



cena

Universidade de São Paulo

Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Série Didática nº 2

Estudos Interdisciplinares na Reconstrução Milenar da Dinâmica Climática, da Vegetação e Marinha no Brasil

Luiz Carlos Ruiz Pessenda
Antonio Álvaro Buso Junior
Susy E. M. Gouveia
Flávio de Lima Lorente
Mariah Izar Francisquini

**ESTUDOS INTERDISCIPLINARES NA RECONSTRUÇÃO MILENAR DA DINÂMICA
CLIMÁTICA, DA VEGETAÇÃO E MARINHA NO BRASIL**

**Luiz Carlos Ruiz Pessenda
Antonio Álvaro Buso Junior
Susy E. M. Gouveia
Flávio de Lima Lorente
Mariah Izar Francisquini**

**CENA/USP
Laboratório Carbono 14**

Luiz Carlos Ruiz Pessenda
Antonio Álvaro Buso Junior
Susy E. M. Gouveia
Flávio de Lima Lorente
Mariah Izar Francisquini

CENA/USP
Laboratório de Carbono 14
Av. Centenário, 303
São Dimas
13416-000- Piracicaba, SP – BRASIL
pessenda@cena.usp.br

Fotos gentilmente cedidas por:

Antonio Alvaro Buso Junior
Leonardo Merçon (Capa)
Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Pessenda, Luiz Carlos Ruiz

Estudos interdisciplinares na reconstrução milenar da dinâmica climática, da vegetação e marinha no Brasil / Luiz Carlos Ruiz Pessenda; Antonio Álvaro Buso Junior; Susy E. M. Gouveia; Flávio de Lima Lorente; Mariah Izar Francisquini. - 2. ed. rev. Piracicaba: CENA/USP, 2015. (Série Didática, v. 2)

153 p.: il.

1. Paleoclimatologia 2. Paleoecologia 3. Paleobotânica I. Pessenda, Luiz Carlos Ruiz II. Buso Junior, Antonio Álvaro; III. Gouveia, Susy E. M.; IV. Francisquini, Mariah Izar; V. Lorente, Flávio de Lima VI. Título VII. Série

CDU 551.583.7

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Apresentação

Neste documento encontra-se o segundo volume da Série Didática envolvendo conceitos básicos sobre a datação ^{14}C , de indicadores isotópicos e biológicos e seu emprego nos estudos de reconstrução do paleoambiente (clima, vegetação e dinâmica marinha), com base nas pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório ^{14}C em distintas regiões do Brasil. Essas informações atualizam e complementam as publicadas no volume anterior em 1998, que se encontra na forma digitalizada na homepage do Laboratório ^{14}C

O Laboratório ^{14}C do CENA/USP iniciou suas atividades de rotina em 1990 após intercomparações de resultados com Laboratórios ^{14}C do Canadá, Estados Unidos e França. Em 1992 participou com sucesso de uma intercomparação laboratorial internacional de resultados, coordenada pela Agência Internacional de Energia Atômica de Viena, com mais 68 participantes. Desde o início das atividades foram analisadas mais de 1300 amostras que incluem conchas, corais, carbonatos de água subterrânea, carvões, madeiras, ossos, sedimentos, solos, turfas, etc, sendo cerca de 70% destinadas aos projetos de pesquisas do laboratório. A principal linha de pesquisa consiste na aplicação dos isótopos do carbono dos solos e o uso de indicadores isotópicos (C, N), biológicos (pólen, diatomáceas, espículas de esponjas, fitólitos) e geoquímicos em sedimentos lacustres, turfeiras, solos de mangue, etc., em estudos de reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) e da dinâmica do nível relativo do mar, desde a região sul até a nordeste e norte do Brasil. Fragmentos de carvão naturalmente soterrados nos solos e micro-fragmentos encontrados nos sedimentos, também são passíveis de datação, registrando os paleoincêndios (naturais e antrópicos) dos últimos milênios. Através de resultados das pesquisas realizadas até o momento, um modelo de reconstrução milenar da dinâmica da vegetação em várias regiões brasileiras, com inferências ao clima, indica o predomínio de plantas de ciclo fotossintético C4 (gramíneas) desde aproximadamente 15000 anos até cerca de 6000-4000 anos em locais da região sul e sudeste, cuja vegetação de cobertura atual é de floresta natural. Tais trocas foram relacionadas à provável presença de um período climático mais seco/menos úmido do que o atual desde o Pleistoceno Superior até o Holoceno médio. Posteriormente observou-se o predomínio de plantas C3 (floresta) que se mantém no presente, provavelmente devido ao retorno de um período mais úmido. Na região Amazônica (no estado de Rondônia e em Humaitá, sul do estado do Amazonas) os dados isotópicos do solo indicaram o predomínio de plantas C3 desde 17000 anos atrás até aproximadamente 9000-8000 anos, que foi relacionado à presença de um clima úmido. A partir de aproximadamente 8000 até 3000 anos verificou-se o predomínio de plantas C4, sugerindo a presença de um clima seco/menos úmido. Após esse período os dados indicaram o predomínio de plantas C3 e retorno a um clima mais úmido e similar ao atual da região norte do Brasil. Estes dados apresentaram-se concordantes com informações paleoclimáticas obtidas por outras técnicas na região central e norte (Amazônia). Em algumas localidades circunvizinhas às estudadas, não foram observadas a influência de gramíneas C4 no mesmo período, sugerindo escala local nos processos de expansão e regressão dos ecossistemas floresta-campo. Maiores informações sobre as pesquisas desenvolvidas em várias partes do Brasil são encontradas em publicações nacionais e internacionais e capítulos de livros em pdf, matérias jornalística com cunho científico publicado na Revista Pesquisa FAPESP, além de vídeos didáticos (<http://cena.usp.br/pt/laboratorio-dvtec/carbono-14>).

Este texto apresenta-se em 3 capítulos. O primeiro refere-se aos conceitos básicos das técnicas de datação ^{14}C e dos isótopos estáveis do carbono (^{12}C e ^{13}C) do solo e sedimentos e do nitrogênio (^{14}N , ^{15}N) e de bio-indicadores (pólen e diatomáceas), nos estudos de reconstrução paleoambiental (dinâmica da vegetação e marinha com inferências climáticas). No segundo e terceiro capítulos apresentam-se duas aplicações na área de reconstrução paleoambiental (vegetação e clima e dinâmica marinha), cujos trabalhos foram desenvolvidos nas regiões sudeste (ES) e nordeste (CE, PB, PE e PI) do Brasil.

Capítulo 1

1.1 Datação ^{14}C

O método de datação ^{14}C foi desenvolvido por Willard Frank Libby, pesquisador da Universidade da Califórnia, em 1949 (LIBBY et al., 1949).

O isótopo radioativo ^{14}C (composto por 8 nêutrons e 6 prótons) é formado naturalmente na alta atmosfera pela colisão de um nêutron, originado da ação de raios cósmicos, com um átomo de ^{14}N (composto por 7 nêutrons e 7 prótons). Essa colisão faz com que o ^{14}N perca um próton e ganhe um nêutron, convertendo-se em ^{14}C (Equação 1) (BROECKER, 2003).



Devido ao fato de ser instável o ^{14}C sofre decaimento radioativo, com meia-vida física aproximada de 5730 anos (± 30 anos). No decaimento, um átomo de ^{14}C emite um elétron (partícula beta), um nêutron é convertido em próton, e é originado um átomo de ^{14}N (Figura 1.1).

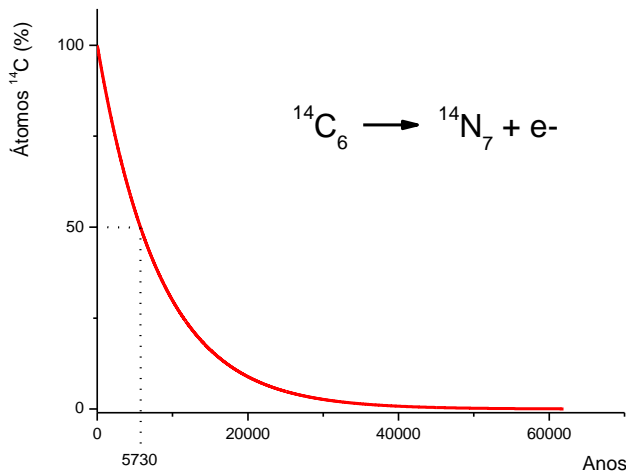


Figura 1.1 – Curva de decaimento radioativo do ^{14}C

Uma vez formado na atmosfera o ^{14}C é oxidado a CO_2 e entra no ciclo global do carbono, juntamente com os isótopos estáveis desse elemento, ^{12}C e ^{13}C . Nesse ciclo, o carbono é incorporado aos organismos vivos pela fotossíntese e pela cadeia alimentar. Como a taxa de produção de ^{14}C na alta atmosfera é tida como relativamente constante, a relação $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} \approx 1,3 \times 10^{-12}$ encontrada no estoque de carbono atmosférico é muito próxima àquela encontrada nos organismos vivos (BROECKER, 2003; NAVE, 2006).

Enquanto a planta ou o animal vivem, continuamente incorporam os diferentes isótopos de carbono aos seus tecidos e mantem a razão $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$. No entanto, com a morte do organismo cessa a incorporação de carbono. A partir desse momento somente a desintegração radioativa do ^{14}C ocorrerá, o que resulta, ao longo do tempo, na redução do conteúdo de ^{14}C na matéria-orgânica restante (BROECKER, 2003).

O método de datação por meio do ^{14}C fundamenta-se na mensuração da quantidade do isótopo radioativo restante em materiais de origem orgânica que em algum momento do passado incorporavam o carbono atmosférico. A partir da medição da quantidade de ^{14}C restante é possível calcular o tempo decorrido desde a morte do organismo, conforme a equação 2 (OKUNO et al., 1986; TEIXEIRA et al., 2009).

$$N = N_0 \left[2^{-\left(t/T_{1/2}\right)} \right] \quad (2)$$

Onde: N é o número de átomos de ^{14}C que ainda não se desintegraram;

N_0 é o número de átomos presentes no instante $t = 0$;

$T_{1/2}$ é a meia vida do ^{14}C ;

t é o intervalo de tempo.

Com base na meia-vida física, é possível a datação de amostras de até ~57 mil anos.

A medição da quantidade de ^{14}C em uma amostra pode ser realizada pela mensuração da radioatividade emitida pelos átomos restantes, como, por exemplo, na cintilação líquida. Nessa técnica, quanto menor a radioatividade detectada, menor a quantidade de ^{14}C . Mais recentemente, a datação ao ^{14}C passou também a ser realizada pela técnica de “Accelerator Mass Spectrometry” – AMS. Essa técnica se baseia na contagem dos próprios átomos de ^{14}C existentes na amostra. Em comparação com a técnica de cintilação líquida a técnica de AMS permite a datação de amostras um pouco mais antigas, menores e com menor margem de erro (BROECKER, 2003).

deVries (1958) foi o primeiro a detectar imperfeições na escala de tempo obtida com as datações ao ^{14}C . Ele verificou que as idades obtidas não correspondiam às idades de calendário conhecidas para algumas amostras. de Vries atribuiu tais desvios a alterações na relação $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ do CO_2 atmosférico, causadas por perturbações no fluxo de raios cósmicos para a atmosfera terrestre (BROECKER, 2003).

Com essa descoberta foram iniciados os trabalhos de calibração das idades obtidas pelas datações ao ^{14}C com os anos de calendário. Uma das fontes de comparação das idades de ^{14}C com os anos de calendário são os anéis de crescimento de árvores, a dendrocronologia. Essa calibração é aplicada a amostras de origem terrestre, cuja fonte de CO_2 é a atmosfera (REIMER et al., 2004). As idades não calibradas obtidas pela datação ^{14}C são expressas pela unidade anos antes do presente – A.P., sendo P o ano de 1950, enquanto que as respectivas idades calibradas são expressas pela unidade anos calendário antes do presente – anos cal. A.P.

A partir da década de 1950 os testes nucleares realizados pelos Estados Unidos e União Soviética causaram o aumento da concentração de ^{14}C na atmosfera. Em janeiro de 1963 a concentração de ^{14}C na atmosfera havia dobrado em relação ao período anterior aos testes nucleares (BROECKER, 2003). A partir de 1965-66 iniciou-se a diminuição da concentração de ^{14}C na alta atmosfera em função da finalização dos testes, mistura das duas atmosferas e o decaimento radioativo, sendo atualmente encontrados valores similares ao início da década de 1950.

A datação com base no ^{14}C tornou-se uma poderosa ferramenta em estudos arqueológicos, geológicos e paleontológicos e no apoio cronológico às investigações sobre paleoclimas recentes, pois permitiu pela primeira vez a datação de materiais orgânicos (TEIXEIRA et al., 2009).

1.2 Ciclos fotossintéticos C3, C4 e CAM

A fotossíntese é o processo bioquímico responsável pela fixação do carbono, a conversão de CO₂ atmosférico em compostos orgânicos.

Dois etapas compõem a fotossíntese: (i) etapa dependente de luz, quando a energia luminosa, absorvida por pigmentos fotossintetizantes tais como a clorofila, é convertida em energia química; (ii) etapa não dependente de luz, quando a energia química da etapa anterior é utilizada para redução do carbono e ligação deste a uma molécula orgânica (RAVEN et al., 1996). A classificação das plantas em C3, C4 ou CAM se refere às características fisiológicas e bioquímicas da etapa não dependente de luz.

As diferenças fisiológicas existentes entre as plantas C3, C4 e CAM possuem implicações ecológicas, na medida em que constituem adaptações a condições ambientais distintas. Além disso, podem resultar em diferenças nas composições isotópicas de carbono da matéria-orgânica vegetal, principalmente entre plantas C3 e C4.

A seguir são descritos, resumidamente, os ciclos fotossintéticos C3, C4 e CAM, além de suas implicações ecológicas e as composições isotópicas do carbono relacionadas a tais ciclos.

1.2.1 Ciclo C3 (Ciclo de Calvin)

No ciclo C3, ou Ciclo de Calvin, a fixação do carbono do CO₂ em moléculas orgânicas é catalisada pela enzima Rubisco (RAVEN et al., 1996). Todas as plantas utilizam o Ciclo de Calvin para fixação do carbono, no entanto, as plantas que utilizam apenas esse ciclo são denominadas plantas C3.

1.2.2 Ciclo C4 (Via Hatch-Slack)

Outra forma de redução e fixação do carbono em moléculas orgânicas utiliza a enzima PEP-carboxilase (RAVEN et al., 1996). As plantas que utilizam a via Hatch-Slack, sempre em conjunto com o Ciclo de Calvin, podem ser denominadas plantas C4. Cerca de 20 famílias de angiospermas apresentam espécies C4, entre elas *Poaceae* e *Cyperaceae*, famílias que apresentam tanto espécies C3 quanto C4.

1.2.3 Plantas CAM (crassulacean acid metabolism)

As plantas CAM, assim como as plantas C4, utilizam tanto a via C4, quanto a via C3. No entanto, nas plantas CAM a fixação do carbono pela PEP-carboxilase ocorre somente na ausência de luz. À noite os estômatos abrem, o que permite a entrada do CO₂ e sua fixação pela PEP-carboxilase (RAVEN et al., 1996). No período seguinte, agora na presença de luz, ocorre a refixação do carbono pela Rubisco (RAVEN et al., 1996). Espécies de plantas CAM ocorrem em pelo menos 23 famílias de angiospermas, como exemplo nas cactáceas e nas bromeliáceas (RAVEN et al., 1996).

1.2.4 Implicações ecológicas dos diferentes ciclos fotossintéticos

A Rubisco, enzima que catalisa a fixação do carbono no Ciclo de Calvin, também pode causar a oxidação do carbono quando na presença do O₂. Dessa forma, as plantas C3, as quais utilizam somente o Ciclo de Calvin para fixação do carbono, podem ter até 50% de seu carbono já fixado reoxidado a CO₂ pelo processo de fotorrespiração (RAVEN et al., 1996).

No caso das plantas C4, o sítio de atuação da Rubisco possui alta concentração de CO₂, o que ocasiona taxas muito pequenas de fotorrespiração e, conseqüentemente, alta eficiência fotossintética (RAVEN et al., 1996).

A enzima PEP-carboxilase, que promove a carboxilação na via Hatch-Slack, não é inibida pelo O₂. Assim, as plantas C4 utilizam com maior eficiência o CO₂ disponível na atmosfera. Em conseqüência, mesmo com menor abertura estomática as plantas C4 podem atingir a mesma taxa fotossintética que as plantas C3, e ainda obter o benefício de economia de água (RAVEN et al., 1996).

Além disso, a evolução das plantas C4 ocorreu inicialmente em regiões tropicais, portanto elas são especialmente adaptadas a altas intensidades luminosas, temperaturas mais elevadas e climas mais secos quando em comparação com as plantas C3. A temperatura ótima para a atividade fotossintética das plantas C4 é maior que a das plantas C3 (RAVEN et al., 1996).

Nas plantas CAM, o fechamento dos estômatos durante os períodos luminosos ocasiona reduzida capacidade de fixação de CO₂ e crescimento lento. Em contrapartida as plantas CAM apresentam alta eficiência no uso da água (RAVEN et al., 1996).

1.2.5 Composição isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) resultante dos ciclos fotossintéticos

A composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) das amostras analisadas em um espectrômetro de massas é medida em comparação com a composição isotópica do padrão Viena Pee Dee Belemnite – VPDB, um molusco fóssil. A razão molar $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do padrão VPDB é igual a 0,01124 (FARQUHAR et al., 1989). A composição isotópica de uma amostra ($\delta_{amostra}$) em comparação com o padrão VPDB é dada pela equação 3.

$$\delta_{amostra} = \frac{R_{amostra} - R_{PDB}}{R_{PDB}} = \frac{R_{amostra}}{R_{PDB}} - 1 \quad (3)$$

Assim, $\delta_{amostra}$ indica o desvio da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra ($R_{amostra}$) em relação à razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do padrão VPDB (R_{PDB}).

Por envolver números geralmente pequenos, é costume na literatura multiplicar o resultado obtido na equação 3 por mil:

$$\delta_{amostra}(\text{‰}) = \left(\frac{R_{amostra}}{R_{PDB}} - 1 \right) \times 1000 \quad (4)$$

Bender (1971) dividiu as plantas vasculares em dois grupos, de acordo com a composição isotópica do carbono de sua matéria-orgânica: (i) plantas de ciclo fotossintético C3, cujo $\delta^{13}\text{C}$ normalmente está entre -33‰ e -20‰; (ii) plantas de ciclo fotossintético C4, com $\delta^{13}\text{C}$ entre -17‰ e -9‰.

As plantas CAM, por outro lado, podem apresentar valores de $\delta^{13}\text{C}$ muito variáveis. As espécies que apresentam o metabolismo CAM obrigatório possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ comparáveis aos das plantas C4, enquanto que aquelas espécies que apresentam metabolismo CAM facultativo possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -28‰ e -10‰, indistinguíveis daqueles encontrados nas plantas C3 ou C4 (BOUTTON, 1996).

1.3 Isótopos do carbono e nitrogênio em estudos paleoambientais

1.3.1 Dinâmica da vegetação com base no $\delta^{13}\text{C}$ da matéria-orgânica dos solos

Como visto anteriormente, plantas vasculares podem ser divididas em dois grupos de acordo com sua composição isotópica, plantas C3 e plantas C4 (BENDER, 1971), as quais representam grupos com diferentes características ecológicas. De acordo com Troughton et al. (1974) a composição isotópica do carbono da matéria-orgânica preservada no perfil do solo reflete a ocorrência de plantas C3 e plantas C4 nas comunidades vegetais pretéritas. Essa informação tem sido utilizada como registro das mudanças de vegetação e como base para inferências paleoclimáticas.

Mais à frente serão apresentados alguns estudos sobre a dinâmica da vegetação durante o Holoceno nas regiões sudeste e nordeste do Brasil. Nesses trabalhos várias metodologias foram aplicadas, entre elas a análise de isótopos de carbono na matéria-orgânica do solo.

1.3.2 Flutuações do nível relativo marinho com base em C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

O uso das composições elementar e isotópica do carbono e do nitrogênio no estudo das flutuações do nível relativo marinho se baseia na determinação da origem da matéria-orgânica preservada nos sedimentos, a qual pode representar diversas fontes, tais como fitoplâncton marinho ou de água doce, e plantas vasculares C3 ou C4 (WILSON et al., 2005a).

Plantas vasculares possuem valores de C/N em torno de 20 ou mesmo maiores, devido ao alto conteúdo de celulose e lignina, enquanto que a matéria-orgânica originada de fitoplâncton apresenta valores menores, entre 4 e 10 (MEYERS, 1994).

Com relação à composição isotópica do carbono, as plantas vasculares podem ser divididas em dois grupos (BENDER, 1971), conforme descrito em item anterior.

Rau et al. (1989) relacionam o $\delta^{13}\text{C}$ do fitoplâncton marinho à concentração de CO_2 dissolvido, a qual, por sua vez, se relaciona com a temperatura da água. Em latitudes sul-tropicais o fitoplâncton marinho apresenta $\delta^{13}\text{C}$ ao redor de -21‰ (RAU et al., 1989). Em um ambiente costeiro no sudeste do Brasil, Matsuura e Wada (1994) obtiveram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -21,7‰ e -20,5‰ para o fitoplâncton marinho e entre -22,4‰ e -20,9‰ para sedimento marinho.

Em ambientes aquáticos continentais o CO_2 dissolvido é geralmente influenciado por matéria-orgânica de origem terrestre (DEINES, 1980). Em um estudo com isótopos estáveis em um ecossistema de lagos de água-doce no Brasil, Wada et al. (1989) encontraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -14,2‰ e -10,2‰ para o carbono inorgânico dissolvido, entre -37,2‰ e -28,3‰ para matéria-orgânica planctônica, e valores entre -33,5‰ e -32‰ para o sedimento lacustre.

O nitrogênio inorgânico dissolvido, o qual constitui a principal fonte para o fitoplâncton tanto marinho quanto de água-doce, tende a ser enriquecido em ^{15}N entre 7‰ e 10‰ quando comparado com a fonte de nitrogênio disponibilizado para as plantas terrestres pela fixação biológica. Essa diferença de $\delta^{15}\text{N}$ entre o fitoplâncton e as plantas terrestres pode ser preservada nos sedimentos (MEYERS, 2003). Matsuura e Wada (1994) encontraram valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 4,1‰ e 6‰ para sedimento marinho do litoral sudeste do Brasil. Wada et al. (1989) encontraram valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 2,6‰ e 3,5‰ para sedimentos lacustres do Vale do Rio Doce.

Entretanto, o processo de decomposição pode causar alterações nos valores de C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da matéria-orgânica sedimentar residual. A decomposição tende a produzir convergência das razões C/N do material degradado de origem marinha e terrestre (THORNTON; McMANUS, 1994). A matéria-orgânica

residual tende a ser enriquecida em ^{13}C devido a efeitos cinéticos relacionados à decomposição (MACKO; ESTEP, 1984), enquanto que o material residual rico em lignina tende a ser empobrecido em ^{13}C quando comparado à fonte não decomposta (BENNER et al., 1987). Diversos processos bioquímicos (como amonificação, nitrificação, desnitrificação etc) produzem fracionamento cinético do ^{15}N , causando enriquecimento de ^{15}N na matéria-orgânica residual (OWENS, 1987).

Alguns estudos mensuraram as composições isotópica e elementar do carbono e do nitrogênio em sedimentos e na matéria-orgânica particulada (MOP) ao longo de estuários, com o objetivo de caracterizar a fonte de matéria-orgânica. Thornton e McManus (1994) sugerem somente o $\delta^{13}\text{C}$ como um bom indicador, pois o $\delta^{15}\text{N}$ e C/N seriam suscetíveis a grandes variações devido a processos diagenéticos. Mariotti et al. (1984) sugerem que o $\delta^{15}\text{N}$ é um bom indicador da origem da matéria-orgânica em suspensão no estuário do Rio Scheldt, Inglaterra. Esses autores distinguiram um componente marinho, com $\delta^{15}\text{N}$ médio de 8‰, um componente continental com valores de 1,5‰, e matéria-orgânica de origem estuarina, produzida “in situ” durante o verão, com valores de $\delta^{15}\text{N}$ maiores que aqueles encontrados para as fontes marinha e continental. Middelburg e Nieuwenhuize (1998) distinguiram quatro fontes de MOP no estuário do Rio Scheldt: terrestre (C/N \approx 21, $\delta^{13}\text{C} \approx$ -26‰, $\delta^{15}\text{N} \approx$ +3,5‰), marinha (C/N \approx 8, $\delta^{13}\text{C} \approx$ -18‰, $\delta^{15}\text{N} \approx$ +9‰), estuarina (C/N \approx 8, $\delta^{13}\text{C} \approx$ -29‰, $\delta^{15}\text{N} \approx$ +15‰) e fluvial (C/N \approx 7,5, $\delta^{13}\text{C} \approx$ -30‰, $\delta^{15}\text{N} \approx$ +9‰).

Wilson et al. (2005b) concluíram que a elevação do terreno dentro do nível de variação da maré é o principal fator que controla a contribuição relativa de MOP marinha e terrestre para sedimentos superficiais estuarinos. Os autores argumentam que essa relação pode também ser aplicada em estudos de flutuações do nível relativo marinho. Wilson et al. (2005a) sugerem que o $\delta^{13}\text{C}$ e C/N, quando utilizados em conjunto, são indicadores muito úteis em estudos de oscilações do nível relativo marinho, sendo que as mudanças graduais nos valores obtidos, e as direções indicadas por essas mudanças, são o fator mais importante a ser considerado. Wilson et al. (2005a) também sugerem que sedimentos com baixo conteúdo orgânico apresentam alterações mínimas no $\delta^{13}\text{C}$ devido à decomposição.

1.3.3 C/N da matéria orgânica sedimentar

Os valores de C/N de sedimentos lacustres e costeiros podem ser usados para distinguir os dois principais tipos de matéria orgânica: (a) sem estrutura celulósica, originária de algas, com razões entre 4 e 10, e (b) com estrutura celulósica, produzidas por plantas terrestres com razões \geq 20 (MEYERS, 1994).

Em combinação com os dados isotópicos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), a C/N obtida a partir da análise elementar da matéria orgânica é usada para distinguir entre os diferentes tipos de matéria orgânica de origem marinha e terrestre. Estudos em ambientes costeiros indicaram valores de C/N acima de 12 para plantas terrestres e, em geral entre 5 e 9 para matéria orgânica originada do fitoplâncton marinho (WILSON et al., 2005) (Figura 1.2).

Os valores de C/N algumas vezes podem apresentar erros na indicação da origem da matéria orgânica sedimentar. O problema mais comum ocorre devido às medidas de carbono e nitrogênio que permanecem nas amostras de sedimento após a remoção de carbonatos e, deste modo, um valor de nitrogênio residual que combina tanto o nitrogênio orgânico quanto o inorgânico. Na maioria dos sedimentos as concentrações de nitrogênio inorgânico são menores comparadas às de nitrogênio orgânico. Sedimentos que têm baixa concentração de matéria orgânica (< 0,3%) podem algumas vezes apresentar o nitrogênio inorgânico como uma grande fração do nitrogênio residual e, dessa forma o C/N baseado no nitrogênio residual pode ser alterado (MEYERS, 2003).

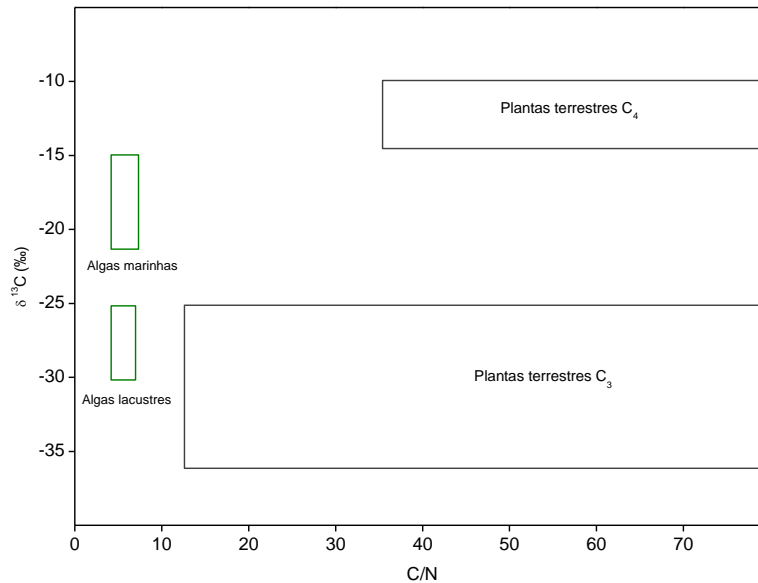


Figura 1.2 - Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N das fontes de matéria orgânica em sedimentos lacustres e marinhos. Modificado de Meyers (2003) e Wilson et al. (2005)

1.3.4 $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica sedimentar

Os isótopos estáveis do nitrogênio (^{14}N e ^{15}N) são menos utilizados em estudos ambientais do que os isótopos do carbono. Alguns fatores como a menor abundância fracional de ^{15}N do que ^{13}C na biosfera, a pequena discriminação observada na natureza e a maior complexidade do ciclo do nitrogênio em relação ao ciclo do carbono contribuíram para esse fato (BOUTTON, 1996b). Mesmo assim, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica sedimentar também podem ajudar na identificação da origem das fontes de lagos e de estuários.

O nitrogênio ocorre abundantemente em proteínas e ácidos nucleicos, os quais são encontrados principalmente em plantas não vasculares, por exemplo, fitoplâncton e bactérias. Lignina e celulose, os quais são componentes dominantes de plantas vasculares (principalmente terrestres), são pobres em nitrogênio (TALBOT; JOHANNESSEN, 1992).

Para a definição de $\delta^{15}\text{N}$, a seguinte equação é usada:

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{ar}}}{R_{\text{ar}}} \times 1000 \quad (5)$$

onde $R = ^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para a razão isotópica do nitrogênio.

A aplicação dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ para identificar as fontes de matéria orgânica é estabelecida pela diferença entre a razão $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de reservatórios de nitrogênio disponíveis para plantas, tanto aquáticas quanto terrestres. A diferença entre as duas fontes de nitrogênio é fortemente preservada nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica com algas (+8,5‰) e com plantas terrestres (+0,5‰) (PETERSON; HOWARTH, 1987).

1.4 Palinologia

O conhecimento dos ecossistemas pretéritos por meio do estudo estratigráfico dos fósseis contidos em sedimentos fornece subsídios à compreensão da evolução ecológica de uma região e de suas possíveis mudanças. Entre esses fósseis podemos citar os grãos de pólen, que são fontes seguras de informação sobre a vegetação que esteve presente em diferentes áreas da Terra em épocas diversas.

O pólen, juntamente com os demais palinomorfos (todas as formas de microfósseis encontradas nas preparações palinológicas), se deposita na superfície, em locais com condições favoráveis de sedimentação, tais como, lagos, pântanos, turfeiras e terrenos alagadiços. Nestes locais o pólen é preservado e vai se depositando em camadas. Com o acúmulo dessas camadas sucessivas, os depósitos vão se estratificando ao longo do tempo geológico.

Em 1916 o geólogo sueco Lennart von Post publicou um trabalho pioneiro realizado no sul da Suécia sobre a importância do pólen fóssil como instrumento para se interpretar a história climática e da vegetação. Este trabalho demonstrou que por meio de sondagens em turfeiras poder-se-ia retirar amostras em diferentes profundidades e após o devido tratamento químico, identificar e contar os grãos de pólen para a reconstituição da flora e, conseqüentemente, do clima da região estudada (SALGADO-LABOURIAU, 1961).

A metodologia para a interpretação paleoecológica, a partir da análise palinológica, fundamenta-se no fato de que todos os tipos polínicos conservados em testemunhos do Quaternário são suscetíveis de comparação com gêneros modernos, uma vez que não ocorreu extinção de plantas (BARBERI, 2001).

Os grãos de pólen e os esporos possuem um envoltório externo, a exina, constituída de esporopolenina, que é elástica e tem grande resistência ao ataque por agentes químicos redutores, possibilitando a preservação dos grãos quando depositados em ambientes redutores, como lagoas e turfeiras. Além disso, possuem características morfológicas próprias como formas, dimensões, ornamentações e aberturas, que permitem sua classificação em grupos taxonômicos distintos (SALGADO-LABOURIAU, 1984).

As variações climáticas ocorridas no Pleistoceno e Holoceno provocaram mudanças na vegetação, que foram registradas pelo conteúdo polínico em sedimentos lacustres e turfeiras. A análise palinológica tornou-se uma ferramenta importante dentro dos estudos paleoclimáticos do Quaternário em regiões continentais, complementando os dados provenientes de testemunhos marinhos e de gelo (BRADLEY, 1999). Porém, é importante lembrar que o registro palinológico do Quaternário também engloba mudanças na cobertura vegetal causadas por alterações antropogênicas, tais como o uso da terra para monoculturas, queimadas, etc. Estas mudanças também podem ser registradas pelas assembléias polínicas. Por isso, é importante saber qual é a escala temporal e espacial do estudo polínico, para poder separar os sinais climáticos dos causados por outros fatores (AMARAL, 2003).

As reconstituições paleoambientais/paleoclimáticas através da palinologia são possibilitadas por quatro atributos básicos dos grãos de pólen (FAEGRI; IVERSEN, 1989; BRADLEY, 1999):

- determinação da família, gênero e algumas vezes espécie vegetal, através das características morfológicas dos grãos de pólen;
- produção em grande quantidade e alta capacidade de dispersão pelo vento, água, insetos ou animais;
- são extremamente resistentes à degradação em determinados ambientes sedimentares;
- refletem a vegetação no tempo da deposição do pólen.

Os diferentes tipos de vegetação possuem alguns elementos característicos que podem defini-las. Os representantes de tipos específicos da vegetação são chamados de táxons indicadores e os estudos da chuva polínica moderna são necessários para definir esses táxons. Uma vez definida a associação de táxons indicadores, esta pode ser utilizada como indicadora de parâmetros climáticos responsáveis por mudanças da vegetação, tais como, a duração da estação seca ou a temperatura média no inverno (LEDRU, 2002).

Os manguezais também são bons locais para estudos palinológicos, principalmente os que se desenvolvem em substratos lamosos, pois são propícios para a deposição e preservação dos grãos de pólen e esporos. Além disso, o substrato lamoso dos manguezais é normalmente anóxico e esta condição garante a boa preservação do registro polínico.

Entretanto, alguns aspectos da sedimentação dentro do manguezal devem ser levados em consideração ao se realizar a análise palinológica. Como os manguezais ocupam a zona de intermaré, os sedimentos podem ser redistribuídos por correntes de maré, causando mistura do registro palinológico. Outro aspecto importante a ser considerado é a remobilização dos sedimentos por agentes bioturbadores, como os caranguejos.

Os estudos dedicados à interpretação do registro palinológico em manguezais têm demonstrado que, apesar das limitações impostas pela bioturbação e redistribuição dos sedimentos pela ação da maré, os resultados da análise palinológica podem fornecer informações importantes sobre a história da vegetação neste ecossistema, além de contribuir com dados para a reconstrução de alterações do nível do mar e da evolução sedimentar costeira (BLASCO et al., 1996; SUGUIO, 1999; GRINDROD et al., 2002).

1.5 Diatomologia

O uso de diatomáceas em interpretações paleolimnológicas está baseado no conhecimento atual dos ambientes e da ecologia de espécies contemporâneas. As diatomáceas são organismos abundantes e amplamente distribuídos em todo o planeta. Embora cerca de 70% das espécies sejam cosmopolitas, ocupam habitats distintos e diversos, e podem ser consideradas indicadoras (HUTTUNEN; MERILAINEN, 1983).

As diatomáceas são usadas neste tipo de estudo devido à resistência de suas paredes celulares, impregnadas por sílica (60% do peso seco da célula correspondem a este elemento, sendo resistente à decomposição). Sua parede celular conhecida como frústula (que possui a maioria das características necessárias para a sua identificação), é dividida em duas unidades ornamentadas, chamadas valvas, unidas por uma estrutura fina e em camadas, conhecida como cingulo (ROUND et al., 1990). Em geral, estão bem preservadas em sedimentos lacustres por longo período de tempo.

A assembleia de diatomáceas preservadas nos sedimentos pode refletir indiretamente a qualidade da água, especialmente pH, alcalinidade, salinidade, estado trófico, profundidade, entre outras. Estas interpretações podem ser entendidas e relacionadas a mudanças na vegetação terrestre próxima e no solo local, ao impacto de desmatamentos e incêndios, a tectonismo, bem como a mudanças climáticas (BATARBEE, 1986).

Em ambientes lacustres o registro de diatomáceas inclui, por exemplo, estudos sobre a natureza de lagos no último período glacial (FLORIN, 1970; HAWORTH, 1976), nível da água e mudanças climáticas associadas (BRADBURY et al., 1981; GASSE; STREET, 1978; RICHARDSON; RICHARDSON, 1972) e perturbação nos lagos como resultado de atividade humana (BATTARBEE, 1984; BRUGAM, 1978). Na interface de ambientes de água doce e salinos o registro das diatomáceas é utilizado para identificar, por exemplo, os eventos de transgressões e regressões marinhas e as posições de linhas de costa em tempos pretéritos (Florim¹ citado por BATARBEE, 1986; YBERT et al., 2003).

¹ FLORIN, M.B. En sensubarktisk transgression I trakten av Södra Kilsbergen enligt diatomacé-succession I omradets högre belägna fornsjölagerföljder. **Geol. Fören. Förh.**, 66: 417-488, 1944.

Capítulo 2

2.1 Aplicações em estudos de reconstrução paleoambiental. Vegetação, clima e dinâmica marinha - Região Sudeste

Os estudos sobre os paleoclimas do Holoceno, além de permitirem uma melhor compreensão da evolução pretérita dos componentes biótico e abiótico atuais, em relação à sua distribuição e diversidade, também servem de base para as tentativas de prognóstico das futuras mudanças ambientais (SUGUIO, 1999). Assim, como um de seus objetivos principais, esses estudos buscam uma caracterização cada vez mais precisa e detalhada das variações do paleoclima, tanto temporal quanto espacialmente.

Classificado como a última época do Quaternário, o Holoceno corresponde, aproximadamente, aos últimos 11 mil anos. As mudanças paleoclimáticas do Holoceno se relacionam com o componente abiótico e com a distribuição da fauna e da flora. A história climática é um dos fatores que determina a atual distribuição e composição das comunidades vegetais e animais de uma região.

Atualmente a gama de ferramentas utilizadas nos estudos paleoambientais é bem diversa, tais como a interpretação da geomorfologia, a análise de grãos de pólen e esporos preservados em sedimentos, análises isotópicas e elementares da matéria-orgânica do solo etc. De um modo geral os dados obtidos em tais análises devem ser relacionados a uma cronologia, normalmente estabelecida por métodos de datação, e constituem a base das inferências paleoclimáticas.

Com relação às regiões sudeste e nordeste do Brasil, os trabalhos até agora realizados têm conduzido a um modelo da evolução paleoclimática holocênica para essas regiões. De acordo com esse modelo, o período entre o Holoceno inferior e o Holoceno médio é caracterizado por climas menos úmidos que o atual em ambas as regiões. A partir do Holoceno médio até o presente, a tendência é de climas mais úmidos, semelhantes ao atual (SERVANT et al., 1989; LEDRU, 1993; LEDRU et al., 1998; PESSEDA et al., 2004a; 2009).

Outra importante questão paleoambiental holocênica, se refere às flutuações do nível relativo marinho na costa leste brasileira durante a última transgressão. Atualmente, distintas curvas são apresentadas e debatidas (MARTIN et al., 2003; ANGULO et al., 2006), as quais divergem, basicamente, com relação ao início da transgressão holocênica, seu nível mais alto, e a existência ou não de flutuações de alta frequência.

Com base no exposto acima, tem-se por objetivo estudar a dinâmica da vegetação com inferências aos paleoclimas e às flutuações do nível relativo marinho, durante o Holoceno, na região nordeste do estado do Espírito Santo, por meio de um enfoque interdisciplinar, cujas principais ferramentas são a datação ^{14}C , a análise isotópica de carbono e nitrogênio e a palinologia.

A região escolhida para o estudo apresenta características bastante interessantes, pois é uma área de transição entre as regiões nordeste e sudeste, possui vegetação natural bem preservada, além de lagoas e pântanos propícios para a obtenção dos dados paleoambientais. Além desses aspectos, o local de estudos situa-se próximo à costa e apresenta uma geomorfologia apropriada aos estudos sobre a última transgressão marinha.

2.2 Tipos de vegetação mais relevantes para o presente estudo

2.2.1 Manguezal

Manguezais são ecossistemas costeiros tropicais, dominados por espécies arbóreas adaptadas morfológica e fisiologicamente a condições inter-marés. As principais condições ambientais que favorecem o pleno desenvolvimento do manguezal são a topografia adequada, alta amplitude de marés, alta pluviosidade, grande aporte de água doce, nutrientes e sedimentos (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

O padrão de zonação entre as espécies de manguezal é função de suas diferentes adaptações. Segundo Cronk e Fennessy (2001) os manguezais da Flórida e de Porto Rico apresentam o seguinte padrão: *Rhizophora mangle* coloniza as áreas mais próximas ao mar, sob maior influência das marés; mais para o interior, em áreas um pouco mais elevadas e com menor influência das marés, ocorre *Avicennia germinans*, a qual é mais tolerante a substratos com maior concentração salina; *Laguncularia racemosa* ocorre em áreas com menor concentração salina e melhor drenagem.

No Brasil os manguezais ocorrem desde 4°30'N até 28°30'S, sob uma grande diversidade de condições ambientais (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). Como consequência da ampla dispersão geográfica e da diversidade de condições ambientais, os manguezais brasileiros apresentam diferentes características estruturais. Como exemplo, na região norte, onde as condições ambientais são ótimas para seu desenvolvimento, o gênero *Rhizophora* pode apresentar indivíduos de até 40 metros de altura, enquanto que no sul do país o gênero pode estar presente na forma de arbustos de 1,5 metro de altura (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

Os manguezais neotropicais apresentam baixa diversidade, no Brasil ocorrem apenas quatro gêneros e sete espécies. Os principais gêneros são *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia*, os quais apresentam espécies arbustivas e arbóreas. Schaeffer-Novelli et al. (1990) realizaram um estudo sobre a variabilidade dos ecossistemas de manguezal ao longo da costa brasileira. Segundo esses autores, embora o clima influencie a colonização e o desenvolvimento dos manguezais, o padrão de zonação encontrado entre as espécies é função da topografia, das características edáficas e hidrológicas de cada local. Os autores também não encontraram evidências de processos sucessionais nos padrões de zonação encontrados. Assim, de acordo com Schaeffer-Novelli et al. (1990), os três principais gêneros arbóreos possuem o seguinte padrão de distribuição: *Rhizophora* na maioria das vezes ocupa áreas com maior influência das marés, locais geralmente mais baixos, com maior frequência e duração das inundações; *Avicennia* e *Laguncularia* colonizam áreas mais elevadas, com menor frequência e duração das inundações pelas marés, sendo que *Laguncularia* pode ser mais freqüente em áreas de sedimentação mais recente.

2.2.1.1 Palinologia de manguezais

Segundo Ellison (2008), algumas características dos manguezais são muito favoráveis à obtenção de um registro polínico de seu desenvolvimento ao longo do tempo. A vegetação densa, a localização em locais abrigados da ação das ondas, e a influência das marés, criam condições adequadas à sedimentação. A umidade presente no substrato cria condições redutoras que favorecem a preservação da matéria-orgânica e dos grãos de pólen e esporos. Portanto, apesar de os manguezais não constituírem um sistema fechado, tais como lagoas e turfeiras, onde tradicionalmente a análise polínica é realizada, ainda assim os resultados obtidos permitem interpretações relativas a mudanças ambientais.

A interpretação palinológica em relação aos ambientes de manguezais tem sido baseada na análise de diagramas polínicos de porcentagem, onde valores superiores a 45% ou 50% de táxons de manguezal indicam a presença desse ambiente exatamente no local estudado (ELLISON, 2008). Behling et al. (2001) em um estudo de chuva polínica realizado no litoral nordeste do estado do Pará, encontraram as seguintes concentrações:

- pólen de *Rhizophora*: concentrações superiores a 90% em manguezal dominado por esse táxon e em manguezal misto com *Avicennia*; concentrações entre 60% a 85% em manguezal de *Avicennia*; concentrações entre 15% e 40% em ecossistemas de campo e restinga adjacentes a manguezais;
- pólen de *Avicennia*: concentrações entre 2% e 5% em manguezal misto com *Rhizophora*; entre 15% e 35% em manguezal dominado por *Avicennia*; concentrações menores que 1% em ecossistemas adjacentes.

Urrego et al. (2009) correlacionam a assembléia polínica moderna à estrutura e à composição dos manguezais da Baía de Cispatá, Colômbia. *Rhizophora* apresentou as maiores concentrações polínicas, seguida de *Laguncularia* e *Avicennia*. Concentrações de *Rhizophora* em torno de 70% foram encontradas em áreas ocupadas por populações antigas (cerca de 300 anos) e bem desenvolvidas dessa espécie, com indivíduos de altura média de 25 metros. Concentrações menores, de até 58%, foram encontradas em manguezais dominados por *Rhizophora*, mas em estágio sucessionais menos avançado.

Concentrações de *Laguncularia* em torno de 30% ocorreram em áreas onde a população da espécie apresentava avançado desenvolvimento estrutural. *Avicennia* apresentou as concentrações mais baixas (normalmente em torno de 2%) mesmo em áreas onde a população era dominante. Segundo os autores, mesmo ocorrendo em concentrações menores, grãos de pólen de *Laguncularia* e *Avicennia* podem ser utilizados como indicadores ambientais. O primeiro indicaria perturbações em manguezais localizados em locais de baixa salinidade, enquanto que *Avicennia* indicaria manguezais desenvolvidos sobre áreas com maior concentração salina.

No entanto, estudos de chuva polínica moderna em manguezais da costa sudeste brasileira têm mostrado valores de concentração bastante diferentes. Em Itanhaém, São Paulo, do Amaral et al. (2006) relatam concentrações de 2% para *Rhizophora* e 0,4% para *Avicennia* em amostras de chuva polínica coletadas no interior do manguezal e ausência de pólen de táxons de manguezal na chuva polínica de ecossistemas adjacentes. Além disso, os autores verificaram a grande concentração de pólen alóctone na chuva polínica depositada no manguezal, tal como *Myrtaceae* (10%), *Poaceae* (20% ou mais), *Arecaceae* (8%) e esporos (30%), o que, segundo os autores poderia ser explicado pela proximidade (15 km) das encostas montanhosas da Serra do Mar, recobertas pela Floresta Ombrófila Densa.

A localização dos manguezais em ambientes inter-marés permite que seu registro sedimentar seja utilizado como um preciso indicador de mudanças do nível relativo marinho (ELLISON, 2008).

2.2.2 Mata de tabuleiro

De acordo com Rizzini (1997) a floresta dos tabuleiros se estende desde Pernambuco até o Rio de Janeiro, com área central, representada pela floresta mais imponente, localizada ao sul da Bahia e norte do Espírito Santo. Ocorre sobre estreita faixa litorânea formada pelos depósitos terciários da Formação Barreiras. O nome floresta dos tabuleiros é derivado, segundo o autor, da topografia suavemente ondulada com altitudes entre 20 e 200 metros acima do nível do mar.

Em sua classificação da vegetação brasileira, Veloso et al. (1991) incluem as florestas de tabuleiro em dois tipos de vegetação: (i) Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e (ii) Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas. A diferenciação entre os dois tipos de vegetação se dá com base nos parâmetros de temperatura e pluviosidade. No primeiro tipo não há período biologicamente seco, e no segundo há dupla estacionalidade climática, com uma estação de chuvas intensas e outra com seca fisiológica provocada pelo frio do inverno.

Rizzini (1997) aborda a semelhança estrutural entre a floresta dos tabuleiros e as florestas amazônicas de terra firme. Segundo o autor a mata de tabuleiros apresenta um dossel em torno de 30 metros de altura, com árvores emergentes de até 40 metros. Estão presentes também um estrato arbóreo inferior, com cerca de 20 metros de altura, um ou dois estratos arbustivos e um estrato herbáceo não muito denso. A sub-mata apresenta grande abundância de palmeiras, mas com baixa riqueza de espécies. Plantas epífitas são pouco abundantes e samambaias arborescentes, tais como as da família *Cyatheaceae*, são ausentes (RIZZINI, 1997).

Em relação à composição florística da mata de tabuleiro, Rizzini (1997) aborda a ocorrência de elementos (gêneros e espécies) típicos das florestas amazônicas, elementos endêmicos, e elementos comuns às outras florestas do sudeste brasileiro. Como exemplos:

- gêneros amazônicos: *Bixa*, *Crudia*, *Duroia*, *Erisma*, *Glycydendron*, e outros;
- gêneros endêmicos: *Arapatiella*, *Basiloxylon*, *Goniorhachis*, *Hydrogaster*, *Paradrypetes* e *Paratecoma*;
- espécies endêmicas: *Rinorea bahiensis*, *Macrobium latifolium*, *Vataireopsis araroba* e outras.

A existência de táxons vegetais endêmicos nas florestas de tabuleiros levou vários autores a sugerir a região entre o sul da Bahia e o norte do Espírito Santo como um dos centros de endemismo das florestas tropicais costeiras do Brasil (MORI et al., 1981; PRANCE, 1982; RIZZINI, 1997; THOMAS et al., 1998).

2.2.3 Vegetação de muçununga

Intercaladas na floresta de tabuleiros, principalmente ao longo da costa norte do Espírito Santo, ocorrem formações vegetais florística e fisionomicamente distintas da matriz dominante, as comunidades vegetais de muçununga. Essas formações ocorrem sobre manchas de solo arenoso, com presença de camada impermeável a cerca de um a dois metros de profundidade, que provoca alagamento em períodos chuvosos (SIMONELLI, 1998; THOMAS, 2003; MEIRA NETO et al., 2005).

As comunidades vegetais de muçununga podem apresentar características florísticas e fitofisionômicas bastante distintas entre si, sendo que os poucos trabalhos que tratam sobre tais comunidades relatam fisionomias desde campestres até florestais (SIMONELLI, 1998; MEIRA NETO et al., 2005). Nesses estudos as fisionomias florestais são caracterizadas por um dossel por vezes descontínuo, formado por microfanerófitos de no máximo 20 metros de altura, com florística semelhante às restingas arbóreas. Nesses mesmos trabalhos as fisionomias campestres e subarbustivas são caracterizadas por muitas espécies hemicriptofíticas, sendo outras vezes denominadas campos nativos, como por exemplo, em Peixoto e Gentry (1990).

Em um estudo realizado em muçunungas na cidade de Caravelas, BA, Saporetti Junior (2009) concluiu que as variáveis ambientais explicam a maior parte da variação da abundância de espécies entre muçunungas. Muçunungas de fisionomia graminóide apresentaram correlação positiva com solos mais rasos e com areia de maior granulometria, enquanto que as muçunungas gramíneo-lenhosas e arborizadas se correlacionaram positivamente com solos mais profundos e com areia de menor granulometria. Esse comportamento, segundo o autor, estaria associado ao estresse de alagamento em período de chuvas, mais acentuado em solos mais rasos, e à seca em período de estiagem, mais acentuada em solos arenosos de maior granulometria. As espécies colonizadoras de ambientes mais sujeitos ao alagamento e à seca seriam mais tolerantes a tais estresses, enquanto que as espécies das muçunungas gramíneo-lenhosas e arborizadas possuiriam maior capacidade de competição em locais com menores estresses ambientais.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1987) apresenta um modelo sobre a origem e o desenvolvimento da vegetação de muçununga. O ambiente de formação dos solos remonta ao Quaternário recente, quando cursos d'água barrados pela acumulação fluviomarinha causaram o alagamento de depressões rasas, ocasionando a formação de lagoas e áreas pantanosas. Com o assoreamento dessas áreas, ocorreu a formação de uma camada laterítica impermeável. A posterior abertura de novos canais de drenagem possibilitou a colonização dessas áreas com vegetação arbustiva e arbórea. Sequencialmente instalou-se vegetação campestre intercalada por nanofanerófitos, culminando nas áreas mais bem drenadas, no desenvolvimento da Savana Parque.

2.3 Nível relativo marinho

Suguio et al. (1985) trata da complexidade dos fatores que regem as variações do nível relativo do mar (Figura 2.1). As informações a seguir são fundamentadas nesse artigo.

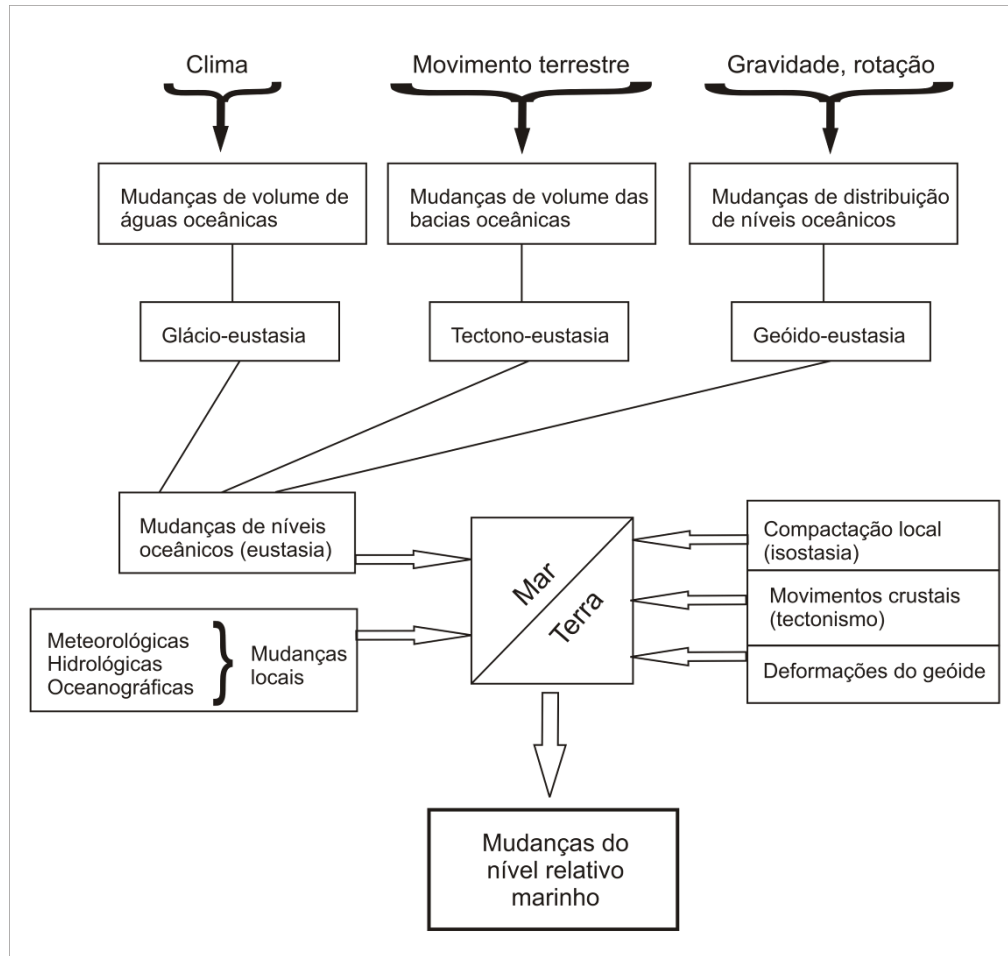


Figura 2.1 – Fatores que regem as flutuações do nível relativo marinho (extraído de Suguio et al., 1985)

As flutuações do nível relativo marinho são resultado de variações reais do nível marinho (eustasia) e de variações do nível dos continentes (isostasia e tectonismo).

As variações eustáticas, ou variações reais do nível marinho são controladas pelos seguintes fatores:

- a) Glácio-eustasia: variação do volume das águas oceânicas, em função das glaciações e deglaciações;
- b) Tectono-eustasia: variação do volume das bacias oceânicas, em função do movimento das placas tectônicas;
- c) Geóido-eustasia: deformação da superfície dos oceanos, a qual é controlada por um componente oceanográfico e um componente geofísico. O componente oceanográfico compreende as marés, as correntes marinhas e turbilhonamentos, e variações de declividade em consequência da pressão atmosférica, ventos, temperatura e salinidade da água. O componente geofísico é relacionado a diferenças de densidade do interior do planeta, as quais podem causar enormes concavidades e intumescências na superfície oceânica.

As variações dos níveis dos continentes podem ser resultado de:

- a) Isostasia: os movimentos isostáticos estão relacionados à variação de carga em função da formação ou desaparecimento de geleiras, erosão dos continentes e acumulação de depósitos sedimentares, e transgressões e regressões marinhas sobre as plataformas continentais.

b) Tectonismo: movimentos que afetam a crosta terrestre e que podem ser tanto verticais como horizontais.

c) Deformações do geóide continental, o qual é a referência da altitude em relação ao nível do mar.

Os efeitos das variações glacio-eustáticas e tectono-eustáticas são percebidos em escala global. Por outro lado os efeitos geóide-eustáticos e aqueles causados pelas variações do nível dos continentes são percebidos em escalas local ou regional (SUGUIO et al., 1985).

2.3.1 Flutuações do nível relativo marinho durante o Holoceno no litoral sudeste do Brasil

Flutuações do nível relativo marinho na costa brasileira foram propostas por diversos estudos que se basearam em evidências sedimentológicas, como depósitos arenosos, biológicas, como vermetídeos e conchas de ostras, e pré-históricas, como os sambaquis (SUGUIO et al., 1985; MARTIN et al., 2003; ANGULO et al., 2006).

Conforme apresentado na Figura 2.2, em relação ao trecho da costa brasileira que engloba o litoral da região sudeste, esses estudos indicam que a primeira vez que o atual nível relativo marinho foi ultrapassado durante o Holoceno ocorreu por volta de 7800 e 6700 anos cal. A.P. O nível máximo médio-holocênico, que ocorreu por volta de 5500 anos cal. A.P. e alcançou entre dois a cinco metros acima do nível atual, foi seguido ou por uma queda contínua durante o Holoceno superior (ANGULO et al., 2006), ou por oscilações de alta frequência e uma posterior queda contínua até o nível atual (MARTIN et al., 2003).

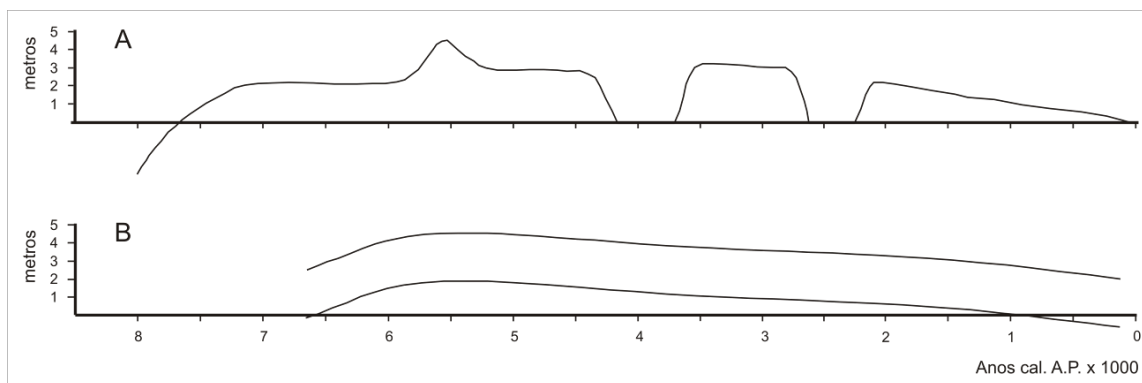


Figura 2.2 – Curvas de variação do nível relativo marinho para a costa sudeste do Brasil, segundo Martin et al. (2003) (A) e Angulo et al. (2006) (B)

Conforme o modelo apresentado em Suguio et al. (1985), durante o máximo da última transgressão, a região hoje compreendida no litoral norte do estado do Espírito Santo foi constituída por um sistema lagunar nas desembocaduras dos principais cursos d'água. Com a posterior retração marinha essas lagunas evoluíram para lagoas e pântanos de água doce, muitos dos quais existem até hoje na região.

Ybert et al. (2003), com base em análise palinológica realizada em um testemunho sedimentar coletado no sul do estado de São Paulo, inferiram que o nível relativo marinho local esteve continuamente de 1,2 a 2 metros acima do atual no período de 4900 a 3470 anos cal. A.P.

Nagai et al. (2009) estudaram foraminíferos e indicadores abióticos em um testemunho marinho da plataforma continental próximo a Cabo Frio, Rio de Janeiro. Entre 9000 até cerca de 7000 anos cal. A.P., a assembléia de foraminíferos sugeriu que o nível relativo marinho localizava-se abaixo do atual. Entre 7000 e 5000 anos cal. A.P. a assembléia de foraminíferos e a maior granulometria do sedimento foram interpretadas como indicativos de nível relativo marinho mais alto que o atual. Para o período entre 5000 e 3000 anos cal. A.P., os autores sugeriram um nível relativo marinho inferior ao do período anterior, mas ainda entre 1 e 2 metros acima do atual.

2.4 Dinâmica da vegetação e paleoclimas holocênicos nas regiões sudeste e nordeste do Brasil

2.4.1 Região sudeste

Servant et al. (1989), baseados em estudos geomorfológicos e datações ao ^{14}C , inferiram períodos mais secos que o atual durante o Holoceno para a região do vale do Rio Doce em Minas Gerais, em altitudes de 1300 metros acima do nível do mar. Esses estudos revelaram intensa erosão entre 9000 e 8000 anos A.P., que seria explicada por uma cobertura florestal reduzida devido ao clima mais seco de então.

Com base em estudo palinológico na região de Salitre, Minas Gerais, a cerca de 1050 m acima do nível do mar, Ledru (1993) identificou dois eventos de retração da cobertura florestal durante o Holoceno, um há cerca de 10500 anos A.P. e outro em torno de 4500 anos A.P. Esses períodos foram inferidos como relativamente mais secos pela autora. Pessenda et al. (1996a), realizaram na mesma área um estudo isotópico da matéria-orgânica do solo. Concluíram que durante o Holoceno a região foi dominada por plantas C3, mesmo durante os períodos mais secos identificados por Ledru (1993).

Ledru et al. (1998) dividiram o Holoceno do sudeste brasileiro em três períodos caracterizados por assembléias polínicas e climas distintos. Entre 12000 e 8000 anos cal. A.P. a maioria dos locais estudados, com exceção de Salitre, foi marcada por retração da cobertura florestal, provavelmente sob um clima mais seco que o atual. Entre 8000 e 4500 anos cal. A.P., a expansão da cobertura florestal foi inferida como um clima mais úmido que o período anterior. Entre 4500 anos cal. A.P. e o presente, os autores inferiram clima mais úmido que o período anterior, mas com sazonalidade mais acentuada, com base na expansão florestal indicada pela palinologia. Como explicação para o padrão observado Ledru et al. (1998) sugerem que a ITCZ localizava-se mais ao norte durante o início do Holoceno, o que poderia causar redução na precipitação. Por outro lado, a localização da ITCZ nessa época permitia que massas polares trouxessem umidade e temperaturas mais baixas para regiões tropicais. Após 4500 anos cal. A.P., com o deslocamento da ITCZ mais ao sul, as massas polares não mais alcançam latitudes tropicais. Assim, o clima passa a ser mais úmido e mais quente.

Isótopos de carbono da matéria-orgânica do solo permitiram inferir que durante o período compreendido entre o Holoceno inferior e o Holoceno médio, as atuais regiões de Piracicaba, Jaguariúna e Londrina estiveram sob um clima mais seco que o atual, devido à maior contribuição de matéria-orgânica originada de plantas C4 (PESSENDA et al., 2004b).

Pessenda et al. (2009) inferiram clima mais seco que o atual durante o Holoceno inferior ao Holoceno médio para a região de Curucutu, São Paulo, a 800 metros de altitude. Durante esse período os isótopos de carbono da matéria-orgânica do solo indicam a expansão de plantas C4 para alguns pontos estudados. Posteriormente, a partir do Holoceno médio ao superior, dados palinológicos e isotópicos indicam expansão da vegetação florestal, os quais foram interpretados como condições climáticas mais quentes e úmidas.

Em um estudo palinológico na Cratera de Colônia, São Paulo, 900 metros acima do nível do mar, Ledru et al. (2009) inferiram um clima com umidade sazonal para o período entre 9000 e 6600 anos cal. A.P., no entanto, com mais umidade que o Holoceno inferior e marcado por expansão florestal. O clima para o período seguinte, entre 6200 e 3700 anos cal. A.P., foi inferido como mais seco, com base na menor frequência de táxons florestais e maior frequência de *Asteraceae*. A última zona polínica, que compreende de 3500 anos cal. A.P. até o presente, apresentou aumento na frequência dos táxons arbóreos e sugeriu o estabelecimento da atual vegetação florestal, estabelecida sob um clima bem mais úmido.

2.4.2 Região nordeste

Com base em palinologia e datações de termoluminescência de depósitos eólicos em região de caatinga no vale do rio Icatu, estado da Bahia, De Oliveira et al. (1999) interpretaram que o clima local no final do Pleistoceno apresentava maior umidade e temperaturas mais amenas que o clima atual. No início do Holoceno a região deveria apresentar abundantes florestas de galeria, mas o clima tendia a redução da umidade. O período entre 6790 e 6230 anos A.P. foi inferido como de umidade bastante

reduzida. Os autores inferiram clima oscilante para o período aproximado de 6000 a 4000 anos A.P. A partir de 4000 anos A.P. são inferidas condições climáticas bem menos úmidas, com o desenvolvimento da atual vegetação de caatinga.

Behling et al. (2000), com base em palinologia de testemunho sedimentar marinho, coletado próximo a Fortaleza, CE, inferiram clima semi-árido para o nordeste brasileiro durante o Holoceno inferior.

Resultados de estudos palinológicos realizados em sedimento lacustre, e isotópicos, realizados na matéria-orgânica do solo, foram interpretados como o estabelecimento de um clima mais úmido durante o final do Pleistoceno para região de Barreirinhas, estado do Maranhão (PESSENDA et al., 2004a; 2005). O registro polínico indicou a interrupção da expansão florestal há cerca de 10 mil anos, com o estabelecimento da savana arborizada a partir de então. A composição isotópica do carbono da matéria-orgânica do solo foi interpretada como clima menos úmido no período compreendido entre o Holoceno inferior ao médio, e como aumento de umidade a partir do Holoceno médio até o presente.

2.4.3 Modelo paleoclimático para as regiões sudeste e nordeste durante o Holoceno

Pelos estudos expostos acima é possível generalizar um modelo para a evolução dos paleoclimas holocênicos das regiões sudeste e nordeste brasileiras, segundo o qual, o período entre o Holoceno inferior e o Holoceno médio é caracterizado por climas menos úmidos que o atual, tanto no sudeste quanto no nordeste do Brasil. No período seguinte, do Holoceno médio até o presente, há a tendência de climas mais úmidos nas duas regiões.

2.5 Área de estudo

Os locais de estudo compreendem pontos localizados na Reserva Biológica de Sooretama – ReBio Sooretama e na Reserva Natural Vale – RNCV, ambas situadas ao norte do Estado do Espírito Santo, conforme mapa apresentado na Figura 2.3.

Inicialmente é fornecida uma descrição da região na qual a ReBio Sooretama e a RNCV estão inseridas, com as principais características da fisiografia, da geologia, dos solos, do clima e da vegetação. Em seguida são descritos os pontos de amostragem utilizados nesse estudo, com relação às suas características de vegetação e solo, de acordo com observações realizadas em campo.

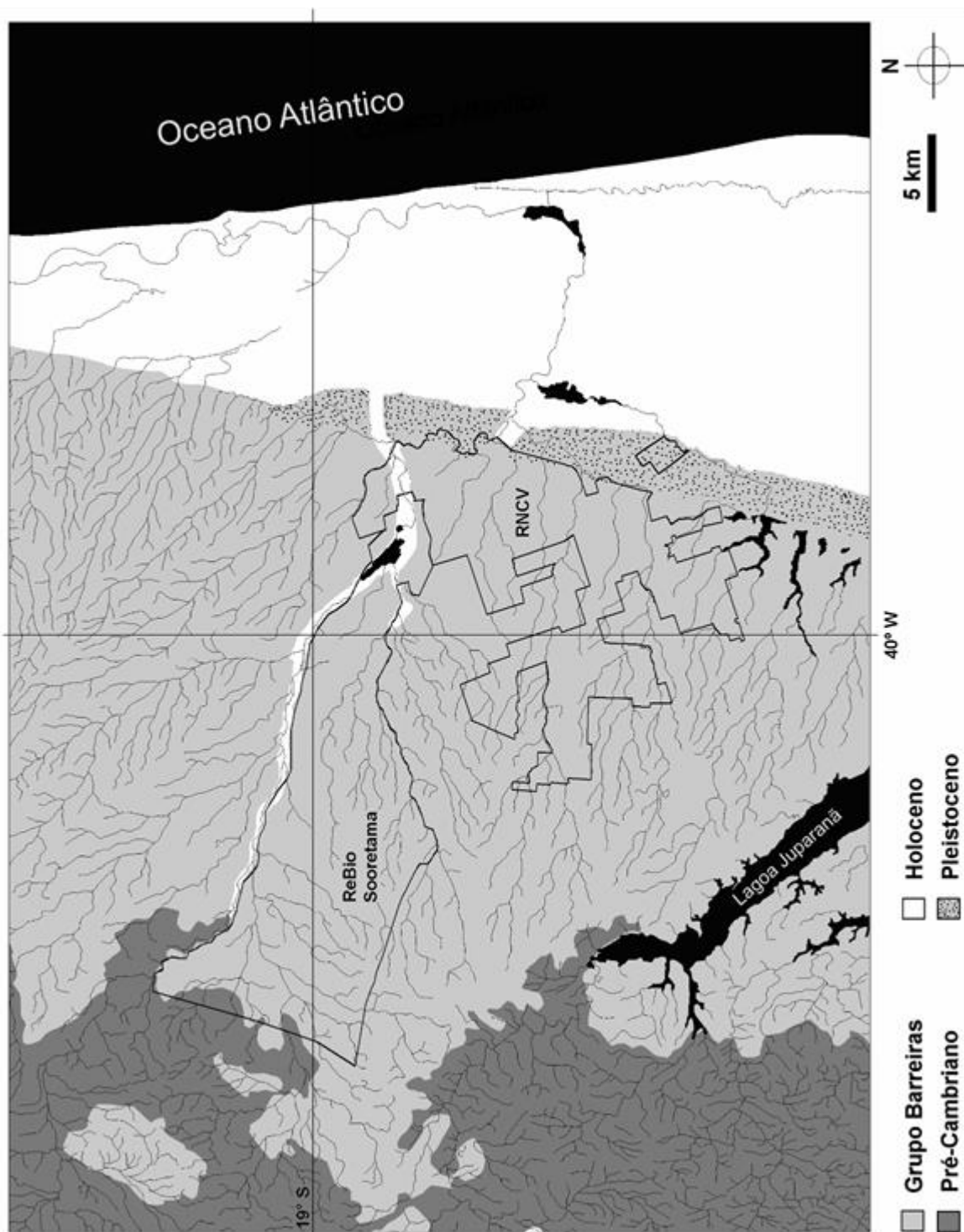


Figura 2.3 – Mapa de localização da ReBio Sooretama e da RNCV. De acordo com IBGE (1979a; 1979b; 1987)

2.5.1 Fisiografia regional

Conforme Suguio e Martin (1981), na costa norte do estado do Espírito Santo podem ser identificadas três províncias geomorfológicas (Figura 3). Na porção localizada mais a oeste, ergue-se uma cadeia montanhosa de origem pré-cambriana, que apresenta um padrão dendrítico de drenagem. A leste da cadeia montanhosa ocorrem os depósitos terciários do Grupo Barreiras, os quais formam uma planície suavemente inclinada em direção ao mar, recortada por uma rede de drenagem angular subparalela. A planície costeira, de origem quaternária, possui um padrão de drenagem difuso e é formada por sedimentos arenosos marinhos e sedimentos argilo-arenosos fluviais, em alguns locais recobertos por uma camada turfosa pouco profunda.

2.5.2 Geologia

Conforme o mapeamento geológico realizado no âmbito do projeto RADAMBRASIL (IBGE, 1987), a geologia da área de estudo é composta por rochas metamórficas e ígneas do pré-Cambriano, sedimentos terciários do Grupo Barreiras e depósitos quaternários pleistocênicos e holocênicos (Figura 2.3).

O Grupo Barreiras constitui os tabuleiros costeiros do norte do Espírito Santo. Sua origem é atribuída ao Terciário superior, pela sedimentação em ambiente continental de material clástico originário de rochas metamórficas e ígneas pré-cambrianas localizadas a oeste (IBGE, 1987).

Os depósitos quaternários podem ser classificados em dois grupos: marinhos e continentais (IBGE, 1987).

2.5.2.1 Depósitos quaternários marinhos

2.5.2.1.1 Terraços Arenosos Pleistocênicos

São encontrados afastados vários quilômetros da atual linha de costa e se relacionam com o final da penúltima transgressão marinha (IBGE, 1987).

2.5.2.1.2 Terraços Arenosos Holocênicos

Ocupam grande parte da planície costeira quaternária. São áreas com altitudes menores que os Terraços Pleistocênicos, normalmente entre alguns centímetros e pouco mais de quatro metros acima do nível do mar. Apresentam bem evidentes as cristas dos cordões litorâneos, finas, próximas e paralelas entre si (IBGE, 1987).

2.5.2.1.3 Pântanos e Manguezais Holocênicos

Da mesma forma que a unidade anterior, esta também é bastante representativa da planície costeira quaternária do norte do Espírito Santo. Representa sedimentação de planície deltaica, que inclui ambientes como pântanos, lagoas, canais fluviais e áreas de inundação. A litologia é representada por areias quartzosas, areias sílticas e siltes argilosos com matéria orgânica e depósitos rasos de turfa (IBGE, 1987; PETRÓLEO BRASILEIRO, 1972).

2.5.2.2 Depósitos quaternários continentais

2.5.2.2.1 Holoceno fluviolagunar

Distribuem-se nas calhas dos cursos d'água. Incluem não somente sedimentos de origem fluvial, mas também originários de antigas lagoas e manguezais que se desenvolveram desde o início da última transgressão marinha. Litologia constituída principalmente por areias e siltes argilosos ricos em matéria orgânica (IBGE, 1987).

Os depósitos holocênicos continentais e marinhos da costa norte do Espírito Santo foram denominados em Petrônio Brasileiro (1972) por Formação Linhares. As litofácies e os ambientes descritos para essa formação são planícies de inundação, canais fluviais, pântanos, cordões litorâneos e manguezais que tiveram início após a última transgressão marinha e a regressão subsequente.

2.5.3 Solos

Santos et al. (2004) realizou um levantamento expedito de solos da Reserva Biológica de Sooretama e da RNCV, onde os tipos de solos mapeados estão relacionados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Tipos de solos mapeados na ReBio Sooretama e na RNCV

Reserva Biológica de Sooretama

Latossolo Vermelho-escuro

Latossolo Vermelho Distrófico argissólico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo suave ondulado e ondulado.

Argissolo Amarelo

Argissolo Amarelo Distrófico típico A moderado textura arenosa/média/argilosa fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo plano e suave ondulado.

Argissolo Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo ondulado.

Argissolo Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo forte ondulado.

Gleissolos

Gleissolos Indiscriminados + Organossolos textura indiscriminada fase campo tropical higrófilo de várzea ou floresta tropical higrófila de várzea relevo plano de várzea.

Reserva Natural da Companhia Vale

Argissolo Amarelo

Argissolo Amarelo Distrófico típico A moderado textura arenosa/média/argilosa fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo plano e suave ondulado.

Argissolo Amarelo Distrófico típico A moderado textura arenosa/média fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo plano.

Argissolo Amarelo Distrófico típico A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo plano e suave ondulado.

Espodossolo

Espodossolo Ferrocárbico Órtico dúrico A proeminente fase floresta tropical subperenifólia de restinga relevo plano.

Espodossolo Ferrocárbico Órtico dúrico A proeminente fase campo tropical de restinga relevo plano.

Espodossolo Ferrocárbico Órtico dúrico A proeminente fase campo tropical higrófilo de várzea relevo plano de várzea.

Espodossolo Ferrocárbico Órtico espessarênico A moderado fase floresta tropical subperenifólia/subcaducifólia relevo plano.

Gleissolos

Gleissolos Indiscriminados + Organossolos textura indiscriminada fase campo tropical higrófilo de várzea ou floresta tropical higrófila de várzea relevo plano de várzea.

Neossolo Quartzarênico

Neossolo Quartzarênico fase floresta tropical subperenifólia de restinga relevo plano.

Fonte: Santos et al. (2004).

2.5.4 Clima

Peixoto e Gentry (1990), baseados nos dados meteorológicos do período entre 1975 e 1983, classificaram o clima regional na região climática Am de Köppen, quente e úmido, com média anual de precipitação de 1403 mm e estação seca bastante suave entre maio e setembro. Em outro trabalho, Peixoto, Rosa e Joels (1995), com base em dados climáticos do período de 1982 e 1991, classificaram o clima na região Am, quente e úmido, com média anual de precipitação de 1093 mm, com estação seca suave de maio a setembro.

Com base em dados da estação meteorológica existente na RNCV para o período de 1975 a 2002, a época do ano de menor precipitação ocorre entre os meses de maio a agosto, conforme mostrado na Figura 2.4. O clima local pode ser classificado como Aw de Köppen, com média anual de precipitação de 1215 mm no período de 1975 a 2002. De acordo com os critérios de Nimer (1979) o clima local é classificado como tropical, quente e úmido, com dois meses de estação seca entre 1975 e 2002.

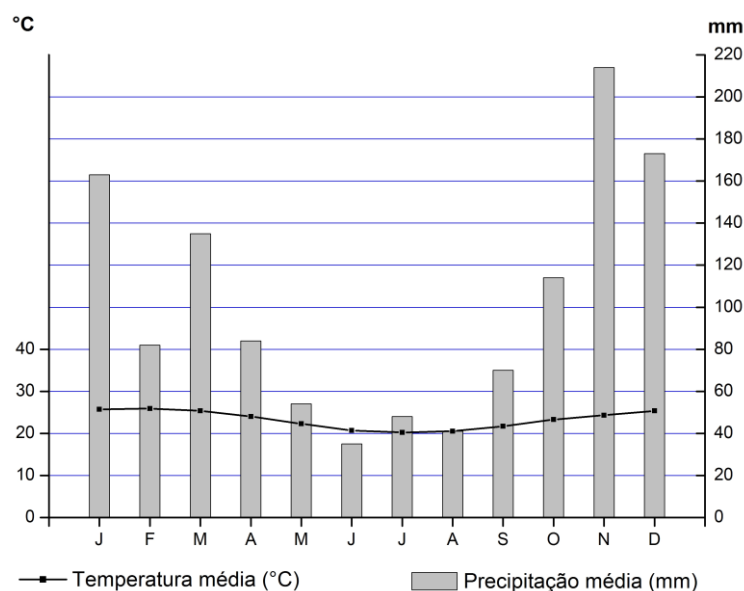


Figura 2.4 – Diagrama climático mensal para o período de 1975 a 2002, com base em dados coletados pela estação meteorológica da RNCV

2.5.5 Vegetação

Para a caracterização da vegetação dos locais de estudo serão utilizadas informações provenientes do estudo fitogeográfico realizado pelo projeto RADAMBRASIL (IBGE, 1987). Quando pertinente, informações complementares de outros autores e observações pessoais de campo serão acrescentadas.

De um modo geral, a cobertura vegetal natural da região nordeste do Espírito Santo é representada principalmente pela Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e pelas Formações Pioneiras de fisionomia herbácea com influência fluviomarinha, no entanto outras formações menos representativas também estão presentes (IBGE, 1987).

2.5.5.1 Floresta Ombrófila Densa

A principal formação florestal da área de estudo é a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, também conhecida como floresta dos tabuleiros. (IBGE, 1987). O estrato superior é formado por macrofanerófitos de até 40 metros de altura e a submata é aberta (PEIXOTO; ROSA; JOELS, 1995; THOMAS, 2003).

Em um levantamento florístico realizado na RNCV Peixoto e Gentry (1990) encontraram grande riqueza de espécies, até mesmo maior que muitas regiões da Amazônia. A composição florística encontrada foi similar às de outras florestas neotropicais úmidas de baixada, como a riqueza de espécies da família *Fabaceae* e a presença de *Annonaceae*, *Sapotaceae*, *Rubiaceae*, *Euphorbiaceae* e *Bignoniaceae* entre as 10 famílias com maior número de espécies. A família *Myrtaceae* também apresentou grande número de espécies, característica compartilhada com outras florestas da costa atlântica brasileira. No entanto, a baixa riqueza de espécies de *Myristicaceae* e de *Arecaceae* é uma característica que diferenciou a mata de tabuleiro da RNCV de outras florestas neotropicais. Peixoto e Gentry (1990) também destacam, como atributo estrutural, a alta densidade de árvores e lianas com diâmetro igual ou superior a 10 cm na área da RNCV, característica pouco comum em florestas neotropicais.

O estrato arbóreo dominante da floresta dos tabuleiros localizada entre o paralelo 18°30'S e a foz do Rio Doce apresenta diferenças estruturais em relação à floresta de tabuleiros do sul da Bahia, com espécies com evidentes adaptações a deficiência hídrica do solo, como folhas coriáceas e troncos de casca grossa (IBGE, 1987).

2.5.5.2 Savana

A Savana Parque, formação vegetal herbácea intercalada por nano e microfanerófitos, ocorre principalmente na região localizada ao norte da cidade de Linhares. Ocupa manchas de solos arenosos álicos e lixiviados em meio à vegetação florestal dos tabuleiros (IBGE, 1987).

2.5.5.3 Formações Pioneiras

As principais formações pioneiras da área de estudos são aquelas com influência marinha, influência fluviomarinha e influência fluvial. Apresentam fisionomias variáveis, de herbácea a arbórea (IBGE, 1987).

2.5.5.3.1 Formações pioneiras com influência marinha

São as áreas próximas ao litoral, sobre solos arenosos de origem quaternária. Recebem a denominação geral de restingas e podem apresentar fisionomias arbórea, arbustiva e herbácea (IBGE, 1987).

A restinga arbórea ocorre nas áreas próximas aos tabuleiros costeiros. Seu componente arbóreo apresenta microfanerófitos em torno de sete metros de altura, com copas irregulares, por vezes espaçadas, e abundância de plantas epífitas. Nessas áreas podem ocorrer indivíduos de espécies da Floresta Ombrófila Densa tolerantes às condições ambientais locais (IBGE, 1987).

Sobre os cordões litorâneos, em áreas raramente atingidas pelas marés, ocorre a restinga arbustiva. Essa vegetação é composta por micro e nanofanerófitos e possui densidade variável. Algumas espécies comumente encontradas são *Ipomoea pes-caprae*, *Hancornia speciosa*, *Chrysobalanus icaco*, *Hirtella americana* e cactáceas como *Cereus fernambucensis* (IBGE, 1987).

Áreas mais próximas ao mar, algumas vezes com solos salinos, são ocupadas pela restinga herbácea. Como exemplos de espécies representativas dessa vegetação têm-se *Polygala cyparissias*, e *Remirea maritima* (IBGE, 1987).

2.5.5.3.2 Formações pioneiras com influência fluviomarinha

A planície costeira quaternária é extensamente ocupada pelas Formações Pioneiras de influência fluviomarinha. Em alguns locais ocorrem manguezais, onde as espécies arbóreas típicas são *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*. No entanto, a maior parte da planície, constituída por áreas alagadas salobras, é ocupada por vegetação herbácea representada por gêneros como *Typha* sp., *Cyperus* sp. e *Montrichardia* sp. Em áreas da planície costeira com topografia mais elevada podem ocorrer agrupamentos de indivíduos arbóreos com presença de espécies generalistas como *Tapirira guianensis* e *Symphonia globulifera* (IBGE, 1987).

2.5.5.3.3 Formações pioneiras com influência fluvial

Planícies aluviais, áreas de relevo deprimido ao longo dos rios, permanentemente ou periodicamente inundáveis, com solos encharcados, são ocupadas pelas Formações Pioneiras com influência fluvial. A vegetação é geralmente herbácea e graminóide, podendo ocorrer algumas espécies arbustivas e arbóreas nos locais de solo menos encharcado. Gêneros herbáceos muito comuns nessas áreas são *Hypolytrum* sp. e *Panicum* sp. (IBGE, 1987).

2.5.5.3.4 Vegetação de muçununga e campo nativo

Os diferentes tipos de muçununga atualmente encontradas na área de estudo, sejam florestais ou campestres, são formações pioneiras que constituem etapas da sucessão que culmina no desenvolvimento da Savana Parque (IBGE, 1987).

2.5.6 Caracterização dos pontos amostrados

Com objetivo de melhor caracterizar a área de estudo, são apresentadas descrições dos pontos de coleta (Figura 2.5), em período seco (julho) com exceção da Lagoa do Macuco, em época chuvosa. A Tabela 2.2 apresenta as coordenadas geográficas e as siglas adotadas para cada ponto. Na descrição dos pontos de coleta é apresentada uma classificação da vegetação (IBGE, 1987) e do solo (SANTOS et al., 2004), de acordo com as observações realizadas em campo.

Tabela 2.2 – Relação dos pontos amostrados durante os trabalhos de campo

Sigla	Nome	Coordenadas geográficas
MAC	Lagoa do Macuco	19°02,584'S e 39°56,695'W
BI	Brejo da Imbiriba	19°12,302'S e 39°52,585'W
MB	Mata da Bicuíba	19°09,376'S e 40°02,542'W
MBT	Mata da Bicuíba	19°09,205'S e 40°02,748'W
NGI	Nativo da Gávea	19°12,680'S e 39°57,842'W
NGI.1	Nativo da Gávea	19°12'36,5''S e 39°57'48,1''W
NG4	Nativo da Gávea	19°12'30,20''S e 39°57'53,50''W
NG5	Floresta da Gávea	19°13'25,40''S e 39°58'15,30''W
NG7	Nativo da Gávea	19°13'12,90''S e 39°58'09,50''W
MUGI	Muçununga da Gávea	19°12,486'S e 39°57,722'W
MT1	Mata de tabuleiro	19°12,331'S e 39°57,636'W
NMI	Nativo da Mantegueira	19°09,197'S e 40°03,939'W
NB	Nativo da Bomba d'Água	19°06'36,10''S e 39°53'19,80''W
MBA	Mata da Bomba d'Água	19°06'34,55''S e 39°53'28,90''W
CT	Córrego Travaglia	19°05'14,80''S e 39°54'18,50''W
MJ	Mata da Joeirana Vermelha	19°04'56,30''S e 39°53'15,30''W

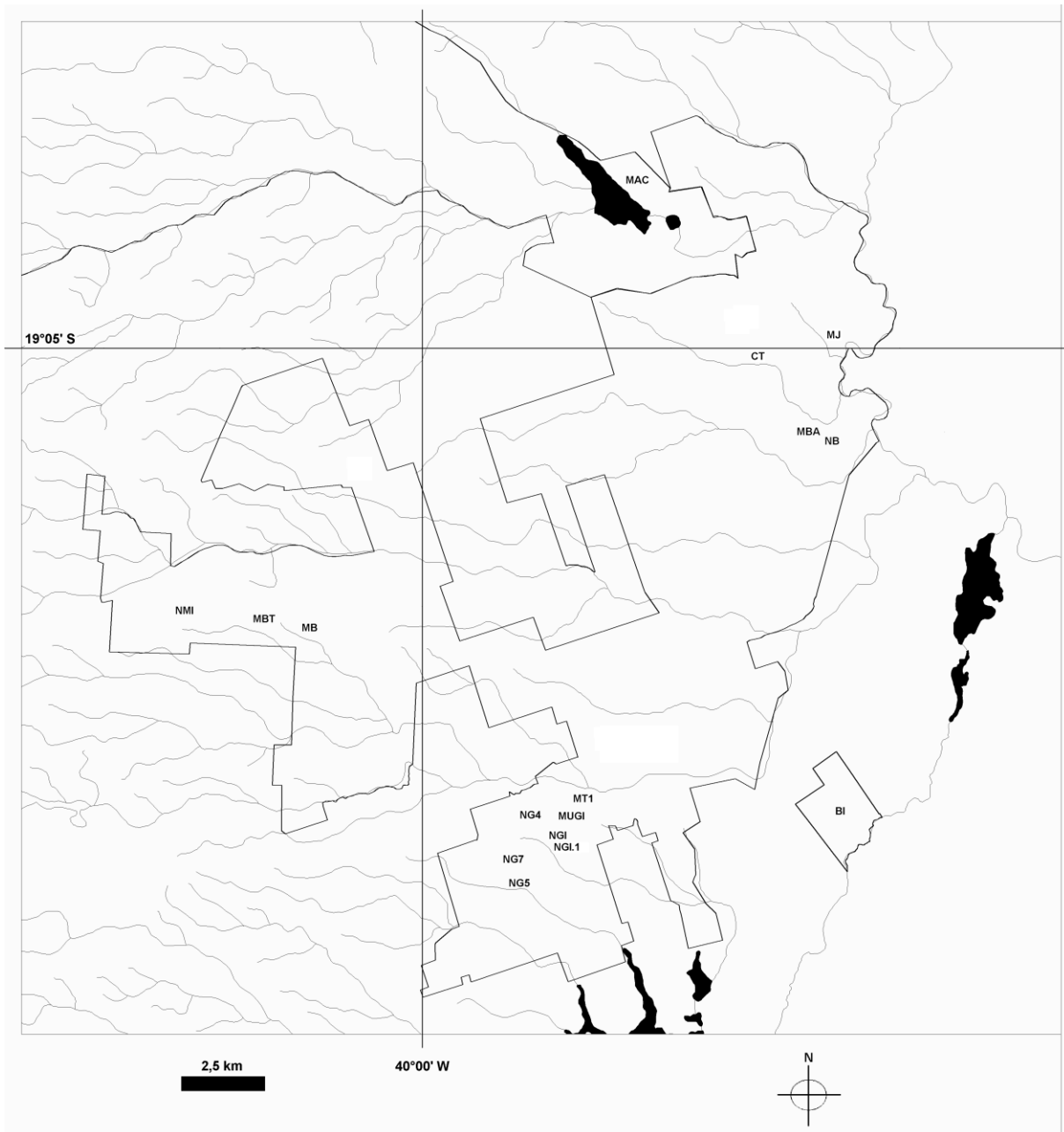


Figura 2.5 – Pontos amostrados durante os trabalhos de campo. Mapa baseado em IBGE (1979a; 1979b; 1987)

2.5.6.1 Lagoa do Macuco (MAC)

Localizada na Reserva Biológica de Sooretama, encaixada em um vale na bacia do Rio Barra Seca (Figuras 2.5 e 2.6). O nível da superfície da água, está em torno de 1 metro acima do atual nível médio do mar, de acordo com medições realizadas no local em novembro de 2009, por meio de aparelho GPS marca Garmin, modelo 76CSx.

Apresenta vegetação aquática, como *Ninfea* sp., *Salvinia* sp. e *Cabomba* sp., além de muitas herbáceas semi-aquáticas em suas margens, como espécies da família *Cyperaceae* e *Poaceae*. Foram observadas ilhas de vegetação flutuante, com indivíduos arbóreos com cerca de cinco metros de altura. Medições feitas em alguns pontos em época chuvosa (novembro) indicaram coluna d'água de cerca de três metros. A comunidade vegetal local, de acordo com as observações realizadas, pode ser classificada como Formação Pioneira com influência fluvial.



Figura 2.6 – Ponto MAC – Lagoa do Macuco

Ilha de vegetação flutuante, vegetação aquática e a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no entorno

2.5.6.2 Brejo da Imbiriba (BI)

Local alagado, dominado por *Cyperus* sp, o qual forma densa cobertura herbácea monoespecífica de cerca de dois metros de altura (Figura 7). Próximo ao local ocorre uma pequena elevação onde cresce vegetação de fisionomia arbórea. Substrato composto por areia fina, com pequena camada de matéria orgânica na parte superior, classificado como Gleissolo indiscriminado por Santos et al. (2004). Corresponde a uma Formação Pioneira com influência fluvio-marinha de fisionomia herbácea.



Figura 2.7 – Ponto BI – Brejo da Imbiriba

Em primeiro plano a vegetação herbácea constituída principalmente por *Cyperus* sp. Ao fundo, terreno mais elevado, formando uma ilha de vegetação de fisionomia florestal

2.5.6.3 Mata da Bicuiba (MB e MBT)

Vegetação de fisionomia florestal, árvores com cerca de até 30 metros de altura (Figura 2.8). Submata aberta, de fácil penetração. No ponto MBT onde foi aberto um poço para coleta de solo, foi encontrada uma camada laterítica de impedimento, com coloração avermelhada, a cerca de dois metros de profundidade. No ponto MB, no entanto, foi realizada uma tradagem até quatro metros de profundidade sem que a camada de impedimento fosse encontrada. A vegetação local pode ser classificada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, o solo é classificado como Argissolo.



Figura 2.8 – Ponto MBT – Mata da Bicuiba

Poço aberto para coleta de amostras de solo

2.5.6.4 Nativo da Gávea (NGI)

Uma extensa área de vegetação graminóide contínua, com raras ocorrências de agrupamentos de nanofanerófitos em seu interior (Figura 2.9). As espécies herbáceas dominantes são *Panicum* cf. *lagostachyum* e *Lagenocarpus rigidus*, no entanto várias outras espécies herbáceas estão presentes. As regiões mais periféricas apresentam vegetação arbustivo-arbórea com nanofanerófitos de até cinco metros de altura sobre um estrato herbáceo graminóide descontínuo. O solo foi classificado como Espodossolo (SANTOS et al., 2004).



Figura 2.9 – Ponto NGI – Nativo da Gávea

Em primeiro plano vegetação herbácea constituída principalmente por *Lagenocarpus rigidus*. Ao fundo a vegetação florestal que circunda o campo

Essa comunidade vegetal é caracterizada como uma Formação Pioneira, mas em um estágio sucessional muito próximo a uma Savana Parque. Em sua região periférica, no entanto, a Savana Parque está bem caracterizada.

2.5.6.5 Nativo da Gávea (NGI.1)

Esse ponto localiza-se a cerca de 100 metros do ponto NGI. No entanto, a amostragem realizada no ponto NGI.1 parte da camada endurecida (camada de impedimento) localizada a cerca de 70-80 cm de profundidade, encontrada também no ponto NGI. Abaixo dela o solo parece ser essencialmente arenoso, mas escurecido pela presença de matéria-orgânica.

2.5.6.6 Nativo da Gávea (NG4)

Vegetação herbáceo-arbustiva, com nanofanerófitos de até cinco metros de altura. O estrato herbáceo e constituído principalmente por vegetação graminóide. Esse ponto está localizado às margens da área de vegetação graminóide representada pelo ponto NGI. Solo arenoso e bastante úmido mesmo em período seco (Espodossolo). Trata-se, provavelmente, de uma Formação Pioneira relacionada às fases iniciais da sucessão ecológica sobre solos originários de áreas assoreadas da última transgressão.

2.5.6.7 Floresta da Gávea (NG5)

Ponto localizado em formação com fisionomia florestal. Árvores não muito altas, com no máximo 20 a 25 metros de altura, submata um pouco fechada. Durante a tradagem de solo (Argissolo) foi alcançada camada laterítica a 3,5 metros de profundidade. A vegetação pode ser classificada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.

2.5.6.8 Nativo da Gávea (NG7)

Formação herbácea arborizada, com domínio de vegetação graminóide composta principalmente por *Panicum cf. lagostachyum*, presença de nanofanerófitos esparsos, localmente conhecida como campo nativo (Figura 2.10), classificada como Savana Parque. O solo é arenoso na superfície, classificado como Espodossolo. A tradagem, realizada até a profundidade de três metros, ultrapassou a camada laterítica de impedimento.



Figura 2.10 – Ponto NG7 – Nativo da Gávea

A gramínea da foto é *Panicum cf. lagostachyum*

2.5.6.9 Muçununga da Gávea (MUGI)

Local arborizado, com nano e microfanerófitos de até quinze metros de altura (Figura 2.11). Presença abundante de arbustos em área de vegetação arbórea descontínua. Também não ocorre estrato graminóide contínuo. Solo com areia média-fina, classificado como Espodossolo.



Figura 2.11 – Ponto MUGI – Muçununga da Gávea

2.5.6.10 Mata de Tabuleiro (MT1)

Fisionomia florestal com macrofanerófitos de mais de 30 metros de altura (Figura 2.12). Submata aberta, presença de cipós lenhosos de grande diâmetro. Durante a tradagem de solo (Argissolo) até três metros de profundidade não foi alcançada camada de impedimento. A 2,3 metros e a 2,7 metros de profundidade foram encontrados fragmentos de carvão. A vegetação local é Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.



Figura 2.12 – Ponto MT1 – Mata de Tabuleiro

2.5.6.11 Nativo da Mantegueira (NMI)

Mancha de vegetação graminóide contínua dominada por *Panicum cf. lagostachyum* (Figura 2.13). Presença esparsa de nanofanerófitos de dois a três metros de altura. No entorno ocorre a vegetação arbórea de muçununga típica. Solo arenoso (Espodossolo), com matéria orgânica em suas camadas superiores. A tradagem foi interrompida por camada de impedimento localizada a 1,8 metro de profundidade, com presença de água. De acordo com a classificação apresentada pelo projeto RADAMBRASIL essa vegetação pode ser considerada como um estágio sucessional muito próximo a uma Savana Parque.



Figura 2.13 – Ponto NMI – Nativo da Mantegueira

2.5.6.12 Nativo da Bomba d'Água (NB)

Local de fisionomia herbáceo-arbustiva adjacente a vegetação de Floresta Ombrófila Densa (Figura 2.1). É possível verificar a transição abrupta existente entre o solo da área de tabuleiro e o solo arenoso da área em questão. Presença de *Panicum* cf. *lagostachyum* em meio a nanofanerófitos, com locais sem cobertura vegetal. Vegetação classificada como uma Formação Pioneira com Influência Marinha de fisionomia arbustiva, solo classificado como Neossolo Quartzarênico por Santos et al. (2004).



Figura 2.14 – Ponto NB – Nativo da Bomba d'Água

2.5.6.13 Mata da Bomba d'Água (MBA)

Formação florestal, com fanerófitos de mais de 30 metros de altura, submata bastante aberta (Figura 2.14). Grandes árvores existentes no local: *Ficus* sp., *Eriotheca macrophylla* e *Caryodendron grandifolium*. Tradagem de solo (Argissolo) até 1,5 metro de profundidade, interrompida por camada de impedimento laterítica. Vegetação classificada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.



Figura 2.15 – Ponto MBA – Mata da Bomba d'Água

2.5.6.14 Córrego Travaglia (CT)

Fisionomia florestal, classificada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Presença de grandes árvores, tais como *Hydrogaster trinervis* e *Rinorea bahiensis*. Poço até 2,2 metros de profundidade foi aprofundado até 3 metros por meio de tradagem. Solo classificado como Argissolo. Presença de fragmentos de carvão entre 70 e 90 centímetros de profundidade.

2.5.6.15 Mata da Joeirana Vermelha (MJ)

Fisionomia florestal, classificada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Submata bem aberta. Presença de árvores com até 30 metros de altura, tais como *Sloanea* sp. Tradagem até 3 metros de profundidade.

2.6 Material e Métodos

As hipóteses anteriormente apresentadas serão testadas com base em três metodologias principais: (i) análises isotópicas de carbono e nitrogênio, (ii) datação ^{14}C da matéria-orgânica e (iii) análise de bioindicadores. Os materiais analisados compreendem amostras de plantas, serapilheira, solo e sedimento lacustre.

A seguir são apresentados os métodos utilizados na coleta e na análise de cada tipo de amostra.

2.6.1 Coletas

2.6.1.1 Plantas

Em cada ponto com amostragem de solo ou sedimento foi realizada uma amostragem da vegetação dominante, com coleta de folhas e caules localizados até dois metros de altura, para identificação botânica pelo nome científico ou popular, com auxílio de técnicos da Companhia Vale, e posterior caracterização do $\delta^{13}\text{C}$.

2.6.1.2 Serapilheira

Uma pequena quantidade de serapilheira foi coletada no entorno dos pontos de coleta de solo, cujo material foi homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos identificados para análise de carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$.

2.6.1.3 Solo

Amostras de solo sob diferentes formações vegetais foram coletadas através do uso de trado ou abertura de trincheira (2mx2m), até aproximadamente três metros quando possível, conforme descrito no item ‘coletas realizadas’. A amostragem foi feita a cada dez ou vinte centímetros de profundidade, sendo o material acondicionado em sacos plásticos identificados com o código do ponto de coleta e a profundidade da amostra.

2.6.1.4 Sedimento

Para a coleta de sedimento na Lagoa do Macuco foi utilizado um coletor de pistão (LIVINGSTONE, 1955), montado sobre plataforma flutuante (COLINVAUX et al., 1999), conforme apresentado na Figura 2.16. Os tubos coletores de alumínio apresentavam pouco mais de um metro de comprimento e cerca de seis centímetros de diâmetro interno.



Figura 2.16 – Coleta do sedimento lacustre por meio de amostrador Livingstone; (A) montagem da plataforma flutuante; (B) Posicionamento e estabilização da plataforma para coleta; (C) Pistão do coletor Livingstone; (D) Tubo coletor com sedimento após coleta

A amostragem foi realizada em um ponto localizado aproximadamente no centro da lagoa. Os tubos contendo o sedimento coletado foram vedados em suas extremidades, identificados, e mantidos em ambiente resfriado até o momento de sua abertura.

2.6.2 Descrição do testemunho sedimentar

Os tubos coletores, com o testemunho sedimentar em seu interior, foram abertos longitudinalmente em duas metades. Características tais como cor, presença de fragmentos vegetais, estrutura e textura do material sedimentar foram anotadas e relacionadas às respectivas profundidades, determinadas com auxílio de fita métrica. Para a definição da cor foi utilizada a carta de Munsell de cores para solos (MACBETH DIVISION OF KOLLMORGEN CORPORATION, 1995).

2.6.3 Análise granulométrica de solo

Amostras de solo coletadas por meio de tradagem no ponto MB, localizado sob fisionomia florestal, foram encaminhadas para análise granulométrica, pelo método do densímetro (KIEHL, 1979), no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ-USP.

2.6.4 Análises isotópicas e elementares

Os resultados das análises isotópicas de carbono e de nitrogênio são expressos pela unidade relativa “ δ ”, determinada em relação ao padrões internacionais VPDB, para o carbono, e ar atmosférico, para o nitrogênio, conforme mostrado nas equações 5 e 6:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \frac{R_{amostra} - R_{VPDB}}{R_{VPDB}} \times 1000 \quad (5)$$

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

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \frac{R_{amostra} - R_{ar}}{R_{ar}} \times 1000 \quad (6)$$

Onde $R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ para a razão isotópica do nitrogênio.

As análises elementares envolvem a mensuração do carbono orgânico total – COT e do nitrogênio total – N total, expressos em porcentagem do peso seco da amostra. Através desses valores são também calculadas as razões C/N para amostras de sedimento. As análises foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA-USP, em espectrômetro de massas ANCA GSL, com uma precisão de 0,1% e 0,02%, respectivamente.

O procedimento adotado no pré-tratamento das amostras utilizadas para análises isotópicas e elementares foi baseado em métodos descritos em Pessenda et al. (1996b) e Saia (2006). O pré-tratamento dos diferentes tipos de materiais é descrito a seguir.

2.6.4.1 Plantas

As amostras de plantas foram lavadas em água desionizada e posteriormente secas em estufa a uma temperatura não superior a 50° C. Em seguida foram trituradas em moinho e homogeneizadas.

Para realização da análise isotópica e elementar de carbono foi utilizada uma quantidade entre 0,5 e 1 miligrama de amostra. As plantas aquáticas coletadas na Lagoa do Macuco foram analisadas também em relação ao nitrogênio elementar e $\delta^{15}\text{N}$, sendo utilizados cerca de 10 miligramas de amostra homogeneizada.

2.6.4.2 Serapilheira

Fragmentos vegetais constituintes da serapilheira foram lavados em água desionizada e secos em estufa a temperatura não superior a 50° C. Em seguida, o material seco foi triturado em moinho e homogeneizado. Para a análise isotópica de C foram utilizados entre 0,5 e 1 miligrama do material.

2.6.4.3 Solo

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em malha de 210 µm, limpas de raízes e outros fragmentos vegetais e animais e homogeneizadas. Entre 40 e 70 mg do material peneirado foram utilizados para a análise. As amostras originárias de solo sob mata de tabuleiro (Floresta Ombrófila Densa) foram analisadas a intervalos de 20 cm, e as amostras originárias de solo sob formações pioneiras foram analisadas a intervalos de 10 cm.

2.6.4.4 Sedimento

O testemunho sedimentar coletado na Lagoa do Macuco foi submetido às análises isotópica e elementar de carbono e nitrogênio a cada 2 centímetros. Das amostras de sedimento foram retirados raízes e outros fragmentos vegetais. Em seguida as amostras foram secas em estufa a cerca de 50° C. Massas entre 2 e 30 mg para análises de carbono e entre 15 e 60 mg para análise de nitrogênio foram utilizadas.

2.6.5 Datação ¹⁴C

2.6.5.1 Matéria-orgânica do solo

Amostras de argissolo coletadas em um poço aberto sob vegetação de fisionomia florestal (ponto MBT) e amostra de espodosolo sob vegetação campestre (ponto NGI.1) foram selecionadas para datação ao ¹⁴C da matéria orgânica, conforme mostra a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Amostras de solo selecionadas para datação da matéria-orgânica	
Código da amostra	Profundidade (cm)
MBT 40-50	40-50
MBT 90-100	90-100
MBT 190-200	190-200
NGI.1 340-350	340-350

A datação da matéria-orgânica do solo foi realizada na fração humina, conforme o método descrito em Pessenda et al. (1996b). As amostras de solo coletadas no poço foram inicialmente secas ao ar, em temperatura ambiente, destorroadas e manualmente removidos materiais como insetos, carvão, raízes e outros pequenos fragmentos vegetais que poderiam contaminar as amostras. Em seguida foram peneiradas em malha de dois milímetros e submetidas ao processo de flutuação em solução de HCl 0,01 M para remoção de outros contaminantes ainda presentes.

Cerca de 800 g de cada amostra peneirada foram submetidos à hidrólise em solução de HCl 0,5 M a 60° C durante um período de quatro horas para remoção de ácidos fúlvicos. Após várias lavagens com água desionizada para a remoção dos ácidos e neutralização do pH, foi realizado o processo de extração alcalina. Nessa fase foi utilizada solução de Na₄P₂O₇ e NaOH 0,1M a frio para remoção de ácidos húmicos. Novamente as amostras foram lavadas em água desionizada para a remoção dos ácidos e neutralização do pH. A última fase do tratamento químico consistiu em hidrólise em solução de HCl 3,0 M a 90°C, durante 12 horas, para remoção de materiais orgânicos residuais.

Após esse tratamento o resíduo obtido foi seco em estufa a 50°C para posterior combustão, coleta do CO₂ e envio para datação AMS no exterior, como descrito em detalhes a seguir.

2.6.5.2 Matéria-orgânica sedimentar

Camadas de dois centímetros ao longo do testemunho sedimentar foram selecionadas para datação ^{14}C . O procedimento adotado no pré-tratamento das amostras de fragmentos vegetais e do sedimento foi baseado em Pessenda et al. (2008) e apresentado de modo resumido na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Amostras do testemunho selecionadas para datação e tratamento utilizado

Código da amostra	Profundidade (cm)	Tipo de material	Hidrólise (concentração; temperatura; tempo)
Mac1C4-6	4 – 6	Sedimento	HCl 2%; 60° C; 4 h
Mac1C20-22	20 – 22	Sedimento	HCl 2%; 60° C; 4 h
Mac1C48-50	48 – 50	Sedimento	HCl 2%; 60° C; 4 h
Mac1C64-66	64 – 66	Sedimento	HCl 2%; 60° C; 4 h
Mac1C68-70	68 – 70	Sedimento	HCl 2%; 60° C; 4 h
Mac1C72-74	72 – 74	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac1C76-78	76 – 78	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac1C80-82	80 – 82	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac1C92-94	92 – 94	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac1C108-110	108 – 110	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac2C12-14	122 – 124	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac2C16-18	126 – 128	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac2C24-26	134 – 136	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac2C28-30	138 – 140	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac2C60-62	170 – 172	Sedimento	HCl 4%; 60° C; 4 h
Mac2C88-90	198 – 200	Fragmentos vegetais	HCl 4%; 60° C; 4 h

Amostras de sedimentos e solos pré-tratadas foram submetidas à combustão a 600°C na linha de síntese de benzeno do Laboratório ^{14}C para obtenção do CO_2 . O gás foi acondicionado a vácuo em ampolas de vidro identificadas e encaminhado para datação AMS no Laboratório IsoTrace, Canadá, ou na Universidade da Geórgia (UGAMS), Estados Unidos.

As datações em anos A.P. obtidas para as amostras de sedimento e solo foram calibradas de acordo com Reimer et al. (2004), utilizando-se o intervalo 2σ , e os resultados são expressos em anos cal. A.P.

A cronologia estabelecida pelas datações do testemunho sedimentar foi utilizada para construção das curvas de profundidade x idade calibrada, com base na proposta apresentada por Walanus (2008). As curvas de profundidade x idade calibrada serviram como base para determinação das curvas de taxa de sedimentação.

2.6.6 Bioindicadores

2.6.6.1 Grãos de pólen e esporos

As operações de abertura e coleta de sub-amostras do testemunho sedimentar da Lagoa do Macuco foram realizadas no Laboratório de ^{14}C do CENA-USP. O testemunho foi aberto por meio de um corte longitudinal e separado em duas metades. As sub-amostras, constituídas por 1 cm^3 de sedimento, foram colhidas em intervalos de dois centímetros ao longo do testemunho e acondicionadas em frascos de acrílico identificados. Ao final, o material foi guardado em geladeira.

O tratamento polínico utilizado baseou-se no método apresentado por Colinvaux et al. (1999). As sub-amostras foram submetidas a tratamento físico-químico para promover a concentração dos grãos de pólen e esporos presentes no sedimento lacustre. As centrifugações mencionadas entre cada etapa do processo descrito a seguir foram realizadas a 3000 rpm durante três minutos.

Inicialmente, as sub-amostras foram transferidas para tubos de centrífuga identificados, com capacidade para 15 ml. A cada sub-amostra, foram adicionadas concentrações conhecidas de um marcador exótico, conforme metodologia estabelecida por Benninghoff (1962). Para tanto foram utilizadas em cada sub-amostra duas pastilhas de *Lycopodium*, cada uma com concentração média de 18583 grãos, adquiridas junto ao Departamento de Geologia da Universidade de Lund, na Suécia. Foram adicionados cerca de 5 ml de HCl 10% para a dissolução das pastilhas. O material contido em cada tubo foi homogeneizado e centrifugado. A adição do marcador exótico é necessária à realização da análise polínica absoluta, que tem por premissa o conhecimento do número de grãos de pólen contidos em um volume conhecido de sedimento.

Após lavagens com água desionizada, foram adicionados 10 ml de HF 48% a cada sub-amostra. A reação com o ácido foi realizada em banho-maria, a cerca de 90° C, durante 30 minutos. Após, completou-se o volume dos tubos com solução de HCl 10% e procedeu-se a centrifugação, o descarte do material em solução e a lavagem com água desionizada. O ataque com HF promove a dissolução da sílica presente no sedimento. A solução de HCl permite a remoção da sílica coloidal e de fluoretos de sílica.

A seguir as sub-amostras foram submetidas a um banho-maria em solução de KOH 5% durante três a cinco minutos. Após centrifugação a solução foi descartada e o material lavado com água desionizada. Um ataque de KOH a quente, permite a remoção de ácidos húmicos do sedimento.

As sub-amostras foram desidratadas com HAc e, posteriormente, acetolisadas em solução constituída por nove partes de (CH₃CO)₂O e uma parte de H₂SO₄ concentrado (total de 10 ml) em banho-maria a cerca de 90° C, durante 15 minutos. Após, o volume de cada tubo de centrífuga foi completado com HAc para redução da força reativa da solução. As sub-amostras foram centrifugadas e a solução descartada. Os objetivos principais da acetólise são a remoção da celulose presente no sedimento e a coloração dos grãos de pólen e esporos.

Na seqüência as sub-amostras foram lavadas com água desionizada e desidratadas com etanol absoluto. Após centrifugação, o excesso de etanol foi removido e o resíduo sedimentar resultante homogeneizado com a adição de algumas gotas de glicerina bidestilada, seco em estufa a 50° C para remoção do etanol ainda presente e acondicionado em frascos de acrílico identificados. O material foi guardado em geladeira para posterior montagem das lâminas de microscopia. O processo de desidratação das sub-amostras propicia um maior tempo de vida útil às lâminas de microscopia utilizadas na análise polínica.

Após o tratamento físico-químico foram montadas lâminas de microscopia óptica para todas as sub-amostras do testemunho MAC-C. O meio de montagem utilizado foi glicerina líquida. O resíduo foi colocado sobre a lâmina em um espaço delimitado por parafina. A lamínula foi vedada em suas bordas e identificadas com o código de cada sub-amostra.

A leitura dos palinomorfos encontrados (grãos de pólen e esporos) foi realizada em um microscópio Zeiss Axisokop 40, com objetiva Achroplan 100x. A identificação com base em comparações com as coleções de referência do Laboratório de ¹⁴C do CENA/USP e do Laboratório de Palinologia e Paleobotânica da UnG. Quando necessário, a identificação foi realizada com base em consulta a bibliografia especializada, conforme indicado no Anexo A.

Para a contagem foram utilizadas pelo menos três lâminas de microscopia para cada amostra. Foram contados todos os grãos de pólen e esporos encontrados e também todos os esporos de *Lycopodium* marcador até se atingir um mínimo de 300 grãos de pólen identificados como pertencentes a táxons arbóreos.

A partir dos dados obtidos pela contagem e identificação dos tipos polínicos, foram utilizados os softwares Tilia e Tilia Graph View para a confecção de diagramas de concentração relativa (%), concentração absoluta (grãos/cm³) e taxa de acumulação polínica (grãos/cm²/ano, conforme DAVIS; DEEVEY JUNIOR, 1964). A concentração relativa foi calculada com base na soma total de grãos de pólen (inclusive plantas aquáticas) e esporos. A delimitação das zonas polínicas foi realizada com o programa CONISS (GRIMM, 1987) com base em todos os táxons, exceto os tipos indeterminados. A nomenclatura dos táxons de angiospermas foi baseada em APGII.

2.6.6.2 Diatomáceas

As sub-amostras para análises de diatomáceas também foram coletadas em intervalos de 2 cm ao longo do testemunho sedimentar da Lagoa do Macuco. As sub-amostras, constituídas por 1 cm³ do sedimento, foram acondicionadas em frascos identificados.

O tratamento para extração das diatomáceas consistiu em reagir as sub-amostras com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 30 volumes, a cerca de 50° C, até o término da reação para a remoção da matéria-orgânica. Em seguida as sub-amostras foram lavadas com água desionizada até se obter um pH próximo ao neutro. Posteriormente as sub-amostras reagiram com HCl 10% a cerca de 50° C. Ao final foram realizadas novamente lavagens com água desionizada até um pH próximo ao neutro. Após o tratamento os resíduos foram acondicionados em frascos de acrílico com água desionizada, e mantidos em geladeira.

Para montagem das lâminas de microscopia, pequenas quantidades dos resíduos foram pipetadas sobre lamínulas e deixadas para secar em temperatura ambiente. Uma gota de Naphrax foi colocada sobre uma lâmina pré-aquecida e sobre ela foi colocada a lamínula com o resíduo seco. A lâmina foi colocada sobre uma chapa aquecedora, a uma temperatura não maior que 50° C, e a lamínula foi pressionada para remoção das bolhas.

A análise de diatomáceas foi realizada apenas em algumas sub-amostras e foi restrita a um levantamento qualitativo de alguns tipos encontrados.

2.7 Resultados e Discussão

Inicialmente são sintetizadas informações sobre as coletas realizadas em cada ponto de amostragem. Os pontos são agrupados conforme a fisionomia da vegetação de cobertura, isto é, pontos sob fitofisionomia florestal e pontos sob fitofisionomia não-florestal. O ponto MAC, Lagoa do Macuco, é tratado à parte, devido à natureza do substrato amostrado (sedimento lacustre).

Em seguida são apresentados, discutidos e interpretados os resultados de cada grupo. Primeiramente os pontos sob floresta, em seguida os pontos sob fitofisionomia não-florestal e, ao final o ponto MAC (Lagoa do Macuco).

Ao final do tópico ‘resultados e discussão’ é apresentada a integração dos dados, quando os resultados dos três grupos são interpretados em conjunto, com foco na dinâmica da vegetação, nas flutuações do nível relativo marinho e nos paleoclimas holocênicos.

2.7.1 Coletas realizadas

A Tabela 2.5 sintetiza informações das coletas realizadas. No total são 16 pontos de amostragem, sendo: (i) 7 pontos em floresta sobre Argissolo, (ii) 6 pontos em fitofisionomia não-florestal sobre Espodossolo, (iii) 1 ponto em vegetação monoespecífica de *Cyperus* sp. sobre Gleissolo, (iv) 1 ponto em fitofisionomia não-florestal sobre Neossolo Quartzarênico e (v) 1 ponto em ambiente lacustre.

Tabela 2.5 – Pontos de coleta, vegetação de cobertura, substratos e amostragens realizadas

Ponto	Substrato	Amostragens
<u>Pontos sob fitofisionomia florestal</u>		
MB	Argissolo	Tradagem de solo até 4 m. Plantas do entorno e serapilheira.
MBT	Argissolo	Coleta de solo em poço de 2 m de profundidade.
MT1	Argissolo	Tradagem de solo até 3 m e poço até 2,8 m. Plantas do entorno e serapilheira.
NG5	Argissolo	Tradagem de solo até 3,5 m. Plantas do entorno e serapilheira.
MBA	Argissolo	Tradagem de solo até 1,5 m. Plantas do entorno e serapilheira.
CT	Argissolo	Poço e tradagem até 3 m.
MJ	Argissolo	Tradagem até 3 m.
<u>Pontos sob fitofisionomia não-florestal</u>		
BI	Gleissolo	Planta dominante (<i>Cyperus</i> sp.)
NGI	Espodossolo	Tradagem de solo até 1 m. Plantas do entorno.
NGI.1	Espodossolo	Tradagem de solo a partir de 0,7 m de profundidade até 3,7 m.
NG7	Espodossolo	Tradagem de solo até 3 m. Plantas do entorno.
MUGI	Espodossolo	Tradagem de solo até 1,3 m. Plantas do entorno e serapilheira.
NMI	Espodossolo	Tradagem de solo até 1,8 m. Plantas do entorno.
NG4	Espodossolo	Tradagem de solo até 0,8 m. Plantas do entorno.
NB	Neossolo quartzarênico	Tradagem de solo até 1,6 m. Coleta de plantas do entorno.
<u>Lagoa do Macuco</u>		
MAC	Sedimento	Testemunho sedimentar de 2 m de profundidade (MAC-C). Plantas aquáticas e plantas localizadas no entorno da lagoa.

2.7.2 Pontos sob floresta

2.7.2.1 Composição isotópica da vegetação

A Tabela 2.6 apresenta a composição isotópica de carbono das amostras de plantas coletadas nos pontos sob floresta. Todas as amostras apresentam composição isotópica típica de plantas de ciclo fotossintético C3 (BENDER, 1971).

Tabela 2.6 – Composição isotópica do carbono das plantas coletadas no entorno dos pontos sob mata

Identificação	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<u>Ponto MB</u>	
<i>Palicourea fulgens</i>	-33,74
<i>Piptadenia fruticosa</i>	-35,05
<i>Sebastiania</i> sp.	-35,46
<i>Sterculia speciosa</i>	-31,18
<i>Calathea linharesana</i>	-35,82
<i>Eriotheca macrophylla</i>	-35,59
<u>Ponto MBA</u>	
<i>Marlierea excoriata</i>	-33,86
<i>Trichilia casaretti</i>	-33,78
<i>Quararibea penduliflora</i>	-33,58
<i>Trichilia lepidota</i>	-33,39
<i>Moldenhawera papillanthera</i>	-32,60
<u>Ponto MT1</u>	
<i>Astrocaryum aculeatissimum</i>	-34,29
<i>Carpotroche brasiliensis</i>	-32,83
<i>Amphirrhox longifolia</i>	-33,50
<i>Heliconia</i> sp.	-34,71
<i>Eriotheca macrophylla</i>	-34,09
<i>Polyandrococos caudescens</i>	-31,98
Identificação	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<u>Ponto NG5</u>	
<i>Atalea humilis</i>	-32,95
<i>Pouteria</i> sp.	-33,82
<i>Cecropia</i> sp.	-33,21

2.7.2.2 Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica das amostras de solo do ponto MB, localizado sob floresta, são apresentados na Tabela 2.7. A camada superficial (0-10 cm) apresentou textura arenosa, enquanto que as demais apresentaram texturas argilosa ou médio-argilosa.

Tabela 2.7 – Resultados da análise granulométrica de solo sob mata, ponto MB

Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
0-10	82	4	14	Arenosa
20-30	68	4	28	médio-argilosa
40-50	65	4	31	médio-argilosa
60-70	66	4	30	médio-argilosa
80-90	64	4	32	médio-argilosa
100-110	60	4	36	Argilosa
120-130	60	4	36	Argilosa
140-150	58	4	38	Argilosa
160-170	55	4	41	Argilosa
180-190	57	4	39	Argilosa
200-210	57	4	39	Argilosa
220-230	63	4	33	médio-argilosa
240-250	63	4	33	médio-argilosa
260-270	59	4	37	Argilosa
280-290	61	4	35	Argilosa
300-310	59	4	37	Argilosa
320-330	59	4	37	Argilosa
340-350	60	4	36	Argilosa
360-370	62	4	34	médio-argilosa
380-390	64	4	32	médio-argilosa
390-400	62	4	34	médio-argilosa

2.7.2.3 Datação da matéria-orgânica do solo

A Tabela 2.8 apresenta os valores das datações ^{14}C realizadas na matéria-orgânica do solo (fração humina) do ponto MBT, sendo de ~7000 anos A.P. (~7700 anos cal. A.P.) na base até ~2720 anos A.P. (~2800 anos cal. A.P.) a 40-50 cm.

As datações obtidas para o ponto MBT servirão de base para estimativa da idade da matéria-orgânica do solo nos demais pontos, seja em ambiente florestal ou não, pois as amostras datadas são representativas dos solos dominantes na área de estudo (Argissolo), e, por outro lado, Espodossolo e Neossolo Quartzarênico não possuem matéria-orgânica suficiente para a análise via AMS.

Através dos resultados é possível estimar que a idade da matéria-orgânica presente nas camadas mais profundas (~300 cm) represente pelo menos o Holoceno inferior, de acordo com outros estudos feitos em distintas regiões brasileiras (PESSENDA et al., 1996a; VIDOTTO et al., 2007).

Tabela 2.8 – Resultados das datações realizadas na matéria-orgânica do solo (humina) do ponto MBT e NG

Código laboratório	Material	Profundidade (cm)	Idade ± erro (anos A.P.)	Idade calibrada (anos cal. A.P.; 2σ)
UGAMS4270	M.O do solo	40-50	2720 ±25	2860-2764
UGAMS4271	M.O. do solo	90-100	6240 ±30	7254-7154
UGAMS4272	M.O. do solo	190-200	6960 ±30	7856-7696
UGAMS 8195	M.O. do solo	350-360	13280 ±30	16685-15461

UGAMS - Laboratório AMS Universidade da Geórgia, Estados Unidos.

As datações da fração humina da matéria-orgânica do solo dos pontos MBT e NG foram, como esperado, mais jovens que os obtidos em Cambissolos em Curucutu por Pessenda et al. (2009), onde a 100-110 cm e a 50-60 cm as idades foram 9840 ± 110 e 6090 ± 150 anos A.P. No entanto, foram próximos aos valores obtidos em Latossolo Vermelho Amarelo em Salitre, Minas Gerais, com 6940 ± 80 anos A.P. a 200 cm e 3700 ± 80 anos A.P. em torno de 100 cm (PESSENDA et al., 1996a), e em Argissolos Amarelos no sul do Amazonas, com 6770 ± 60 e 6560 ± 100 anos A.P. em torno de 100 cm e 3730 ± 110 e 3290 ± 70 anos A.P. a 40-50 cm (VIDOTTO et al., 2007). As diferenças e similaridades estão associadas à textura/estrutura e teor de argila dos solos, visto que os Cambissolos possuem características de maior densidade no perfil, em relação aos Latossolos, Argissolos, etc., o que modifica a dinâmica da matéria orgânica. Solos com maior densidade possuem a matéria orgânica mais antiga em relação às mesmas profundidades do perfil, do que os solos menos densos.

2.7.2.4 Análises isotópicas e elementares da matéria-orgânica do solo

Os resultados das análises isotópicas e elementares realizadas em amostras de serapilheira e solo nos pontos sob floresta são apresentados na Tabela 2.9 e Figura 2.17.

Todos os pontos sob floresta apresentaram redução da concentração de carbono orgânico com o aumento da profundidade (Figura 2.17). A concentração de carbono orgânico, em torno de 45% da massa seca da serapilheira, sofre redução para valores em torno de 2% na camada superficial (0-10 cm) e para valores de até 0,16% nas camadas mais profundas, consequência da oxidação da matéria-orgânica (PESSENDA et al., 1996a). Essa mesma tendência de redução da concentração de carbono orgânico com o aumento da profundidade foi observada em outros estudos realizados no Brasil (PESSENDA et al., 1996a; 2004b; 2009; VIDOTTO et al., 2007).

Em todos os pontos sob floresta a composição isotópica de carbono da serapilheira, em torno de -30‰, reflete a vegetação de cobertura, composta por plantas de ciclo fotossintético C3 (Tabela 2.9). No entanto, é observado enriquecimento de 2 a 3‰, resultado do fracionamento isotópico causado pela decomposição da matéria-orgânica (MACKO; ESTEP, 1984). Os valores isotópicos ao longo dos perfis de solo dos pontos sob floresta também refletem matéria-orgânica de origem de plantas C3. As camadas superficiais (0-10 cm) apresentaram valores entre -28 e -26‰, com enriquecimento de cerca de 3‰ em relação à serapilheira, resultado do fracionamento isotópico causado pela decomposição da matéria-orgânica (MACKO; ESTEP, 1984). Há a tendência geral de enriquecimento isotópico com o aumento da profundidade (Figura 20), que também pode ser interpretada como resultado do fracionamento isotópico causado pela decomposição da matéria-orgânica originada de plantas C3 (NATELHOFFER; FRY, 1988).

Portanto, considerando a idade de 6960 ± 30 anos AP (ou 7856-7696 anos cal. AP) obtida para a fração humina do ponto MBT, a 190-200 cm de profundidade, podemos considerar que a composição isotópica da matéria-orgânica dos solos nos pontos localizados sob floresta não indica mudança de fisionomia florestal para campestre durante o Holoceno, na região estudada, que compreende a área atualmente ocupada pela Reserva Natural Vale, com cerca de 25000 hectares (Figura 2.3).

Tabela 2.9 – Carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira e da matéria-orgânica do solo dos pontos sob floresta

Profundidade (cm)	Ponto MB		Ponto MT1		Ponto NG5		Ponto MBA		Ponto CT		Ponto MJ	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Serapilheira	41,96	-	45,0		42,16	-30,18	41,31	-28,93	42,82	-29,62	47,04	-30,57
		29,22	2	-29,93								
0-10	1,32	-			1,84	-27,76	2,10	-26,00	2,00	-26,58	2,30	-26,35
		27,39	2,65	-27,93								
10-20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20-30	0,82	-			1,90	-27,25	1,47	-26,63	1,82	-26,45	1,38	-26,50
		26,16	1,92	-27,98								
30-40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
40-50	0,63	-			1,49	-26,74	1,10	-26,33	1,18	-26,37	1,05	-26,33
		25,73	1,06	-26,61								
50-60	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
60-70	0,52	-			1,05	-26,47	0,84	-25,84	0,67	-25,63	0,62	-25,75
		25,43	0,83	-26,56								
70-80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
80-90	0,49	-			0,67	-25,89	0,64	-25,38	0,58	-25,41	0,47	-25,66
		25,47	0,55	-25,97								
90-100	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
100-110	0,43	-			0,60	-25,94	0,71	-25,64	0,53	-25,27	0,48	-25,21
		25,21	0,49	-25,47								
110-120	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
120-130	0,40	-			0,58	-25,78	0,67	-25,67	0,41	-25,11	0,62	-25,55
		25,19	0,51	-25,16								

continua

Tabela 2.9 – Carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheria e da matéria-orgânica do solo dos pontos sob floresta

Profundidade (cm)	Ponto MB		Ponto MT1		Ponto NG5		Ponto MBA		Ponto CT		Ponto MJ	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
130-140	...	...	...	...	...	...	0,64	-25,63	...	...	...	...
140-150	0,35	-			0,58	-25,92	0,73	-26,00	0,39	-25,11	0,47	-24,82
		25,18	0,56	-25,25								
150-160	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
160-170	0,37	-	0,49	-25,13	0,49	-25,62	...	...	0,34	-25,08	0,42	-24,70
		25,21										
170-180	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
180-190	0,35	-	0,43	-25,00	0,46	-25,50	...	...	0,30	-25,21	0,40	-25,02
		25,72										
190-200	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
200-210	0,25	-	0,41	-25,25	0,36	-25,24	...	...	0,29	-25,15	0,34	-24,78
		25,46										
210-220	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
220-230	0,17	-	0,41	-25,39	0,39	-25,79	...	...	0,23	-25,23	0,28	-24,50
		24,97										
230-240	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
240-250	0,20	-	0,44	-25,71	0,29	-25,40	...	...	0,22	-25,13	0,27	-24,92
		25,20										
250-260	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
260-270	0,17	-	0,39	-25,01	0,22	-24,96	...	...	0,21	-25,11	0,26	-25,09
		25,00										
270-280	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

continua

Tabela 2.9 – Carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheria e da matéria-orgânica do solo dos pontos sob floresta

Profundidade (cm)	Ponto MB		Ponto MT1		Ponto NG5		Ponto MBA		Ponto CT		Ponto MJ	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
280-290	0,20	-	0,35	-25,03	0,24	-25,13	...	...	0,21	-25,30	0,25	-24,78
		25,40										
290-300	...	...	0,31	-25,07	...	...	...	...	0,21	-25,21	...	...
300-310	0,16	-	...	...	0,28	-24,83	...	...	...	...	0,27	-25,06
		25,23										
310-320	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
320-330	0,22	-	...	...	0,31	-24,58	...	...	...	...	...	...
		26,10										
330-340	...	...	...	...	0,33	-24,87	...	...	...	...	...	...
340-350	0,20	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		25,25										
350-360	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
360-370	0,19	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		25,29										
370-380	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
380-390	0,16	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		24,95										
390-400	0,16	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		24,99										

... (dado numérico não disponível).

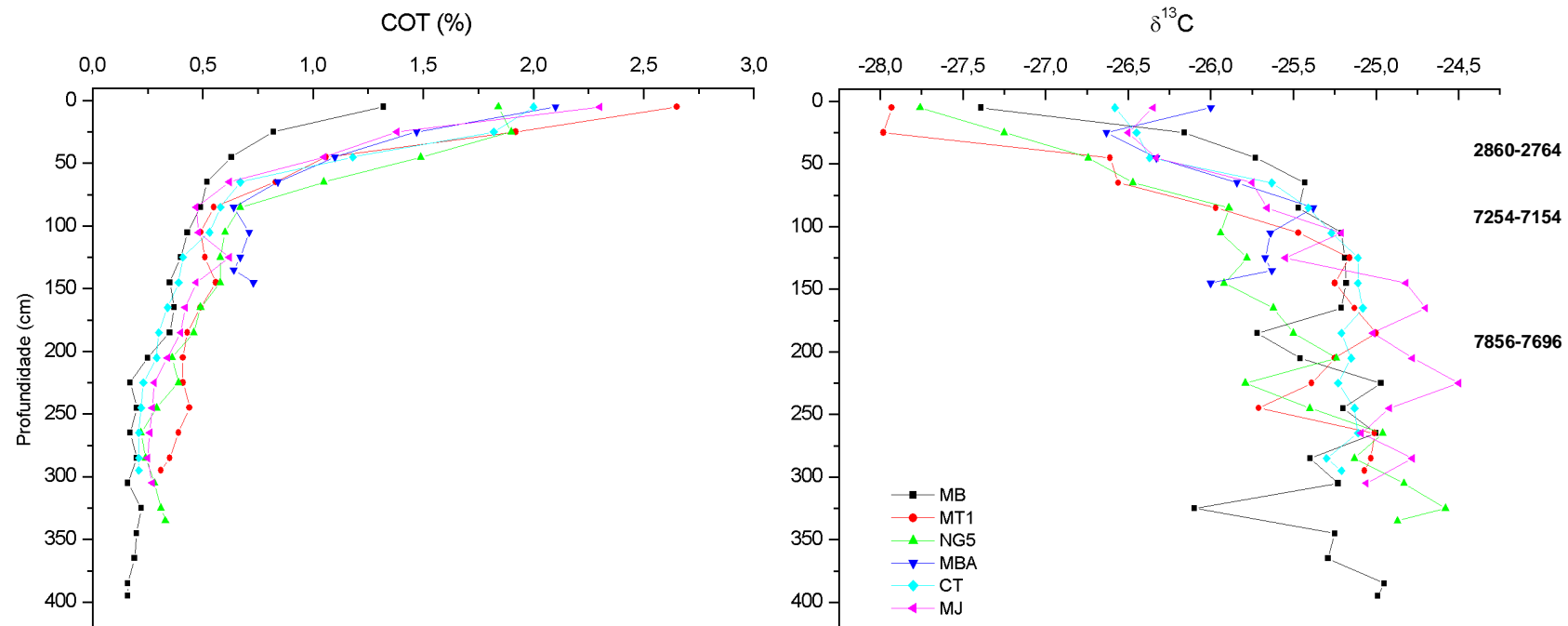


Figura 2.17 – Carbono orgânico total (COT), $\delta^{13}\text{C}$ e datação ^{14}C (anos cal. AP) da matéria-orgânica do solo dos pontos sob floresta, em relação à profundidade

2.7.3 Pontos sob vegetação não florestal

2.7.3.1 Composição isotópica da vegetação

Conforme mostrado na Tabela 2.10 a maior parte das plantas coletadas nos pontos sob cobertura não florestal apresenta composição isotópica de plantas de ciclo fotossintético C3. As únicas exceções são *Lagenocarpus verticellatus* e *Cyperus* sp. (*Cyperaceae*), cujos valores são típicos de plantas C4 (BENDER, 1971).

Tabela 2.10 – $\delta^{13}\text{C}$ das plantas coletadas no entorno dos pontos sob vegetação não florestal

Identificação	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<u>Ponto NGI</u>	
<i>Bonnetia anceps</i>	-27,48
<i>Doliocarpus lancifolius</i>	-29,03
<i>Eupatorium harvardianum</i>	-29,06
<i>Lagenocarpus rigidus</i>	-28,44
<i>Ocotea</i> sp.	-30,30
<i>Paepalanthus tortilis</i>	-29,82
<i>Xyris ciliata</i>	-29,40
<u>Ponto MUGI</u>	
<i>Byrsonima</i> sp.	-32,42
<i>Lagenocarpus verticellatus</i>	-13,44
<i>Machaerium uncinatum</i>	-30,88
<i>Vriesea</i> sp.	-30,90
<u>Ponto NMI</u>	
<i>Panicum</i> cf. <i>lagostachyum</i>	-28,86
<u>Ponto NB</u>	
<i>Ocotea notata</i>	-31,04
<i>Panicum</i> cf. <i>lagostachyum</i>	-25,35
<i>Tabebuia elliptica</i>	-25,33
<i>Kielmeyera albopunctata</i>	-29,08
<i>Humiria balsamifera</i> var. <i>parvifolia</i>	-29,01
<i>Lagenocarpus rigidus</i>	-25,04
<u>Ponto BI</u>	
<i>Cyperus</i> sp.	-12,36

2.7.3.2 Datação da matéria-orgânica do solo

A datação ^{14}C da fração humina da amostra NGL1 340-350 (Figura 2.18) foi de ~ 13.280 anos AP e em anos calibrados de 15461-16685 anos AP (UGAMS 8195).

2.7.3.3 Análises isotópicas e elementares da matéria-orgânica do solo

A Tabela 2.11 e a Figura 2.18 apresentam os resultados das análises isotópicas e elementares da matéria-orgânica dos solos localizados sob vegetação de fitofisionomia não-florestal. Ao contrário dos pontos localizados sob floresta, os pontos sob cobertura não-florestal não apresentavam acúmulo de serapilheira na superfície, motivo pelo qual esse componente não foi analisado.

A concentração de carbono orgânico ao longo do perfil do solo no ponto NB reduz com o aumento da profundidade (Figura 18). A camada superior 0-10 cm apresenta concentração de 4,08%, enquanto que a camada mais profunda, 150-160 cm 0,04%. Pessenda et al. (2004a) em um estudo realizado com solos arenosos, de origem eólica, no estado do Maranhão, encontraram tendência semelhante para a maioria dos pontos analisados. De acordo com IBGE (1987), o ponto NB deve estar localizado sobre um terraço arenoso de origem pleistocênica, formado durante o evento regressivo que seguiu a penúltima transgressão marinha há cerca de 123000 anos A.P. (SUGUIO, 1999).

Os demais pontos sob vegetação não-florestal apresentam tendência distinta da observada acima. Tais pontos apresentam de início uma redução no conteúdo de carbono orgânico, mas seguida de um aumento da concentração em determinada profundidade (Figura 18). O ponto NGI apresenta aumento da concentração de carbono a partir de 60-70 cm, com 6% a 80-90 cm. O ponto MUGI apresenta aumento da concentração entre as profundidades 60 e 90 cm com valores por volta de 3%. O ponto NMI, apresenta duas profundidades com aumento da concentração de carbono, 130-140 cm, com 1%, e 170-180 cm, também com 1%. O ponto NG4 apresenta concentração de 14% a 20-30 cm, seguido por redução na concentração até 0,39% na camada 70-80 cm. O ponto NGL1, apresenta 0,078% de carbono orgânico a 70-80 cm, seguido de dois picos, 9% a 90-100 cm, e 13% a 110-120 cm. O ponto NG7 apresenta redução do conteúdo de carbono orgânico total até a profundidade de 180-190 cm, a partir da qual ocorre um aumento, com 4% na camada 220-230 cm, seguido por um posterior decréscimo até 0,39% na camada 360-370 cm.

Tabela 2.11 - Carbono orgânico total e composição isotópica do carbono da matéria-orgânica do solo dos pontos sob vegetação não florestal

Profundidade (cm)	Ponto NGI		Ponto MUGI		Ponto NMI		Ponto NG4		Ponto NB		Ponto NGL1		Ponto NG7	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
0-10	2,66	-28,42	4,42	-26,79	5,81	-28,75	12,32	-28,45	4,08	-28,34	...	...	2,58	-26,71
10-20	0,66	-28,22	3,67	-26,83	3,93	-28,65	8,68	-28,66	0,83	-28,63	...	...	...	...
20-30	0,18	-27,85	3,05	-26,73	1,93	-28,65	13,75	-28,98	0,48	-28,63	...	...	0,81	-26,27
30-40	0,09	-27,80	2,26	-26,76	0,70	-28,71	5,45	-28,80	0,29	-28,45	...	...	...	...
40-50	0,07	-27,48	1,36	-26,93	0,44	-28,76	1,14	-28,41	0,18	-28,04	...	...	0,38	-26,01
50-60	0,10	-28,08	1,54	-27,01	0,14	-28,43	0,66	-28,22	0,12	-28,18	...	...	...	...
60-70	1,07	-27,76	2,45	-26,97	0,26	-28,89	0,60	-28,42	0,12	-28,59	...	...	0,07	-25,39
70-80	4,06	-27,90	2,48	-27,01	0,03	-28,09	0,39	-28,15	0,07	-28,55	0,08	-27,09	...	...
80-90	5,84	-27,81	2,68	-27,10	0,03	-27,94	...	...	0,03	-28,10	...	...	0,06	-25,04
90-100	5,45	-27,68	2,00	-27,08	0,02	-28,40	...	...	0,03	-28,27	8,54	-27,16	...	...
100-110	...	...	1,44	-26,85	0,05	-28,36	...	...	0,12	-28,25	6,88	-26,89	0,06	-25,28
110-120	...	...	1,70	-26,52			...	...	0,04	-27,04	13,1	-25,28	...	...
					0,02	-27,93					4			
120-130	...	...	1,46	-26,45	0,09	-28,75	...	...	0,03	-27,86	6,90	-26,47	0,02	-24,14
130-140	...	...	...	...	0,68	-28,61	...	...	0,03	-26,96	3,46	-26,37	...	...
140-150	...	...	...	...	0,08	-28,44	...	...	0,04	-27,46	...	...	0,03	-25,36
150-160	...	...	...	...	0,09	-28,35	...	...	0,04	-27,29	2,10	-26,36	...	...
160-170	...	...	...	...	0,13	-28,21	...	...	...	...	1,68	-26,30	0,02	-24,94
170-180	...	...	...	...	0,99	-27,57	...	...	...	...	1,68	-26,30	...	...

continua

Tabela 2.11 - Carbono orgânico total e composição isotópica do carbono da matéria-orgânica do solo dos pontos sob vegetação não florestal

Profundidade (cm)	Ponto NGI		Ponto MUGI		Ponto NMI		Ponto NG4		Ponto NB		Ponto NGL1		Ponto NG7	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
180-190	1,48	-26,46	0,03	-25,25
190-200
200-210	1,52	-26,42	0,78	-24,70
210-220
220-230	1,64	-26,61	4,26	-24,46
230-240
240-250	1,55	-26,85	2,87	-24,38
250-260
260-270	1,94	-26,79	1,43	-24,28
270-280
280-290	2,77	-27,06	1,17	-24,04
290-300
300-310	1,92	-26,85	1,18	-23,69
310-320	1,24	-26,46	...	...
320-330	0,73	-24,06
330-340	1,08	-26,51	...	...
340-350	1,30	-26,47	0,50	-24,35
350-360	1,19	-26,31	...	...
360-370	1,20	-26,35	0,39	-24,59

... (dado numérico não disponível).

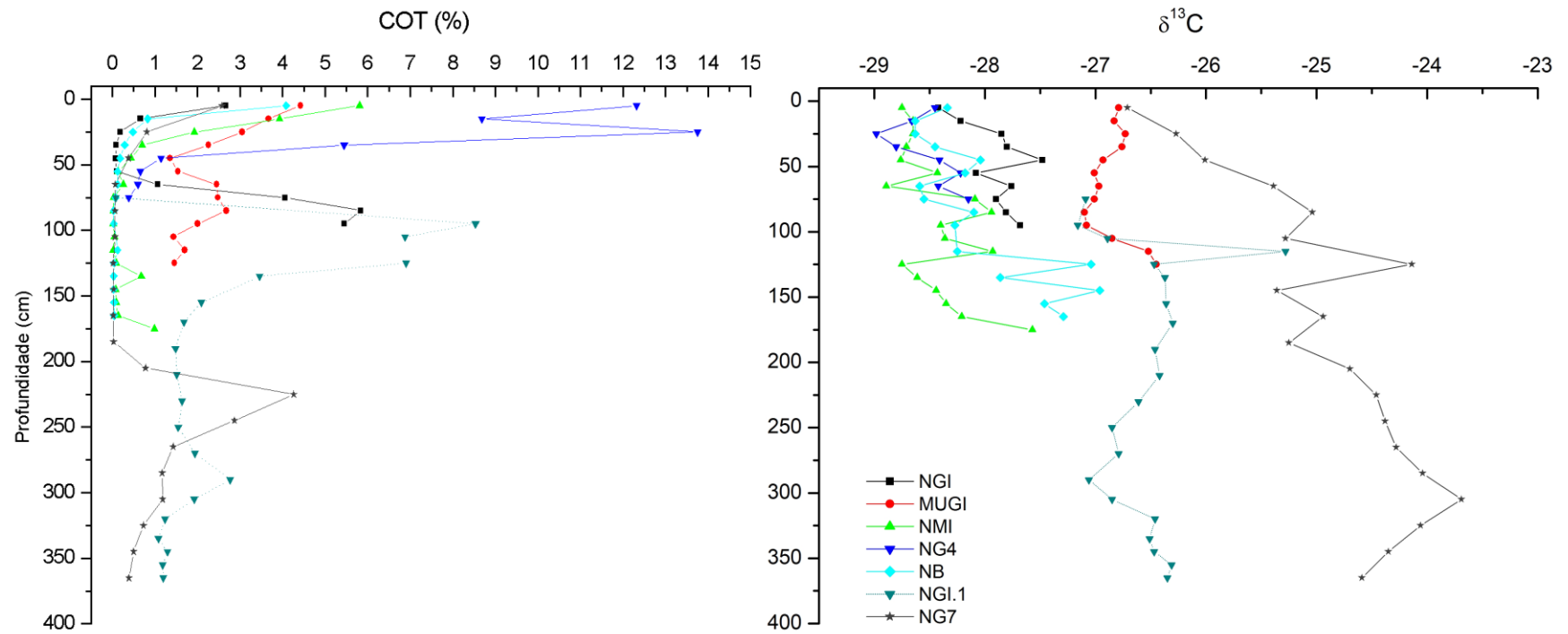


Figura 2.18 – Carbono orgânico total (COT) e $\delta^{13}\text{C}$ da matéria-orgânica do solo dos pontos sob vegetação não florestal, em relação à profundidade

Oliveira (2007), em um estudo sobre pedogênese de Espodosolos em ambientes da Formação Barreiras no sul da Bahia, verificou aumento nos teores de carbono orgânico nos horizontes B espódicos. Embora o presente trabalho não tenha tido por objetivo nem por metodologia a descrição dos horizontes dos solos, é possível supor que alguns dos aumentos de concentração de carbono descritos acima se relacionem aos horizontes B espódicos citados por Oliveira (2007). Assim, a matéria-orgânica lixiviada a partir da superfície do solo é acumulada logo acima da camada de impedimento localizada a diferentes profundidades nos pontos estudados.

Em todos os pontos analisados sob vegetação de fisionomia não-florestal, os valores isotópicos da camada superficial 0-10 cm ($\delta^{13}\text{C}$ entre -29‰ e -27‰) indicam matéria-orgânica originada de plantas de ciclo fotossintético C3 (Figura 18). Esses resultados concordam com os valores obtidos nas análises isotópicas realizadas na vegetação de cobertura, representada basicamente por plantas C3 (Tabela 2.11).

A composição isotópica do carbono ao longo dos perfis analisados é bastante variável, mas, de modo geral, as camadas mais inferiores apresentam valores menos empobrecidos que as superficiais, comportamento atribuído ao fracionamento isotópico causado pela decomposição da matéria-orgânica (MACKO; ESTEP, 1984). O ponto NG7 apresenta enriquecimento um pouco mais significativo na camada 300-310 cm, com $\delta^{13}\text{C}$ igual a -23,7‰, valor que pode ser interpretado como influência maior de matéria-orgânica originada de plantas C4, mas ainda num ambiente dominado por plantas C3. De acordo com as datações da matéria-orgânica do solo obtidas para o ponto MBT e com os valores isotópicos obtidos nos perfis analisados, é possível concluir que as áreas atualmente ocupadas por vegetação de fisionomia não-florestal em meio a mata de tabuleiro na área de estudo, não foram dominadas por plantas de ciclo fotossintético C4 durante o Holoceno.

Por outro lado, com base na composição isotópica da camada superficial (0-10 cm) os pontos sob vegetação de fisionomia não-florestal podem ser divididos em dois grupos: os pontos NG1, NMI, NG4 e NB formam um grupo com valores mais empobrecidos, em torno de -28,5‰; os pontos MUGI e NG7 formam outro grupo, com valores da camada 0-10 cm em torno de -27‰ (Figura 2.18).

Os pontos MUGI e NG7 localizam-se na periferia do Nativo da Gávea, caracterizado pelo ponto NG1 (Figura 2.18), e possuem vegetação mais arborizada que este último. A presença de uma vegetação mais arborizada pode indicar condições ambientais locais favoráveis a colonização por espécies distintas daquelas que ocorrem no interior da área campestre (ponto NG1). Entre as espécies favorecidas estariam tanto as arbustivas e arbóreas quanto espécies herbáceas, até mesmo de ciclo fotossintético C4, que explicariam os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais enriquecidos nas camadas superiores dos pontos MUGI e NG7. Na análise isotópica da vegetação o ponto MUGI apresentou uma espécie C4 (Tabela 2.10). Com base no trabalho realizado por Saporetti Junior (2009) é possível supor que os pontos MUGI e NG7 devem apresentar estresses ambientais relacionados à seca e ao alagamento menos severos que o ponto NG1, o que permite a colonização desses locais por espécies arbustivo-arbóreas e herbáceas C4, fato que se reflete na composição isotópica da matéria-orgânica do solo.

2.7.4 Lagoa do Macuco

2.7.4.1 Composição isotópica da vegetação

Os resultados das análises isotópicas realizadas nas plantas coletadas no interior e entorno da Lagoa do Macuco são apresentados na Tabela 2.12. Com exceção de *Paspalum* sp. (*Poaceae*) todas as demais plantas analisadas possuem composição isotópica típica de plantas de ciclo fotossintético C3 (BENDER, 1971).

Tabela 2.12 – Composição isotópica das plantas coletadas na Lagoa do Macuco

Identificação	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<u>Plantas aquáticas e semi-aquáticas</u>		
<i>Fuirena umbellata</i>	-28,53	...
<i>Tonina fluviatilis</i>	-31,95	0,55
<i>Eleocharis interstincta</i>	-30,79	2,14
<i>Ceratopteris thalictroides</i>	-30,63	3,95
<i>Typha</i> sp.	-29,82	5,02
<i>Rhynchospora gigantea</i>	-30,15	...
<i>Panicum</i> cf. <i>stoloniferum</i>	-30,31	2,64
<i>Cabomba</i> sp.	-32,16	2,01
<i>Utricularia</i> sp.	-33,29	4,85
<i>Oxycaryum cubense</i>	-31,01	6,61
<i>Salvinia</i> sp.	-31,89	1,20
<u>Plantas terrestres (do entorno)</u>		
<i>Caperonia palustris</i>	-29,75	...
<i>Costus</i> sp.	-29,01	...
<i>Tabebuia cassinoides</i>	-27,14	...
<i>Thelypteris</i> sp.	-29,22	...
<i>Ludwigia nervosa</i>	-31,44	...
<i>Paspalum</i> sp.	-13,64	...
<i>Panicum</i> sp.	-30,76	...
<i>Nephrolepsis bisserrata</i>	-30,60	...
<i>Blechnum</i> sp.	-28,60	...
<i>Smilax brasiliensis</i>	-30,27	...
<i>Piper hispidum</i>	-31,03	...
<i>Blechnum serrulatum</i>	-27,92	...
<i>Anemia</i> sp.	-31,52	...
<i>Poaceae</i> sp.	-32,02	...
<i>Lygodium volubile</i>	-30,20	...
<i>Sapium glandulosum</i>	-29,43	...
<i>Rapanea rubra</i>	-28,64	...
<i>Pityrogramma calomelanos</i>	-30,18	...
<i>Alchornea triplinervia</i>	-29,51	...
<i>Achrosticum aureum</i>	-26,50	...

... (dato numérico não disponível).

2.7.4.2 Descrição do testemunho sedimentar

A descrição litológica do testemunho MAC-C é apresentada na Tabela 2.13. A base do testemunho é constituída por material lamoso com coloração cinza esverdeada escura, juntamente com areia de alta granulometria. Após uma transição abrupta a camada superior apresenta inicialmente muitos fragmentos vegetais macroscópicos. A partir de 198 cm a consistência lamosa torna-se mais evidente, mas ainda com presença de muitos fragmentos vegetais, no entanto de menor tamanho.

Até 138 cm a coloração é cinza esverdeada escura, a consistência é esponjosa devido à alta concentração de fragmentos vegetais e há a presença de areia. De 138 cm até cerca de 78 cm a litologia é maciça, composta por material lamoso muito plástico, sem estrutura evidente, de coloração cinza e granulometria aparentemente muito fina. O intervalo entre 78 e 70 cm apresenta coloração gradualmente mais escura, provavelmente devido à maior concentração de matéria-orgânica, evidenciada pelo aumento da concentração de fragmentos vegetais. A consistência continua lamosa, mas menos plástica. A partir de 68 cm até o topo do testemunho o material apresenta coloração negra, com muitos fragmentos vegetais e de consistência gelatinosa frágil.

Tabela 2.13 – Descrição litológica do testemunho sedimentar MAC-C da Lagoa do Macuco

Intervalo (cm)	Profundidade (cm)	Descrição
Primeiro tubo		
0 a 70	0 a 70	Lama de consistência gelatinosa, desmancha com facilidade. Presença de fragmentos vegetais e areia fina. Coloração 10YR 2/1, “preto”.
70 a 73	70 a 73	Lama, mais consistente e mais clara que o intervalo anterior. Coloração 7.5YR 2.5/1, “preto”.
73 a 77	73 a 77	Lama, mais consistente e mais clara que o intervalo anterior. Coloração 2.5R 4/1 “cinza avermelhado escuro”.
77 a 110	77 a 110	Lama argilosa (muito plástica) com areia fina. Em 78 cm foram encontrados cristais com cerca de 1 a 2 mm de diâmetro. Presença de fragmentos vegetais em todo o intervalo Coloração 5YR 5/1, “cinza”.
Segundo tubo		
0 a 28	110 a 138	Lama argilosa (muito plástica) com areia fina. Coloração 5YR 4/1 “cinza escuro”.
28 a 36	138 a 146	Região lamosa com limites pouco definidos. Presença de manchas verticais mais escuras, talvez relacionado a turbação. Coloração “cinza esverdeada escura” 1 10Y 2.5/1.
36 a 88	146 a 198	Lama argilosa com fragmentos vegetais e areia fina. Em 49 cm ocorre fragmento vegetal bastante decomposto. Presença de lâminas compostas por fragmentos vegetais, como no intervalo de 50 a 56 cm e 65 a 67 cm. A partir de 70 cm há maior presença de fragmentos vegetais, os quais dão ao material consistência esponjosa. Coloração “cinza esverdeada escura” 1 10Y 2.5/1.
88 a 90	198 a 200	Material de consistência turfosa com muitos fragmentos vegetais. Coloração 5Y 2.5/1 “cinza escuro”.
90 a 93	200 a 204	Lama com areia grossa. Presença de restos vegetais e prováveis cristais de quartzo com até 2 mm. Intervalo visualmente mais claro que o anterior. Coloração 5Y 3/2 “cinza esverdeado escuro”.

2.7.4.3 Datações da matéria-orgânica sedimentar

Os resultados das datações realizadas no testemunho sedimentar MAC-C são apresentados na Tabela 2.14. A camada 198-200 cm, localizada próxima à base do testemunho, foi datada em 7700-7438 anos cal. A.P. A camada 4-6 cm, localizada próximo ao topo foi datada como de idade moderna. Não ocorreram inversões nas datações realizadas. A alta definição obtida nos resultados das datações permitiram a construção das curvas de idade x profundidade e de taxa de sedimentação, apresentadas na Figura 2.19. A curva idade x profundidade será utilizada na interpolação das idades quando da interpretação dos resultados obtidos no testemunho MAC-C.

Tabela 2.14 – Resultados das datações realizadas nos testemunhos coletados na Lagoa do Macuco

Código laboratório	Material	Profundidade (cm)	Idade ± erro (anos A.P.)	Idade calibrada (anos cal. A.P.; 2σ)
UGAMS3405	Sedimento	4 – 6	Moderna	Moderna
UGAMS3406	Sedimento	20 – 22	100 ±30	146-14
UGAMS3407	Sedimento	48 – 50	110 ±30	148-12
UGAMS4265	Sedimento	64 – 66	290 ±25	437-350
TO13702	Sedimento	68 – 70	1090 ±90	1184-795
UGAMS3408	Sedimento	72 – 74	1430 ±30	1376-1293
TO13483	Sedimento	76 – 78	2440 ±70	2624-2350
UGAMS4266	Sedimento	80 – 82	3260 ±25	3561-3441
UGAMS4267	Sedimento	92 – 94	3820 ±25	4296-4146
TO13699	Sedimento	108 – 110	4560 ±60	5330-5037
TO13700	Sedimento	122 – 124	4580 ±120	5488-4958
UGAMS4268	Sedimento	126 – 128	5460 ±30	6304-6208
UGAMS4269	Sedimento	134 – 136	5780 ±30	6656-6498
TO13484	Sedimento	138 – 140	6100 ±80	7173-6773
TO13701	Sedimento	170 – 172	6470 ±70	7506-7260
TO13485	Fragmentos vegetais	198 – 200	6730 ±80	7700-7438

UGAMS - Laboratório AMS Universidade da Geórgia, Estados Unidos.

TO - Isotrace Laboratory - Universidade de Toronto, Canadá.

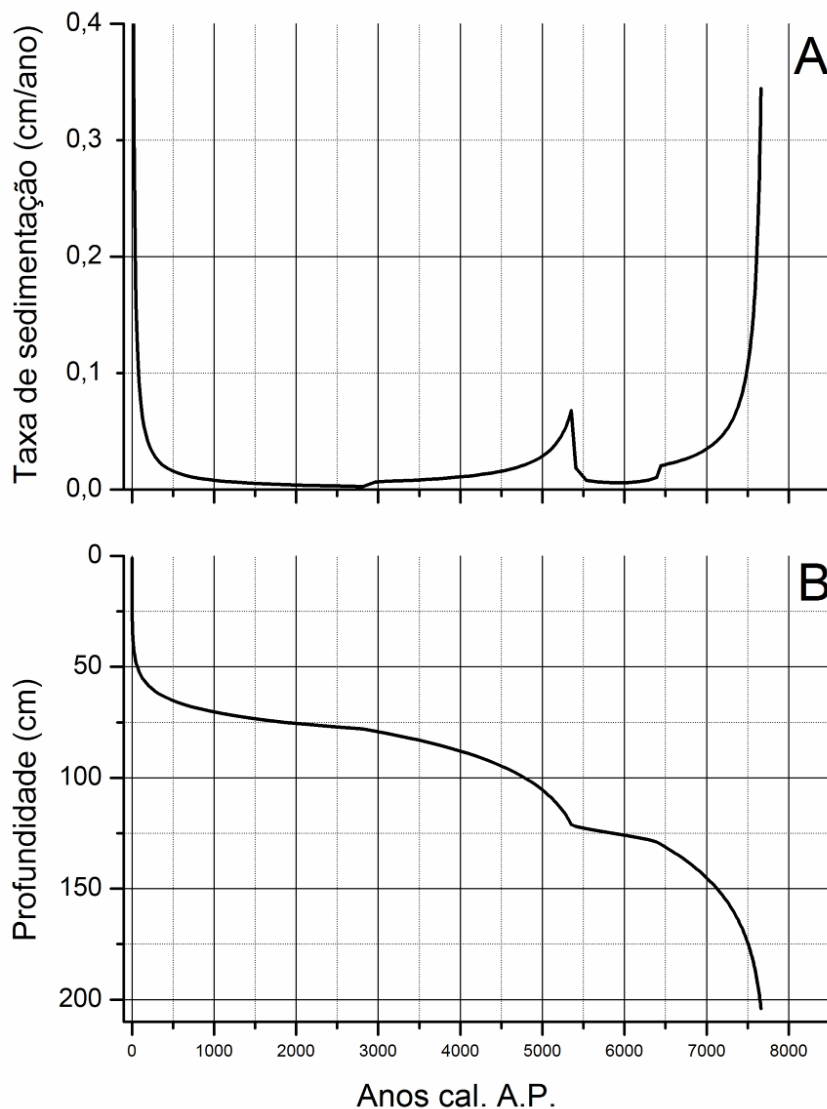


Figura 2.19 – Gráficos de taxa de sedimentação (A) e idade x profundidade (B) para o testemunho sedimentar MAC-C

Há cerca de 7700 anos cal. A.P. a taxa de sedimentação se apresentava em torno de 0,35 cm/ano, com tendência decrescente até 6500 anos cal. A.P. para cerca de 0,02 cm/ano. Entre 6400 e 5600 anos cal. A.P. a taxa de sedimentação diminuiu para valores em torno de 0,008 cm/ano. A aproximadamente 5400 anos cal. A.P. observa-se um aumento abrupto para valores em torno de 0,07 cm/ano e, a partir de 5300 anos cal. A.P., nova tendência de queda gradual até 0,007 cm/ano, há cerca de 3000 anos cal. A.P. (Figura 2.19).

Scholl et al. (1969) demonstraram a correlação positiva entre a taxa de sedimentação e a taxa de submersão da costa da Flórida, resultado da elevação do nível marinho. Caso essa correlação seja tomada como válida também para o presente estudo, alguns paralelos podem ser traçados entre a taxa de sedimentação obtida para o testemunho MAC-C e as flutuações do nível relativo marinho indicadas por Martin et al. (2003) ilustradas na Figura 2.3.

A curva proposta por Martin et al. (2003) sugere elevação de cerca de 2 metros do nível relativo marinho no período aproximado de 7700 e 7200 anos cal. A.P., o que representa uma taxa média de submergência igual a 0,4 cm/ano, um valor próximo ao da taxa de sedimentação de 0,35 cm/ano encontrada no presente estudo para a idade de 7700 anos cal. A.P.

No período aproximado de 7700 a 7100 anos cal. A.P. a curva apresentada por Martin et al. (2003) indica taxas decrescentes de submergência, com estabilização do nível relativo marinho no período de 7000 a 6000 anos cal. A.P. O testemunho MAC-C apresenta taxas decrescentes de sedimentação para o período de 7700 a 6500 anos cal. A.P., e taxas muito baixas para o período de 6400 a 5600 anos cal. A.P. que podem ser interpretadas como consequência de nível relativo marinho estabilizado.

Martin et al. (2003) sugerem um rápido evento transgressivo no período aproximado de 6000 a 5500 anos cal. A.P. A taxa de sedimentação obtida para o testemunho MAC-C sofre rápida elevação há cerca de 5400 anos cal. A.P., que pode ser interpretada, segundo Scholl et al. (1969), como consequência da elevação do nível relativo marinho.

Após esse evento transgressivo Martin et al. (2003) sugerem um evento regressivo, iniciado há cerca de 5500 anos cal. A.P. e terminado há cerca de 5200 anos cal. A.P. A taxa de sedimentação do testemunho MAC-C apresenta tendência de queda a partir de 5400 anos cal. A.P., que pode ser interpretada, de acordo com Scholl et al. (1969), como um evento de elevação do nível relativo marinho a taxas cada vez menores. A partir de então, não foi possível verificar correlações positivas entre as taxas de sedimentação obtidas para o testemunho MAC-C e as curvas de variação do nível relativo marinho propostas por Martin et al. (2003).

2.7.4.4 Análises isotópicas e elementares de C e N da matéria-orgânica sedimentar

Os resultados das análises isotópicas e elementares do testemunho MAC-C da Lagoa do Macuco são apresentados na Tabela 2.18.

Tabela 2.18 – Resultados das análises isotópicas e elementares realizadas no testemunho MAC-C

Profundidade (cm)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	N total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N
0-2	17,83	-30,14	1,13	2,47	15,78
2-4	20,92	-29,97	1,30	2,37	16,09
4-6	19,18	-29,99	1,21	2,25	15,85
6-8	21,94	-29,42	1,35	1,94	16,25
8-10	23,79	-29,25	1,41	2,22	16,87
10-12	24,45	-28,73	1,31	2,57	18,66
12-14	28,37	-28,47	1,36	2,50	20,86
14-16	28,33	-28,35	1,30	2,42	21,79
16-18	27,58	-28,34	1,37	2,75	20,13
18-20	28,66	-28,40	1,37	2,40	20,92
20-22	28,37	-28,36	1,37	2,62	20,71
22-24	28,04	-28,40	1,37	2,61	20,47
24-26	28,14	-28,52	1,34	2,49	21,00
26-28	28,78	-28,45	1,33	2,42	21,64
28-30	31,22	-28,56	1,41	2,49	22,14
30-32	29,54	-28,50	1,44	2,77	20,51
32-34	30,54	-28,52	1,35	2,56	22,62
34-36	27,90	-28,51	1,39	2,53	20,07
36-38	29,95	-28,51	1,33	2,29	22,52
38-40	28,38	-28,52	1,40	2,43	20,27
40-42	29,53	-28,47	1,31	2,25	22,54
42-44	26,17	-28,53	1,36	2,70	19,24
44-46	27,70	-28,61	1,35	2,33	20,52

continua

Tabela 2.18 – Resultados das análises isotópicas e elementares realizadas no testemunho MAC-C

Profundidade (cm)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	N total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N
46-48	26,95	-28,50	1,32	2,33	20,42
48-50	26,74	-28,62	1,28	2,42	20,89
50-52	27,19	-28,69	1,36	2,58	19,99
52-54	27,01	-28,63	1,30	2,24	20,78
54-56	28,95	-28,39	1,27	1,86	22,80
56-58	32,17	-28,31	1,30	1,66	24,75
58-60	30,83	-28,28	1,28	1,66	24,09
60-62	31,72	-28,30	1,22	1,40	26,00
62-64	28,37	-28,40	1,26	2,20	22,52
64-66	24,00	-28,25	1,11	2,03	21,62
66-68	14,72	-27,97	0,66	2,51	22,30
68-70	7,75	-27,12	0,40	3,13	19,38
70-72	5,31	-27,07	0,27	3,42	19,67
72-74	2,80	-26,65	0,16	3,92	17,50
74-76	1,33	-27,76	0,09	4,70	14,56
76-78	1,18	-26,26	0,08	3,87	14,75
78-80	0,81	-25,71	0,06	4,97	13,50
80-82	0,74	-25,51	0,06	4,69	12,33
82-84	0,73	-25,74	0,06	5,47	12,17
84-86	0,64	-25,54	0,05	5,42	12,80
86-88	0,82	-26,12	0,06	4,90	13,67
88-90	0,52	-25,79	0,04	4,10	13,00
90-92	0,89	-26,08	0,06	5,19	14,83
92-94	0,74	-26,12	0,06	4,38	12,33
94-96	0,68	-25,39	0,05	4,77	13,60
96-98	0,85	-26,30	0,06	4,92	14,17
98-100	0,79	-26,00	0,05	5,45	15,80
100-102	0,93	-26,50	0,06	5,57	15,50
102-104	1,02	-26,73	0,07	5,13	14,57
104-106	1,36	-26,83	0,07	5,16	19,43
106-108	1,10	-26,42	0,06	5,12	18,33
108-110	1,26	-26,58	0,07	5,32	18,00
110-112	1,67	-26,92	0,09	5,12	18,56
112-114	1,90	-26,96	0,10	4,70	19,00
114-116	1,86	-26,76	0,09	4,56	20,67
116-118	2,01	-26,93	0,09	4,90	22,33
118-120	3,64	-27,63	0,12	4,62	30,33
120-122	2,11	-26,75	0,10	3,90	21,10
122-124	2,33	-26,83	0,10	3,74	23,30
124-126	2,51	-26,79	0,10	3,70	25,10
126-128	2,44	-26,89	0,10	3,88	24,40

continua

Tabela 2.18 – Resultados das análises isotópicas e elementares realizadas no testemunho MAC-C

Profundidade (cm)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	N total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N
128-130	3,25	-27,08	0,11	4,06	29,55
130-132	3,46	-27,68	0,12	4,10	28,83
132-134	3,31	-27,27	0,12	4,25	27,58
134-136	3,07	-27,23	0,11	4,19	27,91
136-138	2,67	-27,06	0,11	4,13	24,27
138-140	3,85	-27,56	0,12	4,78	32,08
140-142	4,53	-27,66	0,13	4,35	34,85
142-144	4,66	-27,69	0,14	4,23	33,29
144-146	5,46	-27,89	0,15	3,87	36,40
146-148	7,38	-27,50	0,14	2,92	52,71
148-150	7,39	-27,58	0,17	3,48	43,47
150-152	7,31	-27,86	0,19	3,39	38,47
152-154	7,42	-27,88	0,14	3,10	53,00
154-156	7,08	-27,82	0,18	3,42	39,33
156-158	8,23	-28,04	0,18	3,25	45,72
158-160	7,39	-27,93	0,18	3,22	41,06
160-162	12,95	-27,98	0,19	1,64	68,16
162-164	13,85	-27,92	0,33	2,10	41,97
164-166	5,87	-27,88	0,24	3,00	24,46
166-168	10,73	-28,01	0,26	2,71	41,27
168-170	8,85	-27,75	0,24	2,97	36,88
170-172	8,02	-27,88	0,17	3,26	47,18
172-174	8,21	-27,86	0,22	3,29	37,32
174-176	11,97	-27,97	0,25	2,66	47,88
176-178	8,43	-27,87	0,19	3,16	44,37
178-180	8,37	-27,84	0,18	3,38	46,50
180-182	11,66	-28,04	0,14	1,95	83,29
182-184	15,92	-28,18	0,28	2,22	56,86
184-186	15,99	-28,17	0,25	2,10	63,96
186-188	14,19	-27,96	0,27	1,94	52,56
188-190	16,19	-28,05	0,31	2,01	52,23
190-192	15,73	-27,97	0,31	1,83	50,74
192-194	20,66	-28,10	0,30	1,34	68,87
194-196	21,16	-28,07	0,31	1,33	68,26
196-198	18,17	-27,90	0,30	1,29	60,57
198-200	8,28	-25,92	0,12	3,21	68,45
200-202	21,12	-29,17	0,28	1,02	75,43
202-204	5,60	-27,95	0,23	1,55	24,35

Em 7700-7438 anos cal. A.P., os valores ($C/N \approx 60$; $\delta^{13}C \approx -28\text{‰}$; $\delta^{15}N \approx +1,3\text{‰}$) sugerem que a matéria-orgânica sedimentar é originada de plantas terrestres vasculares de ciclo fotossintético C3. A partir de então, até 5690 anos cal. A.P. (124 cm, idade interpolada), é observada uma tendência geral de redução dos valores de C/N para cerca de 25, enriquecimento nos valores de $\delta^{13}C$ até -27‰ e enriquecimento nos valores de $\delta^{15}N$ até cerca de $+4\text{‰}$ (Figura 2.23). Essa tendência pode estar associada a uma maior contribuição de matéria-orgânica fitoplanctônica, predominantemente de água-doce, talvez associada à elevação do nível de base local, ocasionado pela influência da transgressão marinha. De acordo com Martin et al. (2003) o atual nível relativo marinho foi superado, pela primeira vez no Holoceno, por volta de 7800 anos cal. A.P. Angulo et al. (2006) sugerem que esse evento ocorreu entre 7550 e 6700 anos cal. A.P.

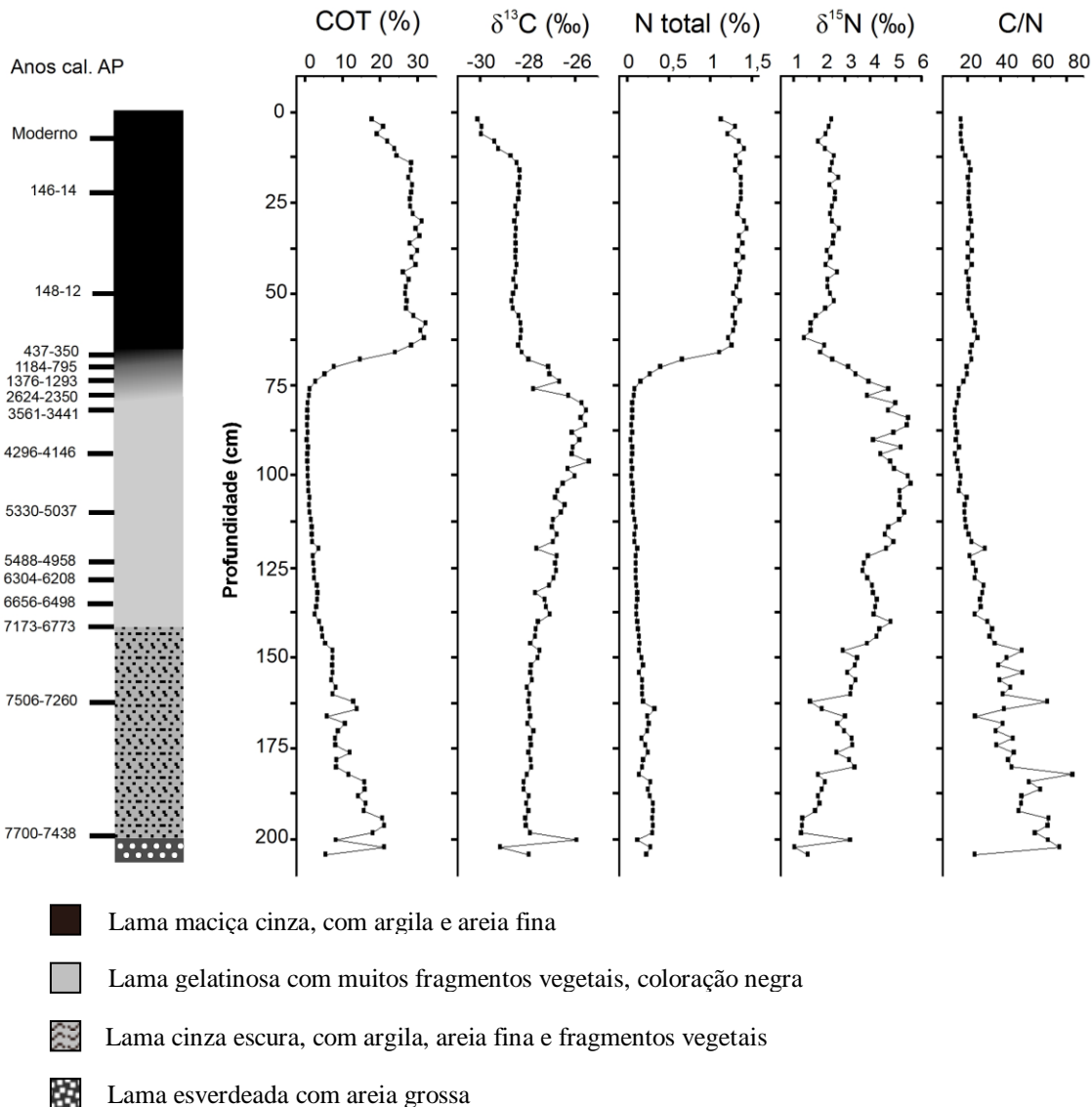


Figura 2.23 – Descrição litológica, datação ^{14}C e análises isotópicas e elementares realizadas no testemunho MAC-C

Por volta de 120 cm (5407 anos cal. A.P., interpolados) até 100 cm (ou 4784 anos cal. A.P., interpolados) os valores de $\delta^{15}N$ enriquecem até $+5,6\text{‰}$, os valores de $\delta^{13}C$ continuam em uma tendência de enriquecimento até -26‰ , e a razão C/N reduz até valores em torno de 15. A tendência dos indicadores isotópicos e elementares nesse intervalo (enriquecimento isotópico de ^{15}N , redução de valores C/N

e enriquecimento isotópico de ^{13}C) sugere aumento da contribuição de matéria-orgânica fitoplanctônica marinha (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005a; 2005b). Martin et al (2003) propõem que por volta de 5700 anos cal. A.P. teve início um segundo evento transgressivo, culminando em um nível relativo marinho máximo para o Holoceno, em torno de 5500 anos cal. A.P. Angulo et al. também propõem nível relativo marinho máximo holocênico por volta de 5500 anos cal. A.P.

De 4784 anos cal. AP até 3561-3441 anos cal. AP, os valores de C/N reduzem até aproximadamente 12, indicativo de ainda maior influência de matéria-orgânica fitoplanctônica (MEYERS, 2003). Em conjunto com valores mais enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$ (-25,5‰) e valores de $\delta^{15}\text{N}$ em torno de +4,7‰, são interpretados como mistura de matéria-orgânica de plantas vasculares C3 e de fitoplâncton, provavelmente de origem marinha ou estuarina (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005a; 2005b).

Martin et al. (2003) e Angulo et al. (2006) sugerem que após o nível máximo holocênio há cerca 5500 anos cal. A.P. ocorre tendência de regressão marinha. Martin et al. (2003) sugerem até mesmo um nível relativo abaixo do atual entre 4200 e 3700 anos cal. A.P. Os dados elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio obtidos no presente trabalho não permitem inferir queda no nível relativo marinho no período de 4784 a 3561-3441 anos cal. A.P. Nesse mesmo sentido, Ybert et al. (2003), com base em análise palinológica no sul do estado de São Paulo, inferiram que o nível relativo marinho local esteve continuamente de 1,2 a 2 metros acima do atual no período de 4900 a 3470 anos cal. AP. Nagai et al. (2009) estudaram foraminíferos da plataforma continental em Cabo Frio, RJ, e concluíram que no período entre 5000 e 3000 anos cal. A.P. o nível relativo marinho local estaria 1 a 2 metros acima do atual. De qualquer forma, o sedimento depositado entre 4784 anos cal. A.P. e 3561-3441 anos cal. A.P. no testemunho MAC-C está localizado a cerca de três metros abaixo do nível relativo atual, o que poderia evitar que uma eventual regressão marinha fosse registrada no sinal isotópico.

No intervalo entre 3561-3441 anos cal. A.P. e 2350 anos cal. A.P. os valores de C/N aumentaram até cerca de 15, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ oscilam entre +4,7‰ e +3,9‰, e os valores de $\delta^{13}\text{C}$ empobrecem até -28‰. Esses dados indicam a redução da influência marinha (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005a; 2005b). Martin et al. (2003) propõem que o período entre 2600 e 2300 anos cal. A.P. foi marcado por um nível relativo marinho mais baixo que o atual, enquanto que Angulo et al. (2006) propõem regressão marinha para esse mesmo período, mas com nível relativo marinho entre 4 e 1 metro acima do atual.

No intervalo entre 2350 anos cal. A.P. e 437-350 anos cal. A.P. os valores de C/N aumentaram até 22 ao final do período. Ocorre, inicialmente, um enriquecimento no $\delta^{13}\text{C}$ até -26,7‰, seguido de empobrecimento até -28,4‰. Os valores de ^{15}N mostram tendência de queda contínua até cerca de +2‰. Essas variações sugerem redução na influência de matéria-orgânica de origem marinha, inferido pelos valores mais empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$, e aumento na contribuição de matéria-orgânica originada de plantas vasculares C3, inferido pelos valores mais empobrecidos de $\delta^{15}\text{N}$ e maiores da razão C/N (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005a; 2005b). Ao final desse período os valores isotópicos refletem basicamente a influência de matéria-orgânica originada de plantas vasculares C3. Essa interpretação concorda com as curvas propostas por Martin et al. (2003) e Angulo et al. (2006) que indicam queda constante do nível relativo marinho para esse período.

A partir de 437-350 anos cal. AP há a estabilização dos valores de C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em torno de 22, -28‰ e +2‰, respectivamente, o que sugere plantas vasculares C3 como a principal fonte de matéria-orgânica sedimentar (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005a; 2005b), e o estabelecimento de condições ambientais muito similares ao atual sistema lacustre. As amostras superficiais do testemunho (C/N \approx 16; $\delta^{13}\text{C}$ \approx -30‰; $\delta^{15}\text{N}$ \approx +2,5‰) apresentam valores semelhantes aos encontrados por Wada et al. (1989) em sedimentos lacustres superficiais do Vale do Rio Doce. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das amostras superficiais também se assemelham aos valores obtidos para as plantas coletadas no interior da lagoa e com a maioria daquelas coletadas em seu entorno (Tabela 2.15).

2.7.4.5 Palinologia

A Tabela 2.19 apresenta as 16 amostras do testemunho MAC-C nas quais a análise palinológica foi realizada, as quantidades de grãos arbóreos e de *Lycopodium* exótico contados.

Tabela 2.19 – Quantidades de grãos arbóreos e grãos de marcador exótico contados nas amostras de análise palinológica do testemunho MAC-C

Profundidade (cm)	Grãos arbóreos	Grãos de marcador exótico
04	309	438
66	311	572
68	307	227
70	308	371
72	334	228
74	318	329
76	316	1565
78	319	1784
92	322	1595
100	324	642
108	336	507
116	333	541
124	313	628
132	340	524
176	228	680
202	268	851

Foram contados e identificados 234 tipos polínicos, classificados como manguezal, arbóreos/arbustivos, herbáceos, aquáticos ou esporos. A descrição morfológica, fonte utilizada para identificação e características ecológicas desses tipos polínicos são apresentadas no Anexo A. Pranchas com fotografias desses tipos são apresentadas no Anexo B.

Os 234 tipos polínicos acima mencionados foram agrupados em 108 tipos polínicos operacionais, sendo três de manguezal, 69 arbóreo-arbustivos, 15 herbáceos, seis aquáticos e 15 tipos de esporos, conforme os critérios apresentados abaixo:

- tipo *Anacardiaceae*: inclui todos os tipos pertencentes a essa família;
- tipo *Araliaceae*: inclui os tipos pertencentes a essa família;
- tipo *Arecaceae*: inclui os tipos pertencentes a essa família;
- tipo *Cyperaceae*: inclui os tipos pertencentes a essa família;
- tipo *Fabaceae-Mimosoideae* inclui todos os tipos pertencentes a essa subfamília;
- tipo *Myrtaceae*: inclui todos os tipos pertencentes a essa família;
- tipo *Sapotaceae*: inclui os tipos *Manilkara*, *Micropholis* 1 e 2, *Pouteria* 1 e 2, e *Pradosia*;
- tipo *Urticaceae/Moraceae*: inclui os tipos *Moraceae/Urticaceae* 1 a 4, *Coussapoa* e *Pourouma*;
- tipo Monoletes: inclui todos os esporos monoletes não identificados em alguma família ou gênero;
- tipo Triletes: inclui todos os esporos triletes não identificados em alguma família ou gênero;
- os demais tipos polínicos operacionais recebem o nome dos tipos que agrupam;

As concentrações, em grãos/cm³, dos tipos polínicos operacionais são apresentadas na Tabela 2.20. Diagramas polínicos resumidos, em concentrações relativa e absoluta e em taxa de acumulação polínica, dendrograma gerado pela análise do CONISS e zonas polínicas são apresentados nas Figuras 2.24, 2.25 e 2.26.

A análise de agrupamentos do CONISS permitiu a definição de três zonas polínicas: a primeira zona polínica (I) inclui as amostras 202 cm a 100 cm e corresponde ao período aproximado de 7700 a 4146 anos cal. A.P. A zona polínica II engloba as amostras 92 cm até 68 cm e corresponde ao período de 4146 anos cal. A.P. até 795 anos cal. A.P. As amostras 66 cm e 4 cm estão localizadas na zona polínica III que compreende o período entre 795 anos cal. A.P. e o presente. Essas zonas polínicas são discutidas e interpretadas a seguir.

Tabela 2.20 – Tipos polínicos do testemunho MAC-C e suas respectivas concentrações em grãos/cm³

	Profundidade (cm)															
	4	66	68	70	72	74	76	78	92	100	108	116	124	132	176	202
Manguezal																
<i>Avicennia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	722	1042	1833	687	533	922	109	44
<i>Laguncularia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	117	4516	6304	2542	592	497	601	218
<i>Rhizophora</i>	0	65	0	0	0	0	0	0	140	6715	9750	8793	6688	7	7761	5066
Total manguezal	0	65	0	0	0	0	0	0	979	3	7	2	7813	6	8471	5328
Arbóreos/arbustivos																
<i>Abuta</i>	0	0	328	0	0	0	0	0	47	116	73	206	0	0	0	44
<i>Acalypha</i>	85	130	0	0	0	0	0	21	0	0	0	69	59	71	55	0
<i>Alchornea/Aparisthium</i>	2546	5003	3438	2304	2445	113	48	83	233	1389	1393	1511	651	1773	164	742
<i>Alibertia/Amaioua</i>	0	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anacardiaceae</i>	170	195	0	100	0	0	0	63	47	290	147	0	237	426	55	175
<i>Anthodiscus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	55	0
<i>Apeiba/Hydrogaster</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	147	137	59	71	0	0
<i>Araliaceae</i>	0	0	164	0	0	0	0	0	0	174	147	69	0	71	0	87
<i>Arecaceae</i>	339	325	0	0	652	0	24	0	280	868	367	962	651	426	0	44
<i>Ayenia/Byttneria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Bathysa</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bonnetia</i>	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Borismene</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0
<i>Byrsonima</i>	0	130	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
	1230															
<i>Cecropia</i>	4	7277	21776	1102	0	0	0	63	47	232	147	550	2071	1560	383	699
<i>Chrysophyllum</i>	594	260	164	200	0	0	0	0	23	116	147	0	59	142	109	0
<i>Copaifera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	147	0	0	0	0	0
<i>Crepidospermum/Protium</i>	0	0	164	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Croton</i>	0	0	0	0	163	0	0	42	0	232	220	69	118	0	0	0
<i>Dalbergia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Dioclea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0
<i>Emmotum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0
<i>Eriotheca</i>	0	65	164	0	0	0	0	21	47	116	147	0	0	0	0	0
<i>Fabaceae-Mimosoideae</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	414	284	0	87
<i>Ficus</i>	170	65	328	301	0	0	0	0	0	116	220	0	414	213	109	349

continua

Tabela 2.20 – Tipos polínicos do testemunho MAC-C e suas respectivas concentrações em grãos/cm³

	Profundidade (cm)															
	4	66	68	70	72	74	76	78	92	100	108	116	124	132	176	202
<i>Forsteronia</i>	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	513	412	237	71	109	44
<i>Gallesia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	142	55	0
<i>Glycydendron</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0
<i>Gordonia</i>	0	0	0	0	652	113	119	167	70	0	0	69	0	0	0	0
<i>Hedyosmum</i>	1018	520	0	0	0	0	0	42	0	58	0	0	118	142	273	0
<i>Helicteres</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0
<i>Heliocarpus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0
<i>Hyeronima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Ilex</i>	255	520	2620	2004	9129	3389	618	938	1002	290	293	756	118	71	55	0
<i>Lamanonia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	293	137	0	71	55	44
<i>Machaerium</i>	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macoubea</i>	0	0	0	0	163	339	48	42	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Malpighiaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	118	213	0	0
<i>Margaritaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
<i>Melanoxylum</i>	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melastomataceae/</i>																
<i>Combretaceae</i>	1952	2469	13589	9617	9944	1695	119	542	1398	347	440	1305	59	426	109	87
<i>Meliaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Myroxylon</i>	0	65	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myrtaceae</i>	849	1884	2456	5810	1956	1243	71	63	233	0	293	618	888	851	219	1398
<i>Peritassa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87
<i>Piperaceae</i>	85	130	0	0	0	0	0	0	0	232	73	206	237	355	109	44
<i>Podocarpus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Prockia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Proteaceae/Sapindaceae</i>	85	0	164	1503	652	226	0	83	163	174	73	412	296	142	0	0
<i>Pseudobombax</i>	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Pterocarpus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Rapanea</i>	509	325	328	0	326	113	0	0	70	58	0	69	118	71	164	87
<i>Rinorea</i>	85	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	355	109	0
<i>Sapotaceae</i>	85	0	164	100	163	0	24	21	23	0	0	0	178	142	0	44
<i>Sebastiania</i>	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	55	0
<i>Senefeldera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	142	55	87
<i>Simarouba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109	87
<i>Sloanea</i>	85	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	137	59	71	0	0

continua

Tabela 2.20 – Tipos polínicos do testemunho MAC-C e suas respectivas concentrações em grãos/cm³

	Profundidade (cm)															
	4	66	68	70	72	74	76	78	92	100	108	116	124	132	176	202
<i>Solanaceae</i>	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Symphonia</i>	0	0	0	0	326	565	71	21	47	0	0	0	0	0	0	0
						2812										
<i>Symplocos</i>	85	0	4257	6512	27386	9	6365	4396	2656	174	147	412	59	0	0	44
<i>Tetracera</i>	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tocoyena</i>	0	0	164	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trema</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	213	219	44
<i>Urticaceae/Moraceae</i>	4412	585	0	902	0	0	0	0	23	1158	1173	2405	2604	2908	1257	1965
<i>Virola</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	23	58	147	137	296	0	0	0
<i>Vochysia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Weinmannia</i>	85	0	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Zanthoxylum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	59	213	0	0
	2622	2020				3592						1085	1070	1220		
Total arbóreos/arbustivos	3	8	50268	30855	54446	5	7507	6650	6525	6488	6747	5	8	4	3992	6377
Herbáceos																
<i>Amaranthaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	206	0	0	55	0
<i>Apium</i>	0	0	0	0	489	0	0	21	23	116	0	0	59	0	0	0
<i>Asteraceae</i>	255	390	164	301	326	0	0	21	186	1274	953	618	888	142	164	87
<i>Begônia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	0	0
<i>Borreria</i>	85	455	1637	5309	2771	452	48	63	186	232	0	344	0	0	0	44
<i>Capersonia</i>	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coccocypselum/Declieuxia</i>	0	130	491	3005	1304	113	48	21	326	0	0	69	0	0	0	0
	1731	2261														
<i>Cyperaceae</i>	0	2	6877	7614	1630	678	24	125	280	1505	147	618	1598	922	0	175
<i>Malvaceae</i>	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Poaceae</i>	2885	9422	52720	37567	43034	1356	24	417	746	1563	2126	4122	6273	2199	765	437
<i>Polygonum</i>	0	65	328	401	815	565	71	21	140	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sauvagesia</i>	0	325	3929	8215	2282	565	24	42	0	0	0	0	0	0	0	0
						1095										
<i>Smilax</i>	0	65	41423	18934	38796	8	2470	3729	3379	4052	220	69	0	0	0	0
<i>Xyris</i>	170	0	6549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Zornia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0
	2079	3352	11411			1468										
Total herbáceos	0	9	8	81346	91447	7	2709	4460	5313	8742	3519	6046	8877	3405	984	743
Aquáticos																

continua

Tabela 2.20 – Tipos polínicos do testemunho MAC-C e suas respectivas concentrações em grãos/cm³

	Profundidade (cm)															
	4	66	68	70	72	74	76	78	92	100	108	116	124	132	176	202
<i>Hydrocleys</i>	339	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Laurembergia</i>	0	0	164	301	489	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nymphaeaceae/Pontederiac eae</i>	679	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1688															
<i>Potamogetom</i>	6	2079	164	401	978	0	0	0	23	0	0	0	59	0	0	0
<i>Typha</i>	85	65	0	0	163	0	0	0	0	637	293	206	533	567	55	0
<i>Utricularia</i>	0	0	164	100	163	0	0	0	0	58	0	0	59	0	0	0
	1798															
Total aquáticos Esporos	9	2144	492	1002	1793	0	0	21	23	695	293	206	651	567	55	0
<i>Anemia</i>	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Blechnum</i>	85	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratopteris</i>	0	455	0	0	0	0	0	0	0	0	220	0	0	0	0	0
<i>Cyatheaceae</i>	0	65	0	100	489	0	48	125	1212	3358	3299	2061	1480	1844	0	0
<i>Dennstaedtiaceae</i>	424	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dryopteridaceae</i>	0	195	164	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lycopodiaceae</i>	0	0	0	100	0	0	0	21	47	116	0	0	237	0	0	0
<i>Marattiaceae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	186	405	0	69	237	567	55	44
Monoletes	2206	3184	5567	3707	7498	1017	119	271	932	1389	2419	1511	1835	1490	164	218
<i>Osmundaceae</i>	424	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<i>Polypodiaceae</i>	0	390	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	414	0	0	44
<i>Pteridaceae</i>	1697	1235	1310	1302	2119	1017	119	146	140	58	0	69	0	0	0	0
<i>Salvinia</i>	509	650	12116	5309	19072	3615	475	521	1165	0	0	0	0	0	0	0
<i>Selaginella</i>	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	59	0	0	0
Triletes	170	325	1637	1503	3097	678	95	2083	1235	2721	1613	1992	2012	851	109	175
Total esporos	5600	6629	20794	12321	32275	6327	856	3167	4940	8047	7551	5771	6333	4752	328	481
Indeterminados	4412	3314	18501	11020	18257	2259	95	1021	3239	6947	4985	5084	8877	7447	2678	1747
	7501	6588	20417	13654	19821	5919	1116	1531	2101	4319	4098	3998	4325	4029	1650	1467
Total geral	4	9	3	4	8	8	7	9	9	2	2	4	9	1	8	6

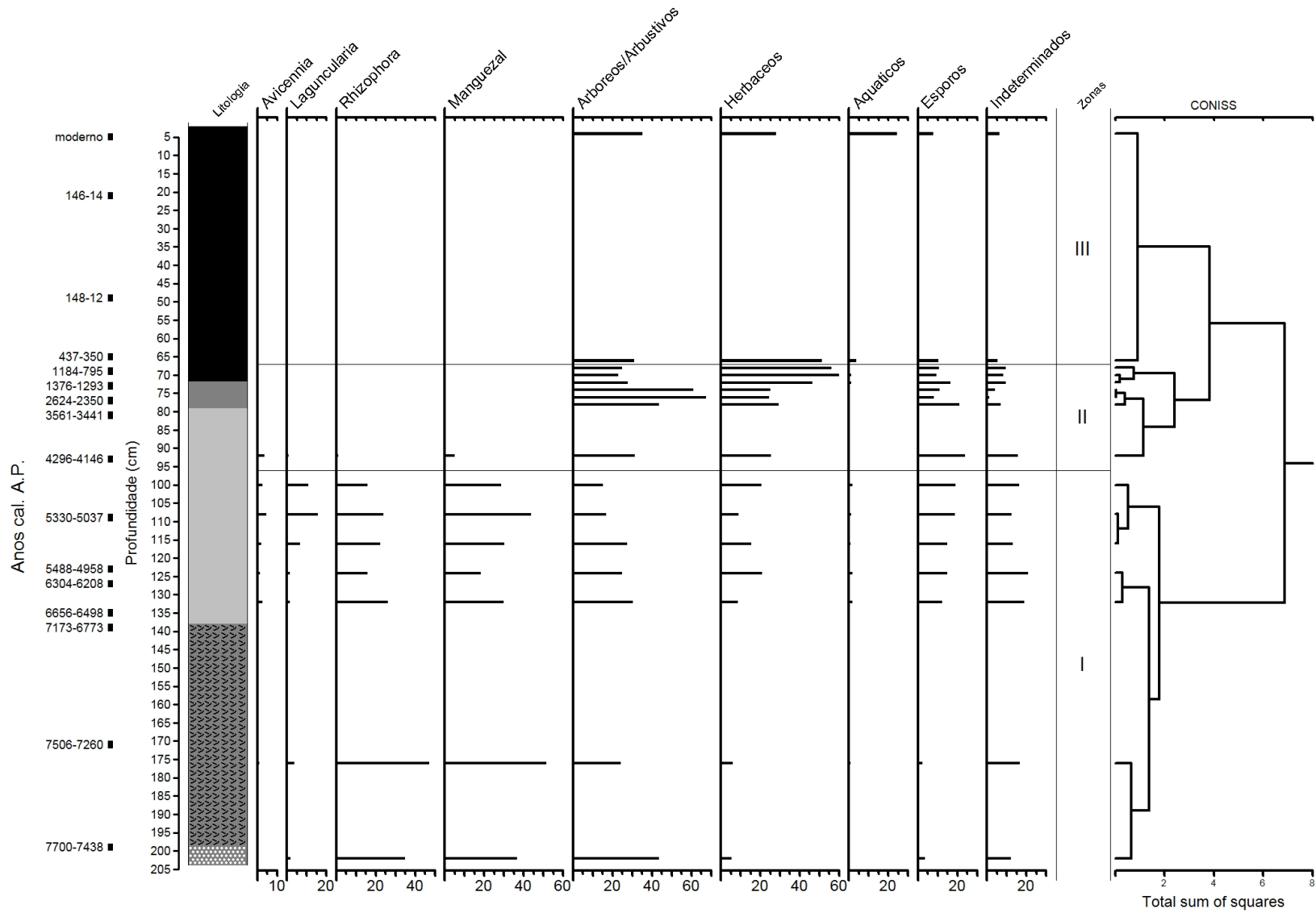


Figura 2.24 – Diagrama polínico resumido de concentrações (%). Legenda da litologia na Figura 2.23

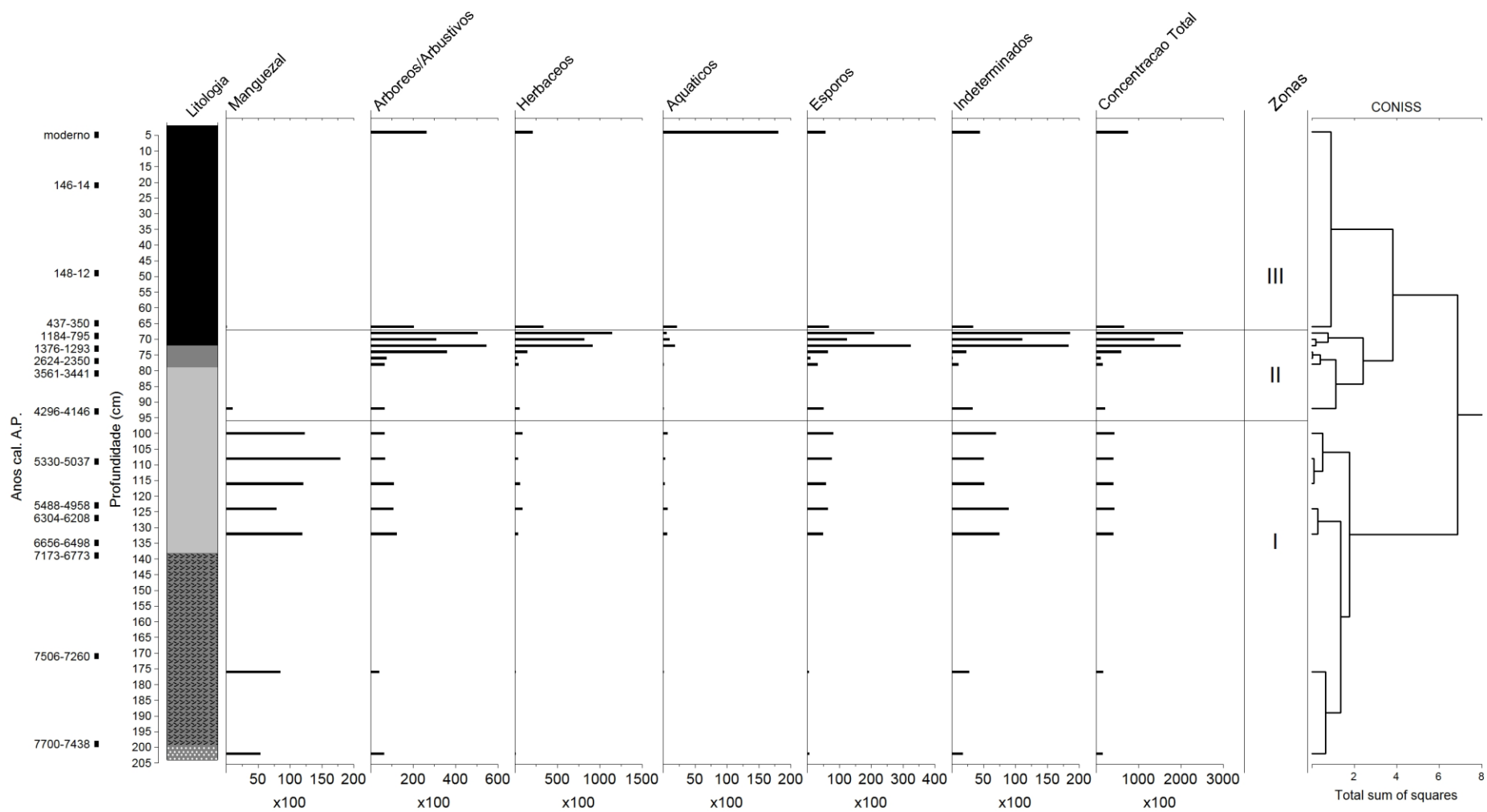


Figura 2.25 – Diagrama polínico resumido de concentrações absolutas (grãos/cm³). Legenda da litologia na Figura 2.23

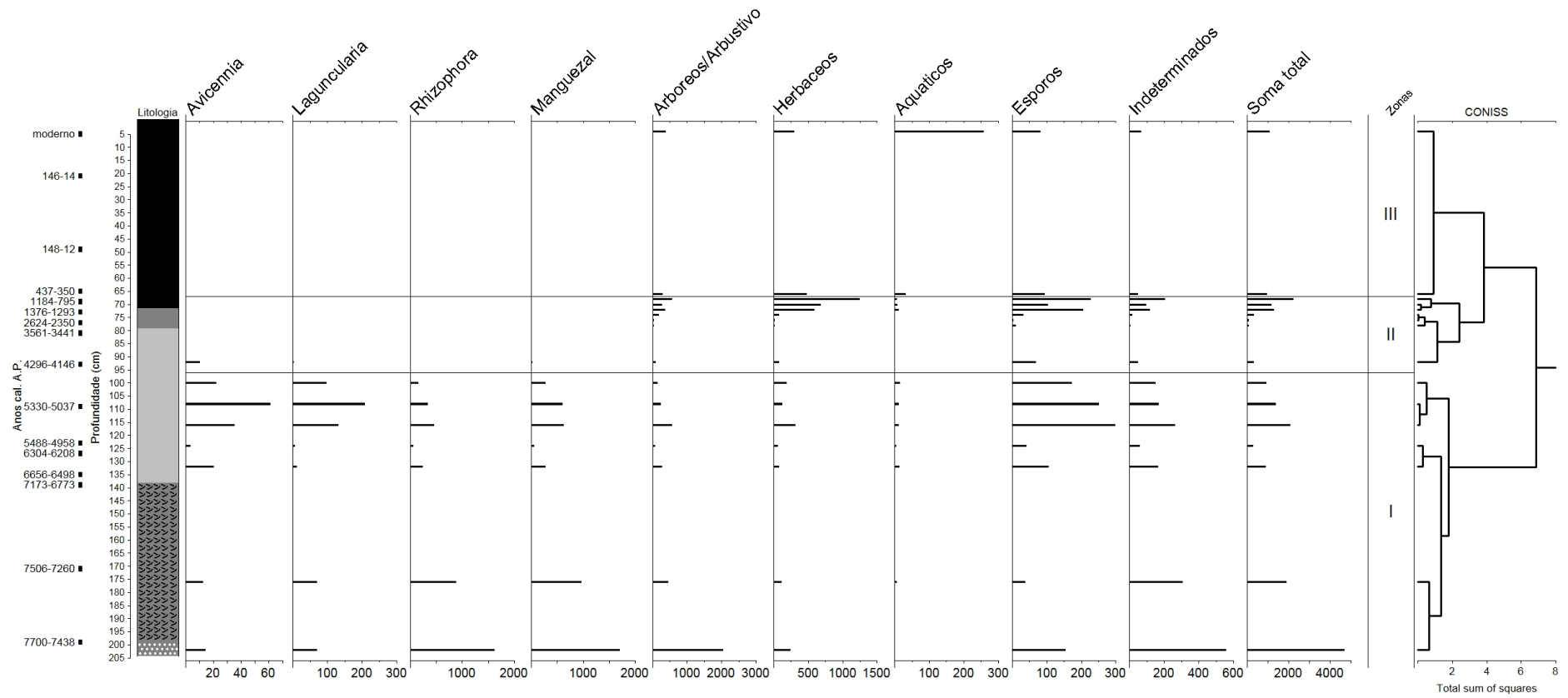


Figura 2.26 – Diagrama polínico resumido de taxa de acumulação polínica (grãos/cm²/ano). Legenda da litologia na Figura 2.23

2.7.4.5.1 Zona polínica I (de 7700-7438 a 4296-4146 anos cal. A.P.)

O início dessa zona é marcado por uma concentração de táxons arbóreos/arbustivos de 6377 grãos/cm³ (43%) na camada 202 cm. Nesse mesmo momento os táxons de manguezal estão presentes em uma concentração de 5328 grãos/cm³, (ou 36%, influxo de 1694 grãos/cm²/ano). Táxons herbáceos (5%), esporos (3%) e indeterminados (12%) correspondem ao restante dos tipos encontrados para o início da zona polínica.

De acordo com Behling et al. (2001) e Ellison (2008) a concentração de táxons de manguezal de 36%, representados por *Rhizophora* (34,5% e 1610 grãos/cm²/ano), *Laguncularia* (1,48%) e *Avicennia* (0,2%) pode ser interpretada como a presença do manguezal nas adjacências do ponto estudado há cerca de 7700 anos cal. A.P.

Por outro lado, se tomarmos como base a relação *Rhizophora/Avicennia* e os percentuais encontrados para manguezais da região sudeste do Brasil, podemos interpretar o início da zona polínica I como representativa do interior de um manguezal dominado por *Rhizophora*. Behling et al. (2001) encontraram valores da relação *Rhizophora/Avicennia* iguais a 115 para a chuva polínica moderna de um manguezal dominado por *Rhizophora* no Pará, valor igual ao encontrado na camada 202 cm (Tabela 2.21). Em Itanhaém, do Amaral et al. (2006) encontraram concentrações de 2% e 0,4% para *Rhizophora* e *Avicennia*, respectivamente, na chuva polínica moderna, e 6% de pólen de manguezal no sedimento superficial, no interior de um manguezal, valores muito menores que os encontrados no início da zona polínica I.

Tabela 2.21 – Relação *Rhizophora/Avicennia* para algumas profundidades do testemunho MAC-C com suas respectivas idades

Profundidade (cm)	Idade (anos cal. A.P)	<i>Rhizophora/Avicennia</i>
92	4296-4146	0,2
100	4784*	6,4
108	5330-5037	5,3
116	5271*	12,8
124	5488-4958	12,5
132	6533*	11,4
176	7516*	71,2
202	7656*	115,1

* idades interpoladas

Se considerarmos a altitude em relação ao atual nível médio marinho medida na superfície da Lagoa do Macuco (1 metro) e a altura da coluna d'água no local de coleta do testemunho (3 metros), concluímos que o sedimento da camada 202 cm foi depositado sob uma coluna d'água de pelo menos 4 metros. Portanto, o manguezal não deveria localizar-se exatamente sobre o ponto estudado, mas sim em suas adjacências. A existência do manguezal no local de estudo há cerca de 7700 anos cal. A.P. concorda com as curvas de nível relativo marinho para o litoral sudeste brasileiro apresentadas por Martin et al. (2003) e Angulo et al. (2006).

A partir de seu início até 124 cm (ou 5488-4958 anos cal. A.P.), a zona polínica I apresenta tendência de redução da taxa de acumulação polínica de táxons de manguezal. Essa tendência é consequência da redução da taxa de acumulação de *Rhizophora*, cujos valores chegam a 231 grãos/cm²/ano em 132 cm, e 43 grãos/cm²/ano em 124 cm. A relação *Rhizophora/Avicennia* calculada para esse intervalo (Tabela 2.21) indica o aumento da proporção de *Avicennia*, no entanto, a baixa taxa de acumulação desse táxon ao final do período (apenas 3 grãos/cm²/ano) pode ser interpretada como uma maior distância do manguezal em relação ao ponto estudado (BEHLING et al., 2001).

Em 116 cm e 108 cm, período entre 5271 anos cal. A.P (interpolados) até 5080 anos cal. A.P (interpolados), ocorre aumento na taxa de acumulação polínica de *Avicennia* e *Laguncularia*, cujos valores máximos chegam a 61 grãos/cm²/ano e 208 grãos/cm²/ano, respectivamente. Nesse intervalo há redução na relação *Rhizophora/Avicennia* (Tabela 2.21), indicativo de maior importância relativa de *Avicennia* no manguezal. Os baixos influxos polínicos, no entanto, sugerem que o manguezal se desenvolvia ainda há alguma distância do ponto estudado (BEHLING, 2001).

Behling et al. (2001) interpretaram o aumento da concentração polínica de *Avicennia* como indicativo de regressão do nível relativo marinho, devido à criação de áreas com menor frequência de inundações pelas marés e com maior salinidade. Se aplicarmos a mesma interpretação ao sedimento da Lagoa do Macuco, o aumento da concentração relativa e da taxa de acumulação de *Avicennia* observados entre 124 cm e 108 cm (entre 5488 e 5080 anos cal. A.P.) indicariam um evento de regressão marinha. Tal interpretação concorda tanto com Martin et al. (2003) quanto com Angulo et al. (2006), que apontam para esse período um evento regressivo após um nível máximo holocênico há cerca de 5600 anos cal. A.P.

Em 100 cm, 4784 anos cal. A.P. (interpolados), ocorre tendência de redução na taxa de acumulação polínica de todos os táxons de manguezal. A relação *Rhizophora/Avicennia* (Tabela 2.21) indica abundância relativa de *Avicennia* semelhante ao intervalo anterior. No entanto, os influxos de pólen de manguezal são mínimos, o que pode ser interpretado como uma distância ainda maior das espécies de manguezal em relação ao ponto de estudo.

2.7.4.5.2 Zona polínica II (de 4296-4146 a 1184-795 anos cal. A.P.)

A primeira camada (92 cm, 4323 anos cal. A.P., interpolados) dessa zona polínica apresenta valores muito baixos de influxo polínico total, com apenas 287 grãos/cm²/ano. Percentualmente, os tipos de manguezal correspondem a 5%, os arbóreos e arbustivos correspondem a 31%, os herbáceos 25%, os esporos 24% e os indeterminados 15%. A baixa concentração relativa de tipos de manguezal, quando em comparação com os resultados obtidos para as camadas inferiores permite concluir que o manguezal localizava-se distante do ponto estudado.

No intervalo entre 90 e 80 cm (entre 4172 e 3108 anos cal. A.P., interpolados), os raros grãos de pólen e esporos encontrados estavam muito mal preservados. Portanto, não foi possível realizar a análise polínica nessas camadas.

As duas próximas camadas (78 cm e 76 cm, 2815 e 2141 anos cal. A.P., interpolados) apresentam taxas de acumulação polínica muito baixas (42 e 41 grãos/cm²/ano). Os táxons de manguezal estão ausentes e o predomínio é de táxons arbóreos e herbáceos, com grãos destruídos e mal preservados. O baixo influxo polínico, aliado à baixa concentração absoluta de grãos de pólen e esporos e seu estado de preservação, pode ser indicativo de exposição do sedimento ao ar no período de 2624-2350 anos cal. A.P. Martin et al. (2003) relatam nível relativo marinho abaixo do atual para a região sudeste do Brasil entre 2600-2200 anos cal. A.P.

Na camada 74 cm (1636 anos cal. A.P., interpolados) ocorre aumento da concentração polínica absoluta (59198 grãos/cm³), representada principalmente por táxons arbóreos e arbustivos (61%), herbáceos (25%) e esporos (11%). Entre os arbóreos/arbustivos os tipos mais frequentes são *Symplocos* (48% do total geral, influxo de 137 grãos/cm²/ano) e *Ilex* (6% do total geral, com influxo de 16 grãos/cm²/ano). Entre os tipos herbáceos *Smilax* é o principal (19% do total geral, influxo de 53 grãos/cm²/ano). A presença de *Smilax* pode estar relacionada a colonização de áreas abertas, em um processo de regeneração natural incipiente (BORING et al., 1981; LONDRÉ; SCHNITZER, 2006; SHONO et al., 2006; RAYOL et al., 2008), que pode ser relacionada ao rebaixamento do nível relativo marinho e consequente liberação de novas áreas para a colonização vegetal. *Salvinia* é o esporo mais comum, representa 6% do total geral, com influxo de 18 grãos/cm²/ano. A presença de *Salvinia* e *Ilex* pode indicar áreas alagadas ou brejosas (JOLY, 1998; GROppo JUNIOR; PIRANI, 2002).

As curvas de variação do nível relativo marinho elaboradas por Martin et al. (2003) e Angulo et al. (2006) indicam que há 1600 anos cal. A.P. o nível relativo do mar estaria entre um e três metros acima do atual. A camada 74 cm localizava-se, então, entre 3,7 e 5,7 metros abaixo do nível relativo marinho da época. A ausência de influência marinha na palinologia da camada 74 cm pode ser explicada pela sedimentação costeira originada do período regressivo anterior, que impediria a chegada da influência marinha ao local de estudo.

As camadas 72 cm a 68 cm (1376 a 795 anos cal. A.P) apresentam aumento da concentração absoluta e do influxo de grãos de pólen e esporos. Os tipos arbóreos/arbustivos apresentam redução da concentração relativa para valores em torno de 25% do total geral. Os tipos herbáceos, por outro lado, aumentam sua representatividade para valores entre 46% e 60% do total. As concentrações de esporos variam entre 16% e 10%.

A maior representatividade de tipos herbáceos pode ser explicada pelo aumento da taxa de acumulação de *Poaceae* (até 574 grãos/cm²/ano e cerca de 25% do total geral) e *Smilax* (até 451 grãos/cm²/ano e 20% do total geral). Outros táxons herbáceos também passam a ser mais representativos, tais como *Sauvagesia* e *Cyperaceae*. A presença de *Poaceae* e *Smilax* em quantidades mais representativas pode ser interpretada como a existência de locais abertos, dominados por ervas, talvez com a presença de arbustos de *Ilex*, *Myrtaceae* e *Melastomataceae/Combretaceae*, táxons que também são relativamente frequentes no registro polínico. A presença de *Cyperaceae*, *Sauvagesia* e *Xyris*, juntamente com concentrações e influxos maiores de *Salvinia*, e incipientes concentrações de táxons aquáticos, podem ser interpretados como maiores duração e frequência de inundações por água-doce no período entre 1376 e 795 anos cal. A.P.

O período entre 1376 e 795 anos cal. A.P. é marcado por um evento regressivo, segundo Martin et al. (2003) e Angulo et al. (2006), com o nível do mar chegando muito próximo ao atual. A deposição sedimentar litorânea que ocorreu concomitantemente à regressão marinha deve ter causado o barramento dos cursos d'água que corriam pelo vale onde hoje se localiza a Lagoa do Macuco, propiciando a formação de uma área brejosa, precursora da atual lagoa.

Ao final da zona polínica II (cerca de 795 anos cal. A.P.) o táxon arbóreo *Cecropia* passa a ser bastante representativo, chegando a 11% do total de grãos de pólen e esporos contados. *Cecropia* é um táxon pioneiro, que coloniza áreas abertas após algum distúrbio, e marca o início da regeneração florestal.

2.7.4.5.3 Zona polínica III (de 1184-795 anos cal. A.P. ao presente)

Essa zona polínica é caracterizada pela maior representatividade de táxons arbóreos/arbustivos e aquáticos, e menor representatividade, de táxons herbáceos. Os táxons arbóreos/arbustivos aumentam sua representatividade para 31% e, posteriormente, para 35% do total de grãos de pólen e esporos contados. No início da zona polínica (camada 66 cm) os principais táxons arbóreos são *Cecropia*, *Alchornea/Aparisthium* e *Melastomataceae/Combretaceae*, com 11%, 8% e 4% do total geral, respectivamente. Ao final do período (camada 4 cm) os principais táxons arbóreos/arbustivos são *Cecropia*, *Urticaceae/Moraceae* e *Alchornea/Aparisthium*, com 16%, 6% e 3% do total geral.

Ao final da zona polínica, que representa a vegetação atual do local de estudo, os tipos aquáticos são bastante representativos (24% do total geral), sendo *Potamogeton* o mais abundante, seguido de *Nymphaeaceae/Pontederiaceae*. Entre os táxons herbáceos *Cyperaceae* compõe uma fração importante (23% do total geral ao final do período) seguido de *Poaceae* (3,85%). Conforme observado nas atividades de campo, a vegetação atual no interior e no entorno da Lagoa do Macuco possui muitas ciperáceas e gramíneas, conforme mostrado na Tabela 2.15. Dessa forma, tanto a grande representatividade de táxons aquáticos, quanto a importância dos táxons *Cyperaceae* e *Poaceae* na zona polínica III são interpretados como o estabelecimento do atual ambiente lacustre a partir de aproximadamente 795 anos cal. A.P.

Com a utilização do programa CONISS (GRIMM, 1987) foi realizada uma análise de agrupamento, no entanto, sem a limitação da estratigrafia, conforme Hansen et al. (2001). O resultado, apresentado na Figura 2.27, mostra o agrupamento das zonas I e III o que indica a recorrência de uma assembléia polínica. Assim, a vegetação da zona polínica I é interpretada como semelhante à da zona polínica III.

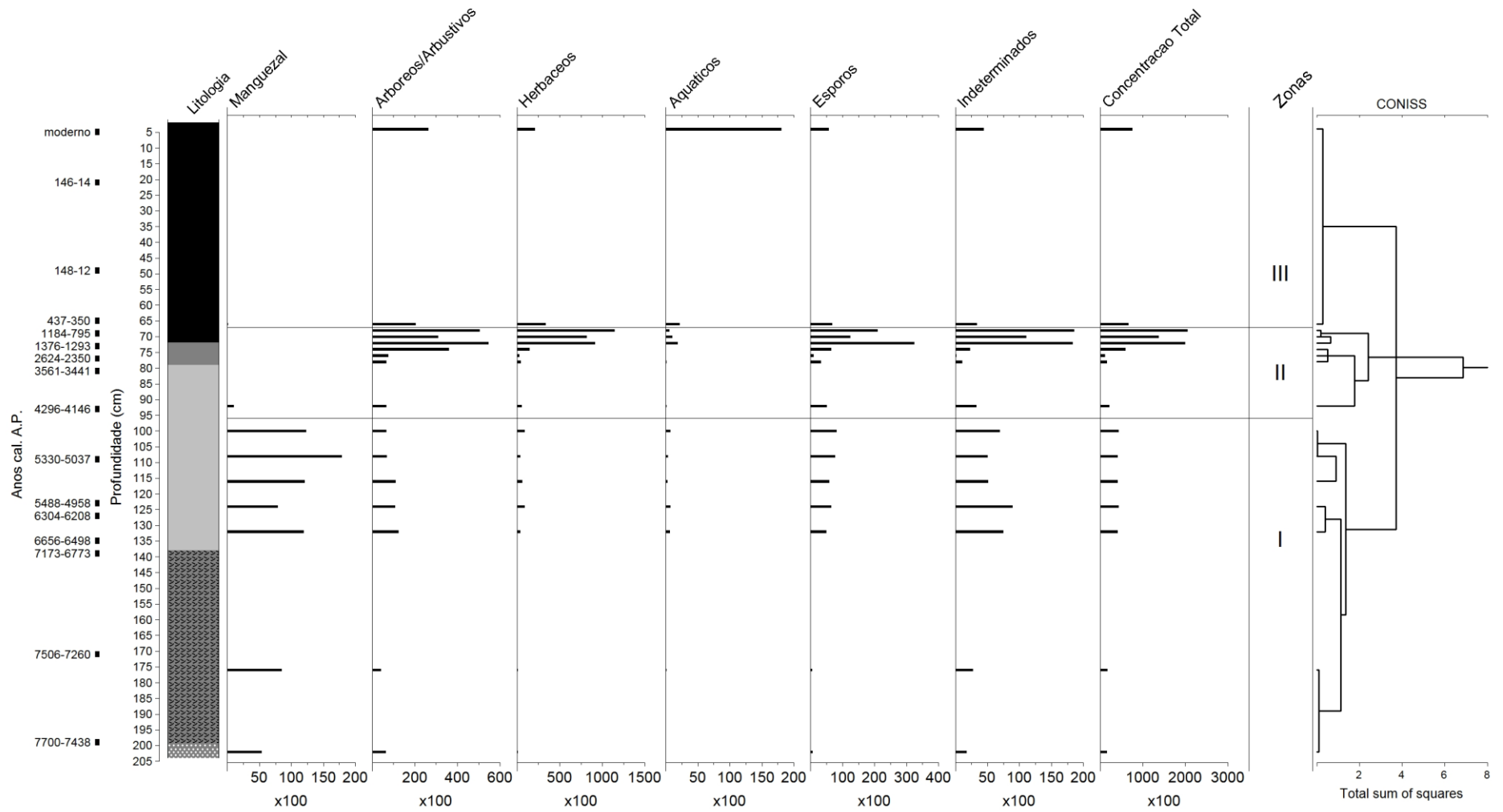


Figura 2.27 – Diagra polínico de concentração absoluta (grãos/cm³) com análise CONISS não limitada pela estratigrafia. Legenda da litologia na Figura 2.23

2.7.4.6 Diatomáceas

A análise foi realizada nas camadas 78, 84 e 92 cm. Pranchas dos tipos encontrados são apresentadas no Anexo C. A Tabela 2.22 mostra a ocorrência dos tipos nas camadas e a classificação do ambiente quanto à salinidade, segundo Moro e Fürstenberger (1997).

Tabela 2.22 – Ocorrência de tipos de diatomáceas nas amostras do testemunho MAC-C

Camada	Tipos encontrados	Classificação do ambiente quanto à salinidade
78 cm	<i>Terpsinoe</i> sp.	Água salobra
	<i>Surirella</i> sp.	Água doce
84 cm	<i>Plagiogramma</i> sp.	Água salobra
	<i>Terpsinoe</i> sp.	Água salobra
	<i>Eunotia didyma</i>	Água doce e água salobra
	<i>Diploneis</i> sp.	Água salobra
	<i>Pinnularia</i> sp. 1	Não foi possível definir
	<i>Surirella</i> sp.	Água doce
92 cm	<i>Terpsinoe</i> sp.	Água salobra
	<i>Surirella</i> sp.	Água doce
	<i>Pinnularia</i> sp. 2	Não foi possível definir

As diatomáceas apresentaram-se, na maioria das vezes, desgastadas e destruídas. Entre os tipos encontrados estão táxons de água doce e táxons de água salobra.

2.7.5 Integração dos dados

2.7.5.1 Dinâmica da vegetação

A estrutura da vegetação na região parece não ter sofrido grandes alterações durante o Holoceno. De acordo com as análises isotópicas nos solos, durante o Holoceno a vegetação foi predominantemente composta por plantas C3, provavelmente com as florestas e campos nos mesmos locais atuais. A palinologia da Lagoa do Macuco sugere a presença de florestas em contato próximo aos manguezais há 7700 anos cal. A.P. (concentrações relativas de 43% para táxons arbóreos/arbustivos e 36% para manguezal; taxas de acumulação polínica semelhantes, cerca de 2000 grãos/cm²/ano, Figura 2.28). Em relação à composição de espécies, a análise CONISS apresentada na Figura 2.28 mostra a recorrência de assembléia polínica, interpretado como o restabelecimento de um tipo de vegetação semelhante ao existente anteriormente a um distúrbio.

Parece que a maior alteração em termos de estrutura e composição da vegetação ocorreu no interior do vale ocupado pela Lagoa do Macuco, em função da transgressão marinha. A vegetação florestal há cerca de 8000 anos deveria ocorrer no entorno, nas encostas e no interior do vale do Rio Barra Seca. No entanto, durante o evento transgressivo a vegetação florestal do interior do vale foi deslocada, dando lugar a um manguezal. O deslocamento da vegetação florestal pode ser inferido pela redução na taxa de influxo de pólen florestal, que de 2027 grãos/cm²/ano (43% do total) no início da zona polínica I, passou para 138 grãos/cm²/ano (15% do total) ao final dessa zona polínica, há 4200 anos cal. A.P.

O estabelecimento do manguezal no interior do vale ocorreu inicialmente com o domínio de *Rhizophora* (taxa de acumulação polínica de 1610 grãos/cm²/ano e relação R/A de 115 no início da zona polínica I). No entanto, a expansão das áreas permanentemente alagadas no interior do vale, inferido pelo aumento do $\delta^{15}\text{N}$ (Figuras 2.28 e 2.29), deslocou também o manguezal. Ao mesmo tempo, com a acumulação de sedimentos (em torno de 1 metro para a zona polínica I, Figura 2.28) surgiram ambientes com menor influência das marés, propícios à colonização por *Avicennia*. Assim, logo após o início da zona polínica II até cerca de 4200 anos cal. A.P., os manguezais tenderam ao aumento da abundância de *Avicennia*. No entanto, tais manguezais foram restritos a áreas menores, pois o fundo do vale estava alagado. O aumento da abundância de *Avicennia* e a redução das áreas dos manguezais fica claro pela redução dos valores da relação R/A e pela redução do influxo polínico (Figura 2.29).

O período entre 4200 e 2350 anos cal. A.P. é marcado pelo escasso registro polínico, com presença de grãos destruídos e mal preservados. Os valores isotópicos e elementares de carbono e nitrogênio e a baixa taxa de sedimentação (0,01 cm/ano) sugerem que entre 4200 e cerca de 3000 anos cal. A.P. o ponto estudado estava sob influência marinha em um ambiente de baixa energia (Figura 2.29). A baixa energia do ambiente pode ter contribuído para a baixa deposição de pólen nesse período. Ybert et al. (2003) correlacionaram a presença de diatomáceas marinhas e a baixa concentração absoluta de pólen e esporos à existência de uma laguna entre 4900 e 3470 anos cal. A.P. em um local na planície costeira de Cananéia-Iguape.

Entre 3441 e 2350 anos cal. A.P. a redução dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 2.29) sugerem redução da influência marinha na área de estudos. A baixa concentração absoluta de grãos de pólen e esporos entre 2624-2350 anos cal. A.P. e a ocorrência de grãos destruídos e mal preservados pode ser interpretada como exposição do sedimento a condições oxidantes. Essa interpretação concorda com a curva de variação do nível do mar proposta por Martin et al. (2003) que indica nível relativo marinho mais baixo que o atual entre 2600 e 2200 anos cal. A.P. (Figura 2.29).

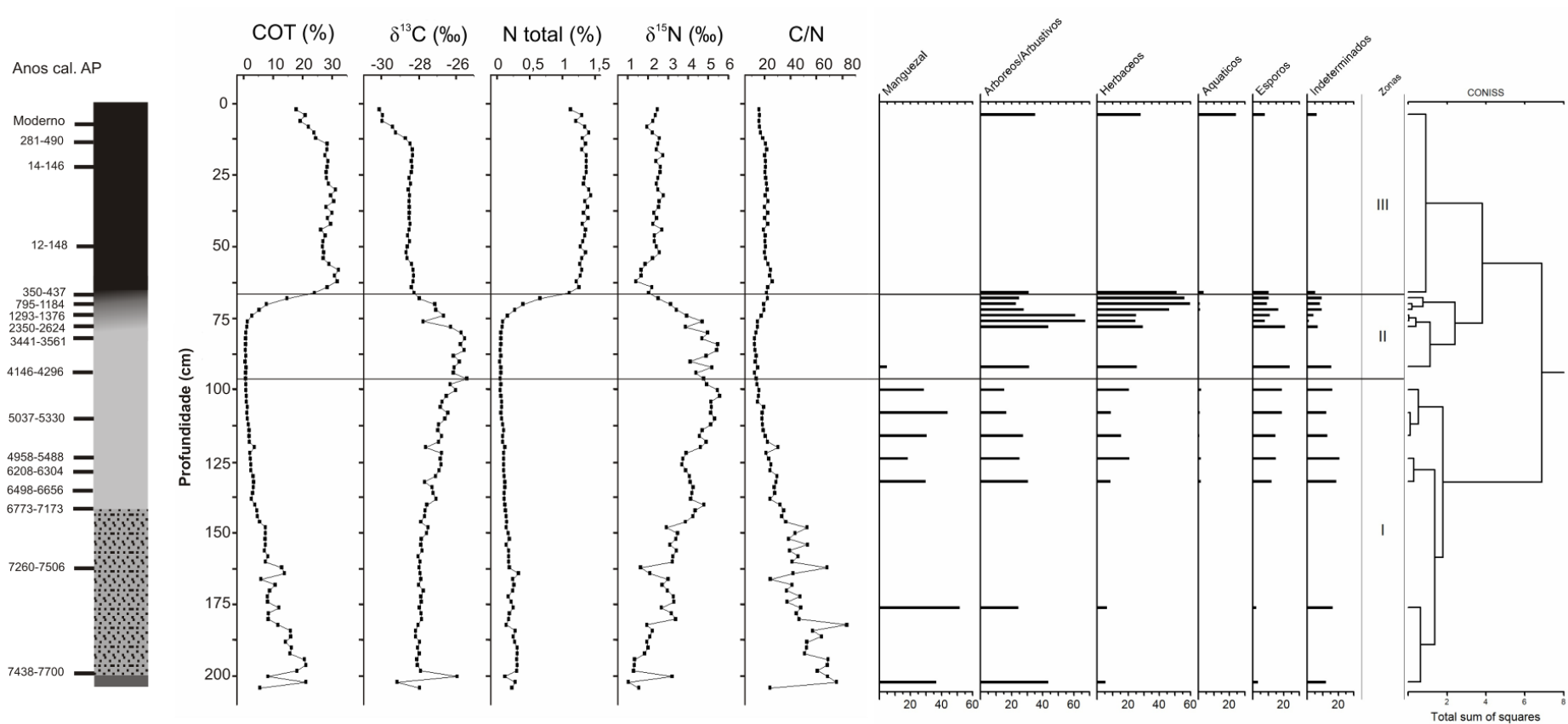


Figura 2.28 – Resultados das análises isotópicas e elementares realizadas no testemunho MAC-C e diagrama polínico de concentração relativa (%). Legenda da litologia na Figura 2.23

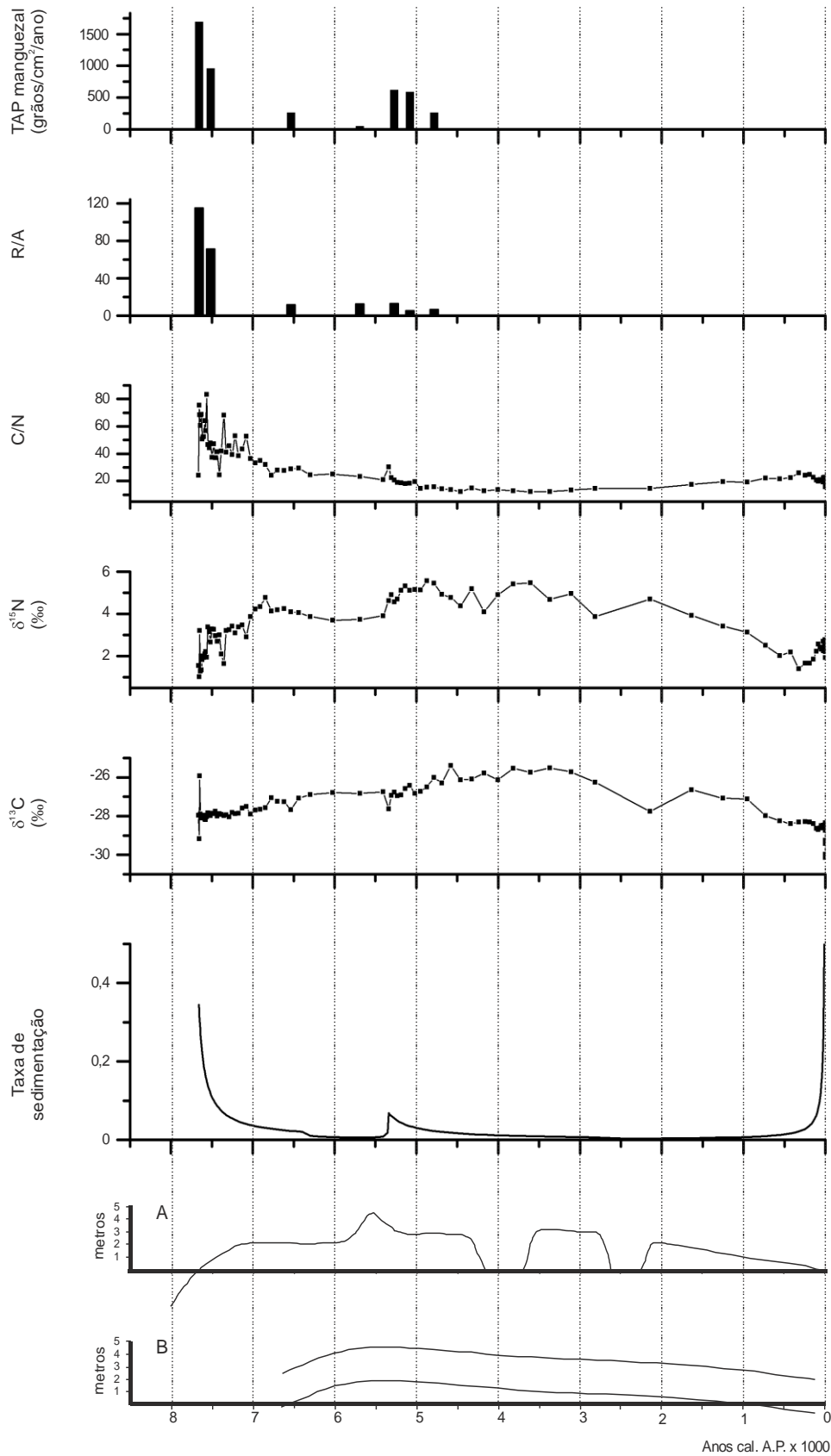


Figura 2.29 – Taxa de acumulação polínica, relação *Rhizophora/Avicennia* (R/A), C/N, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, taxa de sedimentação e curvas de variação do nível relativo marinho para o litoral sudeste do Brasil segundo (A) Martin et al. (2003) e (B) Angulo et al. (2006)

Logo após 2350 anos cal. A.P., o enriquecimento em ^{15}N e o empobrecimento isotópico de ^{13}C (Figuras 2.28 e 2.29) podem ser interpretados como aumento da influência de matéria-orgânica fitoplanctônica de água-doce (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005a; 2005b). O interior do vale deveria apresentar condições mais úmidas. A partir de 1636 anos cal. A.P. (interpolado) o registro polínico passa a ser mais abundante. Até o final da zona polínica II (entre 1184 e 795 anos cal. A.P.) há aumento da concentração relativa de táxons herbáceos (Figura 2.28), inicialmente com maior representatividade de *Smilax* e, posteriormente, também *Poaceae* e *Xyris*. A vegetação herbácea provavelmente iniciava a recolonização vegetal do interior do vale. Áreas alagadas e áreas alagáveis seriam colonizadas por táxons como *Borreria*, *Polygonum*, *Laurembergia*, *Sauvagesia*, *Utricularia* e *Salvinia*. O enriquecimento dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ observados a partir de cerca de 1500 anos cal. A.P. (Figura 2.28) pode ser resultado da colonização das regiões não alagadas por gramíneas C4.

A última zona polínica, iniciada entre 1184 e 795 anos cal. A.P. representa o estabelecimento da vegetação atual, conforme indicado pela análise do CONISS (Figura 2.28). A vegetação florestal recolonizou as áreas das encostas do vale, que haviam anteriormente sido abandonadas devido à influência marinha. Mesmo no interior do vale a vegetação florestal se estabeleceu em ilhas de vegetação flutuante que são atualmente encontradas na Lagoa do Macuco. A vegetação aquática colonizou o lago recém formado e se expandiu. O empobrecimento isotópico tanto de ^{15}N quanto de ^{13}C e o aumento da razão C/N (Figura 2.28) demonstram o aporte de matéria-orgânica de plantas C3 ao sedimento do fundo da lagoa. A alta taxa de sedimentação (Figura 2.29) é consequência da deposição de restos vegetais das plantas aquáticas e do entorno, com a formação de sedimento rico em fragmentos vegetais.

2.7.5.2 Nível relativo marinho

O início do evento transgressivo proposto por Martin et al. (2003) há cerca de 7600 anos cal. A.P. (Figura 2.29) é bastante aparente na análise polínica do testemunho MAC-C. Há cerca de 7700 anos cal. A.P. os manguezais estavam bem representados no local de estudo, provavelmente dominados por *Rhizophora* (Figura 2.29, relação R/A). Os valores isotópicos do intervalo entre 7700 a cerca de 7000 anos cal. A.P. (Figura 2.29) concordam com a interpretação anterior. Altas razões C/N e valores de $\delta^{13}\text{C}$ típicos de plantas C3, refletem o aporte de matéria-orgânica do manguezal, e valores de $\delta^{15}\text{N}$ tendendo ao enriquecimento, refletem tanto o maior aporte de matéria-orgânica fitoplanctônica quanto a ocorrência de processos bioquímicos como a denitrificação (OWENS, 1987), comum em ambientes redutores. A alta taxa de sedimentação (cerca de 0,35 cm/ano há 7700 anos cal. A.P., Figura 2.29) indica condições propícias à acumulação de sedimentos, originadas pela elevação do nível de base (SCHOLL et al., 1969), e se assemelha à taxa média de 0,4 cm/ano calculada para a curva apresentada por Martin et al. (2003) para o período entre 7700 a 7200 anos cal. A.P.

Os valores isotópicos e elementares obtidos no período entre 7000 e 5600 anos cal. podem ser interpretados como nível relativo marinho estabilizado (Figura 2.29). A mesma interpretação pode ser feita com base na taxa de sedimentação para o período (SCHOLL et al., 1969). É também observado aumento na abundância relativa de *Avicennia* pela redução na relação R/A. Behling et al. (2001) interpretaram uma situação semelhante como indicativo de redução do nível relativo marinho. No vale do Rio Barra Seca essa tendência pode ser interpretada também como uma redução do nível relativo marinho, mas causada pela acumulação de sedimentos no fundo do vale em um momento de nível relativo regional estabilizado. A curva apresentada por Martin et al. (2003) indica nível relativo marinho estabilizado para o período aproximado de 7000 a 5800 anos cal. A.P (Figura 2.29).

Por volta de 5400 anos cal. A.P. (interpolados), ocorre súbito enriquecimento isotópico de ^{15}N e aumento na taxa de sedimentação, juntamente com maior influxo polínico de manguezal (Figura 2.29). Tomando como base principalmente os valores isotópicos e a taxa de sedimentação, essa situação pode ser interpretada como um novo evento transgressivo, em concordância com Martin et al. (2003) que indicam nova transgressão marinha entre 5800 e 5500 anos cal. A.P.

Há cerca de 5400 até cerca de 4800 anos cal. A.P. ocorre redução na relação R/A que pode ser interpretada como redução no nível relativo marinho, segundo Behling et al. (2001). No entanto, os valores isotópicos não permitem essa interpretação. Martin et al. (2003) propõem queda no nível relativo marinho nesse período, até um nível um pouco superior ao existente no período anterior ao nível máximo de 5500 anos cal. A.P. Angulo et al. (2006) também propõem um leve evento regressivo para esse período (Figura 2.29).

Entre 4800 e 3500 anos cal. A.P. aproximadamente, os valores isotópicos e elementares de carbono e nitrogênio são interpretados como indicadores de influência fitoplanctônica marinha, o que sugere um nível relativo marinho mais alto que o atual. A influência marinha é reforçada pela presença de diatomáceas de águas salobras na camada 84 cm (3605 anos cal. A.P., interpolados), tais como *Plagiogramma* sp., *Terpsinoe* sp. e *Diploneis* sp. A palinologia indica redução do influxo polínico, que pode ser resultado tanto do distanciamento da vegetação quanto da baixa taxa de sedimentação do período (Figura 2.29). Ybert et al. (2003) interpretaram a baixa concentração polínica e presença de diatomáceas marinhas como indicativos da presença de uma laguna, em Cananéia-Iguape, no período de 4900 e 3470 anos cal. A.P.

Os dados obtidos no testemunho MAC-C para o período entre 4800 e 3500 anos cal. A.P. podem ser interpretados como um ambiente de influência fluvio-marinha de baixa energia no interior do vale do Rio Barra Seca. Dessa forma o nível relativo marinho mais baixo que o atual proposto por Martin et al. (2003) para esse período não pôde ser verificado, ficando a interpretação mais próxima à curva proposta por Angulo et al. (2006) (Figura 2.29). No entanto, é importante ressaltar que as amostras do testemunho MAC-C correspondentes ao período entre 4800 e 3500 anos cal. A.P. localizam-se abaixo (2 a 3 metros) do nível relativo marinho atual, o que pode ser a causa da não observação de indícios do nível relativo marinho mais baixo proposto por Martin et al. (2003).

Entre aproximadamente 3500 e 2300 anos cal. A.P. os valores isotópicos e elementares de carbono e nitrogênio sugerem redução da influência marinha. A palinologia apresenta baixo influxo polínico e grãos de pólen mal preservados no intervalo entre 2624-2350 anos cal. A.P. Esses dados podem ser interpretados como um evento regressivo, com exposição dos sedimentos a condições oxidantes por volta de 2500 anos cal. A.P., o que poderia ser resultado de um nível relativo mais baixo que o atual. Martin et al. (2003) propõem nível relativo mais baixo que o atual entre 2600-2200 anos cal. A.P.

A partir de 2300 anos cal. A.P. os valores isotópicos não mais podem ser interpretados como indicativos de influência marinha. A palinologia indica que após um período de recolonização de áreas anteriormente perturbadas ocorreu a instalação de um ambiente influenciado por água doce. Essa interpretação concorda com as curvas de variação do nível relativo marinho apresentadas na Figura 2.29, as quais indicam regressão marinha para o período.

2.7.5.3 Interpretação paleoclimática

O sinal isotópico da matéria-orgânica dos solos sugere a manutenção da fisionomia florestal como dominante na área de estudos durante todo o Holoceno. A palinologia da Lagoa do Macuco, embora muito influenciada pelas flutuações do nível relativo marinho, indica que no início da zona polínica I, há cerca de 8000 anos cal. A.P., a floresta encontrava-se muito próxima ao ponto estudado. Os resultados palinológicos indicam ainda que após o início da transgressão marinha os táxons florestais, embora deslocados do interior do vale, ainda continuaram presentes em suas cercanias, e, ao longo da zona polínica III, recolonizaram parte das áreas anteriormente abandonadas. Assim, os resultados acima descritos permitem a inferência de condições climáticas propícias à manutenção das florestas ao longo de todo o Holoceno na região estudada.

No entanto, uma análise mais atenta dos resultados obtidos com a palinologia permite perceber um aumento das concentrações e taxas de acumulação polínica de *Cyatheaceae* nas camadas 132 a 100 cm (Tabela 2.21), correspondentes ao período aproximado de 6500 a 4800 anos cal. A.P.

Segundo Lorscheitter et al. (1999), a família *Cyatheaceae* é frequente nos ambientes florestais úmidos, e, segundo Marchant et al. (2002) o gênero *Cyathea* é um bom indicador de condições ambientais permanentemente úmidas. As informações obtidas junto ao Herbário da RNCV reportam a existência de espécies do gênero *Cyathea* em várzeas e matas ciliares na área da RNCV atualmente.

Entretanto, nas atividades de campo não foram observadas espécies da família *Cyatheaceae* em nenhum dos pontos de amostragem, e na análise palinológica o táxon não foi encontrado nas amostras da zona polínica III, com exceção de um único grão na camada 66 cm.

Assim, pela presença de *Cyatheaceae* nas camadas de 132 a 100 cm pode ser inferido um clima relativamente mais úmido para o período entre 6500 a 4800 anos cal. A.P. nas proximidades da atual Lagoa do Macuco, embora não possa ser descartada a possibilidade de tal umidade ter sua origem na maior proximidade do mar, decorrente do evento transgressivo.

De um modo geral, a interpretação paleoclimática sugere que durante o Holoceno inferior a região nordeste do estado do Espírito Santo não deve ter apresentado clima menos úmido como sugerido por diversos estudos realizados na região sudeste e nordeste do Brasil (SERVANT et al., 1989; LEDRU, 1993; LEDRU et al., 1998; BEHLING et al., 2000; PESSENDA et al., 2004a; 2009). Alternativamente, um eventual clima menos úmido não influenciou de modo significativo a abertura da vegetação florestal durante o Holoceno inferior e médio, conforme observado nesses estudos. Sugere também um período de umidade relativamente maior para o período entre 6500 a 4800 anos cal. A.P. nas proximidades da Lagoa do Macuco, interpretação que concorda com Ledru (1998) para a região de Salitre, MG.

2.8 Conclusões

- a) A dinâmica da vegetação na região nordeste do estado do Espírito Santo não apresentou expansão das áreas ocupadas por plantas de ciclo fotossintético C4 e retração florestal durante o Holoceno;
- b) O clima regional durante o Holoceno foi predominantemente úmido;
- c) As alterações em termos de estrutura e composição da vegetação ocorreram no interior do vale do Rio Barra Seca devido à transgressão marinha holocênica e podem ser descritas da seguinte forma: (i) deslocamento da vegetação florestal e ocupação dessa área por manguezal; (ii) deslocamento do manguezal com o aumento da influência marinha; (iii) colonização do vale por espécies pioneiras quando da regressão marinha; (iv) colonização por espécies aquáticas e retorno da vegetação florestal para regiões mais próximas ao interior do vale, agora ocupado, em parte, por uma lagoa;
- d) O local ocupado atualmente pela Lagoa do Macuco foi caracterizado por um ambiente estuarino no período aproximado de 7700 a 3000 anos cal. A.P.

2.9 Publicações do Grupo relacionadas ao tema:

- a) Antonio Alvaro Buso Junior; Cecília Volkmer-Ribeiro; Luiz Carlos Ruiz Pessenda; Vanessa de Souza Machado. *Anheteromeyenia vitrea* (Porifera: Demospongiae) new species of continental sponge at Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 7, n. 3, p. 147-158, 2012.
- b) Antonio Alvaro Buso Junior, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Paulo Eduardo de Oliveira, Paulo César Fonseca Giannini, Marcelo Cancela Lisboa Cohen, Cecília Volkmer-Ribeiro, Sonia Maria Barros de Oliveira, Dilce de Fátima Rossetti, Flávio Lima Lorente, Marcos Antonio Borotti Filho, Jolimar Antonio Schiavo, José Albertino Bendassolli, Marlon Carlos França, José Tasso Felix Guimarães, Geovane Souza Siqueira. Late Pleistocene and Holocene vegetation, climate dynamics, and amazonian taxa in the Atlantic Forest, Linhares, SE Brazil. **Radiocarbon**, v. 55, p. 2-3, p. 1747-1762, 2013.

- c) Antonio Alvaro Buso Junior, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Paulo Eduardo de Oliveira, Paulo César Fonseca Giannini, Marcelo Cancela Lisboa Cohen, Cecília Volkmer-Ribeiro, Sonia Maria Barros de Oliveira, Deborah Ines Teixeira Favaro, Dilce de Fátima Rossetti, Flávio Lima Lorente, Marcos Antonio Borotti Filho, Jolimar Antonio Schiavo, José Albertino Bendassolli, Marlon Carlos França, José Tasso Felix Guimarães, Geovane Souza Siqueira. From an estuary to a freshwater lake: A Paleo-Estuary evolution in the context of Holocene sea-level fluctuations, SE Brazil. **Radiocarbon**, v. 55, n. 2-3, p. 1735-1746, 2013.
- d) Marlon C. França, Marcelo C.L. Cohen, Luiz C.R. Pessenda, Dilce F. Rossetti, Flávio L. Lorente, Antônio Álvaro Buso Junior, José T.F. Guimarães, Yuri Friaes, Kita Macario. Mangrove vegetation changes on Holocene terraces of the Doce River, southeastern Brazil. **Catena**, v. 110, p. 59-69, 2013.
- e) Flávio Lima Lorente, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Francisca Oboh-Ikuenobe, Antonio Alvaro Buso Junior, Marcelo Cancela Lisboa Cohen, Karin Elise Bohns Meyer, Paulo César Fonseca Giannini, Paulo Eduardo de Oliveira, Dilce de Fátima Rossetti, Marcos Antonio Borotti Filho, Marlon Carlos França, Darcilêa Ferreira de Castro, José Albertino Bendassolli, Kita Macario. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, Southeastern Brazil): Depositional settings and palaeoenvironmental evolution. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 69-82, 2014.
- f) Marcelo Cancela Lisboa Cohen, Marlon Carlos França, Dilce de Fátima Rossetti, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Paulo César Fonseca Giannini, Flávio L. Lorente, Antônio Álvaro Buso Junior, Darcilêa Castro, Kita Macario Cohen, M.C.L. Landscape evolution during the late Quaternary at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Southeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 48-58, 2014.

Outras publicações relacionadas ao tema se encontram em: <http://www.cena.usp.br/pt/laboratorio-dvtec/carbono-14>

Referências

- ABSY, M. L. Pólen e esporos do Quaternário de Santos (Brasil). **Hoehnea**, São Paulo, v. 5, p. 1-26, 1975.
- ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; DE SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v. 25, p. 486-506, 2006.
- BARTH, O. M. Pollen morphology of Brazilian *Symplocos* species (*Symplocaceae*). **Grana**, Stockholm, v. 18, p. 99-107, 1979.
- BARTH, O. M.; SILVA, S. A. F. Catálogo sistemático dos pólenes das plantas arbóreas do Brasil meridional. IV – *Cunoniaceae*, *Rosaceae* e *Connaraceae*. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 3, p. 411-428, 1963.

BARTH, O. M.; SILVA, S. A. F. Catálogo sistemático dos pólenes das plantas arbóreas do Brasil meridional. VII – *Thymelaceae*, *Lythraceae*, *Lecythidaceae*, *Rhizophoraceae* e *Combretaceae*. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 63, p. 255-274, 1965.

BENDER, M. M. Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. **Phytochemistry**, Oxford, v. 10, p. 1239-1244, 1971.

BENNER, R. et al. Depletion of ^{13}C in lignin and its implications for stable carbon isotope studies. **Nature**, London, v. 329, n. 22, p. 708-710, 1987.

BENNINGHOFF, W. S. Calculation of pollen and spores density in sediments by addition of exotic pollen in known quantities. **Pollen et Spores**, Paris, v. 4, p. 332-333, 1962.

BEHLING, H. et al. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core Geob 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v. 19, p. 981-994, 2000.

BEHLING, H.; COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 167, p. 225-242, 2001.

BORING, L. R.; MONK, C. D.; SWANK, W. T. Early regeneration of a clear-cut southern Appalachian forest. **Ecology**, Brooklyn, v. 62, n. 5, p. 1244-1253, 1981.

BOUTTON, T. W. Stable carbon isotope ratios of soils organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. I. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 47-82.

BROECKER, W. S. Radiocarbon. In: TUREKIAN, K. K.; HOLLAND, H. D. (Ed.). **Treatise on geochemistry**. 1. ed. San Diego: Elsevier, 2003. v. 4, p. 245-260.

BURN, M. J.; MAYLE, F. E. Palynological differentiation between genera of the *Moraceae* family and implications for Amazonian palaeoecology. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 149, p. 187-201, 2008.

COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: application of GIS and remote sensing techniques. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 11, p. 223-231, 2003.

COLINVAUX, P.; DE OLIVEIRA, P. E.; PATIÑO, J. E. M. **Amazon pollen manual and atlas**. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1999. 332 p.

CRONK, J. K.; FENNESSY, M. S. Coastal forested wetlands: mangrove swamps. In: _____. **Wetland plants: biology and ecology**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001. pt. I, chap. 2, p. 44-48.

DAVIS, M. B.; DEEVEY JUNIOR, E. S. Pollen accumulation rates: estimates from Late-Glacial sediment of Rogers Lake. **Science**, Washington, DC, v. 145, n. 3638, p. 1293-1295, 1964.

DE OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 152, p. 319-337, 1999.

- DEVRIES, H. L. Variation in concentration of radiocarbon with time and location on Earth. **Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen B**, Amsterdam, v. 61, p. 94-102, 1958.
- DEINES, P. The isotopic composition of reduced organic matter. In: FRITZ, P., FONTES, J.C. (Ed.). **Handbook of environmental isotope geochemistry**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, 1980. v. 1, p. 329-406.
- DO AMARAL, P. G. et al. Late Holocene development of a mangrove ecosystem in southeastern Brazil (Itanhaém, state of São Paulo). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 241, p. 608-620, 2006.
- ELLISON, J. C. Long-term retrospection on mangrove development using sediment cores and pollen analysis: a review. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 89, p. 93-104, 2008.
- FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 503-537, 1989.
- FERRAZZO, M.; BAUERMANN, S. G.; LEIPNITZ, I. I. Palinomorfos não polínicos provenientes de depósitos quaternários do delta do Rio Doce, Espírito Santo, Brasil. Parte 1. **Gaea – Journal of Geoscience**, São Leopoldo, v. 4, n. 2, p. 78-87, 2008.
- GARAY, I.; RIZZINI, C. M. (Org.). **A floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Petrópolis: Vozes, 2003. 255 p.
- GRIMM, E. C. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. **Computers & Geosciences**, Elmsford, v. 13, n. 1, p. 13-35, 1987.
- GROPPO JUNIOR, M.; PIRANI, J. R. *Aquifoliaceae*. In: WANDERLEY, M. G. L. et al. (Ed.). **Flora fanerogâmica do estado de São Paulo**. São Paulo: FAPESP; HUCITEC, 2002. v. 2, p. 31-37.
- HANSEN, B. C. S.; GRIMM, E. C.; WATTS, W. A. Palynology of the Peace Creek site, Polk County, Florida. **GSA Bulletin**, Boulder, v. 113, n. 6, p. 682-692, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**. Folha SE-24-Y-B-V São Mateus. Rio de Janeiro: IBGE, 1979a. Escala 1:100.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**. Folha SE-24-Y-D-II Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE, 1979b. Escala 1:100.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**. Folha SE-24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 548 p. (Projeto RADAMBRASIL).
- JING-QUAN, W. A study of pollen morphology of *Potamogeton*, *Zannichellia* and *Triglochin* from China. **Acta Phytotaxonomica Sinica**, Beijing, v. 28, n. 5, p. 372-378, 1990.
- JOLY, A. B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. 12. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1998. 777 p.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo/planta**. São Paulo: Ceres, 1979.

LEDRU, M. P. Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, San Diego, v. 39, n. 1, p. 90-98, 1993.

LEDRU, M. P.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; LORSCHREITER, M. L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 99, p. 131-142, 1998.

LEDRU, M. P.; MOURGUIART, P.; RICCOMINI, C. Related changes in biodiversity, insolation and climate in the Atlantic rainforest since the last interglacial. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 271, p. 140-152, 2009.

LIBBY, W. F.; ANDERSON, E. C.; ARNOLD, J. R. Age determination by radiocarbon content: worldwide assay of natural radiocarbon. **Science**, Washington, DC, v. 109, p. 227-228, 1949.

LIVINGSTONE, D. A. A lightweight piston sampler for lake deposits. **Ecology**, Brooklyn, v. 36, n. 1, p. 137-139, 1955.

LONDRÉ, R. A.; SCHNITZER, S. A. The distribution of lianas and their change in abundance in temperate forests over the past 45 years. **Ecology**, Brooklyn, v. 87, n. 12, p. 2973-2978, 2006.

LORSCHREITER, M. L. et al. Pteridophyte spores of Rio Grande do Sul flora, Brazil, Part I. **Palaeontographica, Abt. B**, Stuttgart, v. 246, p. 1-113, 1998.

LORSCHREITER, M. L. et al. Pteridophyte spores of Rio Grande do Sul flora, Brazil, Part II. **Palaeontographica, Abt. B**, Stuttgart, v. 251, p. 7-235, 1999.

MACBETH DIVISION OF KOLLMORGEN CORPORATION. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 1995.

MACKO, S. A.; ESTEP, M. L. Microbial alteration of stable nitrogen and carbon isotopic compositions of organic matter. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 6, p. 787-790, 1984.

MAGALHÃES E SILVA, F. H.; RIBEIRO DOS SANTOS, F. A. Pollen morphology of the shrub and arboreal flora of mangroves of Northeastern Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 17, n. 5, p. 423-443, 2009.

MARCHANT, R. et al. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 121, p. 1-75, 2002.

MARIOTTI, A.; LANCELOT, C.; BILLEN, G. Natural isotopic composition of nitrogen as a tracer of origin for suspended organic matter in the Scheldt estuary. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 48, p. 549-555, 1984.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene sea-levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, Tallahassee, v. 19, p. 101-124, 2003.

MATSUURA, Y.; WADA, E. Carbon and nitrogen stable isotope ratios in marine organic matters of the coastal ecosystem in Ubatuba, southern Brazil. **Ciência e Cultura**, Rio de Janeiro, v. 46, p. 141-146, 1994.

- MEIRA NETO, J. A. A. et al. Composição florística, espectro biológico e fitofisionomia da vegetação de muçununga nos municípios de Caravelas e Mucuri, Bahia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 139-150, 2005.
- MEYERS, P. A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 34, p. 261-289, 2003.
- MEYERS, P. A. Preservation of source identification of sedimentary organic matter during and after deposition. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 114, p. 289-302, 1994.
- MIDDELBURG, J. J.; NIEUWENHUIZE, J. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Schelde Estuary. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 60, p. 217-225, 1998.
- MORI, S. A.; BOOM, B. M.; PRANCE, G. T. Distribution patterns and conservation of Eastern Brazilian coastal forest tree species. **Brittonia**, New York, v. 33, n. 2, p. 233-245, 1981.
- MORO, R. S.; FÜRSTENBERGER, C. B. **Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas**. Ponta Grossa: Editora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 1997. 282 p.
- NAGAI, R. H. et al. Paleoproductivity changes during the Holocene in the inner shelf of Cabo Frio, southeastern Brazilian continental margin: benthic foraminifera and sedimentological proxies. **Quaternary International**, Oxford, v. 206, p. 62-71, 2009.
- NATELHOFFER, K. J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1633-1640, 1988.
- NAVE, C. R. **Hypersphysics**. Atlanta: Georgia State University, 2006. Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. p. 265-313.
- OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986. 43 p.
- OLIVEIRA, A. P. de. **Pedogênese de espodosolos em ambientes da Formação Barreiras e de restinga do sul da Bahia**. 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- OWENS, N. J. P. Natural variations in ^{15}N in the marine environment. **Advances in Marine Biology**, London, v. 24, p. 389-451, 1987.
- PEIXOTO, A. L.; GENTRY, A. Diversidade e composição florística da mata de tabuleiros na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 19-25, 1990.
- PEIXOTO, A. L.; ROSA, M. M. T.; JOELS, L. C. M. Diagramas de perfil e de cobertura de um trecho da floresta de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 177-193, 1995.
- PESSEDA, L. C. R. et al. The use of carbon isotopes (^{13}C , ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 191-201, 1996a.

PESSENDA, L. C. R. et al. Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 203-208, 1996b.

PESSENDA, L. C. R. et al. Vegetation dynamics during the late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão State, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary Research**, San Diego, v. 62, p. 183-193, 2004a.

PESSENDA, L. C. R. et al. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, Oxford, v. 114, p. 35-43, 2004b.

PESSENDA, L. C. R. et al. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records. **The Holocene**, Thousand Oaks, v. 15, n. 6, p. 814-822, 2005.

PESSENDA, L. C. R. et al. Interdisciplinary paleovegetation study in Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 80, n. 4, p. 677-691, 2008.

PESSENDA, L. C. R. et al. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28000 ¹⁴C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, San Diego, v. 71, p. 437-452, 2009.

PETRÓLEO BRASILEIRO. **Projeto Rio Doce**: geologia da parte continental. Brasília, DF, 1972. 62 p. (Relatório DIREX, 1582).

PRANCE, G. T. A review of the phytogeographic evidences for Pleistocene climate changes in the Neotropics. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, St. Louis, v. 69, n. 3, p. 594-624, 1982.

RAO, T. S.; RAO, R. R. Pollen morphology of *Pontederiaceae*. **Pollen et Spores**, Paris, v. 3, p. 45-47, 1962.

RAU, G. H.; TAKAHASHI, T.; DES MARAIS, D. J. Latitudinal variations in plankton $\delta^{13}\text{C}$: implications for CO₂ and productivity in past oceans. **Nature**, London, v. 341, p. 516-518, 1989.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996, 728 p.

RAYOL, B. P.; ALVINO, F. O.; SILVA, M. F. F. Estrutura e composição florística da regeneração natural de duas florestas secundárias em Capitão Poço, Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 7, p. 103-116, 2008.

REIMER, P. J. et al. INTCAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. **Radiocarbon**, New Haven, v. 46, n. 3, p. 1029-1058, 2004.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições, 1997. 747 p.

ROUBIK, D. W.; PATIÑO, J. E. M. **Pollen and spores of Barro Colorado Island**. St. Louis: Missouri Botanical Garden, 1991. 268 p.

- SAIA, S. E. M. G. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Quaternário tardio com base em estudo multi/interdisciplinar no Vale do Ribeira (sul do estado de São Paulo)**. 2006. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição à palinologia dos cerrados**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973. 291 p.
- SANTOS, R. D. et al. **Levantamento expedito dos solos das reservas florestais de Linhares e Sooretama no estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 66 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 49).
- SAPORETTI JUNIOR, A. W. **Vegetação e solos de muçununga em Caravelas, Bahia**. 2009. 139 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, Solomons Island, v. 13, n. 2, p. 204-218, 1990.
- SCHOLL, D. W.; CRAIGHEAD, F. C.; STUIVER, M. Florida submergence curve revised: its relation to coastal sedimentation rates. **Science**, Washington, DC, v. 163, n. 3867, p. 562-564, 1969.
- SERVANT, M. et al. Sécheresse holocène au Brésil (18-20° latitude Sud). Implications paléométéorologiques. **Comptes Rendus de la Academia de Science**, Paris, v. 309, série II, p. 153-156, 1989.
- SHONO, K.; DAVIES, S. J.; KHENG, C. Y. Regeneration of native plant species in restored forests on degraded lands in Singapore. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 237, p. 574-582, 2006.
- SIMONELLI, M. **Composição florística e estrutura do estrato arbóreo de uma muçununga na Reserva Florestal de Linhares, Espírito Santo**. 1998. 101 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APGII**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 704 p.
- STAFFORD, P. J. The Northwest European pollen flora, 58. *Azollaceae*. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 123, p. 9-17, 2003a.
- STAFFORD, P.J. The Northwest European pollen flora, 59. *Salviniaceae*. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 123, p. 19-25, 2003b.
- SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. Passado + Presente = Futuro? 1. ed. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999. 53 p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. Significance of Quaternary sea-level fluctuations for delta construction along the Brazilian Coast. **Geo-Marine Letters**, Stroudsburg, v. 1, p. 181-185, 1981.

SUGUIO, K. et al. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 273-286, 1985.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 303 p.

THOMAS, W. W. Natural vegetation types in southern Bahia. In: PRADO, P. I. et al. **Corredor de biodiversidade da Mata Atlântica do sul da Bahia**. Ilhéus: IESB; CI; CABS; UFMG; UNICAMP, 2003. 1 CD-ROM.

THOMAS, W. W. et al. Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, Malden, v. 7, p. 311-322, 1998.

THORNTON, S. F.; MCMANUS, J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 38, p. 219-233, 1994.

TROUGHTON, J. H.; STOUT, J. D.; RAFTER, T. Long-term stability of plant communities. **Yearbook of the Carnegie Institute of Washington**, Washington, DC, v. 73, p. 838-845, 1974.

URREGO, L. E.; BERNAL, G.; POLANÍA, J. Comparison of pollen distribution patterns in surface sediments of a Colombian Caribbean mangrove with geomorphology and vegetation. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 156, p. 358-375, 2009.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

VIDOTTO, E. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Parque Estadual da Ilha do Cardoso – SP durante o Quaternário tardio**. 2008. 199 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

VIDOTTO, E. et al. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 385-400, 2007.

WADA, E. et al. Stable isotopic studies on the Rio Doce Valley lake ecosystem in Brazil. In: SAIJO, Y.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Limnological studies in Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Chikusa-Ku: Nagoya University, 1989. p. 71-76.

WALANUS, A. Drawing the optimal depth-age curve on the basis of calibrated radiocarbon dates. **Geochronometria**, Gliwice, Poland, v. 31, p. 1-5, 2008.

WILSON, G. P. et al. Variability of organic $\delta^{13}\text{C}$ and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstructions studies. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 64, n. 4, p. 685-698, 2005a.

WILSON, G. P. et al. $\delta^{13}\text{C}$ and C/N as potential coastal palaeoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v. 24, p. 2015-2029, 2005b.

YBERT, J. P. et al. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 189, p. 11-24, 2003.

ZAPPI, D. C.; LUCAS, E. *Sauvagesia nitida* Zappi & E. Lucas (*Ochnaceae*) – a new species from Catolés, Bahia, NE Brazil, and notes on *Sauvagesia* in Bahia & Minas Gerais. **Kew Bulletin**, London, v. 57, p. 711-717, 2002.

ZAVADA, M. Pollen morphology of *Ulmaceae*. **Grana**, Stockholm, v. 22, p. 23-30, 1983.

ANEXO A – Morfologia, biologia e ecologia dos tipos polínicos

Relação dos tipos polínicos identificados, com descrição morfológica, fonte utilizada para identificação e informações biológicas e ecológicas dos mesmos.

A sigla P indica o comprimento do eixo polar, a sigla E o comprimento do eixo equatorial. O código ESA corresponde a uma exsicata depositada no Herbário da ESALQ/USP, o código CVRD corresponde a uma exsicata depositada no Herbário da Reserva Vale, em Linhares/ES. O número que segue esses códigos é o da respectiva exsicata. Material polínico dessas exsicatas faz parte da palinoteca do Laboratório ¹⁴C do CENA/USP.

a) Esporos

Blechnaceae

Blechnum

Prancha 1:1

Monolete gemado.

ESA 70531 *Blechnum serrulatum* Rich.

Gênero constituído por samambaias de hábito herbáceo, mas com algumas espécies arbórescentes (MARCHANT et al., 2002).

Cyatheaceae

Cyatheaceae é constituída por samambaias arbórescentes, freqüentes nos ambientes florestais úmidos (LORSCHREITER et al., 1999). Os gêneros *Cyathea* e *Alsophila* são os mais comuns no Brasil (JOLY, 1998). O gênero *Cyathea* é um bom indicador de condições ambientais permanentemente úmidas (MARCHANT et al., 2002).

Lycopodiaceae

Prancha 2:7

Trilete reticulado/rugulado, 37 µm em vista proximal.

CVRD 4063 *Lycopodiella cernua* (L.) Pic. Serm.

Ervas terrestres (LORSCHREITER et al., 1998).

Salviniaceae

Freqüente em todo o Brasil. Os esporófitos adultos são plantas aquáticas flutuantes livres (JOLY, 1998).

Selaginellaceae

O gênero *Selaginella* compreende ervas terrestres em habitats diversos (LORSCHREITER et al., 1998).

b) Grãos de pólen

Avicennia

É um dos três gêneros arbóreos que ocorre nos manguezais brasileiros. Com denominação popular de siriúba, possui raízes respiratórias denominadas pneumatóforos (JOLY, 1998; SOUZA; LORENZI, 2008). Ocorre atrás da zona dominada por *Rhizophora* em áreas com menor frequência e duração de inundações pelas marés (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990; MARCHANT et al., 2002).

Amaranthaceae

Família representada por ervas, menos frequentemente lianas, subarbustos ou arbustos. No Brasil as espécies da família são comumente encontradas em ambientes abertos, tais como cerrados e dunas litorâneas. Algumas espécies dos gêneros *Celosia* e *Cyathula* podem ser encontradas no interior de florestas, principalmente em áreas perturbadas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Anacardiaceae

Spondias compreende espécies arbóreas principalmente de terras baixas do noroeste da Amazônia, mas algumas espécies são também adaptadas climas menos úmidos e ocorrem em savanas e caatingas (MARCHANT et al., 2002).

Gênero de plantas herbáceas ruderais muito comuns por todo o Brasil (JOLY, 1998). Algumas espécies podem ocorrer em margens de lagos e pântanos, algumas podem suportar condições salinas (MARCHANT et al., 2002).

O gênero *Forsteronia* compreende árvores tropicais de florestas de terras baixas, ocorrem desde a Mata Atlântica até a Amazônia (MARCHANT et al., 2002).

Macoubea é representado por árvores de grande porte (MARCHANT et al., 2002).

Aquifoliaceae

Gênero representado por árvores, arbustos a subarbustos. As espécies ocorrem nas mais diversas formações vegetais. Podem ser encontradas em restingas, campos, matas ciliares, banhados, topos de morros, bordas ou interiores de matas (GROPPO JUNIOR; PIRANI, 2002).

Araliaceae

Família composta por representantes arbustivos ou arbóreos. *Dendropanax cuneatum* é espécie bastante comum, principalmente em matas ciliares (SOUZA; LORENZI, 2008).

Areaceae

A família compreende palmeiras, com estipe geralmente lenhoso. Essencialmente tropical. No Brasil ocorrem em praticamente todas as formações vegetais (SOUZA; LORENZI, 2008).

Asteraceae

Família composta por ervas, subarbustos, arbustos, menos frequentemente árvores ou lianas. Bem representada no Brasil, especialmente em formações abertas. No interior de florestas densas a família é pouco comum e poucos gêneros podem ser encontrados. Espécies arbustivas e arbóreas podem ser comuns em florestas secundárias (SOUZA; LORENZI, 2008).

Begoniaceae

Gênero composto por ervas, menos frequentemente subarbustos ou arbustos, raramente epífitas. No Brasil as espécies nativas concentram-se na Mata Atlântica, são raras as espécies amazônicas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Bonnetiaceae

As espécies do gênero são arbustos ou arvoretas. *Bonnetia stricta* é uma espécie que ocorre em áreas de dunas do litoral da Bahia (SOUZA; LORENZI, 2008).

Burseraceae

Família com espécies principalmente arbóreas, com menor frequência arbustivas. A maioria das espécies é nativa da Amazônia. *Protium* é o gênero mais amplamente distribuído pelo Brasil (SOUZA; LORENZI, 2008).

Cannabaceae

Trema micrantha é uma espécie arbórea com ampla ocorrência no Brasil, comum em florestas secundárias (SOUZA; LORENZI, 2008).

Caryocaraceae

Família apresenta espécies de hábito arbóreo a arbustivo (SOUZA; LORENZI, 2008). As espécies do gênero *Anthodiscus* são grandes árvores com ocorrência disjunta na Amazônia e na Mata Atlântica ao sul da Bahia (MARCHANT et al., 2002; SOUZA; LORENZI, 2008).

Chloranthaceae

Hedysosmum brasiliense é a espécie mais comum no Brasil. Ocorre em áreas alagáveis de altitude em quase todo o território, exceto na Amazônia e no nordeste. Planta lenhosa de pequeno porte (SOUZA; LORENZI, 2008).

Clusiaceae

Gênero de espécies arbóreas, com grandes árvores na Amazônia, em solos pobres de terra firme, mas também na restinga da costa atlântica brasileira (MARCHANT et al., 2002).

Combretaceae

Laguncularia racemosa é uma das espécies arbóreas típicas dos manguezais brasileiros, conhecida como mangue-branco. Ocorre tanto no interior dos manguezais como na sua transição para a floresta de restinga. Apresenta raízes com pneumatóforos, que permitem a oxigenação dos tecidos mesmo no solo alagável (SOUZA; LORENZI, 2008).

Cunoniaceae

Os gêneros *Lamanonia* e *Weinmannia* são representados por espécies arbóreas ou arbustivas. As espécies ocorrem principalmente em florestas de altitude do sul e sudeste, mas algumas podem ocorrer em outras formações florestais, principalmente na restinga (SOUZA; LORENZI, 2008).

Cyperaceae

A família é representada por ervas de pequeno a grande porte, raramente lianas ou plantas arborescentes. No Brasil as espécies são encontradas principalmente em áreas abertas e alagáveis (SOUZA; LORENZI, 2008). O gênero *Cyperus* pode ocorrer em áreas com influência fluviomarinha, em ambientes salobros (IBGE, 1987).

Dilleniaceae

Na área de estudo ocorre *Tetracera lasiocarpa*, um cipó lenhoso (CVRD 4428).

Elaeocarpaceae

Geralmente árvores de dossel com raízes tabulares (SOUZA; LORENZI, 2008). Segundo Marchant et al. (2002) as espécies do gênero ocorrem do Panamá até a região amazônica. Já Rizzini (1997) considera um gênero com ocorrência disjunta, na Amazônia e na Mata Atlântica brasileira.

Euphorbiaceae

O gênero *Acalypha* é representado por ervas lenhosas ou arbustos com ampla dispersão, tanto em áreas mais úmidas quanto em áreas mais secas (MARCHANT et al., 2002).

O gênero *Alchornea* é representado principalmente por espécies arbóreas, com ocorrência em diversos tipos de vegetação, tais como savanas e florestas. *Alchornea triplinervea* é uma espécie de ampla distribuição, em quase todas as formações naturais (SOUZA; LORENZI, 2008).

As espécies de *Caperonia* são ervas aquáticas e semi-aquáticas, principalmente em regiões tropicais de baixa altitude (MARCHANT et al., 2002).

O gênero *Croton* é comum em quase todos os ecossistemas, compreende espécies arbustivas e arbóreas (MARCHANT et al., 2002). Destaque para *Croton urucuana*, típico de formações ciliares (SOUZA; LORENZI, 2008). No entanto, o padrão *Croton* pode indicar espécies de gêneros diversos, tais como *Manihot* (MARCHANT et al., 2002).

O gênero *Glycydendron* é de origem amazônica (RIZZINI, 1997). *Glycydendron amazonicum* é espécie arbórea com distribuição disjunta, na Amazônia e na Floresta dos Tabuleiros (GARAY; RIZZINI, 2003).

O gênero *Sebastiania* é representado por espécies arbustivas, principalmente em florestas ciliares (MARCHANT et al., 2002).

De acordo com Rizzini (1997), o gênero *Senefeldera* é comum às florestas Amazônica e Atlântica. *Senefeldera multiflora* ocorre somente no norte do Espírito Santo. Habita Florestas de Tabuleiro, onde é muito frequente em matas primárias e secundárias (GARAY; RIZZINI, 2003).

Fabaceae

As espécies do gênero *Copaifera* são grandes árvores das florestas Amazônica e Atlântica, mas podem também ocorrer em savanas (MARCHANT et al., 2002).

Dalbergia é um gênero composto por árvores e lianas, com características ecológicas muito amplas (MARCHANT et al., 2002).

As espécies do gênero *Dioclea* são lianas (MARCHANT et al., 2002). Na área de estudo *Dioclea* é representada por lianas lenhosas, de acordo com as exsicatas depositadas no herbário da Companhia Vale, em Linhares.

O gênero *Anadenanthera* é representado na área de estudo por espécies de hábito arbóreo, denominadas popularmente por angico, de acordo com as exsicatas depositadas no herbário da Companhia Vale, em Linhares.

A subfamília *Mimosoideae* compreende plantas de hábito subarbustivo, arbustivo ou arbóreo (JOLY, 1998).

Machaerium é um gênero arbóreo com ocorrência em diversos biomas (MARCHANT et al., 2002).

Melanoxylum é um gênero arbóreo da Mata Atlântica (RIZZINI, 1997).

Myroxylon compreende árvores da Mata Atlântica, mas *Myroxylon peruiferum* ocorre na Amazônia (MARCHANT et al., 2002).

Pterocarpus é gênero arbóreo que ocorre na Amazônia e na Mata Atlântica (RIZZINI, 1997).

Zornia é gênero herbáceo de savanas (MARCHANT et al., 2002) e campos (RIZZINI, 1997).

Haloragaceae

CVRD 5059 *Laurembergia tetrandra* Kanitz.

Gênero de ervas aquáticas de áreas alagáveis (SOUZA; LORENZI, 2008).

Icacinaceae

As espécies da família são árvores, arbustos ou lianas, principalmente da Amazônia, mas com algumas espécies na Mata Atlântica e nas savanas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Lentibulariaceae

Ervas aquáticas ou de áreas muito úmidas, com estruturas denominadas utrículos que capturam pequenos animais aquáticos (SOUZA; LORENZI, 2008).

Limnocharitaceae

As espécies do gênero *Hydrocleys* são ervas aquáticas com folhas flutuantes (SOUZA; LORENZI, 2008).

Malpighiaceae

Byrsonima é um gênero de pequenas árvores com ampla distribuição geográfica (MARCHANT et al., 2002).

Com exceção do gênero *Camarea* cujas espécies são herbáceas, os demais gêneros, identificados com os tipos polínicos *Malpighiaceae* tipo 1 a *Malpighiaceae* tipo 4, são compostos por espécies arbustivo/arbóreas ou cipós lenhosos, conforme informações obtidas nas exsicatas dos herbários ESA e CVRD.

Malvaceae

O gênero *Apeiba*, de espécies arbóreas, é tipicamente amazônico, mas algumas espécies ocorrem no nordeste (RIZZINI, 1997; MARCHANT, 2002).

Hydrogaster é gênero arbóreo exclusivo das matas de tabuleiro do sul da Bahia e norte do Espírito Santo (RIZZINI, 1997).

Ayenia engloba espécies arbustivas (MARCHANT et al., 2002).

Byttneria engloba espécies arbustivas e lianas (MARCHANT et al., 2002).

Eriotheca é um gênero de espécies arbóreas comuns nas savanas (MARCHANT et al., 2002).

Helicteres é gênero de espécies arbóreas/arbustivas comuns nas vegetações campestres do planalto central do Brasil (RIZZINI, 1997 e herbários ESA e CVRD).

Heliocarpus é um gênero de espécies arbustivas/arbóreas (MARCHANT et al., 2002).

As espécies do gênero *Pseudobombax* são árvores muito comuns em diversos tipos de vegetação (SOUZA; LORENZI, 2008).

Waltheria é um gênero arbustivo comum em savanas (MARCHANT et al., 2002).

Melastomataceae/Combretaceae

Melastomataceae inclui ervas, arbustos, árvores, e, menos frequentemente, epífitas ou lianas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Combretaceae inclui árvores, arbustos ou lianas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Meliaceae

Cedrela/Trichilia

Prancha 25:162

Família representada por arbustos ou árvores (SOUZA e LORENZI, 2008).

Menispermaceae

Abuta

Prancha 25:163

O gênero *Abuta* é composto por espécies arbóreas da Amazônia e da Mata Atlântica (RIZZINI, 1997). Na área de estudo as espécies do gênero são trepadeiras lenhosas (herbário CVRD).

Borismene japurensis é uma trepadeira lenhosa que ocorre na área de estudo (herbário CVRD).

Moraceae

Fícus tipo 1

Prancha 25:165

Diporado, psilado.

Fícus tipo 2

Prancha 25:166

Árvores robustas, que se destacam na paisagem. A maioria das espécies é hemiepífita, emitem raízes que ao atingirem o solo espessam-se e sufocam a árvore hospedeira (SOUZA; LORENZI, 2008).

Moraceae/Urticaceae

Na área de estudo as espécies pertencentes aos gêneros identificados com os tipos polínicos *Moraceae/Urticaceae* tipo 1 a tipo 4 são representados por indivíduos de hábito arbóreo, conforme exsicatas depositadas no Herbário da Companhia Vale, em Linhares, ES.

Myristicaceae

Virola

Na região extra-amazônica destacam-se *Virola sebifera*, comum em cerrados e cerradões, e *Virola bicuhyba*, árvore de grande porte da Mata Atlântica (SOUZA; LORENZI, 2008).

Myrsinaceae

Rapanea tipo 1

É um gênero de pequenas árvores muito comuns nas matas do sudeste brasileiro (SOUZA; LORENZI, 2008).

Myrtaceae

20µm.

CVRD 1740 *Calyptanthes brasiliensis* (Berg.) C.D. Legrand

Colinvaux et al. (1999)

Árvores ou arbustos, raramente subarbustos. É uma das famílias mais comuns na maioria das formações vegetais brasileiras, especialmente na Floresta Atlântica e na Floresta de Restinga (SOUZA; LORENZI, 2008).

Nymphaeaceae/Pontederiaceae

A família *Nymphaeaceae* é constituída por ervas aquáticas rizomatosas (SOUZA; LORENZI, 2008).

As espécies da família *Pontederiaceae* são ervas paludosas ou aquáticas, flutuantes ou emergentes (SOUZA; LORENZI, 2008).

Ochnaceae*Sauvagesia*

Prancha 27:179

O gênero compreende desde ervas a arbustos e arvoretas. As espécies ocupam áreas abertas, como brejos e campos rupestres (JOLY, 1998; ZAPPI; LUCAS, 2002).

Phyllanthaceae*Hyeronima*

Prancha 27:180

O gênero *Hyeronima* é composto por espécies arbóreas de grande porte, ocorrem tanto na Amazônia quanto na Mata Atlântica (MARCHANT et al., 2002).

Na área de estudo, *Margaritaria nobilis* é espécie de hábito arbóreo, conforme informações das exsicatas depositadas no Herbário CVRD.

Phytolaccaceae*Gallesia*

Prancha 27:182

Gênero com espécies de hábito arbóreo. *Gallesia integrifolia*, pau-d'alho, ocorre nas florestas do sudeste do Brasil (SOUZA e LORENZI, 2008).

Piperaceae

Prancha 27:183

Ervas, arbustos ou pequenas árvores, frequentemente epífitas ou lianas. Família comum nas formações florestais brasileiras, principalmente na submata da Floresta Atlântica alterada (SOUZA; LORENZI, 2008).

Poaceae

Ervas geralmente rizomatosas, às vezes lignificadas (bambus), perenes ou anuais. A família representa o principal componente das formações campestres. No interior de florestas são menos comuns, representadas principalmente por espécies de *Bambusoideae* e *Panicoideae* (SOUZA; LORENZI, 2008).

Podocarpaceae*Podocarpus*

Prancha 28:187

A família *Podocarpaceae* inclui árvores ou arbustos. No Brasil ocorrem nove espécies do gênero *Podocarpus*, seis amazônicas e três extra-amazônicas, estas últimas com ocorrência principalmente em florestas das regiões Sul e Sudeste (SOUZA; LORENZI, 2008).

Polygonaceae*Polygonum*

Prancha 28:188

O gênero inclui ervas frequentes em locais alagáveis (SOUZA; LORENZI, 2008).

Potamogetonaceae*Potamogeton*

Prancha 28:189

Ervas aquáticas submersas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Proteaceae/Sapindaceae*Proteaceae/Sapindaceae* tipo 1

Prancha 28:190

Proteaceae é representada por árvores ou arbustos, com apenas 40 espécies no Brasil (SOUZA; LORENZI, 2008).*Sapindaceae* é composta por árvores ou lianas, ocasionalmente ervas. No Brasil merecem destaque algumas espécies dos gêneros *Serjania*, *Paullinia*, *Urvillea* e *Cardiospermum*, representadas por lianas, muito comuns em bordas de matas. Podem ocorrer e muitas outras formações vegetais, como dunas, cerrados, florestas e também no bioma Pantanal (SOUZA; LORENZI, 2008).**Rhizophoraceae***Rhizophora*

Prancha 29:193

O gênero *Rhizophora* compreende arbustos ou árvores com rizóforos, estruturas de natureza caulinar. *Rhizophora mangle*, ou mangue-vermelho, é a árvore dominante nas paisagens dos manguezais (SOUZA; LORENZI, 2008). Costuma ocupar as áreas com maior influência marinha causada pela maior frequência e duração das inundações pelas marés (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990; COHEN; LARA, 2003).**Rubiaceae***Alibertia/Amaioua*

Prancha 29:194

Alibertia é gênero de espécies arbustivas ou pequenas árvores da sub-mata (MARCHANT et al., 2002).As espécies de *Amaioua* da área de estudo são pequenas árvores ou arbustos, conforme exsicatas depositadas no Herbário CVRD.*Bathysa* está representada por espécies arbóreas na área de estudo, conforme exsicatas do Herbário CVRD.O gênero *Borreria* inclui ervas ou subarbustos campestres (JOLY, 1998).Na área de estudo o gênero *Coccocypselum* inclui espécies herbáceas, conforme informações das exsicatas do Herbário CVRD.*Declieuxia* é representado por ervas rastejantes de locais sombreados, mais comuns no interior das matas (SOUZA; LORENZI, 2008).Na área de estudo *Tocoyena* inclui espécies arbustivas ou pequenas árvores, conforme informações das exsicatas do Herbário CVRD.**Rutaceae***Zanthoxylum* tipo 1

Prancha 31:206

Gênero arbóreo, comum em florestas estacionais (SOUZA; LORENZI, 2008).

Salicaceae*Prockia*

Prancha 31:209

Árvores ou arbustos, raramente lianas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Sapindaceae*Cupania*

Prancha 31:210

Na área de estudo *Cupania* está representado por espécies de hábito arbóreo, conforme exsicatas do Herbário CVRD.

Sapotaceae*Chrysophyllum*

Prancha 32:211

A família compreende arbustos ou árvores. No Brasil a família está representada principalmente na Floresta Amazônica, no entanto, ocorrem também em outros locais, como nos cerrados e nas florestas estacionais do sudeste (JOLY, 1998; SOUZA; LORENZI, 2008).

Chrysophyllum é gênero de espécies arbustivo/arbóreas comum em florestas estacionais e savanas (MARCHANT et al., 2002).

Manilkara é gênero de espécies arbustivo/arbóreas ocorrentes tanto na Amazônia quanto na Mata Atlântica (RIZZINI, 1997).

Na área de estudo *Micropholis* é gênero de espécies arbóreas de grande porte, muitas vezes climáticas, conforme informações das exsicatas do Herbário CVRD.

Pouteria compreende espécies arbóreas de ampla distribuição geográfica no Brasil (RIZZINI, 1997).

Pradosia é representado por espécies arbóreas com ocorrência na Amazônia e na Mata Atlântica (RIZZINI, 1997).

Simaroubaceae*Simarouba*

Prancha 32:218

Tricolporado, poro lalongado, prolado-esferoidal, reticulado. P = 18-19 μm ; E = 16-17 μm .

Palinoteca da UnG.

Simarouba amara, de hábito arbóreo, possui ocorrência disjunta na Amazônia e na Mata Atlântica do sul da Bahia ao Rio de Janeiro (RIZZINI, 1997; GARAY; RIZZINI, 2003).

Smilacaceae*Smilax*

Prancha 33:219

Inaperturado, esférico, verrucado. Diâmetro = 17-20 μm .

CVRD 4065 *Smilax brasiliensis* Spreng.

Salgado-Labouriau (1973)

Lianas com rizóforo subterrâneo. As espécies podem ser encontradas em todos os biomas, particularmente na Mata Atlântica (SOUZA; LORENZI, 2008). Vários trabalhos relacionam a abundância de espécies de *Smilax* a ambientes perturbados em com regeneração natural incipiente (BORING et al., 1981; LONDRE; SCHNITZER, 2006; SHONO et al., 2006; RAYOL et al., 2008).

Solanaceae

Prancha 33:220

Tricolporado, poro lalongado (quase zonorado), micro-reticulado. P = 23-24 μm ; E = 23-24 μm .

Colinvaux et al. (1999)

ESA 47462 *Solanum betacea* Sendtn.

Ervas, arbustos ou pequenas árvores (SOUZA; LORENZI, 2008).

Symplocaceae*Symplocos* tipo 1

Prancha 33:221

Arbustos ou árvores, raramente subarbustos. As espécies nativas concentram-se principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil (SOUZA; LORENZI, 2008).

Theaceae*Gordonia*

Prancha 33:226

Tricolporado, pilado.

ESA 13862 *Gordonia fruticosa* (Schrad.) Kobuski

Arbustos ou árvores. *Gordonia fruticosa* é a única espécie do gênero no Brasil. Ocorrem em diversas formações florestais, desde a Amazônia até a região Sul, desde florestas de altitude até as restingas (SOUZA; LORENZI, 2008).

Typhaceae*Typha*

Prancha 33:227

Ervas paludosas, rizomatosas. As espécies ocorrem em áreas brejosas e em bordas de riachos onde podem formar grande aglomerados (SOUZA; LORENZI, 2008). Na área de estudo *Typha* sp. ocorre em áreas com influência fluviomarinha, em brejos salobros (IBGE, 1987), o que demonstra sua tolerância a alguma salinidade. *Typha dominguensis* é encontrada atrás da zona de manguezal em lagunas na costa atlântica da Colômbia (MARCHANT et al., 2002).

Urticaceae*Cecropia*

Prancha 34:228

O gênero *Cecropia* compreende espécies arbóreas conhecidas popularmente por embaúbas, típicas de formações secundárias ou clareiras no interior de florestas em todo o território brasileiro (JOLY, 1998; SOUZA; LORENZI, 2008).

Coussapoa é gênero de espécies arbóreas com ocorrência na Amazônia e na Mata Atlântica (RIZZINI, 1997).

Pourouma é gênero de espécies arbóreas de grande porte que habitam florestas maduras (MARCHANT et al., 2002).

Violaceae

Rinorea bahiensis é uma espécie que habita a Floresta Amazônica e também a Floresta dos Tabuleiros, em formações primárias e alteradas (GARAY; RIZZINI, 2003).

Vochysiaceae*Vochysia*

Prancha 34:233

Vochysia é gênero de árvores de grande porte, com ampla distribuição geográfica, em diversos tipos de vegetação (RIZZINI, 1997; MARCHANT et al., 2002).

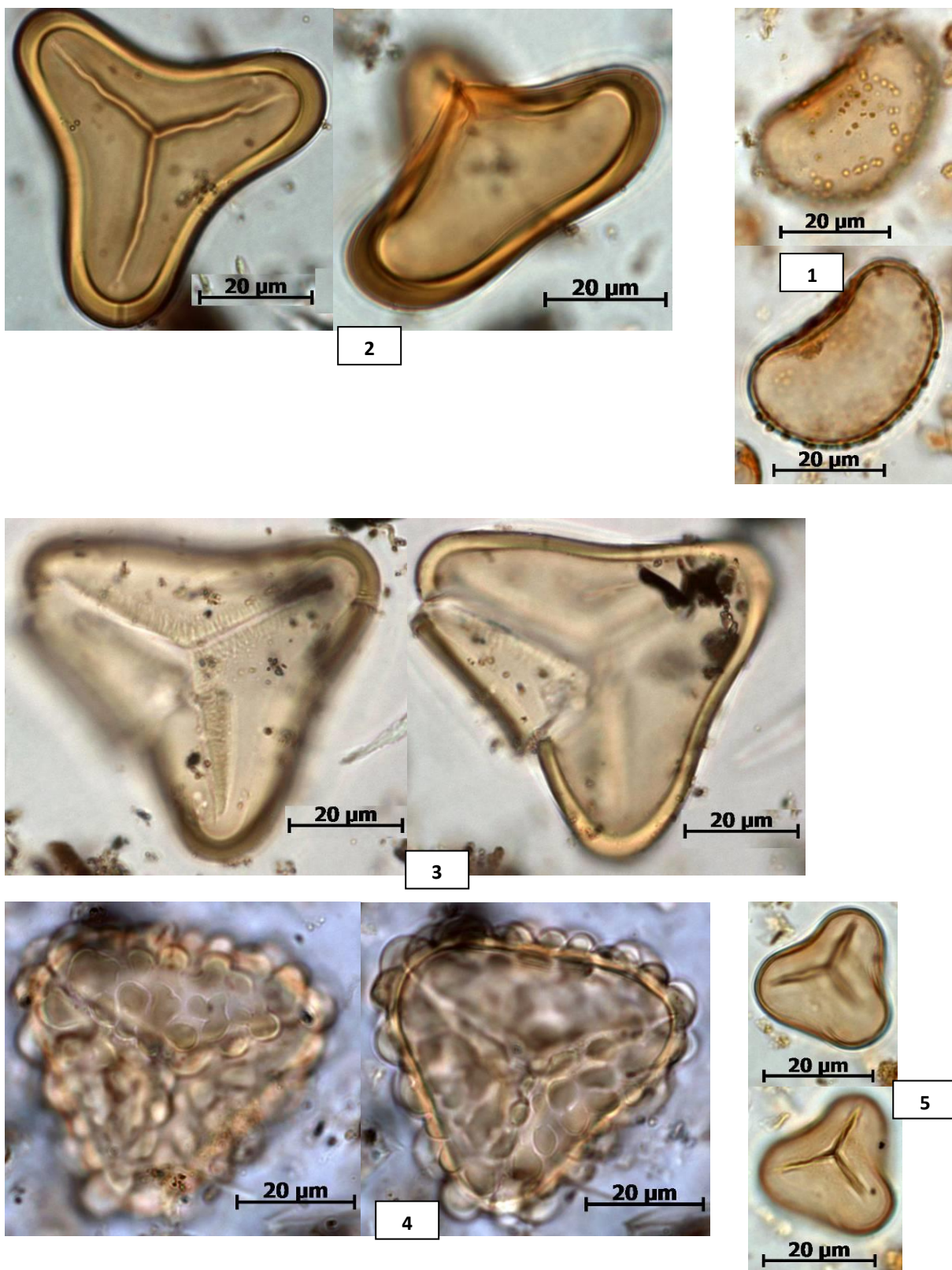
Xyridaceae*Xyris*

Prancha 34:234

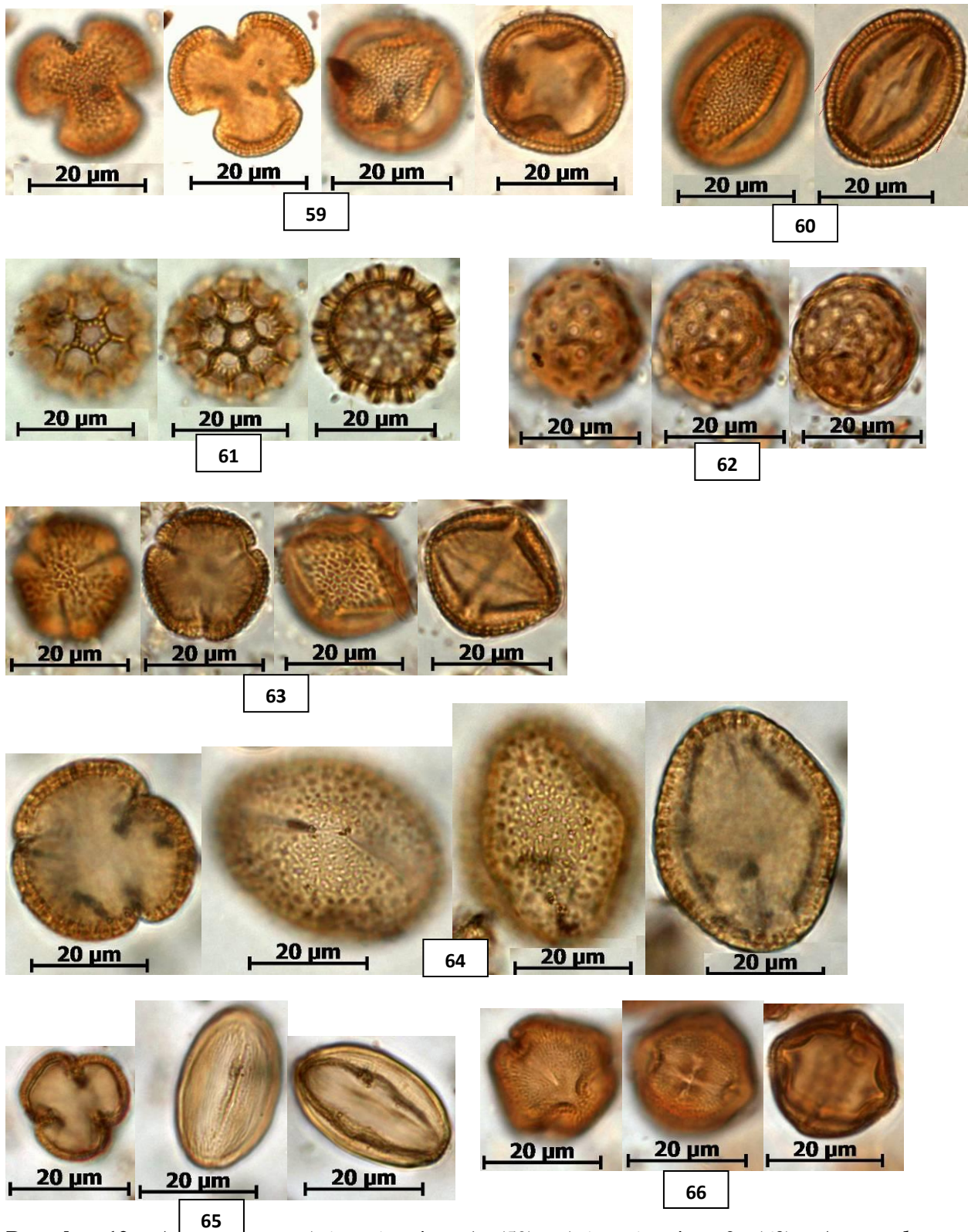
Xyris ciliata ThunBerg

Gênero de espécies herbáceas, é comum por todo o Brasil, ocorre em áreas abertas e alagáveis (SOUZA; LORENZI, 2008).

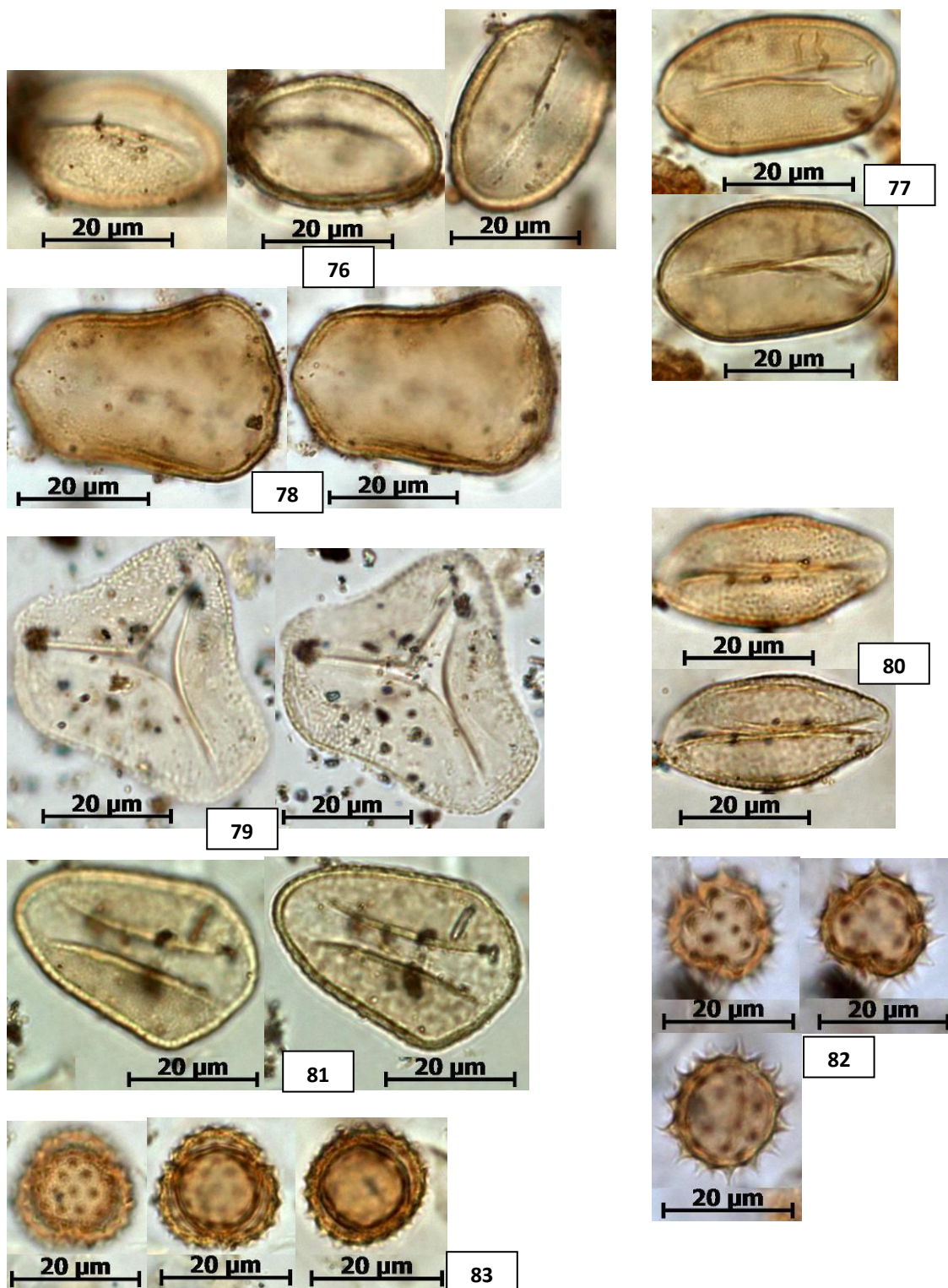
Anexo C - Pranchas dos tipos polínicos



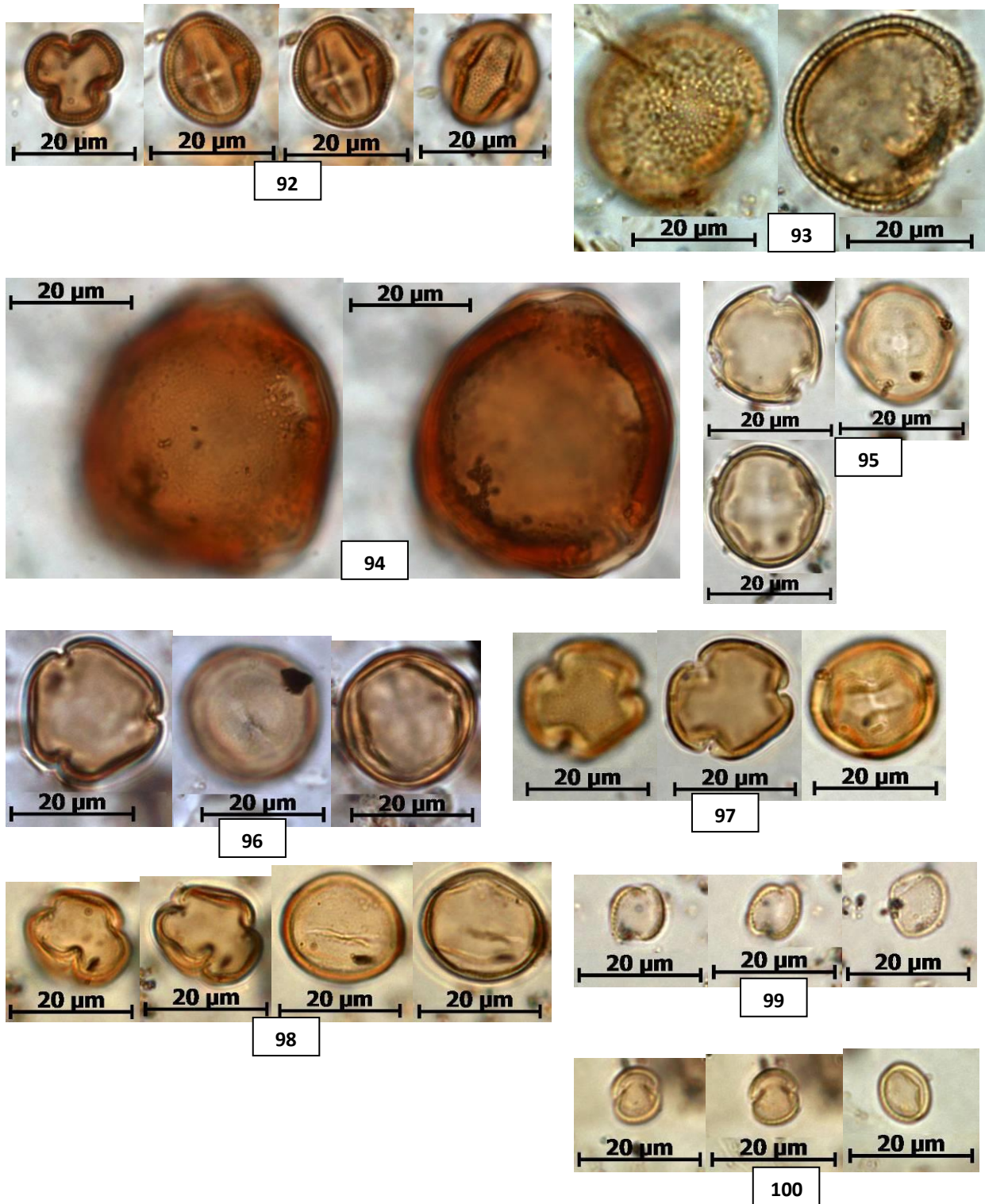
Prancha 1: *Blechnaceae*: *Blechnum* (1); *Cyatheaceae*: *Cyatheaceae* tipo 1 (2); *Cyatheaceae* tipo 2 (3); *Cyatheaceae* tipo 3 (4); *Dennstaedtiaceae* (5).



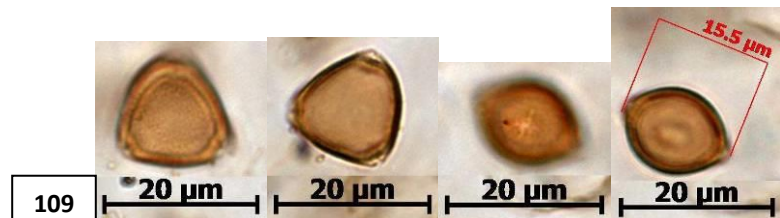
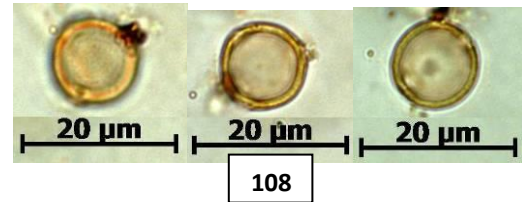
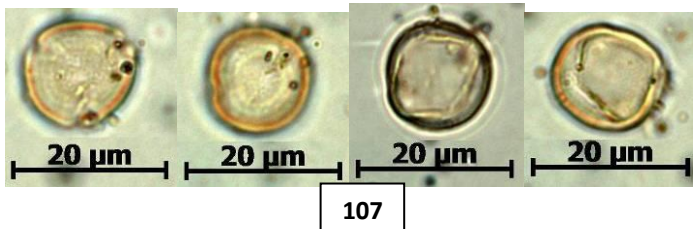
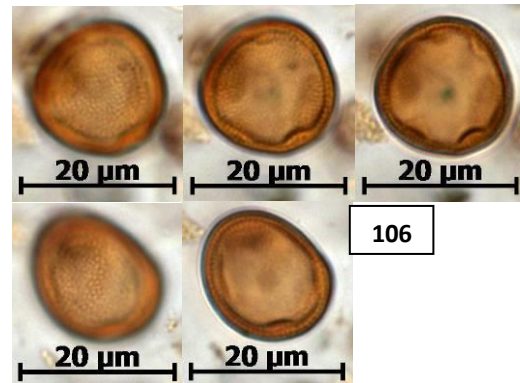
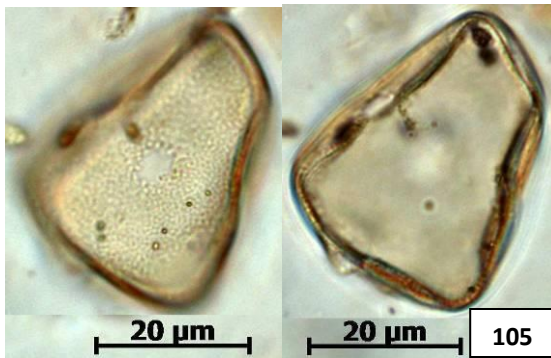
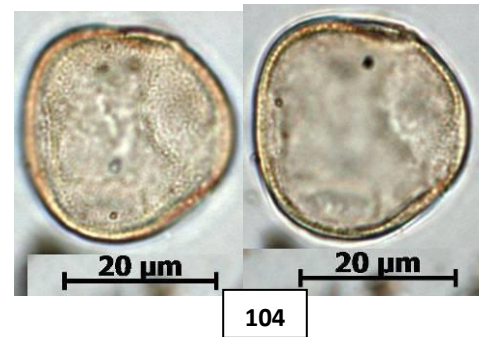
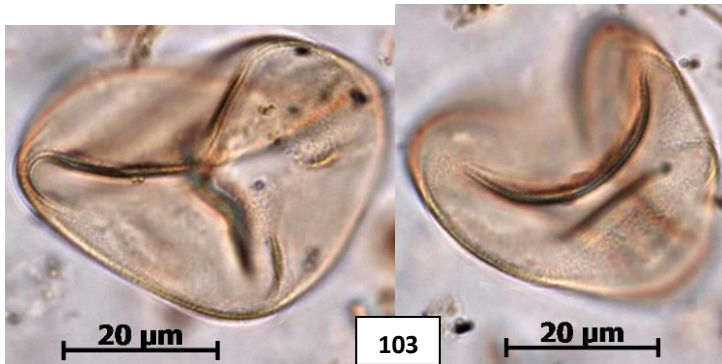
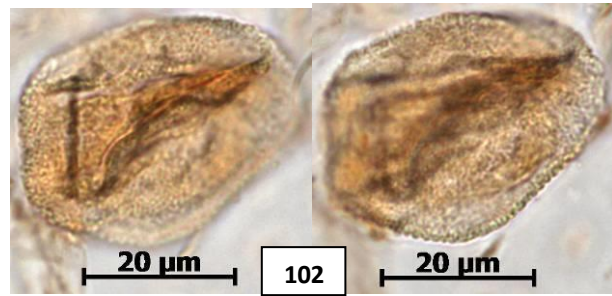
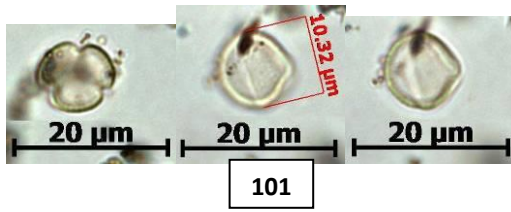
Prancha 12: *Acanthaceae*: *Avicennia* tipo 1 (59); *Avicennia* tipo 2 (60); *Amaranthaceae*: *Amaranthaceae* tipo 1 (61); *Amaranthaceae* tipo 2 (62); *Anacardiaceae*: *Astronium* (63); *Spondias* (64); *Anacardiaceae* tipo 1 (65); *Anacardiaceae* tipo 2 (66)



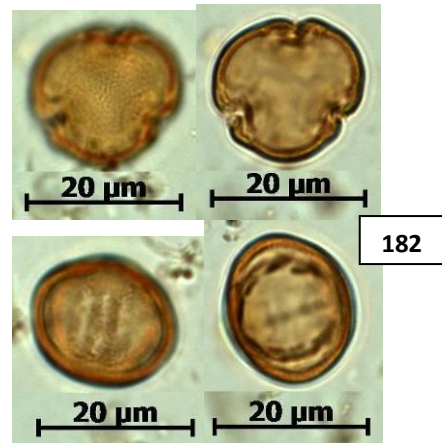
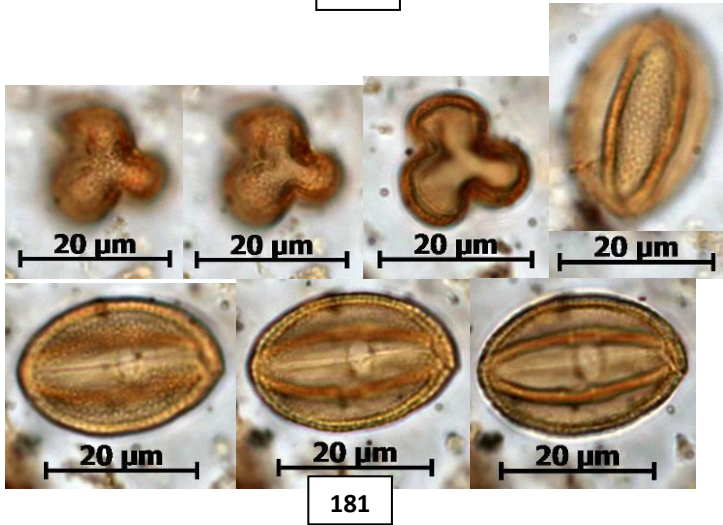
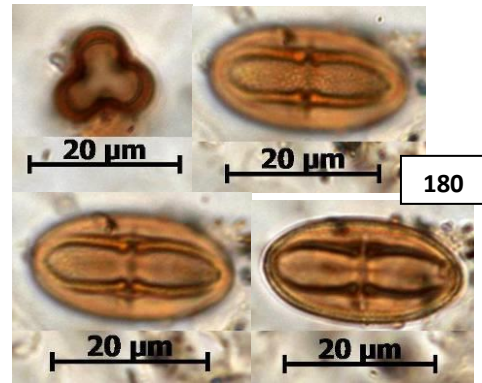
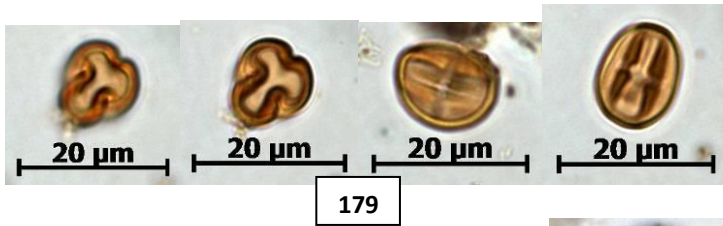
Prancha 14: *Arecaceae*: *Desmoncus* (76); *Arecaceae* tipo 1 (77); *Arecaceae* tipo 2 (78); *Arecaceae* tipo 3 (79); *Arecaceae* tipo 4 (80); *Arecaceae* tipo 5 (81); *Asteraceae*: *Asteraceae* tipo 1 (82); *Asteraceae* tipo 2 (83).



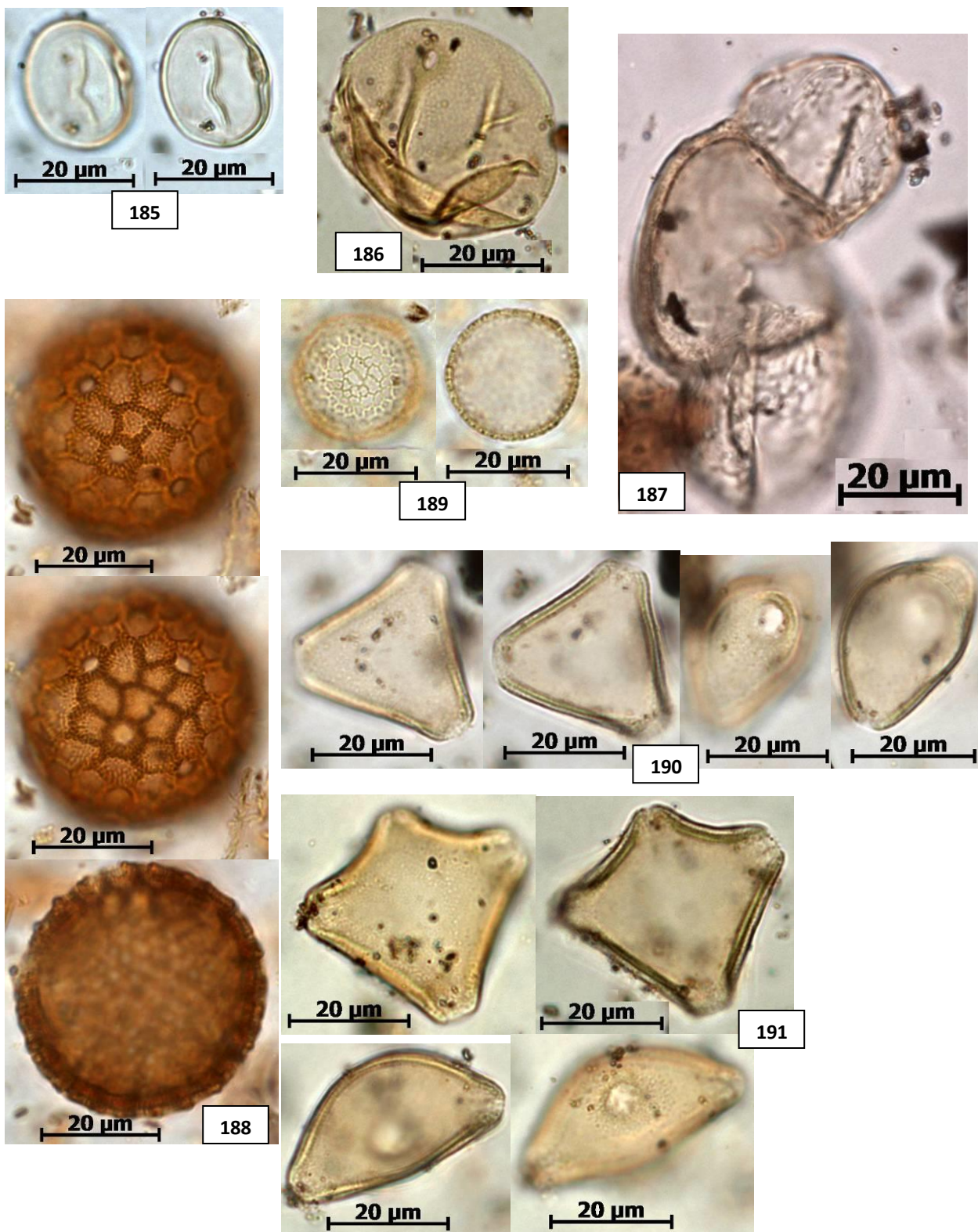
Prancha 16: *Celastraceae*: *Peritassa* tipo 2 (92); *Chloranthaceae*: *Hedyosmum* (93); *Clusiaceae*: *Symphonia* (94); *Combretaceae*: *Laguncularia* tipo 1 (95); *Laguncularia* tipo 2 (96); *Laguncularia* tipo 3 (97); *Laguncularia* tipo 4 (98); *Cunoniaceae*: *Lamanonia* tipo 1 (99); *Lamanonia* tipo 2 (100).



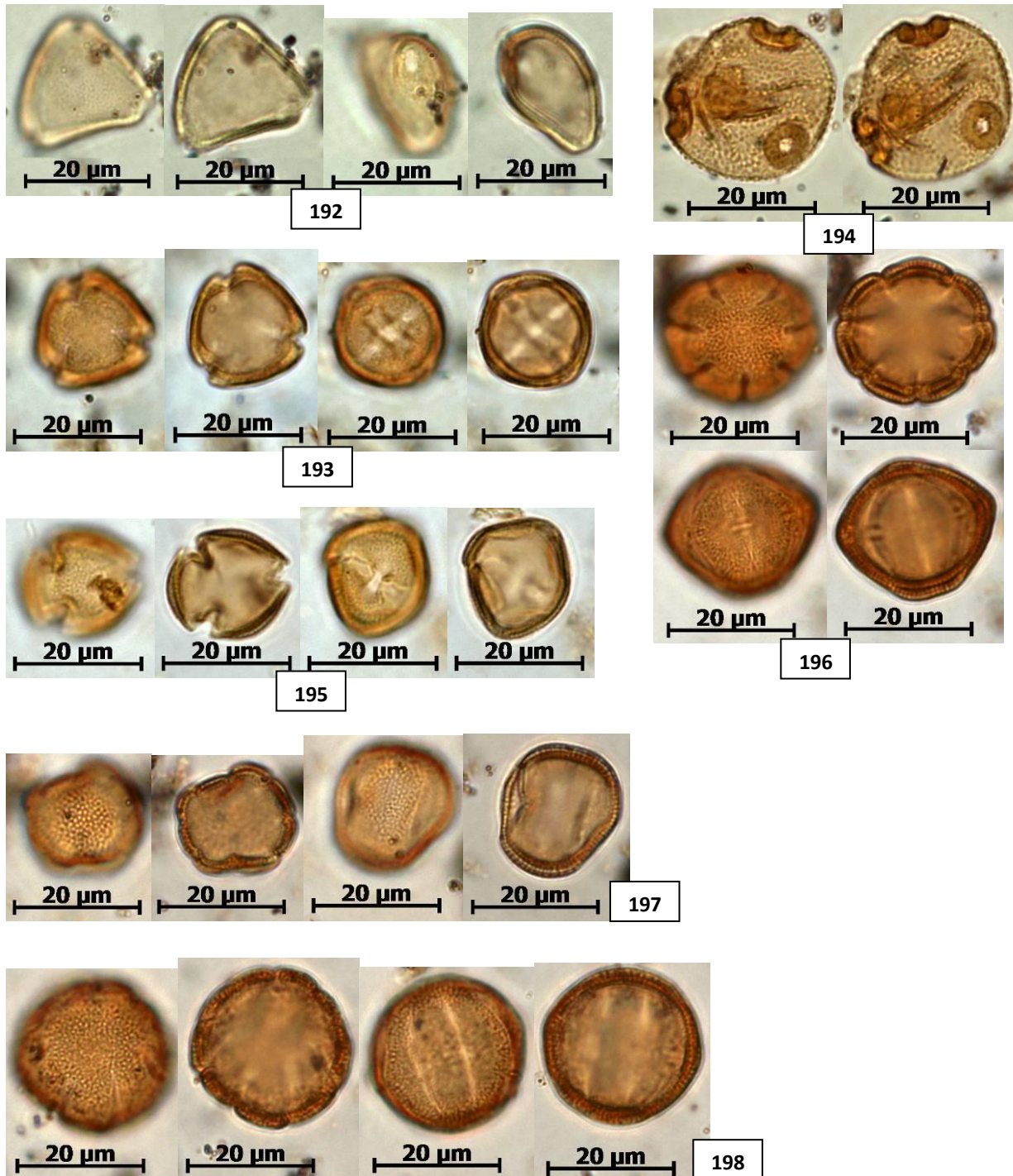
Prancha 17: *Cunoniaceae*: *Weinmannia* (101); *Cyperaceae*: *Eleocharis* (102); *Cyperaceae* tipo 1 (103); *Cyperaceae* tipo 2 (104); *Cyperaceae* tipo 3 (105); *Dilleniaceae*: *Tetracera* (106); *Elaeocarpaceae*: *Sloanea* (107); *Euphorbiaceae*: *Acalypha* tipo 1 (108); *Acalypha* tipo 2 (109).



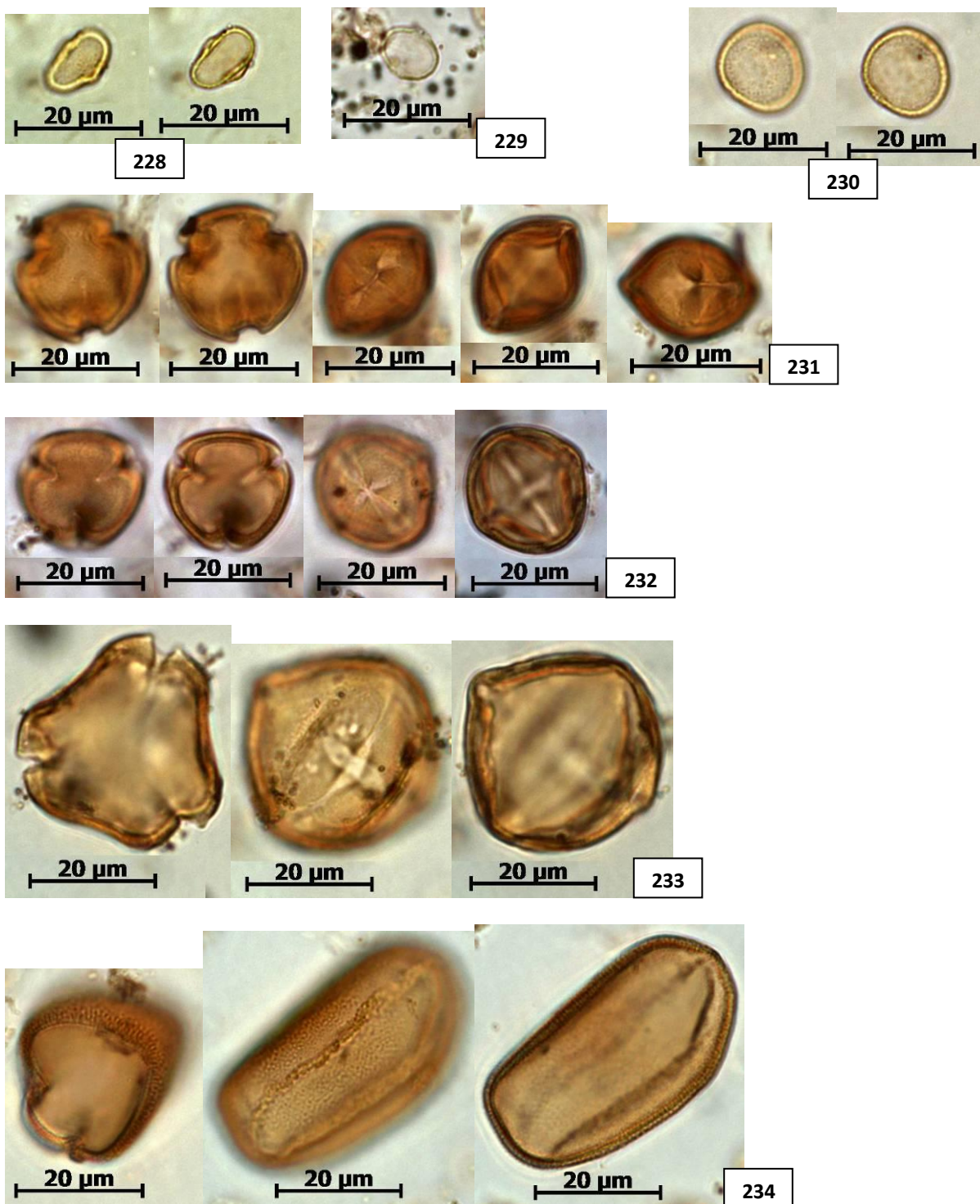
Prancha 27: *Nymphaeaceae/Pontederiaceae:* *Nymphaeaceae/Pontederiaceae* tipo 2 (178); *Ochnaceae:* *Sauvagesia* (179); *Phyllanthaceae:* *Hyeronima* (180); *Margaritaria* (181); *Phytolaccaceae:* *Gallesia* (182); *Piperaceae* (183); *Poaceae:* *Poaceae* tipo 1 (184).



Prancha 28: *Poaceae*: *Poaceae* tipo 2 (185); *Poaceae* tipo 3 (186); *Podocarpaceae*: *Podocarpus* (187); *Polygonaceae*: *Polygonum* (188); *Potamogetonaceae*: *Potamogeton* (189); *Proteaceae/Sapindaceae*: *Proteaceae/Sapindaceae* tipo 1 (190); *Proteaceae/Sapindaceae* tipo 2 (191).

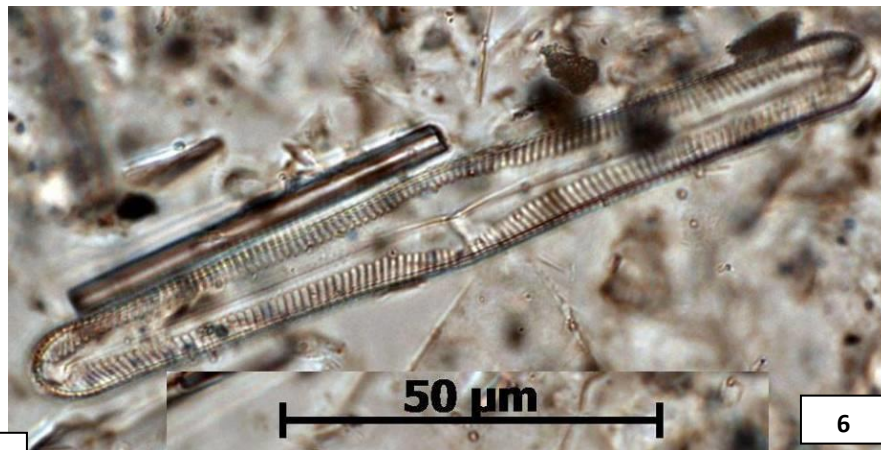
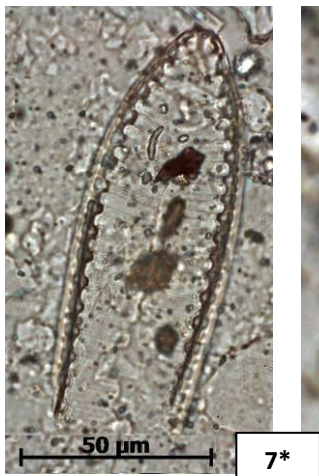
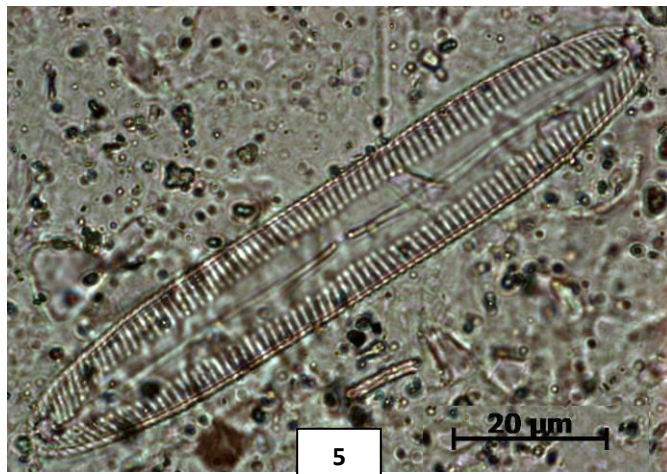
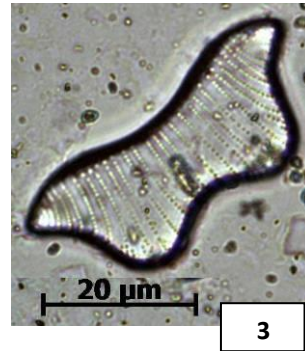
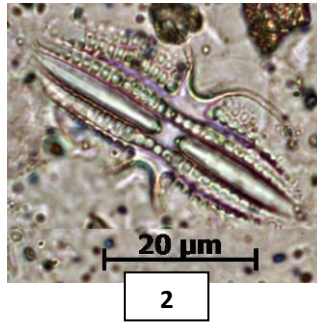
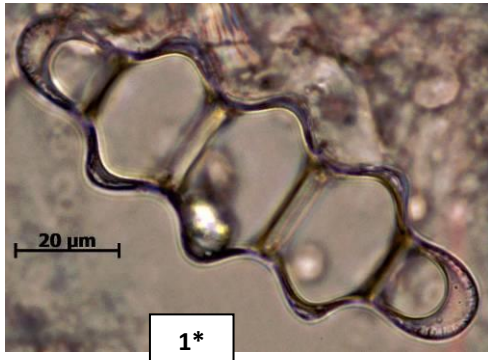


Prancha 29: *Proteaceae/Sapindaceae*: *Proteaceae/Sapindaceae* tipo 3 (192); *Rhizophoraceae*: *Rhizophora* (193); *Rubiaceae*: *Alibertia/Amaioua* (194); *Bathysa* (195); *Borreria* tipo 1 (196); *Borreria* tipo 2 (197); *Borreria* tipo 3 (198);



Prancha 34: *Urticaceae*: *Cecropia* (228); *Coussapoa* (229); *Pourouma* (230); *Violaceae*: *Rinorea* tipo 1 (231); *Rinorea* tipo 2 (232); *Vochysiaceae*: *Vochysia* (233); *Xyridaceae*: *Xyris* (234).

Anexo D - Prancha de diatomáceas



Prancha 1: *Terpsinoe* sp. (1); *Diploneis* sp. (2); *Eunotia didyma* (3); *Plagiogramma* sp. (4); *Pinnularia* sp. 1 (5); *Pinnularia* sp. 2 (6); *Surirella* sp. (7). [*#1 reduzida para 2/3 da escala; *#7 reduzida para 1/2 da escala].

Capítulo 3

3.1 Aplicações em estudos de reconstrução paleoambiental. Vegetação e clima - Região Nordeste

3.1.1 Locais de Estudo

Os locais de estudo (Figura 3.1) encontram-se em áreas de preservação do IBAMA. Para a utilização dos isótopos do carbono da MOS como indicadores de paleovegetação necessita-se que a vegetação de cobertura seja natural, evitando-se situações de ação antrópica, principalmente plantios.



Figura 3.1 - Mapa do Brasil (Fonte IBAMA) com indicação das áreas de estudo

3.1.1.1 Floresta Nacional do Araripe - CE (FLONA)

Com uma área de 38.626,32 ha, a FLONA é situada em uma região onde as condições de clima e solo predispõem a desertificações, no extremo sul do estado do Ceará, na Chapada do Araripe, abrangendo parte dos municípios de Santana do Cairiri, Crato e Barbalha (Figura 3.2).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas no verão e precipitações máximas no outono (Aw'). Apresenta um regime pluviométrico com chuvas no período de janeiro a junho e máximas em março e abril, registrando-se em outubro a menor precipitação. As temperaturas são elevadas com amplitude inferior a 5°C (BRASIL, 1981).

A cobertura florestal é composta por 10,95% de floresta úmida semiperenifólia (Foto 3.1A), 48,53% de transição floresta úmida/cerrado, 27,49% de cerrado, 1,52% de carrasco e 11,52% de floresta úmida degradada pelo fogo (IBAMA, 2005).

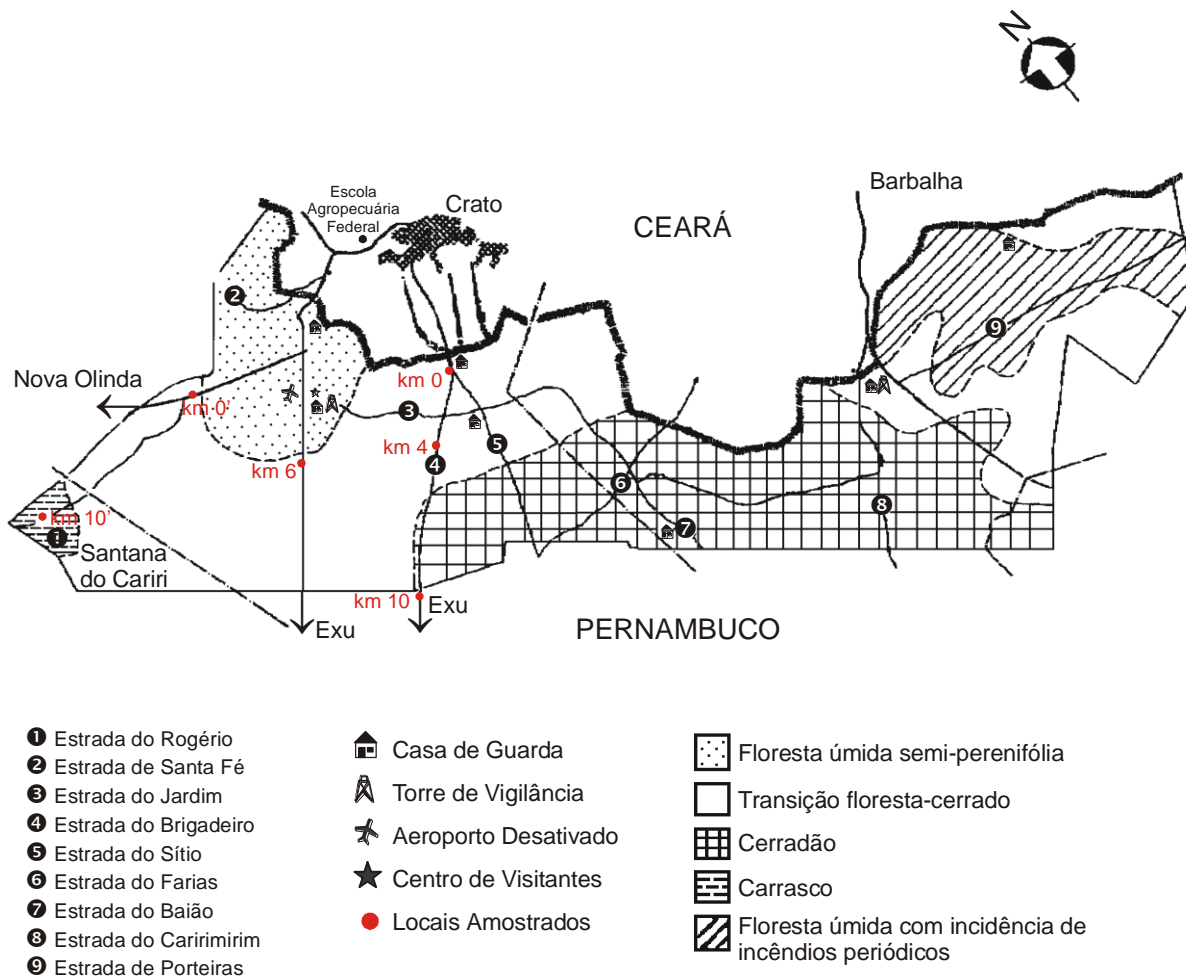


Figura 3.2 - Localização dos pontos de amostragem na FLONA

Fernandes e Bezerra (1990) definiram os cerrados da Chapada do Araripe como formações vegetais caracterizadas pelo estrato herbáceo dominado por gramíneas, podendo ser considerado como formações perenifólias e sub-perenifólias ou caducifólias, dependendo do comportamento hídrico da região. A presença de cerrado no Ceará é explicada por eventos paleoclimáticos que teriam determinado o avanço e o posterior recuo da vegetação dominante no Brasil Central (FERNANDES, 1990).

Quanto às florestas ombrófilas cearenses, Fernandes (1990) e Fernandes e Bezerra (1990) definiram-as como formações de altitude, representando remanescentes da mata Atlântica driática (floresta serrano-oriental) com disjunções florestais circundadas pela caatinga.

O carrasco foi definido por Andrade-Lima (1978) como sendo um tipo vegetacional xerófilo de aspecto fisionômico subarbóreo e arbóreo de pequeno porte. Fernandes e Bezerra (1990) afirmaram que o carrasco é uma vegetação procedente do cerradão e Rizzini (1979) definiu-o como sendo vegetação arbustiva, caducifólia de difícil penetração. Araújo et al. (1999) definiram o termo carrasco abrangendo outros fatores ambientais. Nas conclusões do estudo sobre a fisionomia e estrutura da vegetação feito por

Araújo et al. (2002), o carrasco é uma vegetação xerófila arbustiva densa alta, ainda pouco conhecida, que ocorre no domínio semi-árido do nordeste do Brasil, que está bem associado às Areias Quartzosas distróficas profundas. A distribuição desta vegetação ocorre em altitudes que variam de 730 a 900 m e está localizada predominantemente nas Chapadas da Ibiapada e do Araripe, ocupando uma área estimada de 7406 km² o que representa 0,48% do nordeste brasileiro (ARAÚJO et al., 1998).

O solo da região, segundo Brasil (1981), foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo álico. O perfil publicado no Projeto Radambrasil localiza-se a poucos metros de distância de um dos pontos de amostragem (km0’).

Para a amostragem de solos e plantas foram selecionados locais nas áreas sob vegetação de floresta, transição floresta-cerrado, cerrado e carrasco (Figura 3.2 e Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Locais de amostragem na FLONA

Identificação dos Pontos de Coleta	Vegetação	Referência	Localização Geográfica	Altitude (m)
km 0 (Fotos 1B e 1C)	Floresta	Casa do Belmonte	07°16’38.8’’S; 39°27’05.5’’O	969
km 4	Transição floresta/cerrado	4 km da coleta no km 0	07°18’33.9’’S 39°27’46.5’’O	947
km 10 (Foto 1D)	Cerrado	10 km da coleta no km 0	07°20’40.0’’S 39°28’54.1’’O	940
km 0’	Floresta	Rodovia para Nova Olinda	07°14’12.1’’S 39°29’32.0’’O	982
km 6’ (Foto 1E)	Carrasco	6 km da coleta no km 0’ (Mangabeiras)	07°16’36.8’’S 39°31’26.9’’O	930
km 10’	Carrasco	10 km da coleta no km 0’ (Paraíso)	07°14’24.4’’S 39°36’18.2’’O	920



Foto 3.1 - A) Vista da Floresta Nacional do Araripe
B) Vista da floresta no km 0 da Estrada do Brigadeiro
C) Interior da floresta no km 0
D) Vista do cerrado na Estrada do Brigadeiro (km 10)
E) Tradagem no carrasco, na área das Mangabeiras (km 6')

3.1.1.2 Parque Nacional de Sete Cidades - PI (PARNA)

Conhecido pelo conjunto de monumentos geológicos (Fotos 3.2A e 3.2B), o PARNA está localizado ao norte do estado do Piauí, nos municípios de Brasileira e Piracuruca, com uma área de 7700 ha e perímetro de 36,2 km (Figuras 3.2 e 3.3).



Foto 3.2 - A) Vista panorâmica do PARNA Sete Cidades.
B) Monumento D. Pedro I na 3ª Cidade.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw', tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas no verão e precipitações máximas no outono (BRASIL, 1981). A temperatura média é de 24 a 26°C com amplitude anual fraca. A precipitação média é de 1200 mm anuais, semi-árida, sendo o período mais seco de julho a dezembro. O relevo da área demonstra uma superfície pediplana anterior com altitude variando entre aproximadamente 450 m com testemunhos isolados, cônicos e tabulares que apresentam altitudes de 100 a 300 m aproximadamente. É um relevo típico das bacias sedimentares (IBAMA, 2005). O solo é classificado como Areia Quartzosa álica (BRASIL, 1981; SANTOS, 2001).

Segundo Oliveira¹, citado por Santos (2001), os tipos de vegetação identificados no Parque são:

- *mata fria* - vegetação arbórea, perenifólia sempre verde, de estrato arbóreo denso, com árvores com altura variando de 15 a 20 m;
- *mata ciliar* - vegetação florestal arbórea caducifólia que acompanha os rios. É uma mata estreita, não raro ultrapassando 100 m de largura em cada margem, com árvores entre 20 e 30 m;
- *cerrado seco* - vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 20% a 50% e altura média de 3 a 6 m;
- *cerrado baixo* - é constituído por uma vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 5% a 20% e altura média de 2 a 3 m. O estrato arbustivo-herbáceo tem presença significativa;
- *campo sujo* - formado por arbustos e subarbustos entremeados no estrato herbáceo;
- *campo limpo* - onde a presença dos arbustos e subarbustos é insignificante.

O Parque é conhecido também pelo conjunto de pinturas rupestres existentes em sua área (Foto 3.3). São aproximadamente 26 sítios arqueológicos localizados na Zona dos Monumentos Geológicos, que constituem da Primeira à Sétima Cidade (SANTOS, 2001).

¹ OLIVEIRA, M.E.A. **Mapa dos tipos de vegetação do Parque Nacional Sete Cidades.**

As diversas manifestações das pinturas rupestres existentes no Nordeste brasileiro foram divididas dentro de uma categoria de análise denominada de Tradição, que ordena as pinturas por grupos que representam identidades culturais de caráter geral. São critérios utilizados para a inserção de determinado grupo de pinturas em determinada tradição: os tipos de grafismos presentes nos painéis, as proporções relativas existentes nesses tipos e as relações que se estabelecem entre os diversos grafismos que compõem um painel. Há três tradições de pinturas rupestres no Nordeste brasileiro: a Tradição Nordeste, a Tradição Agreste e a Tradição Geométrica; as duas últimas estão presentes em Sete Cidades. Diante de dados disponíveis do Parque Nacional Serra da Capivara, pode-se afirmar que a cronologia da Tradição Agreste se inicia em 5000 anos AP e supõe-se que a cronologia da Tradição Geométrica seja mais recente (MARTIN, 1996).



Foto 3.3 - Pinturas pré-históricas na Pedra do Americano, na 2ª Cidade.

Na Tabela 3.2 e Figura 3.3 são apresentados os pontos onde foram coletadas amostras de solos, através de tradagens e trincheira, e de plantas.

Tabela 3.2 - Locais de amostragem em Sete Cidades

Identificação dos Pontos de Coleta	Região	Referência	Localização Geográfica	Altitude (m)
I	Capela	1 km da estrada principal	04°07'30.5"S 41°42'32.5"O	239
II	Capela	1,7 km da estrada principal	04°07'48.8"S 41°42'39.1"O	240
III	Capela	Inscrição rupestre	-	-
IV (Foto 4A)	Capela	1,9 km da estrada principal	04°07'52.3"S 41°42'43.1"O	246
V (Foto 4B)	Cancela Velha	5,2 km da Administração	04°04'27.2"S 41°43'42.5"O	191
VI	Recanto da Jurema	5,3 km da Administração	04°04'47.5"S 41°42'14.2"O	215
VII (Fotos 4C e 4D)	Campo Bonito		04°05'46.8"S 41°41'16.2"O	178
VIII (Fotos 4D e 4E)	Serra Negra		04°05'41.5"S 41°41'10.1"O	182
IX (trincheira)	Capela	1,2 km da estrada principal	04°07'34.2"S 41°42'34.8"O	239

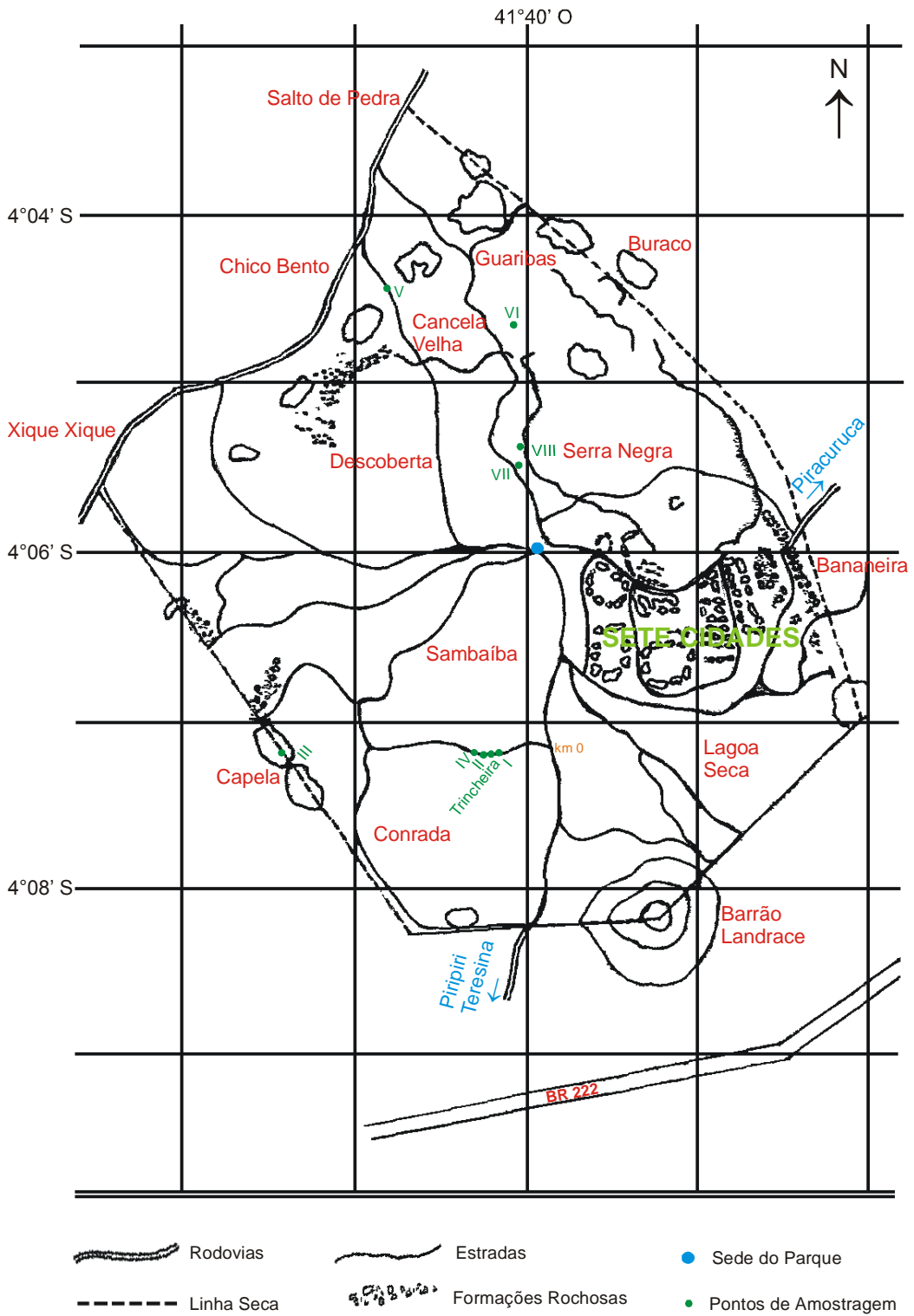


Figura 3.3 - Localização dos pontos de amostragem no PARNA Sete Cidades



Foto 3.4 - A) Local amostrado no cerrado IV, região Cancela Velha
B) Tradagem em V
C) Campo Bonito (VII) com a predominância do capim agreste. Ao fundo, a Serra Negra (VIII)
D) Contato Campo Bonito (VII)/Serra Negra (VIII)
E) Tradagem na Serra Negra (VIII)

3.1.1.3 Reserva Biológica de Guaribas - PB (REBIO)

A Unidade de Guaribas, cujo nome é uma referência ao macaco guariba (*Alouatta belzebul belzebul*), representa uma das raras amostras da Floresta Atlântica nordestina. Está situada no litoral norte do estado da Paraíba, ocupando parte dos municípios de Mamanguape e Rio Tinto (Figura 3.4). Possui uma extensão de 4321,6 ha, divididos em três áreas separadas (Figura 3.4): Área I - com superfície de 616,4 ha, coberta quase que inteiramente por vegetação de tabuleiro costeiro; Área II - maior área da unidade com 3378,2 ha e cobertura vegetal caracterizada pela Floresta Estacional Semidecidual, com incrustações de vegetação de tabuleiro e Área III - margeada ao Sul pela cidade de Rio Tinto, com superfície de 327,0 ha concentrando o trecho de floresta mais bem conservado da Reserva (BRASIL, 1995).

A região do litoral da Paraíba é uma área de precipitação abundante que recebe durante todo o ano a influência dos ventos alísios do sudeste, frescos e úmidos (IBAMA, 2005). Segundo a classificação de Köppen a área da Reserva possui um clima do tipo As', quente e úmido, com estação seca no verão e chuvosa no outono-inverno. A estação chuvosa tem início em fevereiro e se prolonga até julho, com precipitações máximas quase sempre em abril. A estiagem mais rigorosa ocorre entre outubro e dezembro, sendo geralmente novembro o mês mais seco. As temperaturas são elevadas com médias anuais em torno de 24°C. O mês mais quente é dezembro ou fevereiro e o mais frio julho, ou raramente, agosto. A área está localizada entre as isoietas de 1750 e 2000 mm anuais (BRASIL, 1981).

A área da Reserva está constituída por formas tabulares com entalhes de drenagem fraco. Os interflúvios tabulares têm uma largura máxima de aproximadamente 1700 m entre os rios Barro Branco e Caiana. A altitude máxima registrada na carta 1:25.000 é de 204 m e está acima da média para a região (IBAMA, 2005).

Estes tabuleiros possuem uma cobertura arenosa eólica de cor branca de aproximadamente 1 m. Por baixo destas áreas encontram-se sedimentos do grupo Barreiras. Estas formações incluem sedimentos areno-argilosos, afossilíferos, com intercalações silticas e conglomeráticas depositados entre o Terciário Superior e o Quaternário, que estão expostos na Reserva nos cortes dos caminhos para Caiana e Cabeça de Boi. As Áreas I e II incluem o topo e as encostas do tabuleiro, talhadas pelos afluentes do rio Camaratuba. A Área III é formada principalmente pela encosta Sul do tabuleiro, com altitude máxima do terreno em torno de 120 m. As águas desta encosta drenam para o rio Mamanguape (BRASIL, 1995).

Na encosta dos tabuleiros e parte do topo predominam solos de tipo Podzólico Vermelho-Amarelo distróficos e no topo dos tabuleiros encontram-se solos com Areia Quartzosa distrófica (BRASIL, 1981). Tais solos arenosos ocupam uma extensão limitada na Área II mas são muito extensos na Área I. A Área III só tem este tipo de solo no extremo oeste. A vegetação de cobertura é uma savana arbórea semelhante ao cerrado. Os solos podzólicos ocupam a maior parte da Área III e as encostas do tabuleiro da Área II, cortadas pelas cabeceiras dos rios Brejinho, Barro Branco e Caiana. A umidade destes vales e a melhoria dos solos pelo trabalho fluvial permitiram o desenvolvimento da floresta subperenifolia (BRASIL, 1995).

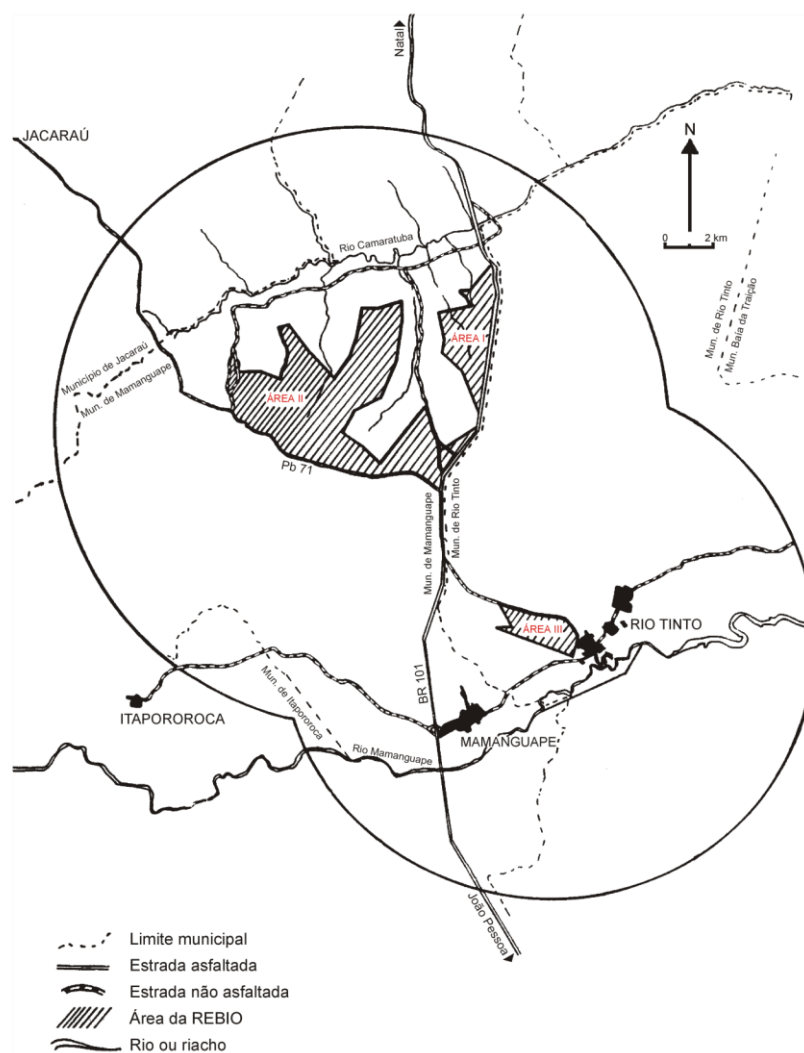


Figura 3.4 - Áreas da REBIO Guaribas

Na Reserva encontram-se dois tipos de vegetação (IBAMA, 2005):

(i) A savana arbórea aberta, caracterizada por um contínuo tapete gramíneo-lenhoso, entremeado de árvores gregárias espaçadas, geralmente raquíticas ou degradadas pelo fogo anual. Este tipo de vegetação é localmente chamado de “tabuleiro” (Foto 3.5A).

(ii) A floresta estacional semidecidual, caracterizada por uma formação florestal com espécies típicas da mata Atlântica e elementos amazônicos (Foto 3.5B).

Existe um gradiente ecológico entre estes dois tipos de vegetação. A transição entre eles se processa em forma lenta, acarretando com isso uma área de competição entre as espécies, definida como área de tensão ecológica. Esses contatos savana/floresta estacional apresentam-se no tabuleiro sob forma de encrave (BRASIL, 1995).

Na Tabela 3.3 e Foto 3.5 são apresentados os pontos onde foram coletadas amostras de solos, através de tradagens e trincheira, e de plantas.

Tabela 3.3 - Locais de amostragem na REBIO Guaribas

Identificação dos Pontos de Coleta	Área	Vegetação	Localização Geográfica	Altitude (m)
Cabeça de Boi	I	Floresta estacional semidecidual	06°43'56.7"S 35°10'28.3"O	207
Mata das Varinhas (Foto 6B)	II	Floresta estacional semidecidual	06°42'07.0"S 35°09'41.0"O	173
Mata do Maracujá (Foto 5B)	III	Floresta estacional semidecidual	06°47'48.1"S 35°05'56.3"O	137
Rio Tinto (trincheira)	III	Floresta estacional semidecidual	06°47'47.4"S 35°05'59.1"O	140
Capim Azul 1	I	Tabuleiro	06°41'51.8"S 35°07'25.4"O	161
Capim Azul 2 (a 20 m de C.Azul 1)	I	Tabuleiro	-	161
Tabuleiro 1	II	Tabuleiro	06°40'55.4"S 35°09'49.5"O	146
Tabuleiro 2 (Foto 6A)	II	Tabuleiro	06°41'25.4"S 35°09'40.4"O	157
Tabuleiro 3	II	Tabuleiro	06°41'42.2"S 35°09'44.1"O	179
Tabuleiro 4	III	Tabuleiro	06°47'49.8"S 35°06'03.2"O	128



Foto 3.5 - A) Vegetação de tabuleiro. Região do Tabuleiro Grande (Área I da REBIO), onde foi realizada a primeira amostragem de solo (Tabuleiro 1)

B) Floresta estacional semidecidual. Mata do Maracujá na Área III da REBIO

C) Segundo local amostrado na região do Tabuleiro Grande (Tabuleiro 2)

D) Mata das Varinhas

3.1.1.4 Parque Nacional Marinho Fernando de Noronha - PE (PARNAMAR)

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 principal Fernando de Noronha (Figura 3.5). Localiza-se à 345 km a NE do Cabo de São Roque (RN) e 545 km de Recife (PE) (IBAMA, 2005).

O Arquipélago é constituído dos remanescentes de um edifício vulcânico localizado a cerca de 4000 m de profundidade, parte de uma ramificação da Dorsal Médio Atlântica em direção à costa brasileira (ALMEIDA² citado por BATISTELLA, 1993).

O clima da região é 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, consequência da influência moderadora dos alíseos. As médias mensais também são altas, fazendo a amplitude térmica anual menor que 2°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 1400 mm, porém com grande variabilidade interanual, acompanhando a tendência de toda a faixa tropical que abrange o Nordeste continental. São evidentes duas estações bem marcadas, indo o período úmido de março a julho, com maior volume de precipitações de abril a maio.

² ALMEIDA, F.F.M. **Geologia e petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura-Divisão de Geologia e Mineralogia, 1958. 181p. il. (MARA-DGM. Monografia, 13).

O déficit hídrico é mais acentuado de agosto a janeiro. Em relação à umidade relativa do ar, há grande uniformidade durante todo o ano, com valores oscilando em torno de 85% no período chuvoso e 81% no seco (BATISTELLA, 1993).

Estas características climáticas e, mais precisamente, a sazonalidade dos totais pluviométricos interferem visivelmente na fenologia da vegetação noronhense. Decíduas na estação seca, grande parte das espécies vegetais superiores recupera suas folhas na época das chuvas, alterando a paisagem de acordo com a pluviometria. Este fato, aliado às reduzidas dimensões das ilhas, permite deduzir que a variabilidade temporal é bem mais importante que a espacial na fisionomia da vegetação do Arquipélago (BATISTELLA, 1993).

Outro importante fator climático na ilha que também influencia na cobertura vegetal do Arquipélago é o vento constante. Os alíseos com direção ESE, atingem principalmente a face de barlavento, onde encontra-se localizada a Bahia Sueste.

Com relação à hidrologia, o rio Maceió é o principal corpo d'água da ilha, que atualmente desemboca no Reservatório Xaréu. Os restantes corpos d'água são de modestas dimensões, sendo 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 Bahia Sueste.

Assim, as variações do nível do mar ocorridas durante o Pleistoceno e decorrentes da alternância de períodos glaciais e interglaciais, teriam influenciado na colonização das plantas no arquipélago. Provas das variações no nível do mar durante essa época são encontradas em Noronha nas rochas sedimentares mais antigas, as quais foram depositadas entre 1,8 Ma e 10.000 AP, sendo o arenito eólico (paleodunas) Caracas, localizado 50 m acima do nível atual do mar (TEIXEIRA et al., 2003), um exemplo. Da mesma forma, na plataforma continental são encontradas paleodunas, hoje imersas, que foram depositadas em ambientes de praia como as de Pedras Secas, que evidenciam níveis marinhos aproximadamente 35 m mais baixos que os atuais (TEIXEIRA et al., 2003). Segundo Batistella (1993), a colonização de espécies vegetais com sementes ou frutos transportados por correntes (p.ex. *Ipomea* e *Laguncularia*) aconteceu durante esses períodos nos quais a dispersão a partir da costa brasileira seria otimizada. Datações realizadas nos bioclastos que formam as paleodunas mostram idades médias que oscilam no intervalo 22.000 a mais de 45.000 AP (TEIXEIRA et al., 2003).

As principais espécies arbóreas endêmicas do Arquipélago são a gameleira (*Ficus noronhae*), o mulungu (*Erythrina velutina* var. *aurantiaca*) e a burra-leiteira (*Sapium sceleratum*). 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 flamboiãs (*Delonix regia*) também se estabeleceram com sucesso (GUERRIERO, 2002). Houve a introdução também de algumas culturas agrícolas, com destaque para 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 3.5) pode-se encontrar a vegetação remanescente do Arquipélago, do tipo Mata Atlântica insular, que é utilizada como área de nidificação pelas aves terrestres e marinhas. Numa área de difícil acesso, na região entre a Praia do Leão e a Ponta da Sapata, está a Lagoa da Viração (Foto 3.6), que nunca seca. É cercada por vegetação nativa e recoberta por plantas aquáticas, tal como o repolho d’água (*Pistia stratiotes*) (Foto 3.7) (GUERRIERO, 2002).

A planície é limitada por um paredão de aproximadamente 100 m (Foto 3.7), formado por derrames de basalto intercalados por camadas de material piroclástico (cinzas e blocos vulcânicos), o que praticamente estabelece um completo isolamento da área. Assim, a densa vegetação e o anfiteatro respondem por uma proteção e preservação geomorfológica natural, uma vez que o acesso à lagoa é complexo (MORAES, 2002).

Um conjunto de três lâminas d’água vicinais completa esse restrito ecossistema ocupando uma área de aproximadamente 1 ha, das quais somente a principal é permanente. As demais ocupam áreas pequenas, com profundidades máximas inferiores aos 80 cm. O “input” terrígeno nessas lâminas d’água é reduzido, face à predominância de um escoamento pluvial difuso que permeia através de uma vegetação circundante relativamente densa. Esse ecossistema se situa a cerca de 20 m acima do atual nível médio do mar e, pelo menos em se considerando um intervalo de tempo dos últimos milênios, não se pode indicar qualquer possibilidade de comunicação com ambiente marinho (MORAES, 2002).

O ecossistema lacustre da Viração pode ser considerado como praticamente intocado pelo Homem ao longo de sua História. Está incluso no perímetro de proteção ambiental do PARNAMAR de Fernando de Noronha e desde então o seu acesso se tornou restrito.

Por se tratar de uma lagoa perene, a biota existente em seu interior e imediações, possui características que podem ser razoavelmente preservadas durante os períodos de estiagem. Pode-se dizer que, em princípio, sua flora e fauna não sofrem processos significativos de adaptação pelas mudanças físico-químicas decorrentes de uma certa escassez de água. Essas circunstâncias não se observam nas outras duas lagoas que fazem parte do conjunto, já que no período de seca elas podem secar completamente (MORAES, 2002).



Foto 3.6 - Vista da Lagoa da Viração

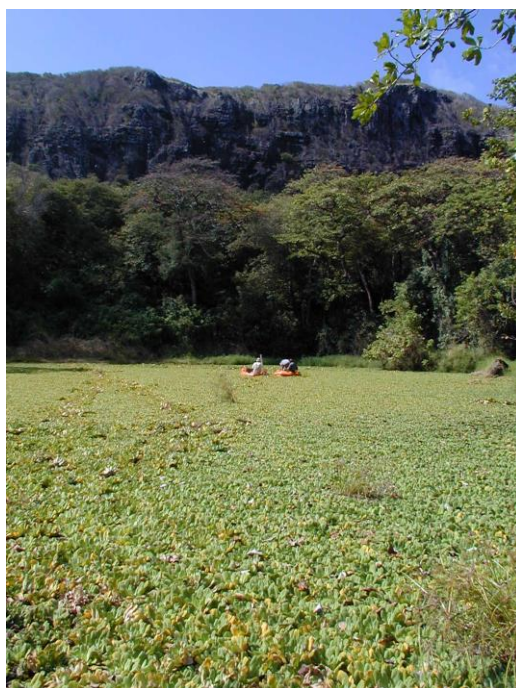


Foto 3.7 - Lagoa da Viração coberta pela *Pistia stratiotes*. Ao fundo, paredão de cerca de 100m de altura

O manguezal da Bahia Sueste (Foto 3.8) 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 m de altura e durante o Holoceno já ocuparam uma área maior, podendo ser hoje consideradas como um relictos. Na atualidade, o manguezal encontra-se ameaçado pelo assoreamento, produto da construção e ampliação da barragem do Açude Xaréu e exploração da pedreira Sueste para obtenção do material de empréstimo utilizado na ampliação da pista de pouso e na recuperação da Transnoronha.



Foto 3.8 - Vista do Mangue do Sueste e o testemunho coletado

Na Tabela 3.4 são apresentados os pontos onde foram coletadas amostras de solo através de tradagens e trincheira, de plantas e os testemunhos de sedimento lacustre.

O solo da ilha apresenta-se pouco profundo, com grande quantidade de pedras na superfície, 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 15.000 anos. A maior profundidade encontrada através de tradagem foi 3 m. Neste local foi feita uma trincheira e coletou-se cerca de 5 kg de terra a cada 10 cm. Áreas visitadas com solos um pouco mais espessos estavam sob cultivo, o que impediu a amostragem para a análise isotópica.

Tabela 3.4 - Locais de amostragem em Fernando de Noronha

Identificação dos Pontos de Coleta	Região	Localização Geográfica	Altitude (m)	Material Coletado
FN1	V.O.R.	3°51'58.1"S 32°26'52.7"O	177	Solo e plantas
FN2	Morro da Quixaba	3°51'51.1"S, 32°26'38.7"O	132	Idem
FN3	Morro da Quixaba	3°52'01.2"S, 32°26'56.1"O,	170	Idem
PARNAMAR (trincheira)	Morro da Quixaba	3°52'01.0"S 32°26'57.4"O	170	Idem
LV	Lagoa da Viração	3°52'13.5"S 32°26'53.5"O	23	Sedimento e plantas
Sancho (1)		3°51'38.8"S 32°26'68.3"O	60-70	Solo
Sancho (2)	40 m a montante de (1)			Idem
Sancho (3)	30 m a jusante de (1)			Idem
Ilha Rata (Casa 2)		3°48'70.2"S 32°23'31.7"O		Idem
Atalaia		3°51'32.4"S 32°24'44.7"O		Idem
Praia do Leão				Idem
MPO	Mata Ponta Oeste	3°51'93.5"S 31°26'82.8"O		Idem
SE	Bahia do Sueste	3°51'56.4"S 32°25'31.8"O	Nível do mar	Sedimento

O solo da trincheira foi classificado pelos pedólogos *Heloisa Filizola* e *Rene Boulet* como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico, até aproximadamente 1,50 m; a partir desta profundidade já poderia ser considerado Vertissolo, mas como a classificação só contempla o primeiro metro ou pouco mais (1,20 m), este será considerado como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico, assim como o solo na região V.O.R. (FN1).

3.2 Material e Métodos

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

3.2.1 Vegetação

As espécies mais significativas encontradas na linha da transecção foram coletadas e posteriormente identificadas. Todas as árvores foram mapeadas no eixo horizontal e em perfil vertical para a construção dos estratos arbóreo e arbustivo. O material botânico identificado está depositado no Herbário da Universidade Federal de Sergipe.

3.2.2 Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$)

Foram enviadas amostras das plantas mais representativas de cada área estudada, após terem sido lavadas, secas, moídas, peneiradas a 0,2 mm e pesadas em balança analítica (cerca de 5 mg), ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, para a determinação isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) em analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa ANCA SL 2020, da Europa Scientific. Os resultados são expressos pela unidade relativa “ δ ”, determinada em relação ao padrão internacional VPDB.

3.3 Solos

3.3.1 Amostragem. Para a datação ^{14}C da MOS foram feitas trincheiras de aproximadamente 100 cm de largura x 200 cm de comprimento x até 400 cm de profundidade (Fotos 3.9), 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 mm para o destorroamento. Durante o peneiramento, fragmentos de carvão, restos de raízes, folhas, insetos etc. foram separados.

3.3.2 Granulometria. Conforme item 2.6.3 descrito no capítulo 2.

3.3.3 Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e carbono total. Conforme item 2.6.4 descrito no capítulo 2.

3.3.4 Análise do ^{14}C da fração humina. Conforme item 2.6.5.1 descrito no capítulo 2.



A



B



C



D

Foto 3.9 - A) Trincheira aberta em Sete Cidades (IX)
 B) Observação de fragmentos de carvão na parede da trincheira no PARNA
 C) Trincheira aberta na REBIO
 D) Coleta de amostras de solo na trincheira aberta em Fernando de Noronha

3.4 Fragmentos de carvão

3.4.1 Amostragem. Os fragmentos de carvão foram coletados durante o peneiramento das amostras de solo no Laboratório ^{14}C do CENA.

3.4.2 Análise do ^{14}C .

3.4.2.1 Pré-tratamento. Os fragmentos de carvão foram pré-tratados fisicamente com o auxílio de espátula metálica para a remoção de contaminantes. Os fragmentos que apresentaram massa maior que 2 g foram mantidos em solução de HCl 4% a 60°C por 4 horas para a remoção de carbonatos, ácidos fúlvicos e resinas. O resíduo foi lavado até pH 6,5, deixando-se secar em estufa para posterior combustão, síntese de benzeno e datação através da técnica de espectrometria de cintilação líquida no Laboratório de ^{14}C do CENA/USP. Fragmentos menores (<2g) foram submetidos à combustão e amostras de CO_2 foram enviadas para a análise do ^{14}C via AMS (Isotracer Laboratory – Canada). As datações ^{14}C são representativas da média da idade dos fragmentos para cada camada de 10 cm.

3.4.2.2 Síntese de benzeno. Conforme item descrito no capítulo 2.

3.4.2.3 Cálculo da idade ^{14}C . Conforme item descrito no capítulo 2.

3.5 Sedimentos

3.5.1 Coleta dos testemunhos. Dois testemunhos foram amostrados na Lagoa da Viração através da utilização de um vibrotestemunhador (MARTIN; FLEXOR, 1985), sendo um de 73 cm e outro de 70 cm (Foto 3.10B). Outro testemunho foi obtido no mangue da Praia do Sueste com aproximadamente 220 cm (Foto 3.10D). Foram utilizados para amostragem tubos de alumínio de 3 polegadas (Foto 3.10A). Os testemunhos foram encaminhados ao Laboratório de Geoquímica da UFF, em Niterói, para abertura (Foto 3.10C) e descrição macroscópica dos depósitos sedimentares.

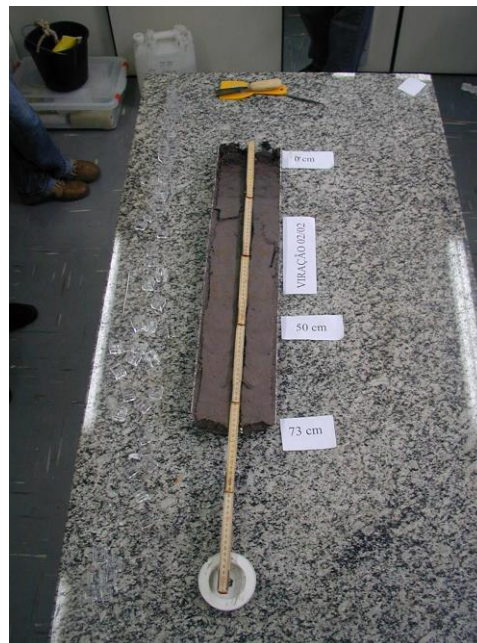
3.5.2 Palinologia. Conforme item descrito no capítulo 2.



A



B



C



D

Foto 3.10 - A) Amostragem na Lagoa da Viração
 B) Testemunhos de sedimento coletados na Lagoa da Viração
 C) Testemunho coletado na Lagoa da Viração após a abertura
 D) Testemunho coletado no Mangue do Sueste

3.5.3 Datação por ^{14}C . Conforme item descrito no capítulo 2.

3.5.4 Análise elementar e isotópica. Conforme item descrito no capítulo 2.

3.6 Resultados e Discussão

3.6.1 Floresta Nacional do Araripe

3.6.1.1 Vegetação

Na FLONA identificam-se áreas de floresta ombrófila densa montana (mata úmida), savana (cerrado) e carrasco (mata arbustiva densa). Numa transecção de 10 km observa-se um gradiente vegetacional floresta-cerrado-carrasco (Figura 3.6).

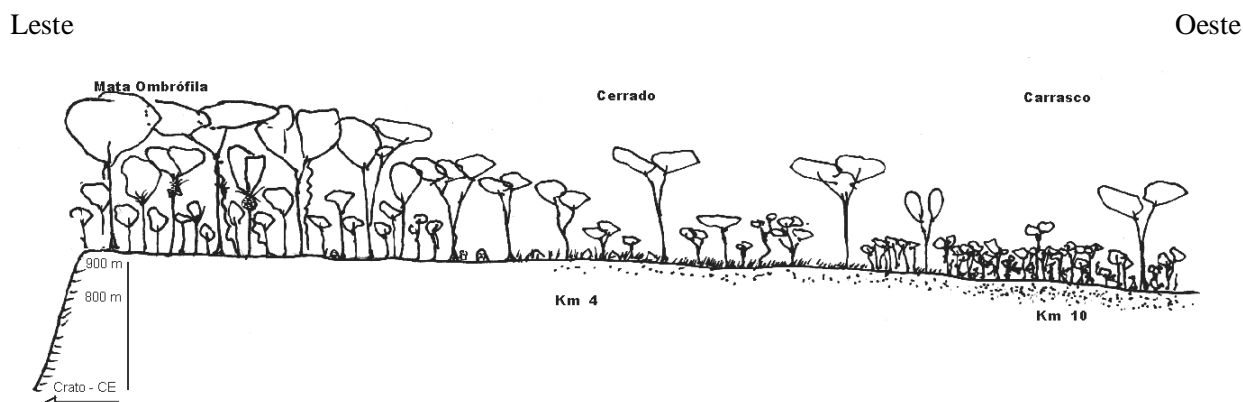


Figura 3.6 - Distribuição das três fisionomias da vegetação da Floresta Nacional do Araripe num transecto de 10 km

3.6.1.2 Solos e Fragmentos de Carvão

Na Figura 3.7 apresentam-se o teor de argila, carbono total, $\delta^{13}\text{C}$ e datação da fração húmica dos solos coletados na FLONA. Os solos foram considerados argilosos, com teores de carbono que variaram de 5,24% (km 0') na superfície até cerca de 0,25% a 400 cm (km 10).

Os dados isotópicos da MOS das camadas superficiais caracterizam os tipos de vegetação de cobertura (formação florestal mais densa no km 0', com $\delta^{13}\text{C}$ de -32,4‰, e mais aberta nos km 4 e 10, com $\delta^{13}\text{C}$ de -24,3‰ e -23,7‰, respectivamente). No km 4 observa-se valores mais enriquecidos em ^{13}C (até -19,0‰) a 160-170 cm e 300-310 cm de profundidade, indicativo de provável presença ainda mais significativa de plantas C_4 no passado. No km 0', a 190-200 cm de profundidade, observa-se um enriquecimento de até 8,4 unidades (-24‰), indicando a presença de uma vegetação arbórea mais aberta. Na camada 270-280 cm o valor de -22,8‰ pode ser indicativo de uma mistura de plantas C_3 e C_4 . Valores mais enriquecidos foram observados também nos solos do km 6' e 10' (-19,4‰ e -20,1‰, respectivamente) a 240-250 cm de profundidade.

As húmicas extraídas do solo do km 0 (Figura 3.7) apresentaram dados cronológicos crescentes com a profundidade, com as idade de cerca de 5800 anos AP a 170-180 cm de profundidade e 9000 anos AP a 330-340 cm.



km0

km 4

km 10



Próximo ao km 0'

km 6'

km 10'

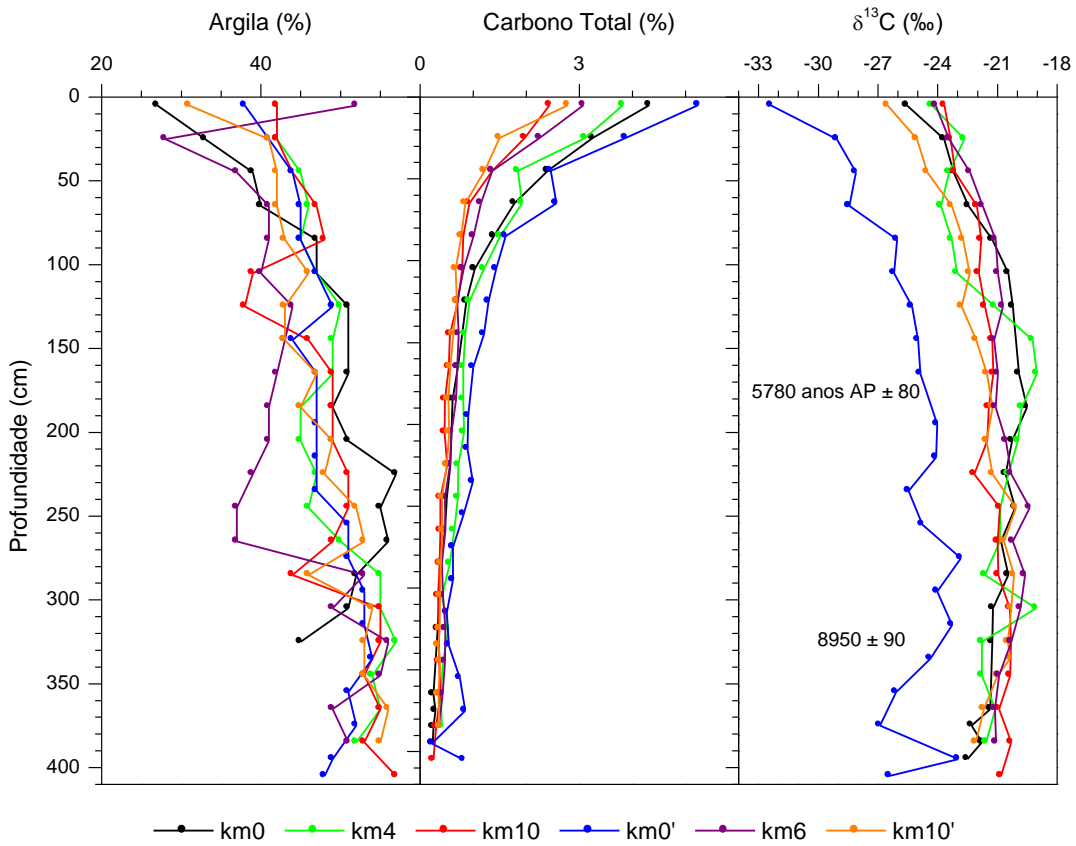


Figura 3.7 - Teor de argila, carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ dos solos da FLONA e datações ^{14}C da fração humina

Dados palinológicos no Vale do Rio Icatu, região semi-árida do estado da Bahia, indicaram um período muito úmido e temperaturas mais reduzidas no final do Pleistoceno (10.990-10.540 anos AP), um progressivo aumento de temperatura e alta umidade entre 10.540 e 8910 anos AP, um progressivo declínio de taxa de floresta e aumento de taxa de caatinga e cerrado de 8910 a 6790 anos AP e o retorno a um mosaico de vegetação composta de floresta de galeria, caatinga e cerrado, indicando um clima mais úmido até 4535 anos AP. 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 (DE OLIVEIRA et al., 1999). Através de dados isotópicos da MOS e palinológicos de sedimento de lago, Pessenda et al. (2001a; 2004) verificaram que, entre 9000 e 4000 anos AP, houve a expansão do cerrado na região de Barreirinhas, estado do Maranhão, relacionada com prováveis mudanças climáticas para condições mais secas. Desta forma, a provável abertura na vegetação e influência de plantas C_4 sugeridas na FLONA podem estar relacionadas com provável período climático mais seco.

Na Figura 3.8 apresenta-se a distribuição dos fragmentos de carvão encontrados nos solos. Observou-se a presença de fragmentos de carvão principalmente nos primeiros 200 cm da trincheira (km 0) e nos primeiros 130 cm das tradagens. Os fragmentos coletados nas camadas 60-70 cm e 270-280 cm apresentaram as idades de 2900 e 11.280 anos AP, respectivamente. A presença de fragmentos de carvão nos solos estudados indicam a ocorrência de paleoincêndios durante todo o Holoceno, com provável período de maior ocorrência de fogo durante o Holoceno superior. Tais paleoincêndios podem estar relacionados tanto com a presença humana na área quanto a causas naturais.

Quantidade de fragmentos significativamente maior foi coletada nas amostras de solo do km 0' (até 10,3 g de carvão/kg de solo). Uma provável explicação para a diferença na quantidade de fragmentos entre este perfil de solo e os demais seria a presença mais significativa de plantas C_3 (árvores) neste local, como observado atualmente, ou seja, maior quantidade de combustível disponível para a queima, durante pelo menos parte do Holoceno. No período de maior incidência de fragmentos de carvão (entre a superfície e 130 cm), os valores de $\delta^{13}C$ das amostras do km 0' apresentaram-se até 6,4‰ mais empobrecidos (-28,4‰) do que nos demais perfis (-22,0‰), indicando a presença de uma vegetação arbórea mais densa no km 0' durante todo o período estudado.

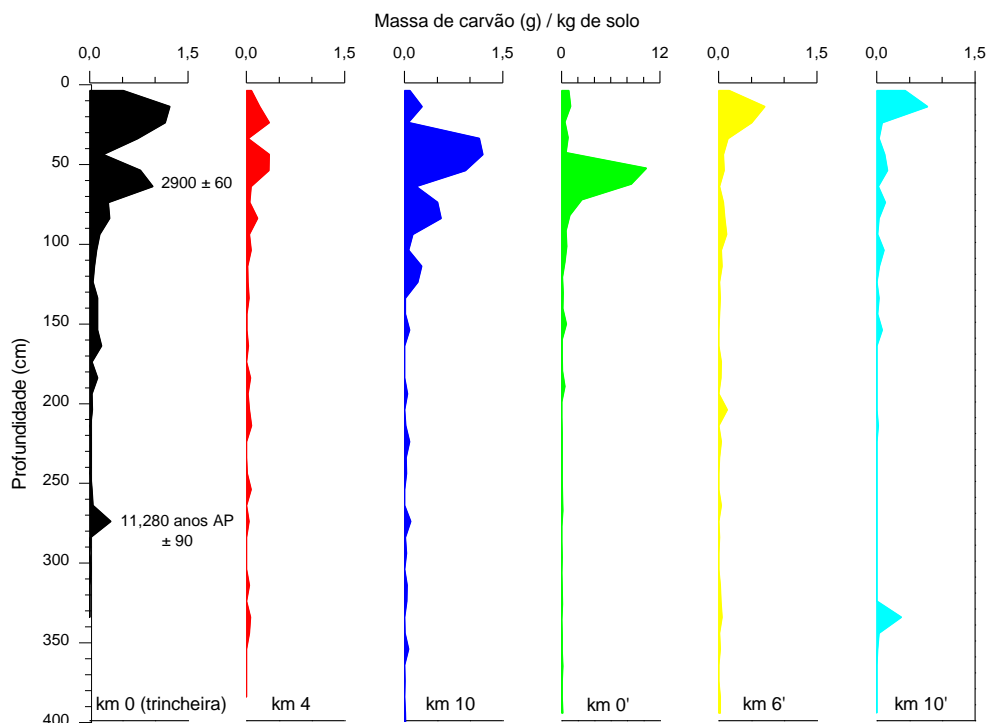


Figura 3.8 - Distribuição dos fragmentos de carvão encontrados nas amostras de solo coletadas através de trincheira e tradagens na FLONA e respectivas datações ^{14}C

3.6.2 Parque Nacional de Sete Cidades

3.6.2.1 Vegetação

3.6.2.1.1 Composição florística do cerrado

Nos pontos de amostragem dos solos I, II e III realizou-se coleta de plantas visando o levantamento do padrão de distribuição espacial e a composição florística do cerrado predominante ao longo da estrada do PARNA que vai à direção da área denominada Capela (Figura 3.4). Na mesma região, efetuou-se amostragens dos estratos arbóreo e herbáceo em uma área de 1000 m². Nas depressões úmidas observou-se a ocorrência de árvores com até 20 m de altura. Esta vegetação aproxima-se fisionomicamente das matas de galerias, as quais apresentam estrato arbóreo fechado, com poucos arbustos no sub-bosque e sem estrato herbáceo graminoso.

3.6.2.2 Solos e Fragmentos de Carvão

Na Figura 3.10 observam-se os baixos teores de carbono em todos os solos, com valores entre 0,75 e 0,01%. Estes valores são concordantes aos encontrados em Areias Quartzosas da região de Barreirinhas, no estado do Maranhão (PESSENDA et al., 2004).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS (Figura 26) das camadas superficiais, entre -24,5‰ e -26,6‰, caracterizaram o cerrado presente atualmente nestes locais. O valor de -18‰ no ponto II caracterizou a presença da gramínea C₄ observada na área de coleta, que apresentou um valor isotópico de -13,4‰. Na área III observou-se a presença de uma gramínea C₃ (-30,6‰). Valores isotópicos mais enriquecidos (até -19,5‰ no solo VIII) foram observados a partir das camadas em torno de 100-110 cm, indicando provavelmente abertura da vegetação e/ou maior contribuição de plantas C₄. Nas camadas mais profundas os valores apresentaram uma tendência de empobrecimento (-24,2‰), indicativo de maior influência de plantas C₃. Nos pontos II e IV, sob cerrado mais aberto e denso, respectivamente, e distantes de cerca de 30 m, verificou-se o efeito significativo da presença de gramínea C₄ no ponto II. Os resultados isotópicos da superfície destes solos registraram uma diferença de cerca de 6 unidades de $\delta^{13}\text{C}$, com o valor mais enriquecido caracterizando o local mais aberto.

A provável abertura da vegetação e influência de plantas C₄ no PARNA, assim como no caso da FLONA, pode estar relacionada com a expansão do cerrado verificada nas regiões de Barreirinhas (MA), entre 9000 e 4000 anos AP (PESSENDA et al., 2001a; 2004), e no Vale do Rio Icatu, entre aproximadamente 9000 e 6800 anos AP (DE OLIVEIRA et al., 1999).

A presença de fragmentos de carvão foi observada em todos os pontos coletados (Figura 3.11), desde a superfície até 400-410 cm de profundidade (V e VI), evidenciando a ocorrência de incêndios durante provavelmente todo o Holoceno.

Nas camadas superficiais foram encontradas quantidades significativas de fragmentos de carvão. Em vários pontos do parque observou-se a presença de árvores caídas devido às queimadas ocorridas principalmente em 1991 e 1996. Segundo funcionários do Parque, nesta última data aproximadamente 70% da área foi queimada.

Segundo Martin (1996) a cronologia das pinturas encontradas no Parque se inicia em 5000 anos AP. Portanto, estes paleoincêndios podem ter tido tanto origem natural quanto antrópica.

A datação dos fragmentos de carvão da camada 90-100 cm, cerca de 3400 anos AP, apresentou-se similar ao obtido na FLONA (camada 60-70 cm, 2900 anos AP) e em solos de outras regiões brasileiras. A idade de cerca de 10.300 anos AP a 140-150 cm apresentou-se mais antiga quando comparada a datações de outros locais (GOUVEIA et al., 1999; 2002). Por se tratar de fragmentos muito pequenos, estes podem ter sido transportados de camadas mais profundas pela atividade da fauna do solo (BOULET et al., 1995; GOUVEIA; PESSENDA, 2000; CARCAILLET, 2001a; 2001b).

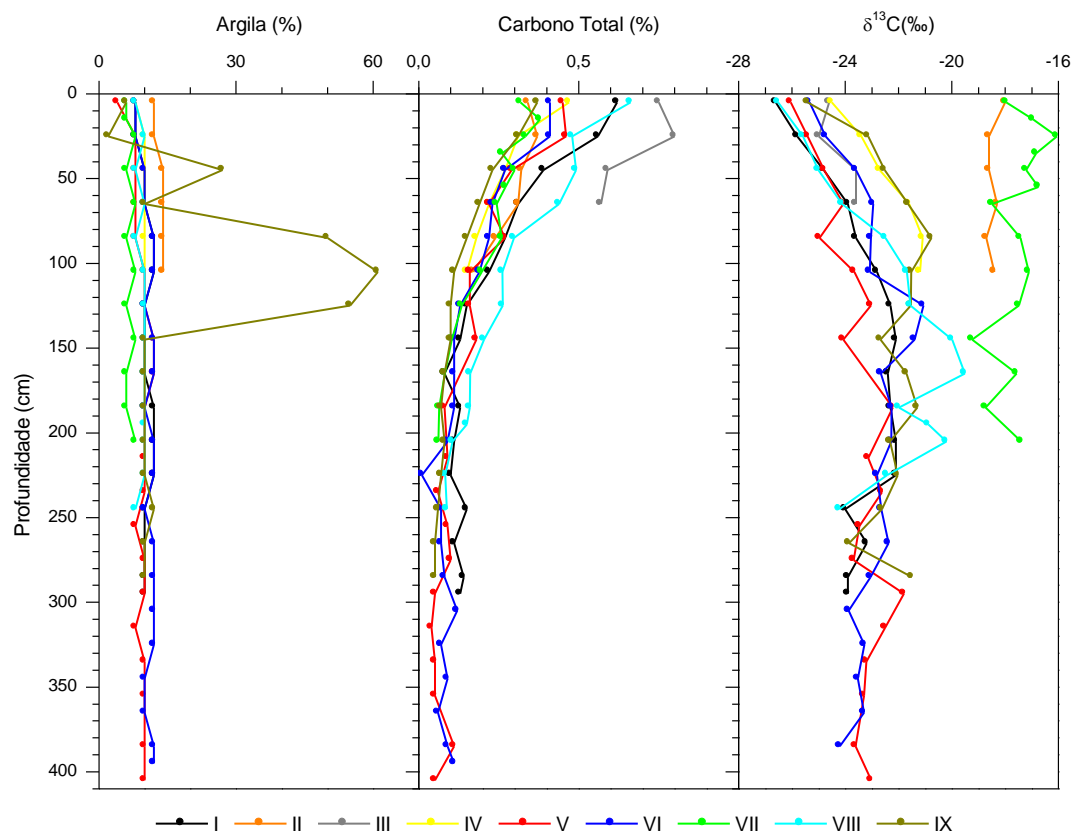


Figura 3.10 - Teor de argila, carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ de amostras de solos coletadas no PARNA

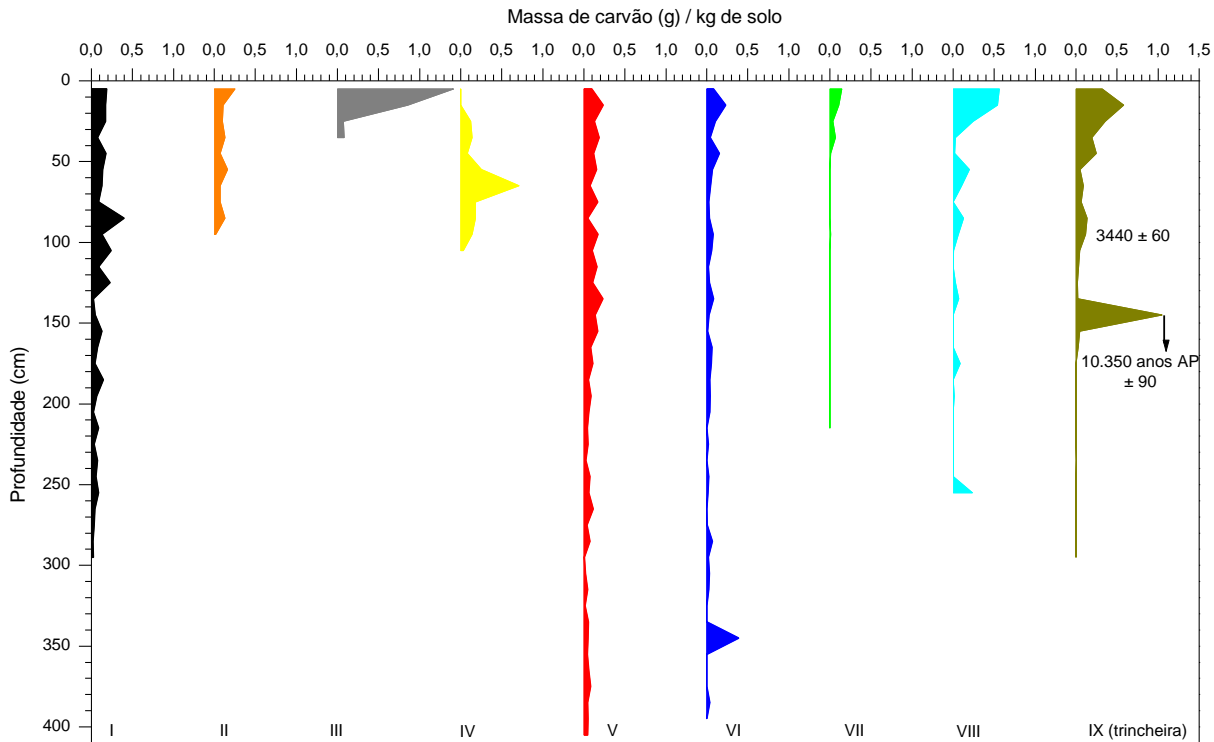


Figura 3.11 - Distribuição dos fragmentos de carvão encontrados nas amostras de solo coletadas no PARNA e respectivas datações ^{14}C

3.6.3 Reserva Biológica de Guaribas

3.6.3.1 Vegetação

Na REBIO Guaribas três comunidades foram estudadas: (i) a savana arbórea aberta (cerrado), localmente chamada de tabuleiro (Área I); (ii) a mata mesófila na Área II (região Cabeça de Boi) e (iii) a mata mesófila na Área III (região do Maracujá).

Na Figura 3.12 apresentam-se os teores de argila dos solos coletados. Os solos sob floresta apresentaram textura arenosa nas camadas superficiais e argilosa em maiores profundidades, enquanto os solos sob o tabuleiro apresentaram-se arenosos e médio arenosos.

Os teores de carbono variaram de 3,1% na superfície até 0,2% a 400 cm de profundidade (Figura 3.12). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são apresentados na Figura 3.12.

O solo da área do Rio Tinto apresentou valor isotópico de $-26,4\text{‰}$ na superfície, caracterizando a floresta presente na cobertura. Valores característicos de mistura de plantas C_3 e C_4 , mas com o predomínio de plantas C_4 ($-18,5\text{‰}$) foram observados nos primeiros 70 cm do perfil de solo. A partir dessa profundidade, observou-se uma tendência de empobrecimento atingindo o valor de $-24,0\text{‰}$ na camada mais profunda, indicativo do predomínio de plantas C_3 .

Nos demais perfis sob floresta observou-se a tendência de enriquecimento com a profundidade ($<3\text{‰}$), provavelmente relacionada ao fracionamento isotópico ocorrido durante a decomposição da MOS (NADELHOFFER; FRY, 1980; STOUT et al., 1981; BECKER-HEIDMANN; SCHARPENSEEL, 1989, 1992a; 1992b). Os valores observados são típicos de MOS originada de vegetação com predomínio de plantas C_3 (BOUTTON, 1996; DESJARDINS et al., 1996; PESSENDA et al., 1996b; 1998c; ROSCOE et al., 2000).

O Tabuleiro Grande 1, onde a vegetação é aberta com presença significativa de gramíneas, apresentou os valores mais enriquecidos, entre -18,4 e -21,3‰. Enfatiza-se que na profundidade entre 40-50 cm, onde observou-se significativa quantidade de fragmentos de carvão (Figura 3.13), também observou-se um significativo enriquecimento isotópico (4,4 unidades de δ), passando de -22,8‰ na camada descrita para -18,4‰ na superfície. Esta abrupta variação pode estar relacionada com a atividade antrópica no local, onde ocorreu uma provável ação de queimada da vegetação nativa (árvores) visando o cultivo de plantas de ciclo fotossintético C_4 , eventualmente com a finalidade agrícola.

Para o Tabuleiro Grande III, observou-se um enriquecimento para o valor de -22,5‰ nas camada 400-410 cm. Além do aspecto relacionado ao fracionamento isotópico da MOS, este enriquecimento (5‰) também pode estar associado a uma vegetação arbórea mais aberta e/ou a influência de plantas C_4 na região, devido a provável presença de condições climáticas mais secas que as atuais, que afetaram mais significativamente este local. Com base em datações ^{14}C da MOS (fração humina) e de fragmentos de carvão soterrados em distintos solos no Brasil (PESSENDA et al., 1996a; GOUVEIA et al., 1999, 2002; SCHEEL-YBERT et al., 2003), tais condições mais secas ocorreram provavelmente no Pleistoceno superior e Holoceno inferior.



Tabuleiro 1

Tabuleiro 2

Tabuleiro 3

Mata das Varinhas



Cabeça de Boi

Capim Azul 1

C.Azul2

Mata do Maracujá

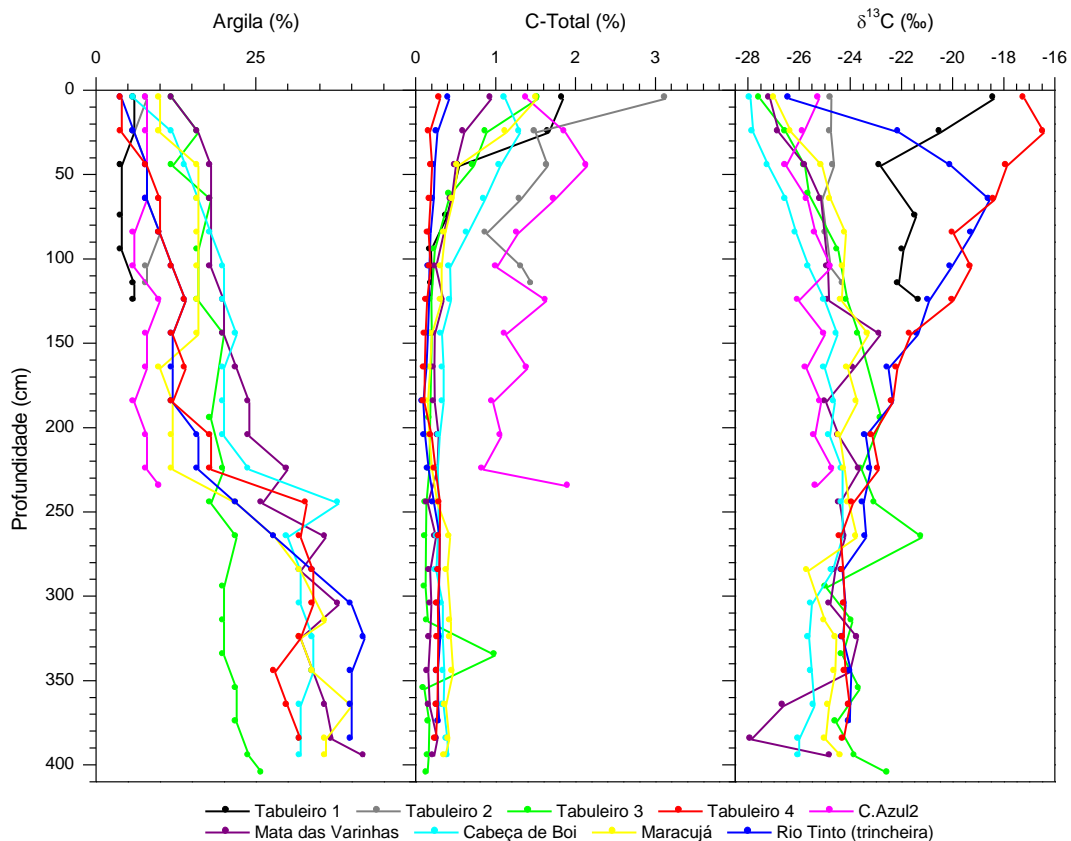


Figura 3.12 - Teor de argila, carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ de amostras de solos coletadas na REBIO

O Tabuleiro 4, localizado na área III do PARNA, a poucos metros de distância do ponto Rio Tinto, apresentou valores característicos do predomínio de plantas C_4 no primeiro metro de profundidade. Entre as camadas 100 e 380 cm os valores foram similares aos observados no solo sob floresta (Rio Tinto), sugerindo a presença do mesmo tipo de vegetação nos dois locais amostrados, ou seja, aumento da influência de plantas C_3 .

Na área Capim Azul foram realizadas duas tradagens: a primeira sob vegetação aberta, com o valor de $-21,3\text{‰}$ refletindo a mistura de gramíneas C_3 e C_4 (Anexo 23) presentes no local, e a segunda em um local arborizado ($-24,6\text{‰}$). Devido à dificuldade de tradagem neste tipo de solo (Areia Quartzosa), não foi possível a coleta de amostras em maiores profundidades no ponto 1.

Em relação à distribuição dos fragmentos de carvão (Figura 3.13), observa-se que as maiores quantidades foram encontradas nas fitofisionomias de tabuleiro na Área II (Tabuleiro Grande 1 e 2). Ainda na Área II, mas sob a vegetação de floresta (Cabeça de Boi), os fragmentos foram encontrados principalmente nos primeiros 50 cm, mas em quantidades significativamente menores que as anteriores. A mata do Maracujá e a do Rio Tinto, área (III) que concentra o trecho de floresta mais bem conservado da reserva, apresentou uma quantidade significativa apenas a 100-110 cm de profundidade, período datado em cerca de 4700 anos AP. Já na Área I (Capim Azul 2), região sob tabuleiro costeiro, observa-se a presença de fragmentos de carvão até 240 cm de profundidade. Portanto, as regiões sob vegetação aberta (tabuleiro) apresentam evidências de queimadas durante provavelmente todo o Holoceno.

Considerando-se datações de fragmentos de carvão de vários outros locais (PESSENDA et al., 1996a; GOUVEIA et al., 1999; 2002), a idade obtida para fragmentos a 210-220 cm (27.000 anos AP) apresentou-se muito antiga para tal profundidade. Tais fragmentos podem ter sido transportados pela fauna do solo a partir de camadas mais profundas (BOULET et al., 1995; GOUVEIA; PESSENDA, 2000; CARCAILLET, 2001a; 2001b).

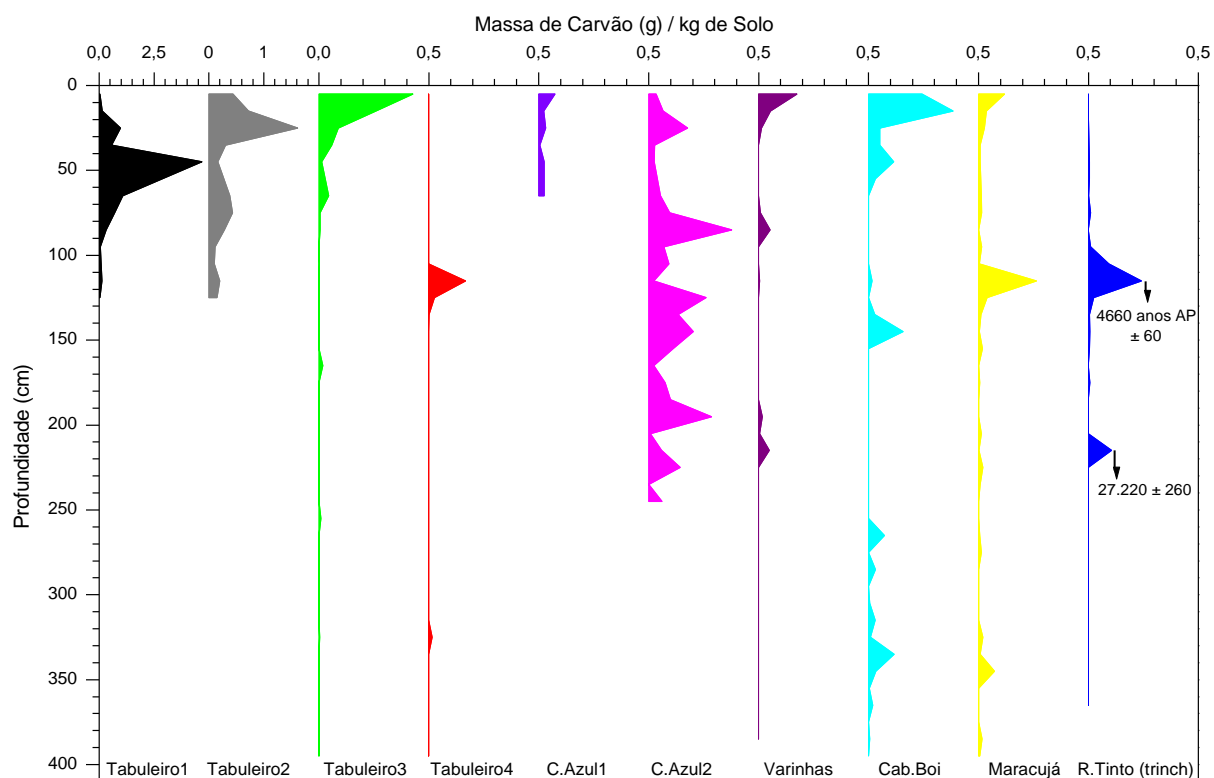


Figura 3.13 - Distribuição dos fragmentos de carvão encontrados nas amostras de solos coletadas na REBIO e respectivas datações ^{14}C

3.6.4 Parque Nacional Marinho Fernando de Noronha

3.6.4.1 Solos

Na Figura 3.14 apresentam-se os teores de argila das amostras de solos coletadas em Fernando de Noronha. Verifica-se que todas as amostras nas distintas profundidades apresentaram teores de argila superiores a 50%, o que caracteriza todos os solos como argilosos.

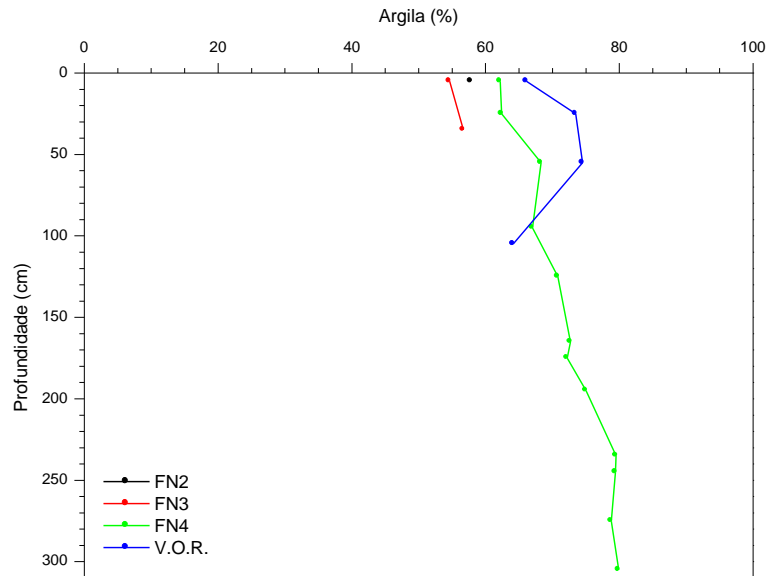


Figura 3.14 - Teor de argila de amostras de solos de Fernando de Noronha

Na Figura 3.15 observam-se os resultados dos teores de carbono orgânico total em relação a profundidade dos solos coletados em distintos locais do Arquipélago. Com duas exceções, Atalaia e MPO, a tendência geral nos demais sítios de estudo é 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 cm. Resultados de decréscimo dos teores de C com a profundidade são encontrados de modo rotineiro em distintos tipos de solos e locais no Brasil (PESSENDA et al., 1996a; 1996b; 1998a; 1998b.; GOUVEIA et al., 1997; 1999; 2002).

Os valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) da MOS (Figura 3.15) das camadas superficiais caracterizaram a vegetação de cobertura em cada local amostrado. Nos pontos coletados em Sancho, Ilha Rata e Mata da Ponta Oeste (MPO) e na trincheira (FN4), 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.

Fragmento de carvão encontrado a 50-60 cm de profundidade, em amostra de solo coletada através de tradagem em Atalaia, apresentou a idade de $290 \text{ anos AP} \pm 50$. Por se tratar de material de pequena dimensão, este 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., 1999; 2002) apresentaram idades em torno de 1700-3000 anos AP. A presença deste fragmento provavelmente está relacionada com a ação antrópica na ilha.

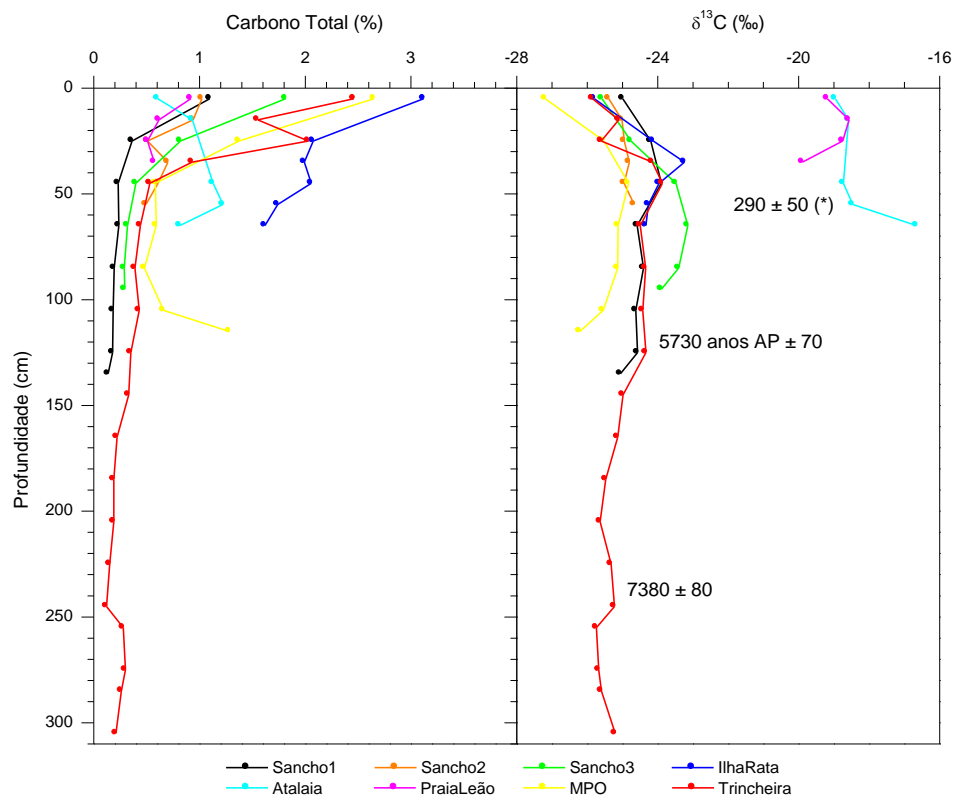


Figura 3.15 - Carbono orgânico total e valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) em relação à profundidade dos solos coletados em Fernando de Noronha e respectivas idades ^{14}C de fragmento de carvão (*) e fração humina

3.6.4.2 Sedimentos

3.6.4.2.1 Lagoa da Viração

O testemunho de sedimento foi caracterizado da seguinte forma: 0-18 cm, argila orgânica escura (2,5Y 3/2); 18-34 cm, argila cinza (2,5Y 4/1); 34-73 cm, argila cinza (2,5Y 4/1) com manchas verdes (Figura 3.17).

O conteúdo polínico das amostras das camadas superiores correspondem à vegetação atual do entorno da lagoa, constituída por Bignoniaceae, Mimosaceae, Alchornea, Randia e Malpighiaceae (arbóreas) e Oaceae, Cyperaceae, Pontederiaceae e Asteraceae na parte herbácea. Numerosos esporos também foram identificados. Análise de amostras das camadas inferiores apresentaram um conteúdo polínico muito pobre, sem material do Quaternário, evidenciando um material pedogenético de uma época geológica mais antiga, talvez relacionado com o Terciário.

Na Figura 3.17 verificam-se a litologia, os resultados de carbono orgânico total, C/N, $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ e as datações ^{14}C das amostras do testemunho da Lagoa da Viração.

Os resultados de C indicam um decréscimo significativo nas concentrações da camada da superfície (em torno de 17%) para cerca de 0,6% a partir da camada 32-34 cm, atingindo 0,32% na camada 68-70 cm. Os resultados C/N indicam variação nos resultados com a profundidade, com uma tendência a um decréscimo no maior valor obtido (16,3) na camada de superfície (2-3 cm) para as mais profundas, que variaram de 7,3 na camada 56-58 cm a 10,7 na camada 68-70 cm.

Os resultados de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram uma tendência de enriquecimento isotópico com o aumento da profundidade, variando de 2,8‰ na superfície para 26,0‰ na camada 64-66 cm.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram-se mais empobrecidos nas camadas superficiais (a partir de $-27,6\text{‰}$), enriquecendo-se com o aumento da profundidade para cerca de $-20,6\text{‰}$ nas camadas 32-34 e 44-46 cm e variando até $-22,1\text{‰}$ na camada 68-70 cm. O valor da planta aquática *Pistia stratiotes* que recobre toda a lagoa foi de $-28,2\text{‰}$.

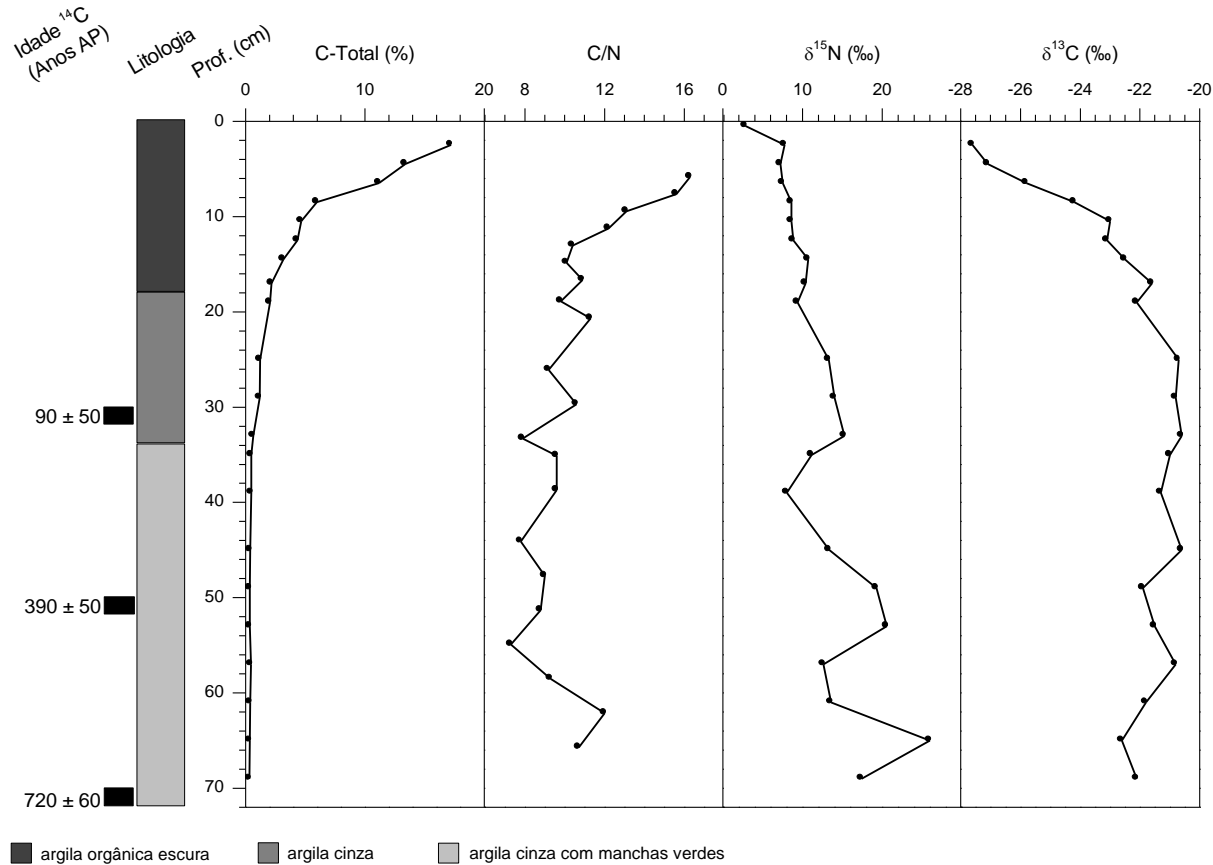


Figura 3.17 - Litologia, datação ^{14}C , carbono orgânico total, C/N e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das amostras do testemunho coletado na Lagoa da Viração

De modo geral observa-se que houve um aumento acentuado nos valores de C/N desde a camada 32-30 cm até a superfície, indicativo de contribuição mais significativa de material orgânico na sedimentação da lagoa no citado período. Para a camada 32-30 cm, onde o teor de C orgânico 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 sedimentação de $0,34 \text{ cm.ano}^{-1}$. Na camada 50-52 cm o teor de C foi bem inferior ($0,36\%$) e a datação 390 anos AP \pm 50, portanto sem a influência da vegetação aquática. Considerando-se somente os 20 cm inferiores (intervalo 52-32 cm) a taxa de acúmulo resulta em $0,066 \text{ cm.ano}^{-1}$. Com base na datação da base do testemunho de 720 anos AP \pm 60 e considerando-se somente os 20 cm inferiores (intervalo 72-52 cm), tem-se uma taxa de acúmulo de cerca de $0,061 \text{ cm.ano}^{-1}$, ou seja, significativamente menor do que a camada superficial de 32 cm de $0,34 \text{ cm.ano}^{-1}$ e muito similar à camada imediatamente superior (52-32 cm). Esses 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 C orgânico total e nas taxas de sedimentação (cerca de 6 a 10 vezes superiores), provavelmente relacionadas à influência da introdução da *Pistia stratiotes*.

Em idade ^{14}C calibrada o resultado da base do testemunho foi de 1280 cal AD, ou seja, a lagoa iniciou sua formação anterior a eventual ação antrópica no local.

Com respeito aos valores de $\delta^{13}\text{C}$ observou-se um significativo empobrecimento isotópico de cerca de 7‰ desde a camada de 32 cm até a superfície (-20,6‰ a -27,6‰), indicativo de um gradativo aporte de material de origem de plantas C_3 (folhas e galhos das árvores do entorno da lagoa) e principalmente de material da planta aquática *Pistia stratiotes*. Os acréscimos na concentração de C orgânico total e C/N desde a camada de 32 cm até a superfície reforçam o aporte significativo de material orgânico no testemunho.

A partir da camada 32-34 cm observou-se um empobrecimento isotópico até cerca de -22,6‰ na camada 68-70 cm, aspecto que não indica uma eventual mudança de vegetação ou de sua densidade no entorno da lagoa desde seu início há cerca de 720 anos AP.

A relação entre C/N e $\delta^{13}\text{C}$ apresentada na Figura 3.18, indica principalmente a presença de algas e/ou plantas terrestres C_3 (MEYERS, 2003) na composição da matéria orgânica do testemunho sedimentar da Lagoa da Viração, conforme verificado na Figura 1.2.

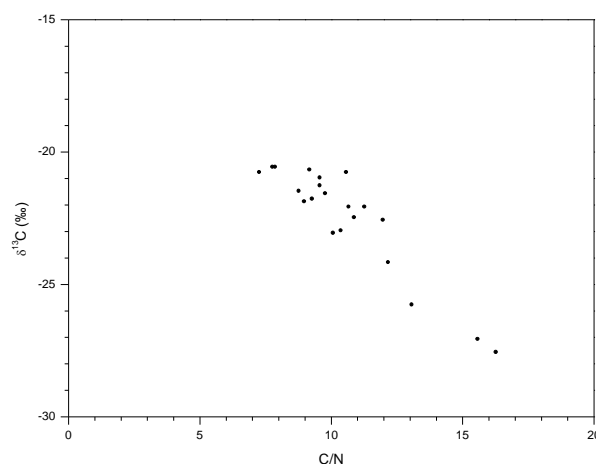


Figura 3.18 - Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N de amostras de sedimento da Lagoa da Viração

3.6.4.2.2 Mangue do Sueste

A litologia do testemunho bem como as datações ^{14}C são apresentadas na Figura 3.19. Os resultados indicaram idade moderna entre 18 e 46 cm (material argiloso orgânico), ou seja, material depositado após/durante os testes nucleares realizados nas décadas de 1950-1960. As idades calibradas para as amostras das camadas 26-29 e 47-49 cm indicaram os anos de 1958 e 1959, respectivamente, com 100% de probabilidade. As idades obtidas para as camadas 132-134 cm e 138-140 cm foram de 440 anos AP \pm 50 anos e idade calibrada de 1440 AD e 710 anos AP \pm 50 e idade calibrada de 1285 AD, respectivamente. Na profundidade de 191-192 cm a amostra arenosa apresentou uma idade aproximada de 2000 anos AP \pm 50 e idade calibrada de 70 AD. A base do testemunho (214-216 cm), conchas misturadas a material cimentado calcário (beach rock), forneceu a datação de 4240 anos AP \pm 60 e idade calibrada de ~4700 anos.

Os dados isotópicos e geoquímicos apresentados na Figura 3.20 indicam a presença de um aumento progressivo de aporte orgânico de material de plantas C_3 na camada superficial (18 a 40 cm, datada da década de 1950-1960), visto os valores de C orgânico total de 5,46 a 2,03%, de C/N de 12,8 a 10,6 e $\delta^{13}\text{C}$ de -28,6 a -26,3‰. Estes valores associados à litologia que apresentou argila escura e areia orgânica escura no mesmo intervalo (18-46 cm) caracterizaram a presença do mangue moderno no testemunho. A partir desta profundidade há uma tendência generalizada de diminuição dos teores de C (ao redor de 0,20-0,90%), C/N (ao redor de 6 a 9) e enriquecimento isotópico (ao redor de -22 a -23‰) até a camada 130-132 cm.

Nesta camada, ao redor de aproximadamente 400 anos AP, há um aumento no teor de C orgânico total (2,43%), C/N (13,5) e um empobrecimento isotópico (-24,8‰), que podem ser interpretados como um aporte de material orgânico de origem C₃. Considerando o pequeno número de grãos de pólen e as espécies identificadas na camada 130-132 cm, para este período não há indicação da presença de um mangue no local.

A partir da camada 136-138 cm (cerca de 600 anos AP) há uma diminuição na concentração do C orgânico total (1,14%), na razão C/N (9,4) e um enriquecimento isotópico (-22,7‰), que se mantém entre 0,34% a 0,77% para o C orgânico total, 6,4 a 10,9 para C/N e -23,0 a -21,5‰ para o $\delta^{13}\text{C}$ até aproximadamente a camada 180-182 cm. Na camada 182-192 cm (~2000 anos AP) há um acréscimo no teor de C (0,94%), de C/N (11,9) e um empobrecimento isotópico (-24,7‰), indicativo de um aporte orgânico de material de ciclo fotossintético C₃, provavelmente associado a um antigo mangue no local. Para essa camada os dados polínicos indicaram a presença de espécies típicas desse ecossistema nas amostras analisadas, reforçando o reaparecimento do manguezal.

Essas variações provavelmente estão relacionadas a aspectos climáticos, antrópicos e a oscilações no nível do mar. Os resultados da litologia do testemunho (Figura 40) evidenciaram significativas mudanças na sua composição, reforçando também o aspecto da dinâmica de transgressão e regressão marinha.

Na Figura 3.20 apresentam-se os resultados de C/N versus $\delta^{13}\text{C}$ que indicam o predomínio de plantas terrestres C₃ e algas de água doce/marinha na composição da matéria orgânica do testemunho sedimentar do mangue do Sueste, conforme observado na Figura 1.2 (MEYERS, 2003; WILSON et al., 2005).

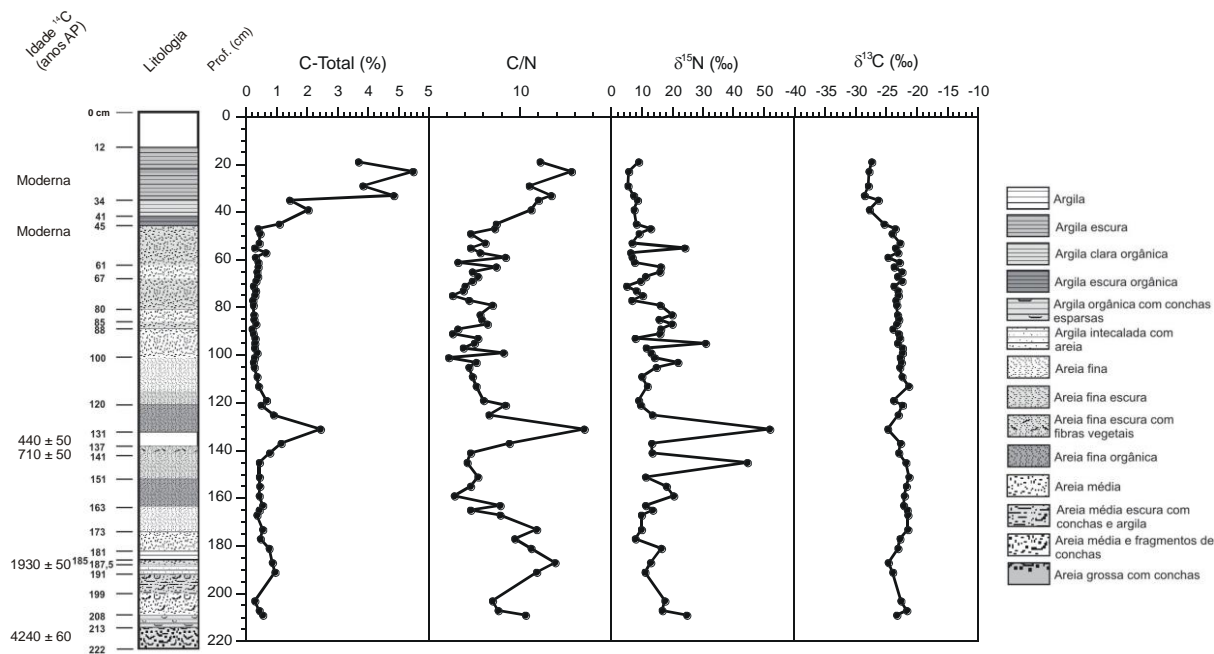


Figura 3.19 - Litologia, datação ^{14}C , carbono e nitrogênio total, C/N e dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das amostras de sedimento coletado no Mangue do Sueste

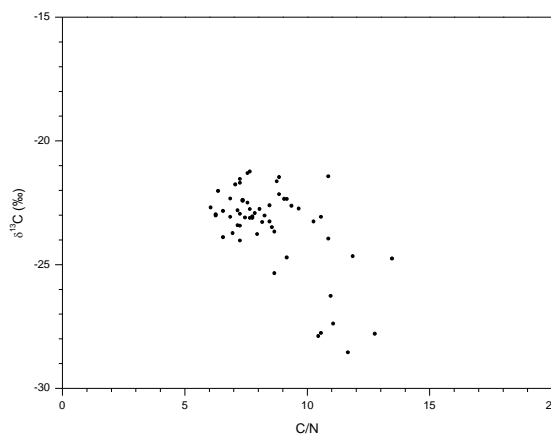


Figura 3.20 - Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N de amostras de sedimento do Mangue do Sueste

3.7 Publicações do Grupo relacionadas ao tema:

- a) Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Adauto de Souza Ribeiro, Susy Eli Marques Gouveia, Ramon Aravena, Rene Boulet, José Albertino Bendassolli. Vegetation dynamics during the late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão State, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary Research**, v. 62, p. 182-192, 2004.
- b) Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Marie-Pierre Ledru, Susy Eli Marques Gouveia, Ramon Aravena, Adauto de Souza Ribeiro, José Albertino Bendassolli, Rene Boulet. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records. **Holocene**, v. 15, p. 812-820, 2005.
- c) Marie-Pierre Ledru, Gregorio Ceccantini, Susy Eli Marques Gouveia, José Antonio López-Sáez, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Adauto de Souza Ribeiro. Millennial-scale climatic and vegetation changes in a northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Reviews**, v. 25, p. 1110-1126, 2006.
- d) Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Susy Eli Marques Gouveia, Marie-Pierre Ledru, Ramon Aravena, Fresia S. Ricardi-Branco, José Albertino Bendassolli, Adauto de Souza Ribeiro, Soraya E. Marques Gouveia Saia, Abdelfettah Sifeddine, Eldemar de A. Menor, Sônia M. B. de Oliveira, Renato C. Cordeiro, Ângela M. de M. Freitas, René Boulet, Heloisa F. Filizola. Interdisciplinary paleovegetation study in the Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 4, p. 677-691, 2008.
- e) Sônia M. B. de Oliveira, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Susy Eli Marques Gouveia, M. Babinski, D.I.T. Favaro. A geochemical and lead isotopic record from a small pond in a remote equatorial island, Fernando de Noronha, Brazil. **The Holocene**, v. 19, n. 3, p. 433-442, 2009.
- f) Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Susy Eli Marques Gouveia, Adauto de Souza Ribeiro, P. E. de Oliveira, Ramon Aravena. Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 297, p. 597-608, 2010.

Outras publicações relacionadas ao tema se encontram em: <http://www.cena.usp.br/pt/laboratorio-dvtec/carbono-14>

Referências

- AB'SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Boletim. Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v.3, p.45-48, 1977.
- ARAÚJO, F.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; FIGUEIREDO, M.A.; RODAL, M.J.N.; FERNANDES A.G. Composição florística de um carrasco, Novo Oriente. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.21, n.2, p.1-11, 1998.
- ARAÚJO, F.S.; MARTINS, F.R.; SHEPHERD, G.F. Variações estruturais e florísticas do Carrasco no planalto da Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v.59, p.663-678, 1999.
- ARAÚJO, F.S. **Estudos fitogeográficos do carrasco no Nordeste do Brasil**. 2000. Tese (Doutorado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- ARAVENA, R.; WARNER, B.G.; MACDONALD, G.M.; HANF, K.I. Carbon isotope composition of lake sediments in relation to lake productivity and radiocarbon dating. **Quaternary International**, Oxford, v.37, p.333-345, 1992.
- ANDRADE-LIMA, D. Contribuição ao paralelismo da flora amazônico-nordestina. **Boletim Técnico IPA**, Recife, v.19, p1-30, 1966.
- ANDRADE-LIMA, D. Vegetação. In: LINS, R.C. (Ed.). **Bacia do Parnaíba: aspectos fisiográficos**. Recife: Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais, 1978. p.131-135 (Série Estudos e Pesquisas, 9), 1978.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v.4, p.149-153, 1981.
- ANDRADE-LIMA, D. Present-day forest refuges in northeastern Brazil. In: PRANCE, G.T. (Ed.) **Biological diversification in the tropics**. New York: Columbia University Press, 1982. p.245-251.
- ARZ, H.W.; PATZOLD, J.; WEFER, G. Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits of northeastern Brazil. **Quaternary International**, Oxford, v.50, n.2, 157-166, 1998.
- ARZ, H.W.; PATZOLD, J.; WEFER, G. The deglacial history of the western tropical Atlantic as inferred from high resolution stable isotope records of Northeastern Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v.167, p.105-117, 1999.
- AULER, A.S.; SMART, P.L. Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-Series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary International**, Oxford, v.55, n.2, p.159-167, 2001.
- BALESDENT, J.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Site-related $\delta^{13}\text{C}$ of tree leaves and soil organic matter in a temperate forest. **Ecology**, Brooklyn, v.74, p.1713-1721, 1993.
- BARBERI, M.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; SUGUIO, K. Paleovegetation and paleoclimate of “Vereda de Águas Emendadas”, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v.13, p.241-254, 2000.
- BATISTELLA, M. **Cartografia ecológica de Arquipélago de Fernando de Noronha**. 1993. 232f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- BECKER-HEIDMANN, P.; SCHARPENSEEL, H.-W. Carbon isotope dynamics in some tropical soils. **Radiocarbon**, New Haven, v.31, n.3, p.676-679, 1989.

- BECKER-HEIDMANN, P.; SCHARPENSEEL, H.W. Studies of soil organic matter dynamics using natural carbon isotopes. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.117/118, p.305-312, 1992a.
- BECKER-HEIDMANN, P.; SCHARPENSEEL, H.W. The use of natural ^{14}C and ^{13}C in soils for studies on global climate change. **Radiocarbon**, New Haven, v.31, n.3, p.535-540, 1992b.
- BEHLING, H.; COSTA, M.L. Studies on Holocene tropical vegetation mangrove and coast environments in the state of Maranhão, NE Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. Boca Raton, v.10, p.93-118. 1994.
- BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, Dordrecht, v.14, n.3, p.253-268, 1995a.
- BEHLING, H. Investigations into the late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**, Berlin, v.4, n.3, p.127-152, 1995b.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v.129, p.407-422, 1997a.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v.97, p.109-121, 1997b.
- BEHLING, H.; LICHTÉ, M.; MIKLÓS, A.W. Evidence of a forest free landscape under dry and cold climatic conditions during the last glacial maximum in the Botucatu region (São Paulo State), Southeastern Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Boca Raton, v.11, p.99-110, 1998.
- BEHLING, H.; ARZ, H.W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v.19, p.981-994, 2001.
- BOULET, R.; PESSENDA, L.C.R.; TELLES, E.C.C.; MELFI, A.J. Une évaluation de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humine du sol. Exemple des latosols des versants du lac Campestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil. **Compte Rendus de l'Académie des Sciences. Serie 2**. Paris, v.320, p.287-294, 1995.
- BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S.I. (Ed.) **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.47-82.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Reserva Biológica Guaribas**: plano de ação emergencial. Brasília: MMA, 1995. 66p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**: Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1981. 744p.
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H. **Field and laboratory methods for general ecology**. 2.ed. Dubuque: W.M.C. Brown Publishers, 1984. 226p.
- BROWER, J. E.; ZAR, J. H; CARL, N. VAN. **Field and laboratory methods for general ecology**. 4.ed. New York: McGraw Hill, 1997. 273p.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

CAMARGO, O.A. DE; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos**. Campinas: Instituto Agranômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

CARCAILLET, C. Soil particles reworking evidences by AMS ^{14}C dating of charcoal. **Compte Rendus de l'Academie des Sciences**, Paris, v.332, p.21-28, 2001a.

CARCAILLET, C. Are Holocene wood-charcoal fragments stratified in alpine and subalpine soils? Evidence from the Alps based on AMS ^{14}C . **The Holocene**, New York, v.11, n.2, p.231-242, 2001b.

CASARINI, D.C.P; DIAS, C. L.; LEMOS, M.M.G. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. 246p.

COLE, M.M. Cerrado, caatinga and pantanal: the distribution and origem of the savana vegetation of Brazil. **Geographical Journal**, London, v.126, n.2, p.168-179, 1960.

COTTON, G.; CURTIS, J.T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, Brooklyn, v.37, p.451-460, 1956.

CZAPLEWSKI, N.J.; CARTALE, C. Pleistocene bats from cave deposits in Bahia, Brazil. **Journal of Mammalogy**, Oxford, v.79, p.189-208, 1998.

DESJARDINS, T.; FILHO, A.C.; MARIOTTI, A.; CHAUVEL, A.; GIRARDIN, C. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios. **Oecologia**, Berlin, v.108, p.749-756, 1996.

DETIENNE, P.O.; JACQUET, P. **Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines**. Paris: Centre Technique Forestier Tropical, 1983. 640p.

DINO, R.; BARROS, M.A. DE; SÃO THIAGO, L.E.U.; BARRETO, C.R.; BARTH, O.M.; ANTONIOLI, L.; MENOR, E.A. Resultados palinológicos preliminares de sedimentos da Lagoa da Viração, arquipélago de Fernando de Noronha. Brasil. **Revista Universidade de Guarulhos, Geociências**, Guarulhos, n. esp., p.272, 2000.

DUCKE, A. **Estudos botânicos do Ceará**. Mossoró: Escola Superior de Agricultura, 1979. (Coleção Mossoroense, 90).

FERNANDES, A. **Temas fitogeográficos**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990.

FERNANDES, A.; BEZERRA, P. **Estudos fitogeográficos do Brasil**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990. 205p.

FERNANDES, A.; BEZERRA, P. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340p.

FERRAZ-VICENTINI, K.R. **Análise palinológica de uma vereda em Cromínia, GO**. 1993. 87f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1993.

FERRAZ-VICENTINI, K.R.; SALGADO-LABOURIAU, M.L. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v.9, p.207-219, 1996.

FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R. Late Quaternary vegetation dynamics in the southern Amazon basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary International**, Oxford, v.55, p.39-46, 2001.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; ROVERATTI, R.; GOMES, B.M. 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**, Rio de Janeiro, v.11, n.3, p.355-367, 1997.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; SCHEEL-YBERT, R. 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**, Rio de Janeiro, v.71, n.4, p.969-980, 1999.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R. Datation par le ^{14}C de charbons inclus dans le sol pour l'étude du rôle de la remontée biologique de matière et du colluvionnement dans la formation de latossols de l'état de São Paulo, Brésil. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Serie 2A**. Paris, v.330, n.2, p.133-138, 2000.

GOUVEIA, S.E.M. **Isótopos do carbono na avaliação do remonte biológico de Latossolos e Podzólicos e de eventos paleoclimáticos em distintas localidades do Brasil**. 2001. 116f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEEL-YBERT, R.; BENDASSOLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. 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**, Amsterdam, v.33, p.95-106, 2002.

GUERRIERO, N. **Ilhas oceânicas**: Fernando de Noronha. São Paulo: Leão Design, 2002. 96p.

HECHT, J. Global warming: back to the future. **New Scientist**, London, v.128, p.38-41, 1990.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relações solo/planta. São Paulo: Ceres, 1979.

LEDRU, M.-P. Late Quaternary and climatic changes in central Brazil. **Quaternary International**, Oxford, v.39, p.90-98, 1993.

LEDRU, M.-P.; BRAGA, P.I.S.; SOUBIÈS, F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. The last 50,000 years in the Neotropics (southern Brazil): evolution of vegetation and climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v.123, p.239-257, 1996.

LEDRU, M.-P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; LORSCHREITTE, M.L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr BP. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v.99, p.131-142, 1998.

LEDRU, M.-P.; CORDEIRO, R.C.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.; TURCQ, B. Late-glacial cooling in Amazonia inferred from pollen at Lagoa do Caçó, northern Brazil. **Quaternary International**, Oxford, v.55, p.47-56, 2001.

LEDRU, M.-P.; MOURGUIART, P.; CECCANTINI, G.; TURCQ, B.; SIFEDDINE, A. Tropical climates in the game of two hemispheres revealed by abrupt climatic change. **Geology**, Oslo, v.30, n.3, p.275-278, 2002.

LORSCHREITTE, M.L.; MATTOZO, I.J. Reconstituição paleoambiental da região dos Campos Gerais, Paraná, através da palinologia de sedimentos da Lagoa Dourada. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5., Niterói, 1995. **Anais...** Niterói: UFF, 1995.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2.ed. São Paulo: IPT, 1989. 418p.

MARTIN, G. **Pré-história do nordeste do Brasil**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1999. 440p.

MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. Vibro-testemunhador leve: construção, utilização e possibilidades. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2., 1985, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ABEQUA, 1985. (Publicação Especial, 1).

MARTIN, L.; BERTAUX, J.; CORRÈGE, T.; LEDRU, M.P.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.; SOUBIÈS, F.; WIRRMANN, D.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Astronomical forcing of contrasting rainfall changes in tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr B.P.. **Quaternary International**, Oxford, v.47, p.117-122, 1997.

MORAES, A.S. **Geoquímica da matéria orgânica em sedimentos como registro da evolução ambiental do ecossistema lacustre insular, Lagoa da Viração, arquipélago de Fernando de Noronha**. 2002. 56f. Monografia - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

NADELHOFFER, K.J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.1633-1640, 1988.

NEVES, P.C.P.; LORSCHBITTER, M.L. Upper Quaternary palaeoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Boca Raton, v.9, p.39-67, 1995.

OLIVEIRA, P.E.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco river. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v.152, p.319-337, 1999.

PESSENDA, L.C.R.; CAMARGO, P.B. Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. **Química Nova**, São Paulo, v.14, n.2, p.98-103, 1991.

PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; BOULET, R. The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, New Haven, v.38, n.2, p.191-201, 1996a.

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; MARTINELLI, L.A.; CERRI, C.C. ¹⁴C measurements in tropical soil developed on basic rocks. **Radiocarbon**, New Haven, v.38, n.2, p. 203-208, 1996b.

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; ARAVENA, R.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R. 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, 1998a. p.7-16.

PESSENDA, L.C.R.; GOMES, B.M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R.; GOUVEIA, S.E.M. 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**, New York, v.8, n.5, p.631-635, 1998b.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; GOMES, B.M.; BOULET, R.; RIBEIRO, A.S. ¹⁴C dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region. **Radiocarbon**, New Haven, v.40, n.2, p.1013-1022, 1998c.

PESSENDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; GOUVEIA, S.E.M.; BENDASSOLI, J.A.; BOULET, R.; PELLEGRINOTTI, T.C.; SILVA, V.F. Dinâmica do ecótono cerrado-floresta desde o Pleistoceno tardio na região de Barreirinhas, estado do Maranhão, empregando os isótopos do carbono do solo. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 8., Imbé, 2001. **Boletim de Resumos**. Imbé: UFRGS; CECO; ABEQUA. p.344-345, 2001a.

PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; ROSOLEN, V.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; LAMOTTE, M. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. **The Holocene**, New York, v.11, n.2, p.250-254, 2001b.

PESSENDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; BENDASSOLI, J.A. Vegetation dynamics during the Late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão state, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary International**, Oxford, v.62, p.183-193, 2004.

RATTER, J.A.S.; BRIDGWATER, J.F.; RIBEIRO, T.A.B.; DIAS, SILVA, M.R. Distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma cerrado. **Boletim do Herbário E.P.Heringer/Jardim Botânico de Brasília**, Brasília, DF, v.5, p.5-43, 2000.

RIBEIRO, A.S. **Dinâmica paleoambiental da vegetação e clima durante o Quaternário tardio em domínios da mata Atlântica, brejo do semi-árido e cerrado nordestinos, utilizando isótopos do carbono da matéria orgânica do solo e das plantas**. 2002. 193f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RIDDLEY, H.N. Notes on the botany of Fernando Noronha. **Journal of the Linnean Society of London. Botany**, London, v.27, p.1-95, 1888.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; PEREIRA, J.A.A. Effects of fire on soil organic matter in a "Cerrado sensu-stricto" from southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, Amsterdam, v.95, n.1-2, p.141-160, 2000.

ROTH, L.; LORSCHREITER, M.L. 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**, Boca Raton, v.8, p.39-69, 1993.

SANFORD JUNIOR, R.L.; SALDARRIAGA, J.; CLARK, K.E.; UHL, C.; HERRERA, R. Amazon rain-forest fires. **Science**, Washington, DC, v.227, p.53-55, 1985.

SANTOS, G.M.; GOMES, P.R.S.; ANJOS, R.M.; CORDEIRO, R.C.; TURCQ, B.J.; SIFEDDINE, A.; DI TADA, M.L.; CRESSWELL, R.G.; FIFIELD, L.K. ^{14}C AMS dating of fires in the central Amazon rain forest. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B**, Amsterdam, v.172, p.761-766, 2000.

SANTOS, J.C. **Quadro geomorfológico do Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí**. Florianópolis, 2001. 118f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHEEL-YBERT, R.; GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; COUTINHO, L.M.; BOULET, R. Holocene palaeoenvironmental evolution in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil $\delta^{13}\text{C}$ analysis. **The Holocene**, New York, v.13, n.1, p.73-81, 2003.

SIFEDDINE, A.; FROHLICH, F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; SUGUIO, K.; RIBEIRO, C.V. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30.000 derniers années (Carajás, Amazonie, Brésil). **Géosciences de Surface/Surface Géosciences**, Paris, p.1645-1652, 1994a.

SIFEDDINE, A.; BERTRAND, P.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Carajas, Amazonie orientale, Brésil): relation avec les changements climatiques au cours des 60000 dernières années. **Bulletin de la Société Géologique de France**, Paris, t.165, n.6, p.613-621, 1994b.

SOUBIÈS, F. 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**, Paris, v.11, n.1, p.133-148, 1979-1980.

STEVAUX, J.C. The Upper Paraná river (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. **Quaternary International**, Oxford, v.21, p.143-161, 1994.

STEVAUX, J.C. Climatic events during the late Pleistocene and Holocene in the upper Paraná river: Correlation with NE Argentina and south-central Brazil. **Quaternary International**, Oxford, v.72, p.73-85, 2000.

STOUT, J.D.; GOH, K.M.; RAFTER, T.A. Chemistry and turnover of naturally occurring resistant organic compounds in soil. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Eds.) **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. p.1-73.

STUTE, M.; FORSTER, M.; FRISCHKORN, H.; SEREJO, A.; CLARK, J.F.; SCHLOSSER, P.; BROECKER, W.S.; BONANI, G. Cooling of tropical Brazil (5°C) during the last glacial maximum. **Science**, Washington, DC, v.269, p.379-383, 1995.

TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; MENOR, E.A.; TEIXEIRA, M.G.; LINSKER, R. 2003. **Arquipélago de Fernando de Noronha: o paraíso do vulcão**. São Paulo: Terra Virgem Editora, 2003. 167p.

WHITMORE T.C.; PRANCE, G.T. **Biogeography and Quaternary history in tropical America**. Clarendon: Oxford University Press, 1987. 214p.

Agradecimentos

À FAPESP (2007/03615-5, 2010/18091-4 e 2011/00995-7) e CNPq (2007-3/471751 e 2012-5/470210) pelo suporte financeiro, à Reserva Natural Vale (RNV) em Linhares, Espírito Santo, pelo apoio logístico, aos estudantes, Geóloga Claudia Moré de Lima e Biólogos Jaime Passarini Junior e Marcos Antonio Borotti Filho, pelo apoio nos trabalhos de campo na RNV, ao Curador do Herbário da RNV, Geovane Siqueira, pelo apoio no campo e na identificação botânica das espécies de plantas coletadas e aos Técnicos do Laboratório C-14, Liz Mary Bueno de Moraes e Thiago Barrios Casemiro de Campos, pelo apoio nas análises laboratorias. À funcionária Marília Ribeiro Garcia Henyei, pelo apoio na edição final do texto e nas verificações/correções das referências bibliográficas. Imagem da capa foi produzida e gentilmente cedida pelo Fotógrafo e Designer Gráfico Leonardo Merçon, Presidente do Instituto Últimos Refúgios.