

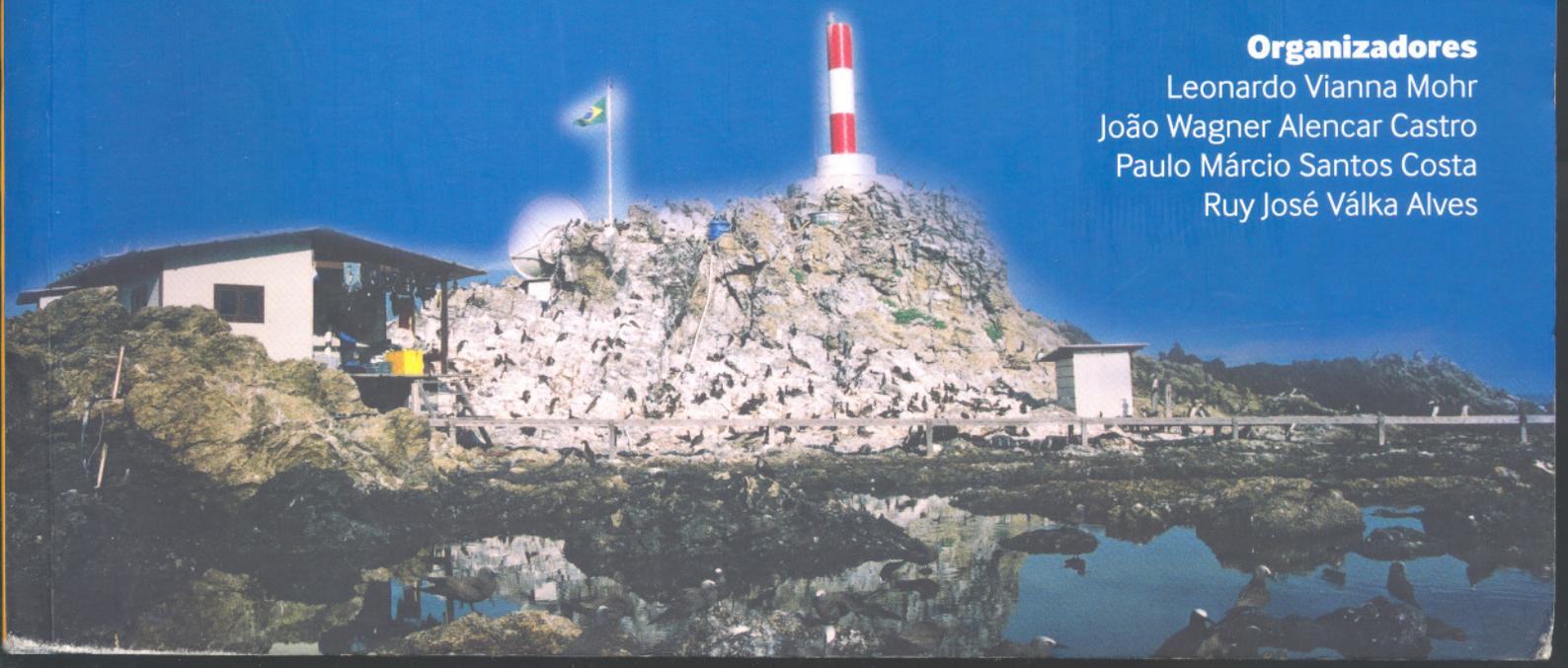
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS:

DA PESQUISA AO MANEJO

VOLUME II

Organizadores
Leonardo Vianna Mohr
João Wagner Alencar Castro
Paulo Márcio Santos Costa
Ruy José Válka Alves





Capítulo 3

**Estudos Interdisciplinares e a
Reconstrução Paleoambiental
(Vegetação e Clima) no
Holoceno em Fernando de
Noronha**

Susy Eli Marques Gouveia

Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Marie-Pierre Ledru

Fresia Soledad Ricardi Torres Branco

Ramon Aravena

Adauto de Souza Ribeiro

Soraya Elaine Marques Gouveia Saia

José Albertino Bendassolli

Abdelfettah Sifeddine

Eldemar de Albuquerque Menor

Sonia Maria Barros de Oliveira

Renato Campello Cordeiro

Ângela Maria de Miranda Freitas

René Georges Leon Boulet

Heloisa Ferreira Filizola

Resumo

Estudos de reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) vêm sendo desenvolvidos principalmente nas regiões Amazônica, Central, Sudeste e Sul do Brasil. Com o objetivo de expandir estes estudos para a região Nordeste, utilizaram-se os isótopos do carbono ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C) da matéria orgânica dos solos (MOS), a palinologia, análises mineralógicas, elementares (C e N) e isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C , $\delta^{15}\text{N}$) em sedimentos lacustre e de mangue coletados no Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil.

Abstract

Interdisciplinary Studies and the Palaeoenvironmental Reconstruction (Vegetation and Climate) in the Holocene at Fernando de Noronha, Brazil.

Paleoenvironmental reconstruction studies (vegetation and climate) have been developed mainly in the areas of Amazonia, central, southeast and south of Brazil. With the objective of expanding these studies for the northeast area, it was used the carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C) of the soil organic matter (SOM), pollen, mineralogical, elementary (C and N) and isotope analyses ($\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C , $\delta^{15}\text{N}$) in lacustrine and mangrove sediments collected in the Arquipélago de Fernando de Noronha (Fernando de Noronha Archipelago), Brazil.

Introdução

O planeta está passando por um período de “ótimo” climático, devido à tendência de aquecimento global que vem ocorrendo desde o último máximo glacial (HECHT, 1990).

Ao efeito estufa associam-se os mecanismos, causas e efeitos do fenômeno de aquecimento global registrado na superfície do nosso planeta, uma das questões mais debatidas sobre as mudanças globais do clima da Terra.

Entretanto, uma dúvida permanece na dinâmica climática passada e presente: o planeta se encontra numa fase interglacial ou no final de um período glacial? Considerando a última possibilidade, o aquecimento pela influência humana seria somado à tendência natural de elevação da temperatura, acelerando o aquecimento global e suas conseqüências na dinâmica climática e no ciclo hidrológico do planeta. Pensando-se em uma fase interglacial, o aquecimento causado pelo efeito estufa poderia ser compensado pela tendência natural de resfriamento, acarretando alterações globais significativas nas condições climáticas atuais.

Para tentar solucionar as questões sobre o futuro climático do nosso planeta, no curto e médio prazo, é fundamental o aprimoramento dos modelos climáticos globais. Os ajustes e otimização desses modelos são fundamentados em reconstituições de variações climáticas passadas, com base em registros históricos e geológicos.

No Brasil, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Central, estudos de reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) têm sido mais intensamente desenvolvidos desde o início da década de

1990, utilizando-se pólen depositado em sedimentos lacustres e turfeiras (LEDRU, 1993; ROTH & LORSCHREITER, 1993; BEHLING, 1995, 1997; NEVES & LORSCHREITER, 1995; LEDRU *et al.*, 1996, 1998; FERRAZ-VICENTINI & SALGADO-LABOURIAU, 1996), isótopos do carbono da matéria orgânica dos solos (MOS) (DESJARDINS *et al.*, 1996; PESSEDA *et al.*, 1996a, b, 1998a, b, c, 2001) e nos fragmentos de carvão encontrados nos solos (SOUBIÈS, 1979/80; SANFORD *et al.*, 1985; DESJARDINS *et al.*, 1996; PESSEDA *et al.*, 1996a; GOUVEIA *et al.*, 1999, 2002), entre outros indicadores.

Apesar do avanço nos estudos paleoambientais (vegetação e clima) no Brasil, são raras as pesquisas desenvolvidas no Nordeste brasileiro no Quaternário tardio, mais especificamente no Holoceno. Um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de estudos baseados na palinologia, nesta região, relaciona-se à dificuldade de encontrar áreas permanentemente alagadas ou sedimentos de turfa não oxidados em domínios fitogeográficos de floresta de caatinga em regiões semi-áridas (DE OLIVEIRA *et al.*, 1999). No caso de estudos utilizando-se a MOS, para que se tenha absoluta confiança nos resultados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C), é imprescindível que a amostragem seja efetuada sob vegetação natural, ou seja, em locais que não tenham sofrido perturbação pelo homem, como desmatamentos e, principalmente, com culturas diversas.

Estudo palinológico desenvolvido no Lago Aquiri, Maranhão, indicou semelhanças com a cobertura vegetal predominante de savanas pantanosas inundadas estacionalmente e, secundariamente, de florestas em algumas áreas mais elevadas. Durante o início do Holoceno, registrou-se um ambiente de mangue, indicando que o Oceano Atlântico estendeu-se terra adentro e a linha da praia moveu-se para o interior do continente. A floresta Amazônica desenvolveu-se atrás do cinturão do mangue, enquanto o cerrado foi insignificante na área de estudo. A interrupção da sedimentação por volta de 6.700 anos AP, provavelmente, foi causada pela regressão do Oceano Atlântico, mais do que algum levantamento tectônico da área costeira (BEHLING & COSTA, 1994).

Em recifes da costa do Atlântico nordeste, amostras de foraminíferos, analisadas utilizando-se isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$) e datação por ^{14}C , registraram períodos frios durante *Older Dryas* (entre 11.900 e 11.750 anos AP) e *Younger Dryas* (entre 10.950 e 10.000 anos AP) e aquecimento nos oceanos tropicais, provavelmente devido a perturbações ocorridas no hemisfério norte (ARZ *et al.*, 1999).

De Oliveira *et al.* (1999), por meio de estudos palinológicos no vale do rio Icatu, região semi-árida da Bahia, sugeriram mudanças na vegetação e clima durante os últimos 11.000 anos AP neste local. Segundo os autores, taxa de espécies de florestas da Amazônia, Atlântica e de montanha indicaram um período muito úmido e temperaturas mais reduzidas ao final do Pleistoceno (10.990-10.540 anos AP). De 10.540 a 8.910 anos AP, a vegetação dominada por *Mauritia vinifera* sugeriu um progressivo aumento de temperatura e alta umidade; de 8.910 a 6.790 anos AP, houve um progressivo declínio de taxa de floresta e aumento de taxa de caatinga e cerrado; até 4.535 anos AP, houve um retorno a um mosaico de vegetação composta de floresta de galeria, caatinga e cerrado, indicando um clima mais úmido. Desta data até o presente, houve um aumento nos taxa de caatinga e de cerrado, caracterizando uma diminuição de umidade e o declínio da floresta de galeria, aspecto encontrado no ambiente atual.

Pessenda *et al.* (2004, 2005) estudaram, em uma transecção de 78 km na região de Barreirinhas, Maranhão, a dinâmica do ecótono cerrado-floresta desde o Pleistoceno tardio, empre-

gando os isótopos do carbono do solo ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C). Amostras de solos foram coletadas até 400 centímetros de profundidade no Cerrado e floresta mesófila. Os valores isotópicos na superfície dos solos caracterizaram a vegetação de cobertura de cada local. Com base nas variações de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS e considerando que as datações dos fragmentos de carvão continuam a se apresentar mais antigas com o aumento da profundidade do solo, observou-se que locais onde hoje encontra-se vegetação de cerrado, provavelmente foram ocupados por vegetação arbórea mais densa e típica de floresta no Pleistoceno tardio. Entre aproximadamente 9.000 e 3.800 anos AP, observou-se um enriquecimento isotópico de até 7‰ em todos os pontos, sugerindo uma maior influência de plantas C_4 no período, com provável expansão do cerrado eventualmente associado a um clima mais seco. Após esse período, e com exceção do solo do km 54, observou-se um empobrecimento isotópico em todos os solos da transecção, indicativo de menor influência de plantas C_4 e presença mais significativa de plantas C_3 na região, provavelmente associada à presença de um clima úmido e similar ao atual.

Há cerca de 19.000 anos AP, a região do Lago Caçó, Maranhão, foi dominada por vegetação arbustiva e esparsa com domínio de gramíneas estépicas em um solo pobre arenoso. A paisagem não apresentava características ecológicas do cerrado moderno. Porém, grãos de pólen indicadores de cerrado, *Byrsonima* e *Mimosa*, sugerem que algumas espécies de cerrado foram capazes de sobreviver em um clima árido, provavelmente como pequenos arbustos. Depois de 15.500 anos AP, um aumento súbito nas taxas de umidade é evidenciado com a expansão progressiva de floresta tropical, mostrando o domínio sucessivo de várias associações de *taxa*. O desenvolvimento da floresta parou abruptamente no final do Pleistoceno, entre 12.800 e 11.000 anos AP, sendo atestado por incêndios fortes e pela expansão de *Poaceae*. No início do Holoceno, uma paisagem aberta com um nível relativamente alto de água no lago precedeu a expansão progressiva de espécies de cerrado para uma paisagem mais arborizada. Incêndios são registrados a partir deste período, resultando na fisionomia do cerrado atual (LEDRU *et al.*, 2006).

Em diversos locais da região Amazônica, verificou-se a provável ocorrência de clima seco a partir de aproximadamente 8.000 até cerca de 4.000 anos AP (SIFEDDINE *et al.*, 1994; GOUVEIA *et al.*, 1997; PESSEDA *et al.*, 1998a, b, c, 2001; FREITAS *et al.*, 2001). Portanto, observa-se uma boa concordância nas interpretações paleoclimáticas apresentadas para as regiões Nordeste e Amazônica, o que pode ser indicativo de uma variação climática regional, provavelmente associada a um clima mais seco do que o atual, do Holoceno inferior até o Holoceno médio.

O estudo interdisciplinar paleoambiental realizado nos solos da Ilha de Fernando de Noronha, nos testemunhos da Lagoa da Viração e do Mangue do Sueste, teve como objetivos ampliar a base de dados para a região e comparar as trocas climáticas e de vegetação ocorridas durante o Holoceno com as regiões continentais do Nordeste e da Amazônia brasileira.

Áreas de estudo

O Arquipélago de Fernando de Noronha é formado por 21 ilhas e ilhotas, totalizando 26 km² de extensão e 11.270 ha de área, sendo a Ilha de Fernando de Noronha a principal delas (**Figura 3.1**). Localiza-se a 345 km a nordeste do Cabo de São Roque, Rio Grande do Norte, e 545 km de Recife, Pernambuco (IBAMA, 2005).

O clima da região é o Tropical, do tipo Awi do sistema Köppen de classificação, porém marcado pelo domínio oceânico. A média anual das temperaturas situa-se em torno de 25°C. As máximas são sempre inferiores a 31°C e as mínimas superiores a 18°C. O total das precipitações anuais situa-se em torno de 1.400 milímetros, porém com grande variabilidade interanual, acompanhando a tendência de toda a faixa tropical que abrange o Nordeste continental. São evidentes duas estações bem definidas, com o período úmido ocorrendo de março a julho, com maior volume de precipitações de abril a maio (BATISTELLA, 1993).

Outro fator climático que influencia na cobertura vegetal do arquipélago é o vento constante. Os alíseos com direção ESE atingem principalmente a face de barlavento, onde se encontra localizada a Baía Sueste (Figura 3.1).

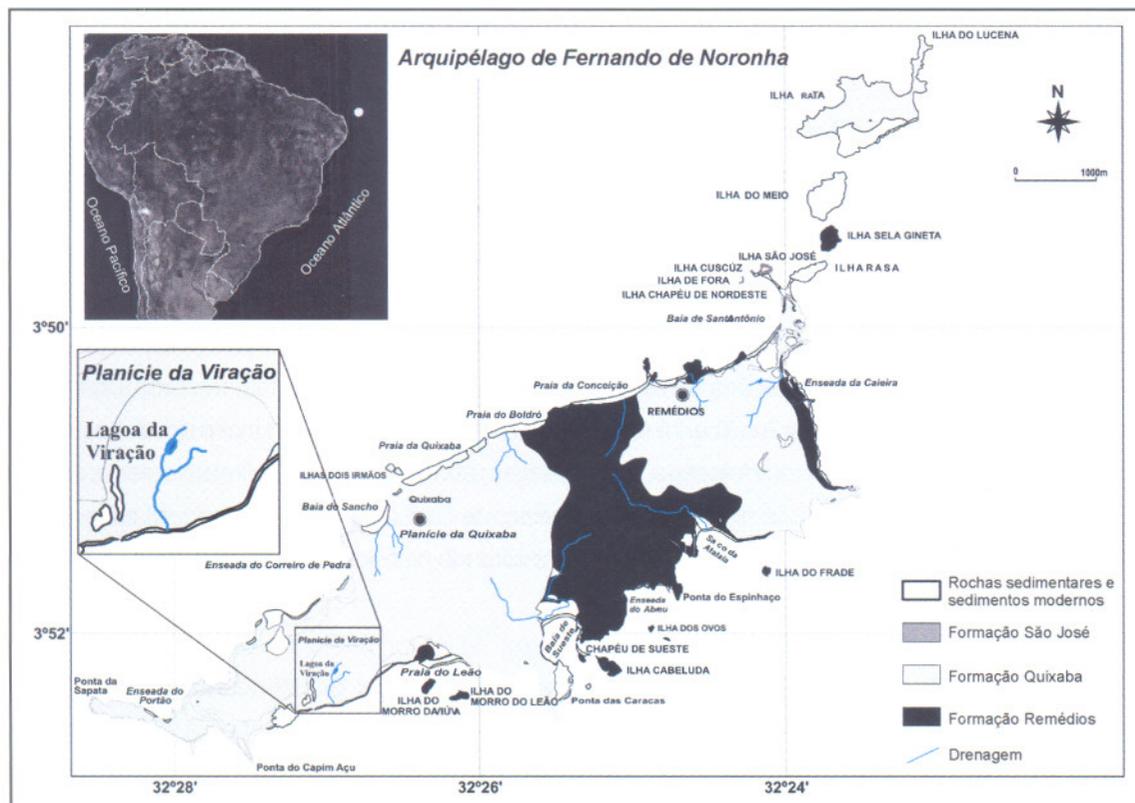


Figura 3.1. Mapa geológico simplificado, com base na Geologia de Almeida (1955).

Com relação à hidrologia, o rio Maceió é o principal corpo de água da ilha, que atualmente desemboca no reservatório Xaréu. Os corpos restantes são de modestas dimensões, todos intermitentes, secando rapidamente com o final da época de chuvas. Cabe ressaltar que a construção da barragem do reservatório Xaréu provocou o assoreamento de parte do manguezal, bem como de toda a baía Sueste.

Quanto à flora, Batistella (1993) realizou um levantamento no qual foram identificadas 455 espécies, distribuídas em 75 famílias de angiospermas, ou seja, bastante pobre, fato característico de ambientes insulares e plenamente justificado tanto pelo isolamento do continente próximo – devido aos ventos e correntes contrárias – quanto pela pequena extensão, relativa homogeneidade geomorfológica e clima semi-árido.

As principais espécies arbóreas endêmicas do arquipélago são a gameleira (*Ficus noronhae*), o mulungu (*Erythrina velutina* - var. *aurantiaca*) e a burra-leiteira (*Sapium scleratum*). Algumas espécies de trepadeiras, conhecidas como jitiranas (*Ipomea* sp. e *Merremia* sp.) e outras arbustivas, como a linhaça (*Leucaenia leurocephala*) e o chumbinho (*Lantana camara*), foram introduzidas pelo homem e são, atualmente, responsáveis por impactos na vegetação. Entre as espécies introduzidas também se destacam algumas frutíferas, cultivadas pelos militares e que já se reproduzem naturalmente, como os cajus, mangas, cajás, frutas-do-conde, tamarindos, goiabas, graviolas, abacates, carambolas, serigüelas, pitombas, araçás, coqueiros, bananeiras e mamoeiros. Algumas ornamentais, como os ipês (*Tabebuia roseoalba*) e flamboaiãs (*Delonix regia*), também se estabeleceram com sucesso (GUERRIERO, 2002). Também ocorreu a introdução de algumas culturas agrícolas, destacando-se os plantios de café, algodão, hortaliças e pastagem para subsistência, em um período em que o local era ocupado por um presídio. Em várias partes da ilha o homem contribuiu, com queimadas e cortes de árvores, para uma ilha mais seca (MORAES, 2002).

Na área da Ponta da Sapata (**Figura 3.1**), encontra-se a vegetação remanescente do arquipélago, do tipo Mata Atlântica insular, utilizada como área de nidificação pelas aves terrestres e marinhas. Em uma área de difícil acesso, na região entre a Praia do Leão e a Ponta da Sapata, está a Lagoa da Viração (**Figura 3.2**), que nunca seca e é cercada por vegetação nativa e recoberta por plantas aquáticas, tal como o repolho d'água (*Pistia stratiotes*) (**Figura 3.3**) (GUERRIERO, 2002).



Figura 3.2. Vista da Lagoa da Viração.



Figura 3.3. Lagoa da Viração coberta pela *Pistia stratiotes*. Ao fundo, paredão de cerca de 100 metros de altura.

Um conjunto de três lâminas d'água vicinais, das quais somente a principal é permanente, completa este restrito ecossistema, ocupando uma área de aproximadamente 1 hectare. Tal ecossistema se situa cerca de 20 metros acima do atual nível médio do mar e, em se considerando um intervalo de tempo dos últimos milênios, não se pode indicar qualquer possibilidade de comunicação com o ambiente marinho (MORAES, 2002).

O manguezal da baía Sueste (**Figura 3.4**) é composto unicamente por *Laguncularia racemosa* e representa um dos únicos locais de ocorrência da espécie em ilhas oceânicas do Atlântico sul (BATISTELLA, 1993). As árvores apresentam em média 7 metros de altura e durante o Holoceno já ocuparam uma área maior, podendo ser consideradas como um relicto.



Figura 3.4. Vista do Mangue do Sueste.

Na **Tabela 3.1**, são apresentados os pontos onde foram coletadas amostras de solo, por meio de tradagens e trincheira, de plantas e os testemunhos de sedimento lacustre e de mangue.

Tabela 3.1. Locais de amostragem na Ilha de Fernando de Noronha.

Identificação dos pontos de coleta	Região	Localização geográfica	Altitude (m)	Material coletado
Trincheira	Morro da Quixaba	03°52'01,0"S 32°26'57,4"O	170	solo e plantas
LV	Lagoa da Viração	03°52'13,5"S 32°26'53,5"O	23	sedimento e plantas
Sancho (1)		03°51'38,8"S 32°26'68,3"O	60-70	solo
Sancho (2)	40m a montante de (1)			solo
Sancho (3)	30m a jusante de (1)			solo
Ilha Rata (Casa 2)		03°48'70,2"S 32°23'31,7"O		solo
Atalaia		03°51'32,4"S 32°24'44,7"O		solo
Praia do Leão				solo
MPO	Mata Ponta Oeste	03°51'93,5"S 31°26'82,8"O		solo
SE	Baía do Sueste	03°51'56,4"S 32°25'31,8"O	nível do mar	sedimento

O solo da ilha apresenta-se pouco profundo, o que dificultou a amostragem para a obtenção de dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C) que reflitam o tipo de vegetação presente na área nos últimos 10.000 anos. A maior profundidade encontrada, por meio de tradagem, foi de 3 metros. Neste local, fez-se uma trincheira e coletou-se cerca de 5 kg de terra a cada 10 centímetros, e o solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico.

Materiais & métodos

Neste item, são descritos os procedimentos de amostragens e analíticos utilizados.

Vegetação

Identificação: As espécies mais significativas encontradas na linha da transecção foram coletadas e posteriormente identificadas. O material botânico identificado está depositado no Herbário/UFS.

Solos

Amostragem: Para a datação ^{14}C da MOS foi feita trincheira de aproximadamente 100 cm de largura x 200 cm de comprimento x 310 cm de profundidade, de onde foram coletados aproximadamente 5 kg de solo por camada, a cada 10 cm, no sentido das camadas inferiores para as superiores. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas. Tradagens foram realizadas para a coleta de amostras para a determinação isotópica ($\delta^{13}\text{C}$). No laboratório, após secagem, as amostras foram peneiradas em malha de 2 milímetros para o destorroamento. Durante o peneiramento, fragmentos de carvão, restos vegetais, etc., foram separados.

Granulometria: Para a análise granulométrica, foram encaminhados cerca de 100 gramas de amostra ao Laboratório de Análises de Solos, Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Tal análise é realizada por meio do método do densímetro (KIEHL, 1979).

Análise mineralógica: A composição mineralógica dos solos foi determinada qualitativamente por difração de raios X. Utilizou-se o difratômetro Siemens D5000 do Laboratório de Difração de Raios X do Instituto de Geociências/USP.

Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e carbono total: Após peneiramento a 0,21 milímetro, foram enviados aproximadamente 80 miligramas de amostras de solo ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, visando à determinação isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e do carbono total em analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa ANCA SL 2020 da *Europa Scientific*. Os resultados isotópicos estão expressos pela unidade relativa "δ", determinada em relação ao padrão internacional PDB, segundo equação 1 abaixo:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{PDB}}}{R_{\text{PDB}}} \times 1000 \quad [1]$$

onde $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ para a razão isotópica do carbono.

Análise do ^{14}C : Amostras de humina (Pessenda *et al.*, 1996a) foram transformadas em CO_2 , coletadas em recipientes evacuados de vidro e enviadas ao Laboratório Isotracer, Toronto, Canadá, para análises de ^{14}C via AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*). Os resultados foram reportados em anos AP e em idade calibrada (cal AD).

Sedimentos

Coleta dos testemunhos: Dois testemunhos foram amostrados na Lagoa da Viração, por meio da utilização de um vibrotestemunhador (MARTIN & FLEXOR, 1989), sendo um de 73 cm e outro de 70 cm (**Figura 3.5a** e **3.5b**). Outro testemunho, com aproximadamente 220 cm, foi obtido no mangue da Baía do Sueste (**Figura 3.5c**). Os testemunhos foram encaminhados ao Laboratório de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense (UFF), para abertura e descrição macroscópica dos depósitos sedimentares.

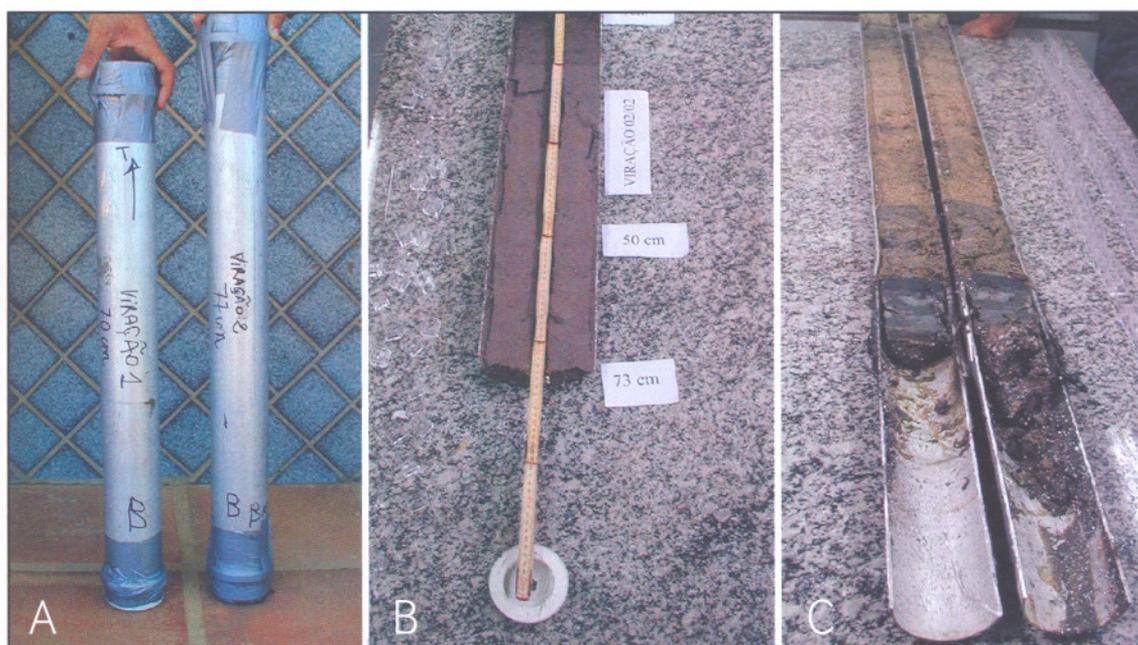


Figura 3.5. a) testemunhos de sedimento coletados na Lagoa da Viração; b) testemunho coletado na Lagoa da Viração após a abertura; c) testemunho coletado no Mangue do Sueste.

Coleção de pólen de referência: As coletas do material destinado à coleção de referência foram realizadas no Herbário do Instituto de Biociências/USP. Lâminas de referência foram depositadas no Instituto de Geociências da Universidade de Campinas (Unicamp).

Amostragem: As amostras dos testemunhos destinadas às análises palinológicas, de sedimentologia e mineralogia foram coletadas em cubos de plástico de 2 cm³ a cada 2 cm, seguindo metodologia utilizada pelos pesquisadores do IRD (*Institut de Recherche pour le Développement*, França).

Palinologia: Amostras de sedimento (2g) foram mantidas em HF 70% durante 18 horas. Os fluorsilicatos que se formaram durante esta reação foram eliminados com lavagens sucessivas de HCl 50% em banho-maria. Após cada lavagem, as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos em velocidade de 3.000 rpm. Repetiu-se este procedimento até que o sobrenadante da centrifugação ficasse totalmente incolor. Após lavagem com água destilada, eliminaram-se os ácidos húmicos e fúlvicos com KOH 10% no banho-maria, até total descoloração do sobrenadante. Posteriormente, procedeu-se à lavagem com água destilada e secou-se o material. A separação do material polínico do restante da fração orgânica foi efetuado com a adição de ZnCl₂. Os grãos de pólen foram pipetados e montados entre lâmina e lamínula para observação e identificação em microscópio Carl Zeiss Axioskop 40. A identificação dos grãos de pólen foi feita por comparação com pólen de referência e com fotografias encontradas em distintos atlas de palinologia.

Datação por ¹⁴C: Seleccionaram-se três amostras no testemunho da Lagoa da Viração e seis amostras do testemunho do Mangue do Sueste. Após tratamento físico (remoção de restos vegetais, etc.), as amostras foram submetidas à hidrólise com HCl 4% por 5 horas a 80°C, lavagens sucessivas e secagem em estufa a 55°C por 48 horas. As amostras foram submetidas à combustão e o CO₂ obtido, enviado ao Laboratório Isotracer, Canadá, para determinação da idade pelo método do ¹⁴C por AMS.

Análise elementar e isotópica: Após tratamento ácido (HCl 4% a frio, lavagens sucessivas e secagem a 50°C), foram enviados aproximadamente 20 mg de sedimento ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), visando à determinação do carbono orgânico total, nitrogênio total, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa ANCA SL 2020 da *Europa Scientific*. Os resultados de C e N estão expressos em porcentagem de peso seco e os dados isotópicos pela unidade relativa “ δ ”, determinada em relação ao padrão internacional PDB para ^{13}C e em relação ao ar para ^{15}N , com precisão analítica de $\pm 0,2\%$.

Análise mineralógica: A composição mineralógica dos sedimentos foi determinada de forma similar à análise do solo.

Resultados e discussão

Florística e Estrutura da Vegetação

Em um raio de 100 metros no entorno da Lagoa da Viração, foram identificadas 54 espécies vegetais. As espécies introduzidas, provavelmente para fins agrícolas, apresentaram características ruderais e ocorreram de modo significativo. Entre estas, destacaram-se as gramíneas forrageiras *Brachiaria plantaginea*, *Cynodon dactylon*, *Eleusine indica* e *Panicum maximum* e as ciperáceas *Cyperus rotundus* e *C. articulatus*, plantas do ciclo C_4 .

Em uma análise simples sobre a presença de espécies registradas por Riddley (1888), verificou-se que ao menos 50% das espécies encontradas nos pontos de amostragem já haviam sido identificadas, indicando que o incremento foi intenso, posteriormente.

Na área da Lagoa da Viração, foram distinguidas quatro fisionomias da vegetação: i) de falésia, definida pela distribuição de espécies ubiquistas ou de barlavento, com o predomínio de gramínea C_4 (*Paspalum paniculatum*); ii) de área costeira, com a presença de *Cactus insulares*; iii) de áreas interiores, com a presença de espécies arbóreo-arbustivas (3 a 5 metros de altura) e um substrato herbáceo ralo com pouca regeneração e predomínio de cactácea e; iv) de áreas florestadas já bastante alteradas, formadas por três estratos, com o predomínio de *Erythrina velutina* e *Tabebuia roseoalba* no dossel e *Capparis frondosa* e *C. cynophallophora* no estrato médio. Também foram considerados outros três grupos de espécies vegetais com padrões de distribuição pouco definidos: as jitiranas (*Abrus precatorius* e *Cuscuta* sp.), as invasoras e as plantadas ou ornamentais. Na lagoa, há o predomínio da Araceae *Pistia stratiotes*, que cobre 100% de sua superfície dando a coloração verde (**Figura 3.3**), enquanto, em suas margens, a vegetação alcança até 25 metros de altura.

Solos

Os teores de argila dos solos estudados foram superiores a 50%, o que os caracteriza como argilosos. A análise mineralógica efetuada no solo da trincheira indicou que a parte amostrada até 290 centímetros corresponde a material bastante evoluído, praticamente destituído de minerais primários como o diopsídio. Apenas alguns opacos (magnetita, ilmenita e pseudobrookita) permanecem. Na parte mais basal do perfil de solo ocorrem, juntas, a esmectita e a caolinita.

Mais na superfície, a esmectita desaparece, transformando-se provavelmente em caolinita (PESSENDA *et al.*, submetido).

Os resultados dos teores de carbono orgânico total (COT) em relação à profundidade dos solos apresentaram uma tendência geral de decréscimo dos teores de carbono com a profundidade, variando de 1% a 3% na superfície até valores inferiores a 0,1% a cerca de 140 centímetros (**Figura 3.6a**). Resultados similares são encontrados de modo rotineiro em distintos tipos de solos e locais no Brasil (PESSENDA *et al.*, 1996a, b, 1998a, b; GOUVEIA *et al.*, 1997, 2002).

As datações obtidas (**Tabela 3.2 e Figura 3.6b**) para a fração humina nas profundidades de 230-240 cm e 110-120 cm foram de 7.380 anos AP e 5.730 anos AP, respectivamente. Fragmento de carvão encontrado a 50-60 cm de profundidade, coletado por meio de tradagem em Atalaia, apresentou a idade de 290 anos AP \pm 50. Por se tratar de material de pequena dimensão, pode ter sido transportado de camadas superiores, uma vez que fragmentos encontrados em profundidades similares em outros solos brasileiros (PESSENDA *et al.*, 1996a; GOUVEIA *et al.*, 2002) apresentaram idades em torno de 1.700-3.000 anos AP. A presença deste fragmento provavelmente está relacionada com a ação antrópica na ilha.

Os valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) da MOS (**Figura 3.6b**) das camadas superficiais caracterizaram a vegetação de cobertura de cada local. Nos pontos coletados em Sancho, ilha Rata e Mata da Ponta Oeste (MPO) e na trincheira, os dados entre -25‰ e $-25,8\text{‰}$ indicam a presença de vegetação arbórea aberta, enquanto na Praia do Leão e Atalaia os valores (-19‰) são característicos do predomínio de plantas C_4 , provavelmente de origem antrópica. Não foram observadas mudanças significativas nos tipos de vegetação durante o Holoceno.

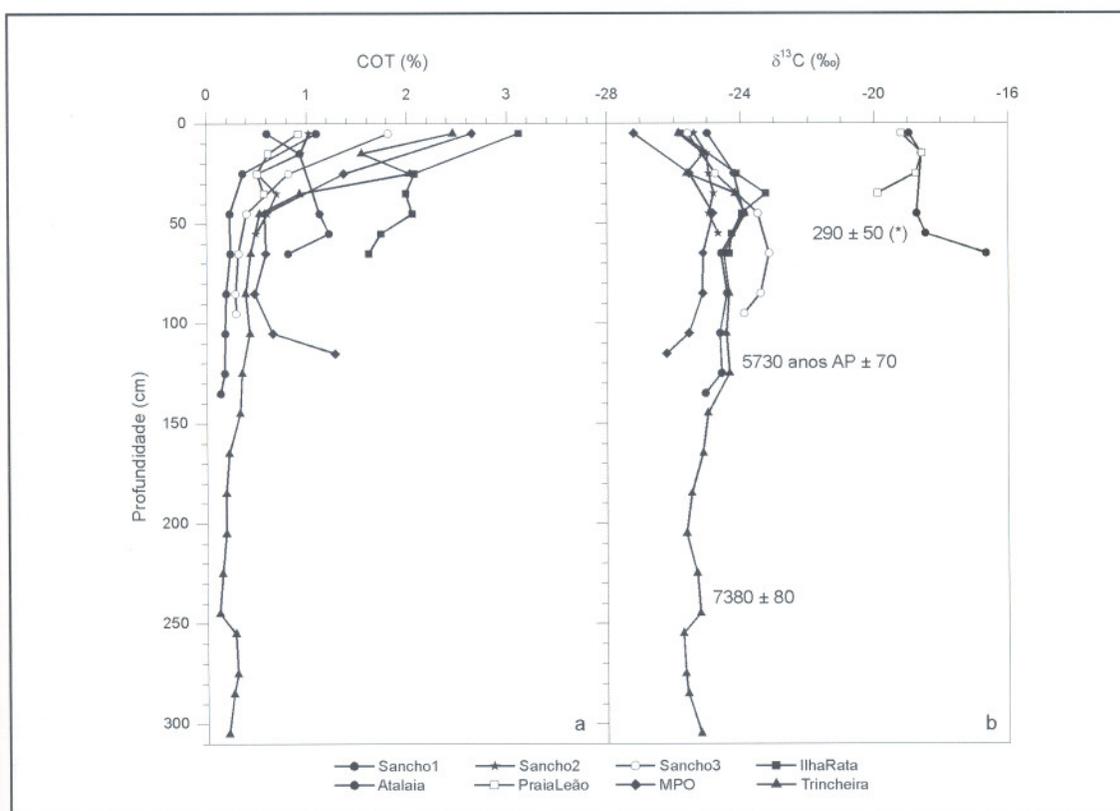


Figura 3.6. a) carbono orgânico total; b) valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) em relação à profundidade dos solos e respectivas idades ^{14}C de fragmento de carvão (*) e fração humina.

Sedimentos

Lagoa da Viração: O material coletado foi caracterizado de 0-18 cm como argila orgânica escura (2,5Y 3/2), de 18-34 cm como argila cinza (2,5Y 4/1) e de 34-73 cm como argila cinza (2,5Y 4/1) com manchas verdes (Figura 3.7).

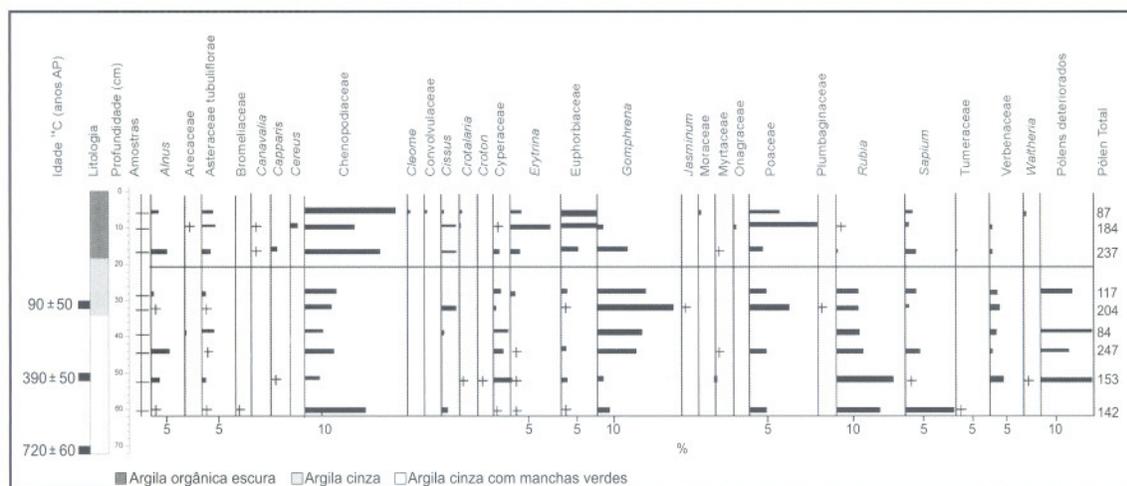


Figura 3.7. Diagrama polínico do testemunho coletado na Lagoa da Viração.

O conteúdo polínico das amostras das camadas superiores (~20 cm) correspondem à vegetação atual do entorno da lagoa, constituída por Bignoniaceae, Mimosaceae, *Alchornea*, *Randia* e *Malpighiaceae* (arbóreas) e Cyperaceae, Pontederiaceae e Asteraceae na parte herbácea. Análise de amostras das camadas inferiores apresentaram um conteúdo polínico muito pobre e oxidado, evidenciando provável efeito de períodos secos e de um material pedogenético de uma época geológica mais antiga, talvez relacionado com o Terciário.

A análise mineralógica indicou a presença de diopsídio desde a parte basal até a central (~40-30 cm) do testemunho. A esmectita é a fase largamente dominante, acompanhada de hematita. A presença de diopsídio, a abundância de outras fases primárias e enormes diferenças em relação à mineralogia dos solos a montante indicam que, provavelmente, estes materiais não são sedimentos, mas produto de alteração das rochas em ambiente relativamente confinado.

Os resultados de COT (Figura 3.8a) indicam um aumento significativo na concentração (0,32%) da camada basal (70-68 cm) para cerca de 0,6% a partir da camada 34-32 cm, atingindo 17,9% na superfície. Os resultados da razão C/N indicam variação nos resultados com a profundidade, com uma tendência a um aumento das camadas mais profundas que variaram de 7,3 na camada 70-68 cm para 10,7 na camada 58-56 cm, até 16,3 na camada superficial (Figura 3.8b). Os valores de C/N entre 8 e 16 indicam mistura de algas e plantas terrestres C_3 na constituição da matéria orgânica do testemunho (MEYERS, 2003).

Com base na datação da base do testemunho de 720 anos AP \pm 60 (Tabela 3.2) e considerando-se somente os 20 cm inferiores (intervalo 72-52 cm), tem-se uma taxa de acúmulo de cerca de 0,061 cm.ano⁻¹. Na camada 52-50 cm, a datação foi de 390 anos AP \pm 50. Considerando-se somente o intervalo 52-32 cm, a taxa de acúmulo resulta em 0,066 cm.ano⁻¹, portanto similar à camada mais

profunda. Para ambos intervalos, os teores de COT foram de cerca de 0,5%. Para a camada 32-30 cm, em que o teor de COT esteve próximo de 1% e provavelmente associado a material proveniente da vegetação aquática (*Pistia stratiotes*), a datação foi de 90 anos AP \pm 50 e apresentou uma taxa de acúmulo de 0,34 cm.ano⁻¹, ou seja, significativamente maior do que as camadas inferiores. Estes valores significativamente inferiores da taxa de acúmulo reforçam a hipótese de que o material originário do testemunho (72 até 32 cm) foi provavelmente desenvolvido *in situ* a partir da rocha mãe. A partir de 32 cm, observou-se um acréscimo significativo no teor de COT e nas taxas de sedimentação (cerca de 6 a 10 vezes superiores), provavelmente relacionadas à influência da introdução da *Pistia stratiotes*. Em idade ¹⁴C calibrada, o resultado da base do testemunho foi de 1.280 cal AD, ou seja, a lagoa iniciou sua formação anterior à eventual ação antrópica no local.

Os resultados de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram uma tendência de enriquecimento isotópico com o aumento da profundidade, variando de 2,8‰ na superfície até 11,5‰ na camada 48-50 cm (**Figura 3.8c**). Com exceção da camada superficial, que sugere uma mistura de fontes nitrogenadas provenientes de algas e plantas C₃, as mais profundas, mais enriquecidas em ¹⁵N, indicam predomínio algal (MEYERS, 2003).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram-se mais enriquecidos nas camadas mais profundas (-20,7‰ a -22,1‰) e variaram até -27,6‰ na superfície (**Figura 3.8d**). O valor da planta aquática *Pistia stratiotes*, que recobre toda a lagoa, foi de -28,2‰, registrando, portanto, sua influência no material superficial. Os resultados indicam uma provável mistura de plantas C₃ (folhas e galhos das árvores do entorno da lagoa) e de plantas C₄ (provavelmente gramíneas e/ou material herbáceo) da base (720 anos AP) até aproximadamente 20 cm (<90 anos AP). A partir deste ponto, verificou-se o predomínio de matéria orgânica proveniente da planta aquática *Pistia stratiotes* até a superfície. Os acréscimos na concentração de COT e da razão C/N (>10), desde a camada de 32 cm até a superfície, reforçam o aporte significativo deste tipo de material orgânico (plantas C₃) no testemunho. Abaixo da camada de 32 cm, os valores de C/N inferiores a 10 indicam maior influência das algas.

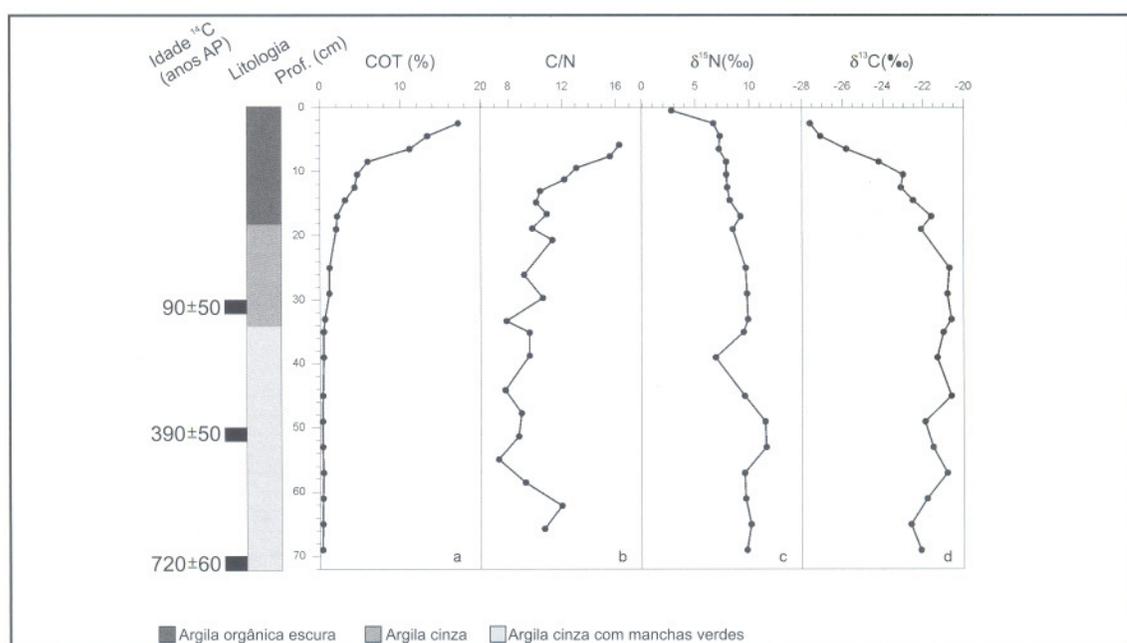


Figura 3.8. Litologia, datação ¹⁴C, carbono orgânico total (COT), razão C/N e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das amostras do testemunho coletado na Lagoa da Viração.

Mangue do Sueste: A litologia do testemunho, bem como as datações ^{14}C , são apresentadas na **Figura 3.9** e na **Tabela 3.2**. Na base do testemunho (216-214 cm), verificou-se a presença de conchas misturadas a material cimentado calcário (*beach rock*), indicativo da presença de praia no local onde hoje se encontra o mangue, com datação de 4.240 anos AP \pm 60 e idade calibrada de \sim 4.700 anos. Na profundidade de 188-184 cm, a amostra arenosa apresentou uma idade aproximada de 2.000 anos AP \pm 50 e idade calibrada de 70 AD. As idades obtidas para as camadas 140-138 cm e 134-132 cm foram, respectivamente, de 710 anos AP \pm 50 e idade calibrada de 1.285 AD e de 440 anos AP \pm 50 anos e idade calibrada de 1.440 AD. As idades calibradas para as amostras das camadas 49-47 cm e 29-26 cm indicaram os anos de 1959 e 1958, respectivamente.

Do testemunho obtido, foram retiradas 36 amostras para estudos palinológicos e processadas 13 amostras que se mostraram promissoras.

Somente três níveis (191-192 cm, 22-24 cm e atual) apresentaram quantidade suficiente de pólen (>250) para a construção do diagrama polínico (**Figura 3.10**); contudo, considerações acerca da evolução da vegetação podem ser feitas.

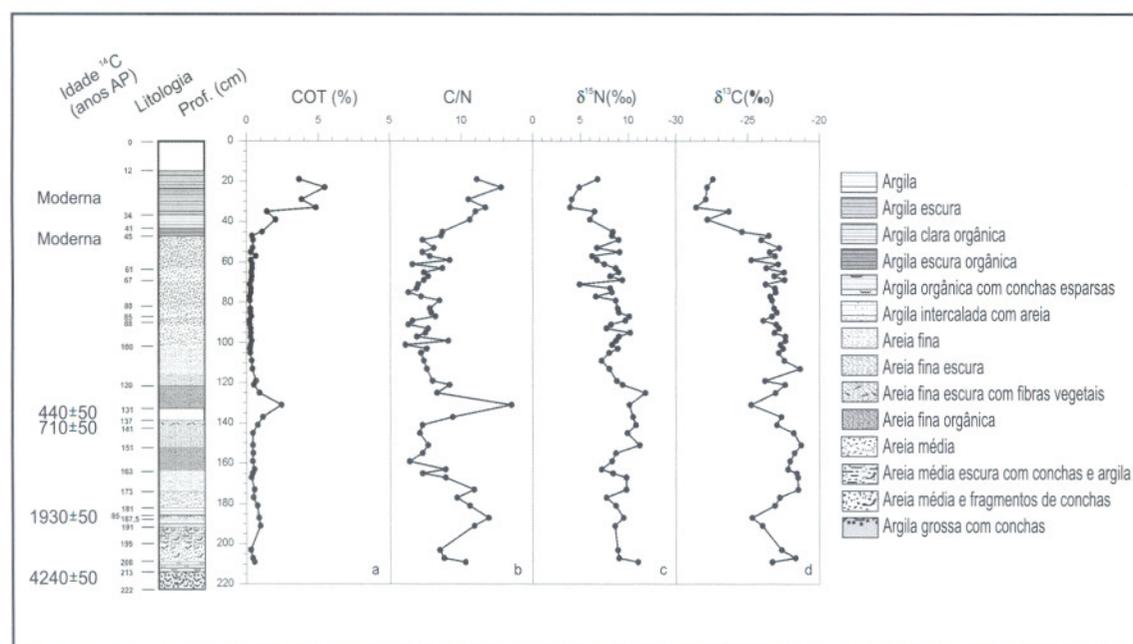


Figura 3.9. Litologia, datação ^{14}C , carbono orgânico total (COT), razão C/N e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das amostras de sedimento coletado no Mangue do Sueste.

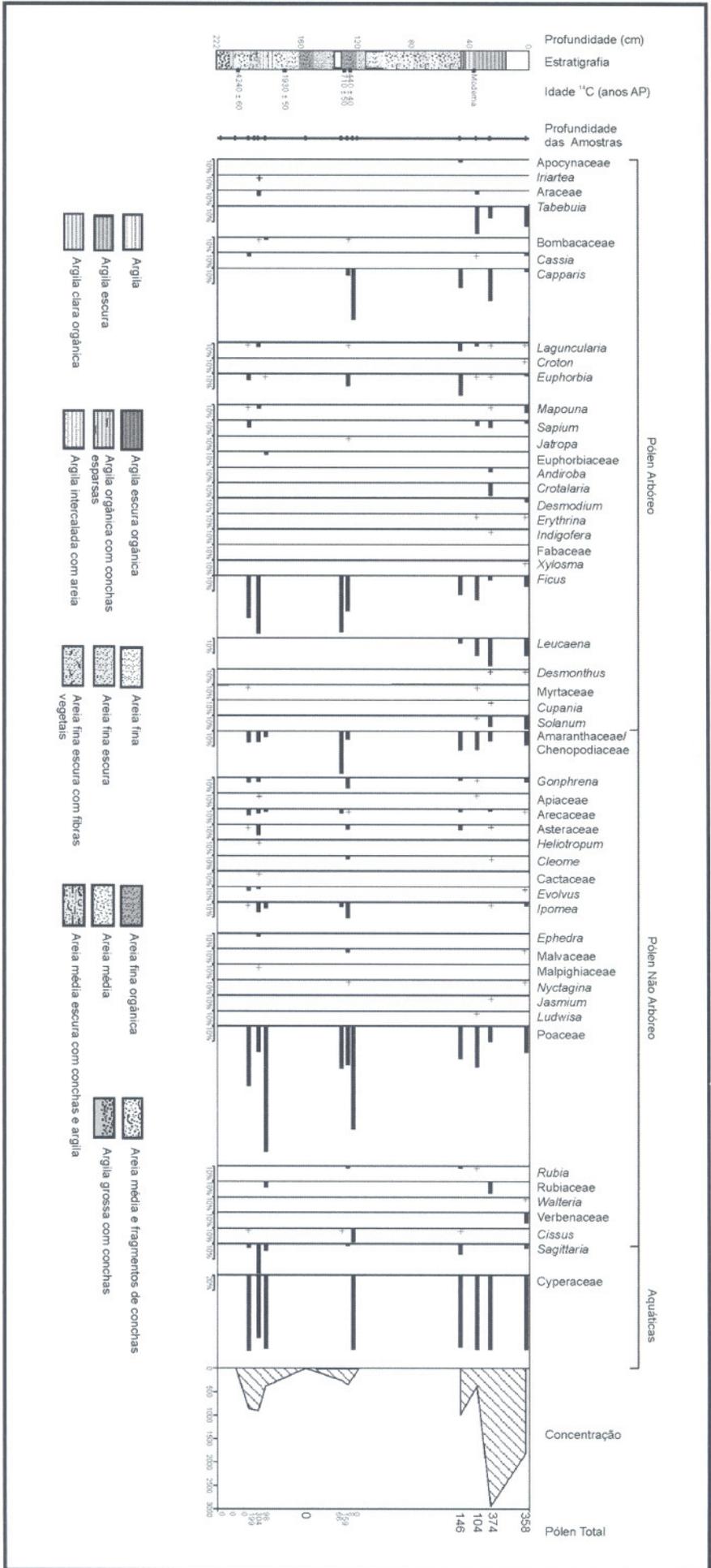


Figura 3.10. Diagrama polínico do testemunho coletado no Mangue do Sueste.

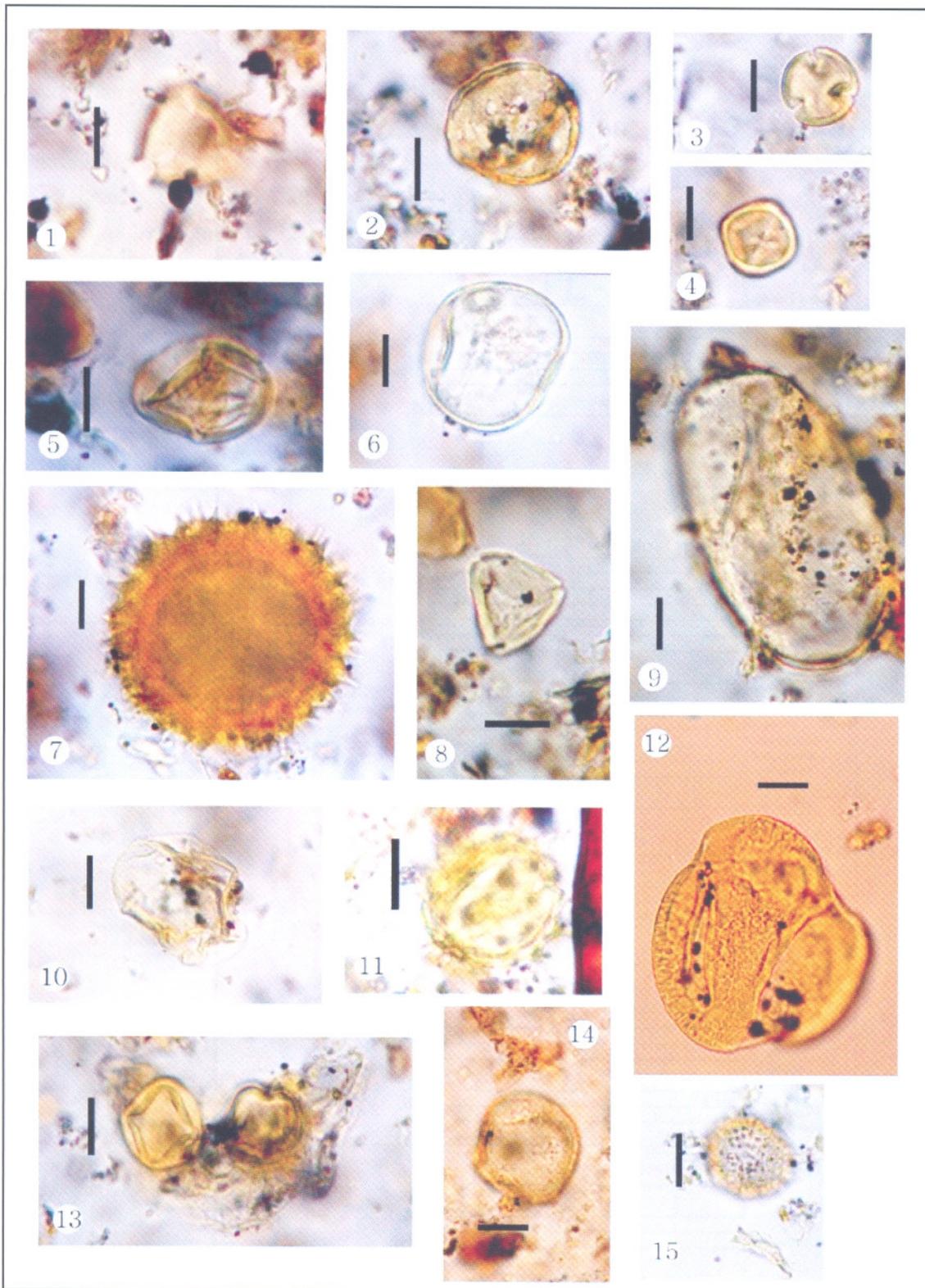


Figura 3.11. 1) Bignonaceae (amostra 18-12 cm); 2) Chenopodeaceae/Amaranthaceae (amostra 18-12 cm); 3) Fabaceae (tipo *Andiroba* - polar/amostra 18-12 cm); 4) Fabaceae (equatorial/amostra 18-12 cm); 5) Solanaceae (*Solanum*/amostra 18-12 cm); 6) Poaceae (amostra 18-12 cm); 7) Convolvulaceae (*Ipomea*/amostra 18-12 cm); 8) Myrtaceae (amostra 18-12 cm); 9) Arecaceae (amostra 18-12 cm); 10) Apocynaceae (amostra 191-192 cm); 11) Asteraceae (amostra 191-192 cm); 12) Bombacaceae (amostra 32-34 cm); 13) Fabaceae (amostra 18-12 cm); 14) Apocynaceae? (*Aspidosperma?* /amostra 44-46); 15) Euphorbiaceae (amostra 18-12 cm). Escala: 10µm.

Tabela 3.2. Datação ^{14}C das amostras de sedimentos e fragmentos de conchas coletados na Lagoa da Viração (Vir) e no Mangue do Sueste (SE).

Profundidade (cm)	Identificação do Laboratório	$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ (pCm)	Idade (anos AP)	Idade (cal AD)
Vir 30-32	TO-11817	98,87 ± 0,65	90 ± 50	1.955
Vir 50-52	TO-11818	95,24 ± 0,61	390 ± 50	1.460
Vir 70-72	TO-11377	91,41 ± 0,64	720 ± 60	1.280
SE 26-29	TO-11378	101,38 ± 0,68	Moderna	1.958
SE 47-49	TO-11379	102,53 ± 0,71	Moderna	1.959
SE 132-134	TO-11380	94,71 ± 0,57	440 ± 50	1.440
SE 138-140	TO-11381	91,52 ± 0,55	710 ± 50	1.285
SE 184-188	TO-11382	78,61 ± 0,47	1.930 ± 50	70
SE 214-246*	TO-11816	58,96 ± 0,44	4.240 ± 60	4.700**

TO=Isotrache Laboratory, Toronto, Canadá; pCm=porcentagem de carbono moderno; *fragmentos de conchas; **cal BP.

Além dos *taxa* identificados (**Figura 3.11**), em todas as lâminas foram encontrados fragmentos bem preservados de cutículas, esporos de fungos, algas, alguns cistos de dinoflagelados e pólen dobrados e fragmentados, o que poderia evidenciar transporte.

Foram identificados 52 tipos polínicos, pertencentes a 21 famílias de angiospermas e uma de gimnospermas (Ephedraceae). Cabe ressaltar que, em todas as lâminas analisadas, é notável a falta de esporos de pteridófitas (filicíneas, licófitas e esfenófitas) e de briófitas.

Apesar da escassez de pólen em vários níveis estudados, é possível ter-se uma idéia da dinâmica da vegetação. As amostras estudadas foram divididas em dois intervalos de tempo: 2.000-440 anos AP e 440 anos AP-Presente.

Intervalo 2.000-440 anos AP

A amostra mais antiga estudada (198-196 cm) tem idade estimada de >2.000 anos AP. Nela, aparecem as famílias Alismataceae, Cyperaceae, Amaranthaceae, Amaranthaceae/Chenopodiaceae e Araceae. Estes polens podem ser considerados como pertencentes à vegetação que habitava as cercanias do manguezal.

Também foram encontrados pólen de Convolvulaceae (*Evolvus* e *Ipomea*), Euphorbiaceae (*Sapium* e *Euphorbia*), Moraceae (*Ficus*), além de Combretaceae (*Laguncularia*), o que associaria a vegetação hoje encontrada em Noronha, não introduzida, à colonização e à presença de manguezal no local neste período.

No intervalo seguinte (192-191 cm), continuam sendo encontradas as mesmas famílias do intervalo anterior, além do primeiro registro de Arecaceae e o único registro do testemunho de uma gimnosperma da família Ephedaraceae, possivelmente transportada pelo vento.

No intervalo 186-180 cm, registrou-se um empobrecimento no número de espécies, sendo registradas as famílias Alismataceae, Amaranthaceae/Chenopodiaceae, Cyperaceae, Poaceae e desaparecendo o pólen de *Laguncularia*, possivelmente por uma redução na área do manguezal, embora seja registrado, pela primeira vez, pólen das famílias Bombacaceae e Fabaceae (*Erytrina*).

Intervalo 440 anos AP-Presente

Nas amostras 132-130 cm, foram encontrados pólen de Amaranthaceae/Chenopodiaceae, Araceae, Convolvulaceae (*Ipomea*), Cyperaceae, Moraceae (*Ficus*) e Poaceae.

No intervalo entre 128-126 cm, foram encontrados pólen de Amaranthaceae/Chenopodiaceae, Araceae, Convolvulaceae (*Ipomea*), Cyperaceae, Euphorbiaceae (*Euphorbia*), Moraceae (*Ficus*) e Poaceae que continuam, além do primeiro aparecimento de Capparidaceae (*Cleome*), Rubiaceae, Malvaceae e o gênero *Jatropha* (Euphorbiaceae). Como no nível anterior, não foram registrados pólen de *Laguncularia*.

Na amostra coletada entre 124-122 cm, foram encontrados somente oito pólen de Poaceae.

Nos intervalos entre 46-44 cm, 34-32 cm e 24-22 cm, foi coletado sedimento superficial de manguezal. Continuaram a ser encontradas as famílias registradas no intervalo anterior, volta a aparecer o registro de *Laguncularia* e foram registrados pela primeira vez pólen de *Cassia* (Caesalpinaceae), *Tabebuia* (Bignoniaceae), *Leucaena* e *Desmanthus* (Mimosaceae), *Ludwisia* (Onagraceae), *Cupania* (Sapindaceae), *Walteria* (Sterculiaceae), Solanaceae, *Nyctagina* (Nyctaginaceae), Malvaceae, *Jasminum* (Oleaceae), Verbenaceae e dos gêneros *Desmodium*, *Crotalaria* e *Andiroba* (Fabaceae) e *Capparis* (Capparidaceae). Considerando os palinomorfos presentes, deduz-se que o manguezal estava localizado na sua posição atual.

Os dados obtidos na análise do testemunho da baía Sueste indicam que numerosas espécies foram introduzidas nos últimos 400 anos, embora ainda possam ser encontrados representantes da flora original. A falta de palinomorfos, na maioria das lâminas estudadas, pode ser explicada pela união de vários fatores, como direção desfavorável dos ventos, reduzida área da ilha, flora pobre e oscilações nas dimensões do manguezal decorrentes de oscilações no nível do mar, além de períodos mais secos que podem ter afetado o pólen e o rio Maceió, responsável pelo aporte de materiais diversos no mangue.

Os dados isotópicos e geoquímicos apresentados na **Figura 3.9** indicam que, na camada 192-182 cm (~2.000 anos AP), o teor de COT foi de 0,94%, a razão C/N de 11,9 e o $\delta^{13}\text{C}$ de $-24,7\text{‰}$, indicativo da presença de material orgânico de ciclo fotossintético C_3 , provavelmente associado a um antigo mangue no local. Para esta camada, os dados polínicos indicaram a presença de espécies típicas deste ecossistema (*Laguncularia*) nas amostras analisadas, reforçando a presença do manguezal no período. Da camada 182-180 cm (<2.000 anos AP) até aproximadamente 138 cm (~700 anos AP), o teor de COT variou entre 0,77% e 0,35%, a razão C/N de 10,9 a 6,4 e o $\delta^{13}\text{C}$ de $-21,5\text{‰}$ a $-23,0\text{‰}$, indicativo de matéria orgânica de origem de plantas C_3 e algas no período. A partir da camada 138-136 cm (cerca de 600 anos AP), há um aumento na concentração do COT (2,43%) até a camada 132-130 cm (aproximadamente 400 anos AP), na razão C/N (18) e um empobrecimento isotópico ($-24,8\text{‰}$), indicativo de aporte mais significativo de matéria orgânica de origem de plantas C_3 . A análise polínica (**Figura 3.10**) na camada 132-130 cm não indicou a presença de um mangue no local. Da camada 130 cm (400 anos AP) até 46 cm (idade Moderna), há uma tendência generalizada de diminuição dos teores de COT (ao redor de 0,90% a 0,20%), razão C/N (9 a 6) e enriquecimento isotópico (-23‰ a -22‰), evidenciando maior influência de matéria orgânica de algas do que no período anterior. Desta

profundidade até 18 cm e 12 cm, respectivamente, há um aumento no teor de COT até 5,5% e 3,4%, na razão C/N até 16 e 12, $\delta^{13}\text{C}$ de $-28,6\text{‰}$ a $-26,3\text{‰}$, enquanto valores de $\delta^{15}\text{N}$ se mantêm em torno de 10‰ , indicativo de aporte de matéria orgânica de origem de plantas C_3 e provavelmente associada também às algas (MEYERS, 2003). Estes valores, associados à litologia que apresentou argila escura e areia orgânica escura no mesmo intervalo (46-12 cm), caracterizaram a presença do mangue moderno no testemunho. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de $11,8\text{‰}$ na camada 126-124 cm até $3,9\text{‰}$ na camada 34-32 cm e são indicativos de matéria orgânica predominantemente de algas (MEYERS, 2003).

Conclusões

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C da matéria orgânica dos solos da Ilha de Fernando de Noronha não indicaram trocas significativas de vegetação durante o Holoceno. Portanto, as trocas climáticas que ocorreram durante o Holoceno inferior e médio nas regiões Nordeste e Amazônica não foram observadas em Noronha, e este aspecto pode estar associado ao efeito moderador do oceano no clima da ilha.

O material basal e central (até ~30 cm) do testemunho coletado na Lagoa da Viração é, provavelmente, produto de alteração da rocha em ambiente relativamente confinado. Na parte superior (de ~20 cm até a superfície), foi observada a presença de pólen bem preservado associado às plantas modernas do entorno da lagoa. Este aspecto foi devido à presença da planta C_3 *Pistia stratiotes*, que colonizou o lago durante as últimas décadas e reduziu a evaporação durante as estações secas.

A litologia do sedimento coletado no manguezal do Sueste mostrou a presença de areia rica em conchas, associada com as trocas do nível do mar durante o Holoceno médio e tardio (~4.200 anos AP e ~2.000 anos AP). Os depósitos de areia e argilas representam ambientes de alta e baixa energia de deposição. O depósito de argila orgânica é claramente ligado à construção da barragem do rio Xaréu durante as últimas décadas.

Os palinórfos bem preservados representam o divisor de águas moderno e a vegetação do mangue e foram observados principalmente na parte recente do registro sedimentar. Semelhante à Lagoa da Viração, a pobre preservação dos palinórfos foi provavelmente devido à oxidação durante as estações secas.

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N nos dois locais indicaram o aporte de matéria orgânica moderna na parte recente de sua história, associada à presença da *Pistia stratiotes* no caso da Lagoa da Viração e o proveniente da vegetação do mangue, no caso do Manguezal do Sueste. Em ambos os casos, não foram observados registros isotópicos relacionados a mudanças significativas de vegetação desde o Holoceno médio.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (01/13262-6 e 01/10828-9), pelo suporte financeiro e pela bolsa de Pós-Doutorado concedida à S.E.M. Gouveia. Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama), pelo apoio administrativo.

Referências bibliográficas

- Almeida, F.F.M. 1955. **Geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha**. Monografia - DNPM, Divisão de Geol. Mineralogia. 181p.
- Arz, H.W.; Patzold, J. & Wefer, G. 1999. **The deglacial history of the western tropical Atlantic as inferred from high resolution stable isotope records of Northeastern Brazil**. Earth and Planetary Science Letters 167:105-117.
- Batistella, M. 1993. **Cartografia ecológica de Arquipélago de Fernando de Noronha**. 232p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Behling, H. & Costa, M.L. 1994. **Studies on Holocene tropical vegetation mangrove and coast environments in the state of Maranhão, NE Brazil**. In: RABASSA, J. & SALEMME, M. (Eds.) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Rotterdam: A.A. Balkema. v.10, p.93-118.
- Behling, H. 1995. **A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history**. Journal of Paleolimnology, 14(3):253-268.
- _____. 1997. **Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 129: 407-422.
- De Oliveira, P.E.; Barreto, A.M.F. & Suguio, K. 1999. **Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 152: 319-337.
- Desjardins, T.; Filho, A.C.; Mariotti, A.; Chauvel, A. & Girardin, C. 1996. **Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios**. Oecologia 108: 749-756.
- Ferraz-Vicentini, K.R. & Salgado-Labouriau, M.L. 1996. **Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil**. Journal of South American Earth Sciences 9: 207-219.
- Freitas, H.A.; Pessenda, L.C.R.; Aravena, R.; Gouveia, S.E.M.; Ribeiro, A.S. & Boulet, R. 2001. **Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter**. Quaternary Research 55: 39-46.
- Gouveia, S.E.M.; Pessenda, L.C.R.; Aravena, R.; Boulet, R.; Roveratti, R. & Gomes, B.M. 1997. **Dinâmica das vegetações durante o Quaternário Recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) do solo**. Geochimica Brasiliensis 11(3): 355-367.
- Gouveia, S.E.M.; Pessenda, L.C.R.; Boulet, R.; Aravena, R. & Scheel-Ybert, R. 1999. **Isótopos do carbono dos carvões e da matéria orgânica do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos do estado de São Paulo**. Anais da Academia Brasileira de Ciências 71(4): 969-980.
- Gouveia, S.E.M.; Pessenda, L.C.R.; Aravena, R.; Boulet, R.; Scheel-Ybert, R.; Bendassoli, J.A.; Ribeiro, A.S. & Freitas, H.A. 2002. **Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil**. Global and Planetary Change 33: 95-106.
- Guerrero, N. 2002. **Ilhas oceânicas. Fernando de Noronha = Ocean islands**. São Paulo: Guerrero Edições. 96p.
- Hecht, J., 1990. **Global warming: back to the future**. New Scientist 128: 38-41.
- IBAMA. 2005. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 05/06/2005.
- Kiehl, E.J. 1979. **Manual de edafologia; relações solo/planta**. São Paulo: Ceres.
- Ledru, M.-P. 1993. **Late Quaternary and climatic changes in Central Brazil**. Quaternary Research 39: 90-98.
- Ledru, M.-P.; Braga, P.I.S.; Soubiès, F.; Fournier, M.; Martin, L.; Suguio, K. & Turcq, B. 1996. **The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 123: 239-257.
- Ledru, M.-P.; Salgado-Labouriau, M.L. & Lorscheitter, M.L. 1998. **Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr BP**. Review of Palaeobotany and Palynology 99: 131-142.
- Ledru, M.-P.; Mourguiart, P.; Ceccantini, G.; Turcq, B. & Sifeddine, A. 2002. **Tropical climates in the game of two hemispheres revealed by abrupt climatic change**. Geology, 30(3): 275-278.

- Ledru, M.-P.; Ceccantini, G.; Gouveia, S.E.M.; López-Sáez, J.A.; Pessenda, L.C.R. & Ribeiro, A.S. 2006. **Millennial-scale climatic and vegetation changes in a northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum.** *Quaternary Science Reviews* 25: 1110-1126.
- Martin, L. & Flexor, J.M. 1989. **Vibro-testemunhador leve: construção, utilização e possibilidades.** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2., Publicação Especial, n.1, 15p.
- Meyers, P.A. 2003. **Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes.** *Organic Geochemistry* 34: 261-289.
- Moraes, A.S. 2002. **Geoquímica da matéria orgânica em sedimentos como registro da evolução ambiental do ecossistema lacustre insular, Lagoa da Viração, arquipélago de Fernando de Noronha.** 56p. Monografia - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1995. **Upper Quaternary palaeoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil.** *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 9: 39-67.
- Pessenda, L.C.R.; Aravena, R.; Melfi, A.J. & Boulet, R. 1996a. **The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil.** *Radiocarbon* 38(2): 191-201.
- Pessenda, L.C.R.; Valencia, E.P.E.; Martinelli, L.A. & Cerri, C.C. 1996b. **¹⁴C measurements in tropical soil developed on basic rocks.** *Radiocarbon* 38(2): 203-208.
- Pessenda, L.C.R.; Valencia, E.P.E.; Aravena, R.; Telles, E.C.C. & Boulet, R. 1998a. **Paleoclimate studies in Brazil using carbon isotopes in soils.** In: Wasserman, J.C.; Silva-Filho, E.; Villas-Boas, R. (Eds.) *Environmental geochemistry in the tropics.* Berlin: Springer-Verlag, p.7-16.
- Pessenda, L.C.R.; Gouveia, S.E.M.; Ledru, M.-P.; Aravena, R.; Ricardi-Branco, F.S.; Bendassolli, J.A.; Ribeiro, A.S.; Saia, S.E.M.G.; Sifeddine, A.; Menor, E.A.; Oliveira, S.M.B.; Cordeiro, R.C.; Freitas, A.M.M.; Boulet, R. & Filizola, H.F. **Interdisciplinary paleovegetation study in the Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), northeastern Brazil.** *Palaeoclimatology, Palaeogeography, Palaeoecology*, submetido.
- Pessenda, L.C.R.; Gomes, B.M.; Aravena, R.; Ribeiro, A.S.; Boulet, R. & Gouveia, S.E.M. 1998b. **The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region.** *The Holocene* 8(5): 631-635.
- Pessenda, L.C.R.; Gouveia, S.E.M.; Aravena, R.; Gomes, B.M.; Boulet, R. & Ribeiro, A.S. 1998c. **¹⁴C dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region.** *Radiocarbon* 40(2): 1013-1022.
- Pessenda, L.C.R.; Boulet, R.; Aravena, R.; Rosolen, V.; Gouveia, S.E.M.; Ribeiro, A.S. & Lamotte, M. 2001. **Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region.** *The Holocene* 11(2): 250-254.
- Pessenda, L.C.R.; Ribeiro, A.S.; Gouveia, S.E.M.; Aravena, R.; Boulet, R. & Bendassolli, J.A. 2004. **Vegetation dynamics during the Late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão state, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter.** *Quaternary Research* 62: 183-193.
- Pessenda, L.C.R.; Ledru, M.-P.; Gouveia, S.E.M.; Aravena, R.; Ribeiro, A.S.; Bendassolli, J.A. & Boulet, R., 2005. **Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records.** *The Holocene* 15(6): 814-822.
- Ridley, H.N. 1888. **Notes on the Botany of Fernando Noronha.** *Linnean Society's Journal, Botany* 27: 1-95.
- Roth, L. & Lorscheitter, M.L. 1993. **Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil.** *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 8: 39-69.
- Sanford-Junior, R.L.; Saldarriaga, J.; Clark, K.E.; Uhl, C. & Herrera, R. 1985. **Amazon rain-forest fires.** *Science* 227: 53-55.
- Sifeddine, A.; Frohlich, F.; Fournier, M.; Martin, L.; Servant, M.; Soubières, F.; Suguio, K. & Ribeiro, C.V. 1994. **La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cour des 30.000 derniers années (Carajás, Amazonie, Brésil).** *Géosciences de surface/surface Géosciences*, p.1645-1652.
- Soubies, F. 1979-1980. **Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6000-3000 ans B.P.).** *Cahiers ORSTOM. Serie Géologie* 11(1): 133-148.