantidos em ambiente refrigerado até a análise pelo ICP-OES.

## 5. RESULTADOS

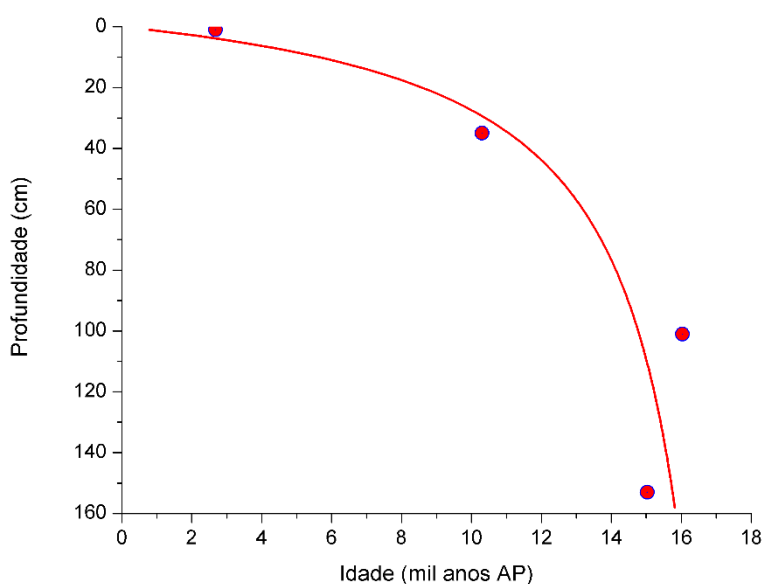
O modelo de idade do testemunho CNT 311-1, confeccionado a partir das quatro datações (Tabela 1), indica que este alcança em sua base (153 cm de coluna sedimentar) 15,7 mil anos AP (Figura 4). A taxa de sedimentação foi maior entre 15,8 e 12 mil anos AP em média de 7 cm / mil anos, e menor entre 12 e 1 mil anos AP com aproximadamente 2,5 cm / mil anos.

TABELA 1 – LOCALIZAÇÃO NA COLUNA SEDIMENTAR, IDADES RADIOCARBONO CONVENCIONAL E CALIBRADAS PARA O TESTEMUNHO CNT311-1

Profundidade testemunho (cm)	ID Laboratório	Idade de Radiocarbono convencional (anos A.P.)	2-sigma Mediana (Anos A.P.)
1	Poz 95710	2930 ±30	2673
35	Poz 99371	9460±60	10301
101	Poz 103383	13750±60	16034
153	Poz 95943	13110±60	15030

FONTE: O autor (2018).

FIGURA 4 – MODELO DE IDADE DO TESTEMUNHOS CNT311-1



FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: Modelo de idade do testemunho CNT311-1; idades de radiocarbono calibradas (esferas vermelhas); curva de regressão de modelo não linear *Michaelis-Menten* (linha vermelha).

Os resultados obtidos para o testemunho CNT 311-1 estão apresentados na Tabela 2 e representados na Figura 5. A susceptibilidade magnética apresenta valor médio de  $19,2 \times 10^{-5}$  SI, variando de 14 a  $22,8 \times 10^{-5}$  S.I, em 2,7 e 12,2 mil anos AP, respectivamente, com valores mais altos encontrados durante o Deglacial e a transição para o Holoceno (16 a 11 mil anos AP) e os menores ao longo do Holoceno, possuindo no mesmo uma queda gradativa em direção ao Recente.

Os sedimentos que compõem o testemunho têm em torno de 22,1 % de areia, variando de 10,9 a 36,5 %, em 2 e 14,7 mil anos AP, respectivamente. Entre 14,4 e 13,7 mil anos AP, observa-se aumento nos na porcentagem de areia, chegando a 32 %. Há também aumento no conteúdo de areia, marcando a transição entre o Pleistoceno e o Holoceno.

O testemunho CNT311-1 apresenta sedimentos compostos por ~20,8% de  $\text{CaCO}_3$ , variando entre 14,4 % em 14 mil anos AP até 33,5% em 3 mil anos AP. Os maiores valores de  $\text{CaCO}_3$  são observados no Holoceno, a partir de 12 mil anos AP, seguindo tendência semelhante à dos conteúdos de areia.

A razão Fe/Ca varia entre 0,15 a 0,72 em 10,8 e 15,5 mil anos AP, com média de 0,50, valores acima da média são encontrados apenas antes de 12,2 mil anos AP. Padrão semelhante é observado para a razão Ti/Ca, que tem valores entre 0,026 e 0,096 em 8,8 e 15,5 mil anos AP, respectivamente, e valores abaixo da média (0,06), a partir de 11,9 mil anos AP. A razão Fe/K apresenta valores médios de 1,68, com valores acima da média no Deglacial e abaixo da média no Holoceno.

TABELA 2 – VARIÁVEIS FÍSICAS, PROXIES GRANULOMÉTRICOS E GEOQUÍMICOS

Profundidade (cm)	Idade (anos AP)	Susceptibilidade Magnética ( $10^{-5}$ SI)	Areia (%)	$\text{CaCO}_3$ (%)	Fe/Ca	Ti/Ca	Fe/K
1	784	-	-	30,85	0,251	0,035	1,662
3	2165	14,5	36,52	32,00	0,221	0,033	1,468
4	2775	14,0	-	-	-	-	-
5	3340	15,1	32,43	33,50	0,204	0,031	1,455
6	3865	15,1	-	-	-	-	-
7	4353	15,5	29,61	31,50	0,223	0,033	1,527
8	4809	15,6	-	-	-	-	-
9	5236	15,4	31,43	31,84	0,216	0,033	1,476
10	5635	15,5	-	-	-	-	-
11	6011	15,7	36,43	31,65	0,198	0,030	1,463

Continua

Profundidade (cm)	Idade (anos AP)	Susceptibilidade Magnética (10 <sup>-5</sup> SI)	Areia (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fe/Ca	Ti/Ca	Fe/K
12	6364	15,5	-	-	-	-	-
13	6697	15,9	32,34	31,03	0,196	0,030	1,500
14	7012	15,9	-	-	-	-	-
15	7310	16,9	32,70	31,68	0,205	0,030	1,538
16	7592	16,9	-	-	-	-	-
17	7859	16,0	29,12	31,03	0,210	0,032	1,503
18	8113	15,7	-	-	-	-	-
19	8355	16,5	33,04	31,68	0,207	0,031	1,509
20	8585	15,5	-	-	-	-	-
21	8804	16,9	32,37	32,34	0,181	0,026	1,583
22	9014	17,4	-	-	-	-	-
23	9214	17,7	35,46	32,67	0,183	0,028	1,422
24	9405	17,0	-	-	-	-	-
25	9588	17,5	29,57	33,33	0,186	0,030	1,385
26	9764	17,4	-	-	-	-	-
27	9933	17,7	29,77	32,02	0,170	0,030	1,301
28	10094	18,7	-	-	-	-	-
29	10250	17,8	34,05	32,18	0,170	0,030	1,312
30	10399	18,1	-	-	-	-	-
31	10543	18,8	33,54	32,02	0,173	0,031	1,307
32	10681	17,1	-	-	-	-	-
33	10814	18,3	30,75	32,02	0,154	0,029	1,221
34	10943	18,2	-	-	-	-	-
35	11067	20,8	28,78	30,73	0,169	0,033	1,195
36	11187	21,4	-	-	-	-	-
37	11303	21,6	32,01	29,27	0,209	0,036	1,341
38	11415	21,1	-	-	-	-	-
39	11523	22,4	23,10	26,73	0,263	0,043	1,462
40	11628	21,6	-	-	-	-	-
41	11729	21,9	21,69	25,74	0,276	0,044	1,510
42	11827	19,3	-	-	-	-	-
43	11922	21,6	21,81	24,27	0,333	0,050	1,586
44	12015	21,4	-	-	-	-	-
45	12104	21,8	16,46	20,77	0,488	0,067	1,716
46	12191	22,8	-	-	-	-	-
47	12275	20,7	16,12	18,63	0,583	0,078	1,733
48	12357	20,0	-	-	-	-	-
49	12437	20,2	16,16	19,14	0,574	0,076	1,777
50	12515	21,2	-	-	-	-	-
51	12590	20,1	13,07	18,45	0,610	0,082	1,719
52	12663	21,2	-	-	-	-	-

Continua

Profundidade (cm)	Idade (anos AP)	Susceptibilidade Magnética ( $10^{-5}$ SI)	Areia (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fe/Ca	Ti/Ca	Fe/K
53	12735	20,8	14,94	17,48	0,608	0,081	1,787
54	12804	20,8	-	-	-	-	-
55	12872	21,1	17,97	17,82	0,634	0,081	1,802
56	12938	21,0	-	-	-	-	-
57	13002	21,1	15,58	19,21	0,593	0,078	1,804
58	13065	20,0	-	-	-	-	-
59	13126	21,0	17,85	18,27	0,569	0,076	1,773
60	13185	21,4	-	-	-	-	-
61	13243	21,0	15,60	17,65	0,645	0,083	1,820
62	13300	21,2	-	-	-	-	-
63	13356	20,2	16,22	17,65	0,618	0,081	1,773
64	13410	19,9	-	-	-	-	-
65	13463	21,2	16,37	17,22	0,600	0,077	1,803
66	13514	20,5	-	-	-	-	-
67	13565	20,2	21,18	17,33	0,616	0,079	1,807
68	13614	20,4	-	-	-	-	-
69	13663	20,6	15,50	18,05	0,628	0,080	1,809
70	13710	20,4	-	-	-	-	-
71	13756	20,3	29,89	15,27	0,632	0,082	1,797
72	13802	20,4	-	-	-	-	-
73	13846	20,6	30,70	16,75	0,570	0,077	1,736
74	13889	20,5	-	-	-	-	-
75	13932	20,4	27,80	14,42	0,618	0,081	1,803
76	13973	21,0	-	-	-	-	-
77	14014	20,2	25,14	-	0,620	0,083	1,777
78	14054	20,2	-	-	-	-	-
79	14093	20,0	28,46	16,10	0,614	0,080	1,815
80	14132	19,3	-	-	-	-	-
81	14169	20,4	32,13	15,94	0,607	0,077	1,848
82	14206	19,0	-	-	-	-	-
83	14243	18,5	29,19	15,53	0,637	0,084	1,739
84	14278	18,4	-	-	-	-	-
85	14313	18,3	29,30	14,93	0,631	0,083	1,797
86	14347	19,4	-	-	-	-	-
87	14381	20,0	30,01	15,12	0,633	0,084	1,757
88	14414	19,9	-	-	-	-	-
89	14446	20,6	27,92	15,35	0,640	0,082	1,847
90	14478	19,9	-	-	-	-	-
91	14510	20,5	19,20	16,18	0,680	0,094	1,719
92	14540	20,6	-	-	-	-	-
93	14570	20,9	17,91	15,84	0,655	0,085	1,825

Continua

Profundidade (cm)	Idade (anos AP)	Susceptibilidade Magnética (10 <sup>-5</sup> SI)	Areia (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fe/Ca	Ti/Ca	Fe/K
94	14600	20,7	-	-	-	-	-
95	14629	19,1	15,68	15,35	0,664	0,084	1,834
96	14658	18,6	-	-	-	-	-
97	14686	19,6	16,32	16,00	0,658	0,087	1,754
98	14714	19,1	-	-	-	-	-
99	14741	19,1	12,72	16,83	0,637	0,086	1,749
100	14768	20,6	-	-	-	-	-
101	14794	20,4	10,91	15,42	0,613	0,083	1,746
102	14820	19,5	-	-	-	-	-
103	14846	21,6	13,66	15,92	0,640	0,084	1,777
104	14871	19,4	-	-	-	-	-
105	14896	20,3	16,38	16,92	0,660	0,085	1,781
106	14920	19,0	-	-	-	-	-
107	14944	19,9	17,26	16,42	0,634	0,082	1,775
108	14968	19,6	-	-	-	-	-
109	14991	19,3	16,49	16,18	0,602	0,079	1,774
110	15014	19,6	-	-	-	-	-
111	15036	19,6	16,07	15,12	0,643	0,084	1,805
112	15058	19,2	-	-	-	-	-
113	15080	19,4	14,17	16,00	0,604	0,082	1,704
114	15102	19,5	-	-	-	-	-
115	15123	18,8	17,29	15,42	0,598	0,082	1,663
116	15144	20,1	-	-	-	-	-
117	15165	19,7	17,45	16,42	0,623	0,083	1,774
118	15185	20,7	-	-	-	-	-
119	15205	20,6	16,13	15,50	0,642	0,086	1,751
120	15225	19,9	-	-	-	-	-
121	15244	19,7	19,08	15,69	0,596	0,079	1,729
122	15264	18,7	-	-	-	-	-
123	15283	19,9	16,87	16,50	0,614	0,084	1,731
124	15301	18,3	-	-	-	-	-
125	15320	19,4	15,43	15,27	0,621	0,080	1,826
126	15338	19,3	-	-	-	-	-
127	15356	19,5	17,59	16,42	0,625	0,082	1,764
128	15373	18,7	-	-	-	-	-
129	15391	18,5	19,19	15,92	0,644	0,083	1,767
130	15408	19,1	-	-	-	-	-
131	15425	19,2	12,21	15,84	0,617	0,083	1,762
132	15442	19,1	-	-	-	-	-
133	15459	18,8	16,32	16,59	0,663	0,087	1,875
134	15475	18,9	-	-	-	-	-

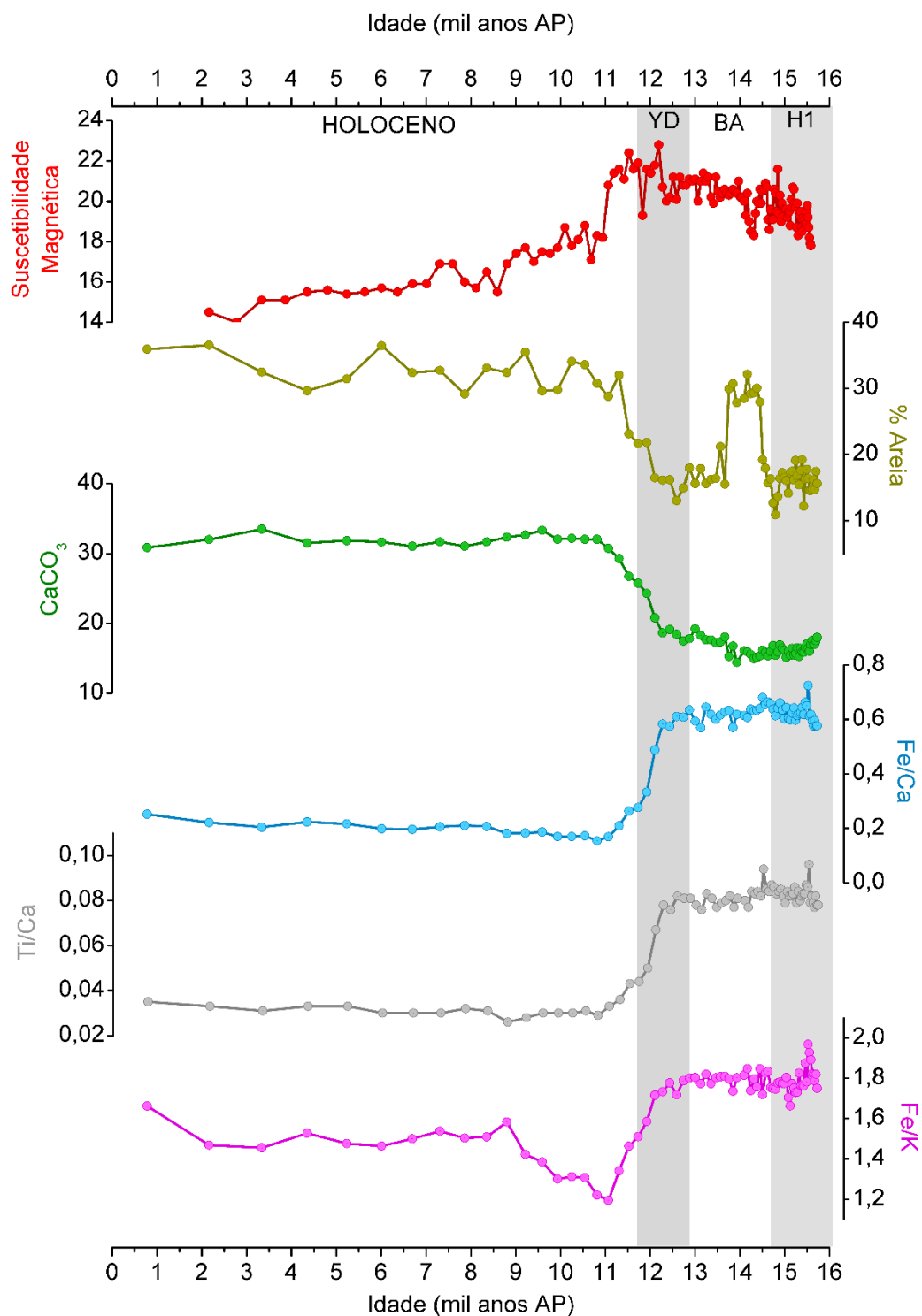
Continua

Profundidade (cm)	Idade (anos AP)	Susceptibilidade Magnética ( $10^{-5}$ SI)	Areia (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fe/Ca	Ti/Ca	Fe/K
135	15491	19,5	17,74	17,07	0,650	0,086	1,783
136	15507	19,8	-	-	-	-	-
137	15523	19,2	16,39	16,42	0,724	0,096	1,968
138	15538	18,7	-	-	-	-	-
139	15554	18,2	14,6	16,00	0,612	0,079	1,928
140	15569	17,9	-	-	-	-	-
141	15584	17,8	14,6	17,00	0,618	0,082	1,892
143	15613	-	14,72	17,56	0,593	0,079	1,823
145	15642	-	16,13	17,00	0,575	0,077	1,820
147	15670	-	14,73	17,00	0,596	0,082	1,787
149	15697	-	17,41	17,50	0,576	0,078	1,820
151	15724	-	15,59	18,00	0,576	0,078	1,750

FONTE: O autor (2018)

LEGENDA: Resultados obtidos para o testemunho CNT311-1; Profundidade do testemunho (cm); Idade associada (anos AP); Susceptibilidade Magnética ( $10^{-5}$  SI); Porcentagem de Areia (%); Conteúdo de CaCO<sub>3</sub> (%); e Razões Fe/Ca Ti/Ca e Fe/K.

FIGURA 5 - VARIÁVEIS FÍSICAS, PROXIES GRANULOMÉTRICOS E GEOQUÍMICOS OBTIDOS NO TESTEMUNHO CNT311-1



FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: *Proxies* do testemunho CNT 311-1; Susceptibilidade magnética ( $10^{-5}$  SI) (círculos e linhas vermelhos); Conteúdo de Areia (%) (círculos e linhas amarelos escuro); Conteúdo de CaCO<sub>3</sub> (%) (círculos e linhas verdes); Razão Fe/Ca (círculos e linhas azuis); Razão Ti/Ca (círculos e linhas cinzas); Razão Fe/K (círculos e linhas rosas).

## 6. DISCUSSÃO

As partir da caracterização sedimentar e geoquímica do registro sedimentar marinho (CNT311-1) aqui reconstruído, é possível inferir mudanças nos processos sedimentares do talude continental da margem SE brasileira nos últimos 16 mil anos. Os dados obtidos neste trabalho sugerem que durante o Deglacial (16 a 11,7 mil anos AP) os processos deposicionais da nossa área de estudo são significativamente diferentes daqueles observados para o Holoceno, corroborando com o modelo conceitual de deslocamento da CB em momentos de trato de mar baixo proposto por Mahiques et al. (2007), é sob essa perspectiva que nossos resultados são discutidos.

O testemunho CNT311-1 representa, com boa resolução temporal, o período de tempo entre o Deglacial e o Holoceno. As taxas de sedimentação apresentam valores maiores durante o Deglacial (~ 7 cm / mil anos), e menores durante o Holoceno (< 2 cm / mil anos). Mahiques et al. (2011) caracterizam este setor da plataforma externa e talude superior da margem continental sudeste brasileira com baixas taxas de sedimentação (~0,5 cm / mil anos), dada a ação efetiva da CB sobre o fundo, apresentando uma forte correlação entre velocidade do fluxo (CB) e a taxa de sedimentação. As menores taxas, durante o Holoceno, são também acompanhadas de aumento na porcentagem de areia e conteúdo de CaCO<sub>3</sub>, e diminuição nos valores de susceptibilidade magnética e nas razões Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K (Figura 5).

De acordo com o modelo conceitual proposto por Mahiques et al. (2007), o deslocamento da CB para o largo em momentos de NMM baixo minimiza a ação da CB junto ao talude, diminuindo sua atuação como uma enceradeira (*"floor-polisher"*) (MAHIQUES et al., 2004) permitindo maior deposição de sedimentos mais finos no UMG. As taxas de sedimentação dos testemunhos 7485 (MAHIQUES et al., 2007) e 7486 (NAGAI et al., 2010), também são diferentes entre o UMG e o Holoceno, apresentando os maiores valores no UMG (2 e 5 cm / mil anos, respectivamente), e os menores durante o Holoceno (0,3 cm / mil anos, ambos os testemunhos). As altas taxas de sedimentação encontradas no CNT311-1, caracterizam o mesmo como um depósito contornítico. Comparando-as com os outros testemunhos (7485 e 7486) é possível verificar a distinção entre o depósito de contornito (CNT 311-1) (altas taxas de sedimentação) (KNUTZ, 2008) e depósitos característicos de plataforma externa e talude superior desta região (baixas taxas de sedimentação) (MAHIQUES et al., 2011).

Ainda, segundo o modelo conceitual de Mahiques et al. (2007), o deslocamento da CB para o largo no UMG, também permite maior deposição de sedimentos terrígenos, observada a partir do aumento nos valores de susceptibilidade magnética<sup>4</sup> (MAHIQUES et al., 2007; NAGAI et al., 2010) (Figura 6). O CNT311-1 também apresenta, durante o Deglacial, valores mais altos de susceptibilidade magnética, o que confere a este período uma maior deposição de sedimentos terrígenos, quando comparado ao Holoceno (Figura 6). Além disso, os maiores valores das razões Fe/Ca e Ti/Ca são observados durante o Deglacial, corroborando essa maior deposição de terrígenos neste período, uma vez que valores maiores destas razões são atribuídos a uma maior contribuição terrígena *versus* marinha (GOVIN et al., 2012). Precedendo o UMG, o período do MIS 3 (60 a 24 mil anos AP), apresenta características similares às encontradas durante o Holoceno (MAHIQUES et al., 2007; LOURENÇO et al., 2016), uma vez que também apresenta uma situação de NMM alto. Embora os trabalhos de Mahiques et al. (2007) e Lourenço et al. (2016) apresentem dados que corroboram essa similaridade, estes não compreendem todo o MIS 3, havendo, ainda, dúvida se essas características afluem sobre todo esse período.

Embora o CNT311-1 não possua o mesmo rol de dados utilizados em outros trabalhos (p.e., carbono orgânico total e nitrogênio total (MAHIQUES et al., 2007), associações de foraminíferos bentônicos (NAGAI et al., 2010), e de biomarcadores moleculares (LOURENÇO et al., 2016) para determinação da contribuição terrígena, as razões de Fe/Ca e Ti/Ca se mostram efetivas como *proxies* de aporte terrígeno. Adicionalmente, a razão Fe/K apresenta valores relativamente maiores durante o Deglacial quando comparado ao Holoceno. Os maiores valores desta razão estariam relacionados a um maior intemperismo químico na área fonte dos sedimentos (GOVIN, et al., 2012) durante o Deglacial, associado a maiores índices pluviométricos no continente adjacente neste período (CRUZ et al., 2005). Com isso, infere-se que além da maior deposição de sedimentos terrígenos durante o Deglacial, houve também um maior aporte fluvial de sedimentos terrígenos para a Bacia de Santos.

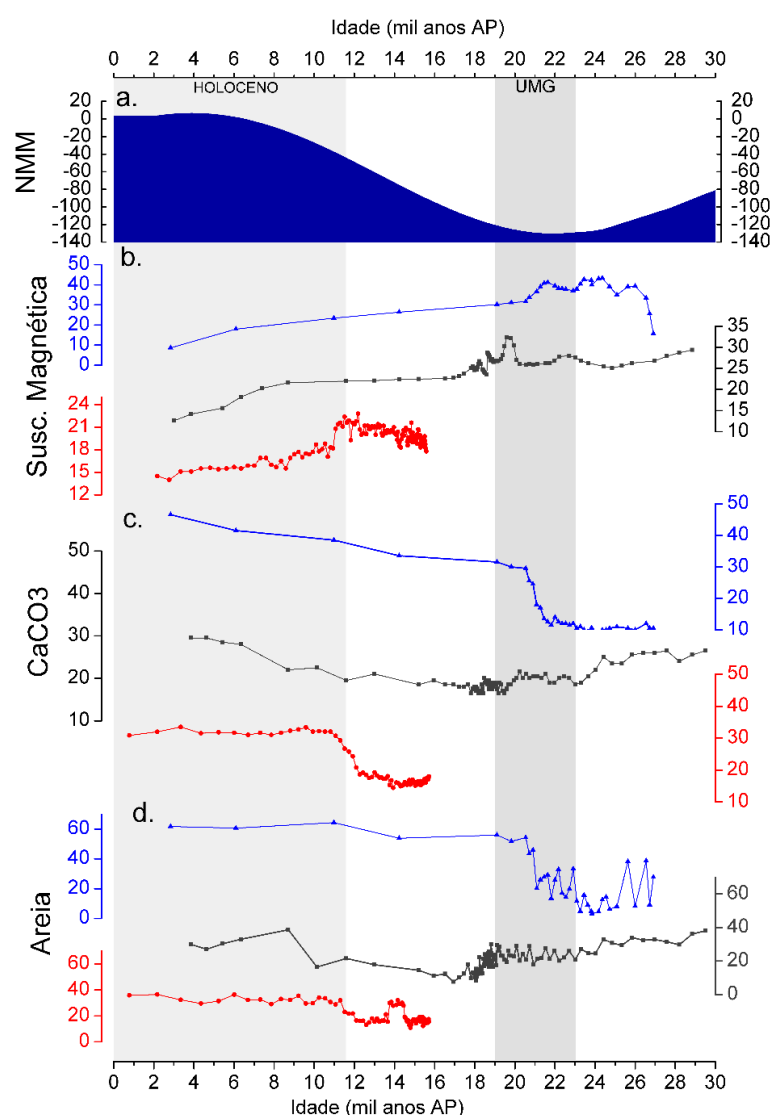
O deslocamento da CB para o largo no UMG também permite a deposição de sedimentos mais finos no talude superior da margem SE brasileira (MAHIQUES et al.,

---

<sup>4</sup> A susceptibilidade magnética é sensível ao conteúdo de minerais magnéticos e à mineralogia dos sedimentos, valores relativamente altos indicam uma presença maior de minerais terrígenos nos sedimentos marinhos (MAHIQUES et al., 2007).

2007; NAGAI et al., 2010). Ainda que em um cenário de ascensão do NMM, no Deglacial, a CB se mantém deslocada ao largo, permitindo a deposição de sedimentos mais finos (menores conteúdos de areia) até o início do Holoceno (Figura 6). Durante o Holoceno, a CB retorna para sua posição atual (MAHIQUES et al., 2007), explicando a diminuição na deposição de sedimentos terrígenos finos (maiores teores de  $\text{CaCO}_3$  e areia nos sedimentos do CNT311-1) (Figura 6).

FIGURA 6 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TESTEMUNHOS 7485, 7486 E CNT311-1



FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: Comparação entre (A) o nível médio do mar global (NMM, LAMBECK et al. (2014)); e os dados de (B) Susceptibilidade magnética; (C) Conteúdo de  $\text{CaCO}_3$  (%) e (D) Porcentagem de areia (%) dos testemunhos CNT311-1 (linhas vermelhas – este trabalho); 7486 (linhas azuis – NAGAI et al. (2010)); e 7485 (linhas cinzas escuras – MAHIQUES et al. (2007)).

Entre 14,4 e 13,8 mil anos AP, o testemunho CNT311-1, apresenta um aumento abrupto no conteúdo de areia que atinge valores próximos aos valores encontrados no Holoceno (Figura 5). Este aumento não foi observado em outros registros (7485 e 7486) também coletados no talude continental nas proximidades do CNT311-1, o que não é inesperado, dada a diferença nas taxas de sedimentação destes testemunhos. Levando em consideração a boa resolução temporal do CNT311-1, estes resultados teriam potencial para melhorar nosso entendimento sobre mudanças climáticas abruptas que ocorreram neste intervalo de tempo. No entanto, nenhum dos outros *proxies* apresentam comportamento similar ao dos conteúdos de areia (Figura 5). Assim, estes resultados devem ser considerados com cautela e podem ser interpretados de três maneiras: (i) as amostras desta seção da coluna sedimentar não representam o intervalo de tempo entre 14,4 e 13,8 mil anos AP, uma vez que houve uma pequena inversão de idades (radiocarbono) registrada a 153 cm da coluna sedimentar; (ii) o aumento no conteúdo de areia está associado a um erro analítico; e/ou (iii) o aumento no conteúdo de areia neste intervalo de tempo representa uma intensificação da CB no início do Bolling-Allerod (14,6–12,9 mil anos AP seguindo OBBINK et al., 2010), quando a CB fortalecida estaria em fase com a AMOC (CHIESSI et al., 2015) em um cenário de NMM em ascensão.

A primeira hipótese é improvável, uma vez que a descrição macroscópica do testemunho o descreve como maciço e sem estruturas, e não é possível observar a mesma tendência em outros *proxies*, ainda assim para refutá-la seria necessário realizar novas datações radiométricas. Enquanto, a acurácia dos dados granulométricos e a refutação da segunda hipótese, ainda que não seja possível observar a mesma tendência em outros *proxies*, só podem ser garantidas se as amostras deste intervalo de tempo forem reanalisadas. Por fim a terceira explicação só é válida caso seja possível refutar as outras possibilidades. Essa hipótese é baseada no trabalho de Chiessi et al. (2015), onde observam similaridade entre as variações da temperatura superficial do mar durante os eventos Henrich Stadial 1 (19–14,7 mil anos AP seguindo STERN; LISIECKI, 2013) e, subsequentemente no Bolling-Allerod, observadas no Atlântico Sudoeste e na margem equatorial brasileira. Contudo isso seria consequência de um comportamento em fase entre a CB e a Corrente Norte do Brasil (que carrega o calor para o Hemisfério Norte) em escala de tempo secular, sendo anomalias positivas de temperatura no Hemisfério Norte causando resfriamento no Hemisfério Sul e vice-versa (CHIESSI et al., 2015). Esse comportamento intensifica

a CB durante o Bolling-Allerod, assim ela agindo como “enceradeira” (MAHIQUES et al., 2004), proporcionando uma menor sedimentação de sedimentos finos, observado pelo aumento na porcentagem de areia.

Analisando o testemunho CNT311-1 é possível observar diferenças entre o período Deglacial, que apresenta maiores taxas de sedimentação e aporte terrígeno (susceptibilidade magnética mais alta, maiores valores de Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K, menores porcentagens de areia e CaCO<sub>3</sub>), e o Holoceno, com taxas de sedimentação mais baixas e menor contribuição terrígena (susceptibilidade magnética baixa, maiores valores da porcentagem de areia e CaCO<sub>3</sub>). As variações observadas para este registro sedimentar corroboram com o modelo conceitual proposto por Mahiques et al. (2007), mesmo em um cenário de nível médio do mar em ascensão, presumindo que o deslocamento da CB no UMG manteve-se durante o Deglacial.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os dados *proxies* sedimentológicos, geoquímicos e variáveis físicas de um registro sedimentar marinho, é possível verificar uma distinção entre o período Deglacial (NMM em ascensão) e o Holoceno (NMM alto). As razões Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K para a reconstrução da contribuição terrígena foram efetivas, mostrando que durante o Deglacial houve maior deposição e aporte de sedimentos de origem terrígena para o talude continental da Bacia de Santos.

Comparando os testemunhos estudados na literatura (7485 e 7486) e o CNT311-1, averigua-se semelhanças nas tendências entre o UMG e o Deglacial. Mediante a isso, explicadas as variações entre UMG e Holoceno pelo modelo conceitual proposto por Mahiques et al. (2007), pode-se dizer que as variações entre Deglacial e Holoceno podem ser explicadas pelo mesmo, com isso o testemunho CNT311-1 corrobora este modelo, validando-o para o Deglacial.

O depósito de contornito reconstruído neste trabalho se mostra relevante, ainda que em uma resolução temporal apenas para os últimos 16 mil anos. Visto que o mesmo tem grande potencial de reconstrução, devido as altas taxas de sedimentação (consideradas maiores que em outros trabalhos da região), futuramente, seria interessante investigar, através de uma reconstrução com um range temporal maior nesses depósitos, se o comportamento visto na CB durante o Deglacial permanece, de fato, da mesma forma que durante o UMG, e, além disso, se durante o MIS 3 a intensidade da CB seria semelhante a encontrada durante o Holoceno.

## REFERÊNCIAS

- BEIERLE, B. D.; LAMOUREUX, S. F.; COCKBURN, J. M. H.; SPOONER, I. A new method for visualizing sediment particle size distributions. **Journal of Paleolimnology**, v. 27, n. 2, p. 279–283, 2002.
- BRADLEY, R. S. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. Second Edition. Elsevier, 1999.
- CHIESSI, C. M.; MULITZA, S.; MOLLENHAUER, G. Thermal evolution of the western South Atlantic and the adjacent continent during Termination 1. **Climate of the Past**, v. 11, n. 6, p. 915–929, 2015.
- CORRÊA, I. C. S. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brásil. **Marine Geology**, v. 130, n. 1–2, p. 163–178, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0025322795001263>>.
- CRUZ, F. et al. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. **Nature**, v. 434, n. 7029, p. 63–66, 2005. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2000JB000050>>.
- GOVIN, A.; HOLZSWARTH, U.; HESLOP, D. Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N–49°S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems American Geophysical Union**, v. 13, n. 1, p. 1–23, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2011GC003785>>.
- GUIHOU, A. et al. Enhanced Atlantic Meridional Overturning Circulation supports the Last Glacial Inception. **Quaternary Science Reviews**, v. 30, n. 13–14, p. 1576–1582, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.03.017>>.
- HOLZ, C.; STUUT, J. B. W.; HENRICH, R.; MEGGERS, H. Variability in terrigenous sedimentation processes off northwest Africa and its relation to climate changes: Inferences from grain-size distributions of a Holocene marine sediment record. **Sedimentary Geology**, v. 202, n. 3, p. 499–508, 2007. Acesso em: 18 out. 2018
- HOWE, J. A. **Chapter 3 Methods for Contourite Research**. First Edit ed. Elsevier, 2008.
- KNUTZ, P. C. Chapter 24 Palaeoceanographic Significance of Contourite Drifts. **Developments in Sedimentology**, v. 60, n. 08, p. 511–535, 2008.
- KUCERA, M. et al. Reconstruction of sea-surface temperatures from assemblages of planktonic foraminifera: Multi-technique approach based on geographically constrained calibration data sets and its application to glacial Atlantic and Pacific Oceans. **Quaternary Science Reviews**, v. 24, n. 7–9 SPEC. ISS., p. 951–998, 2005.
- LAMBECK, K.; ROUBY, H.; PURCELL, A.; SUN, Y.; SAMBRIDGE, M. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 111, n. 43, p. 15296–15303, 2014.

LOURENÇO, R. A.; DE MAHIQUES, M. M.; WAINER, I. E. K. C.; ROSELL-MELÉ, A.; BÍCEGO, M. C. Organic biomarker records spanning the last 34,800 years from the southeastern Brazilian upper slope: links between sea surface temperature, displacement of the Brazil Current, and marine productivity. **Geo-Marine Letters**, v. 36, n. 5, p. 361–369, 2016. *Geo-Marine Letters*. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00367-016-0453-7>>.

LUND, D. C.; TESSIN, A. C.; HOFFMAN, J. L.; SCHMITTNER, A. Southwest Atlantic water mass evolution during the last deglaciation. **Paleoceanography**, v. 30, n. 5, p. 477–494, 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/2014PA002657>>.

MAHIQUES, M. M. DE; SILVEIRA, I. C. DA; SOUSA, S. H. DE M. E; RODRIGUES, M. Post-LGM sedimentation on the outer shelf–upper slope of the northernmost part of the São Paulo Bight, southeastern Brazil. **Marine Geology**, v. 181, n. 4, p. 387–400, 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025322701002250>>.

MAHIQUES, M. M. et al. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 15, p. 1685–1697, 2004.

MAHIQUES, M. M. et al. Sedimentary changes on the Southeastern Brazilian upper slope during the last 35,000 years. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 1, p. 171–181, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-37652007000100018&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652007000100018&lng=en&tlng=en)>.

MAHIQUES, M. M. et al. Radiocarbon geochronology of the sediments of the São Paulo Bight (southern Brazilian upper margin). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, n. 3, p. 817–834, 2011.

MAHIQUES, M. M. et al. Inorganic and organic geochemical fingerprinting of sediment sources and ocean circulation on a complex continental margin (São Paulo Bight, Brazil). **Ocean Science**, v. 13, n. 2, p. 209–222, 2017a. Disponível em: <<https://www.ocean-sci.net/13/209/2017/>>.

MAHIQUES, M. M.; SCHATTNER, U.; LAZAR, M.; SUMIDA, P. Y. G.; SOUZA, L. A. P. DE. An extensive pockmark field on the upper Atlantic margin of Southeast Brazil: spatial analysis and its relationship with salt diapirism. **Heliyon**, v. 3, n. 2, p. e00257, 2017b. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844016313123>>.

MARTINSON, D. G. et al. Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages: Development of a High-Resolution 0 to 300,000-Year Chronostratigraphy. **Quaternary Research**, v. 27, n. 01, p. 1–29, 1987. Disponível em: <[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0033589400017889/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0033589400017889/type/journal_article)>.

MCCAIVE, I. N.; KIEFER, T.; THORNALLEY, D. J. R.; ELDERFIELD, H. Deep flow in the Madagascar-Mascarene Basin over the last 150000 years. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering**

**Sciences**, v. 363, n. 1826, p. 81–99, 2005. Disponível em: <<http://rsta.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsta.2004.1480>>.

MCCAIVE, I. N.; THORNALLEY, D. J. R.; HALL, I. R. Deep-Sea Research Part I Relation of sortable silt grain-size to deep-sea current speeds : Calibration of the ‘ Mud Current Meter ’. **Deep-Sea Research Part I**, v. 127, n. July, p. 1–12, 2017.. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2017.07.003>>.

MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v. 114, n. 3–4, p. 289–302, 1994.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, v. 27, n. 5–6, p. 213–250, 1997. Disponível em: <<papers2://publication/uuid/B88F611A-8340-4530-A5D8-49D475A9D438>>.

NAGAI, R. H.; MELLO, S. H. DE S.; LOURENÇO, R. A.; BÍCEGO, M. C.; MAHIQUES, M. M. DE. Paleoproductivity Changes During the Late Quaternary in the Southeastern. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 31–41, 2010.

OBBINK, E. A.; CARLSON, A. E.; KLINKHAMMER, G. P. Eastern North American freshwater discharge during the Bølling-Allerød warm periods. **Geology**, v. 38, n. 2, p. 171–174, 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.

REBESCO, M. SEDIMENTARY ENVIRONMENTS | Contourites. Encyclopedia of Geology. p.513–527, 2005. Elsevier. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2005GL025281>>.

REBESCO, M.; CAMERLENGHI, A.; VAN LOON, A. J. **Contourite Research. A Field in Full Development**. First Edit ed. Elsevier, 2008. Chapter 1.

REBESCO, M.; HERNÁNDEZ-MOLINA, F. J.; VAN ROOIJ, D.; WÅHLIN, A. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. **Marine Geology**, v. 352, p. 111–154, 2014. The Authors. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.011>>.

REIMER, P. J. et al. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. **Radiocarbon**, v. 55, n. 04, p. 1869–1887, 2013. Disponível em: <[https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0033822200048864/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0033822200048864/type/journal_article)>.

ROSSBY, B. C. et al. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. *Journal of Marine Research*, v. 2, n. 1, p. 38–55, 1939.

SANTOS, T. P.; LESSA, D. O.; VENANCIO, I. M.; et al. Prolonged warming of the Brazil Current precedes deglaciations. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 463, p. 1–12, 2017.

SILVEIRA, I. C. A. DA; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. DE; IKEDA, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-87592000000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-87592000000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>.

STERN, J. V.; LISIECKI, L. E. North Atlantic circulation and reservoir age changes over the past 41,000 years. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 14, p. 3693–3697, 2013.

SUGUIO, K. et al. FLUTUAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR DURANTE O QUATERNÁRIO SUPERIOR AO LONGO DO LITORAL BRASILEIRO ESUAS IMPLICAÇÕES NA SEDIMENTAÇÃO COSTEIRA. , v. 15, n. 4, p. 273–286, 1985.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Revision 0. 1996.

VIANA, A. R. Economic Relevance of Contourites. **Developments in Sedimentology**, v. 60, 2008. Chapter 23

WALKER, M. et al. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. **Journal of Quaternary Science**, v. 24, n. 1, p. 3–17, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jqs.1123>>.

WEFER, G.; BERGER, W. H.; BIJMA, J.; FISCHER, G. Clues to Ocean History: a Brief Overview of Proxies. **Use of Proxies in Paleooceanography**. p.1–68, 1999. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <[http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-58646-0\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-58646-0_1)>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ZEMBRUSKI, S. G. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: **Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes** (Relatório Final). (Série Projeto REMAC). Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, DINTEP, v. 7, p. 129-177, 1979.