

ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS INTERDISCIPLINARES  
DINÂMICA DA VEGETAÇÃO, DO AMBIENTE MARINHO E INFERÊNCIAS  
CLIMÁTICAS MILENARES A ATUAIS NA COSTA NORTE  
DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

*Luiz Carlos R. Pessenda, Antônio A. Buso Junior, Marcelo C. L. Cohen,  
Márcia Calegari, Jolimar A. Schiavo, Marlon França, Flávio L. Lorente,  
Paulo César F. Giannini, Paulo Eduardo De Oliveira, Dilce F. Rossetti,  
Geovane S. Siqueira, Mariah I. Francisquini, Cecília Volkmer-Ribeiro,  
José Albertino Bendassolli, Marco Madella, Margarita Osterrieth,  
Fernanda A. Cecchet, Paula L. L. Felipe, Lucas T. Brustolin,  
Giliane G. Rasbold, Mayara R. Monteiro*

Estudos paleoambientais desde ~50.000 anos na costa do Brasil e, em particular, no litoral do Espírito Santo, são ainda insuficientes para servir de base a reconstituições da dinâmica da vegetação, de oscilações do nível relativo do mar e de flutuações climáticas e respectivas influências sobre a ação humana milenar. Para obter essas informações, uma equipe interdisciplinar, financiada por projetos temáticos FAPESP e CNPq, desenvolveu pesquisas correlatas na Reserva Natural Vale (RNV) e região. Para a caracterização da dinâmica da vegetação e marinha, com inferências climáticas, em locais de floresta de tabuleiros e campos naturais da RNV e região desde ~16.000 anos, utilizaram-se isótopos do C ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica do solo e sedimentar, além de palinologia em sedimentos lacustres e terrestres. No estudo da dinâmica do ecótono floresta – campo, apresentam-se inferências preliminares sobre a evolução pedogenética dos Espodossolos associados ao campo, com ênfase às suas características físico-químicas, e também dos Argissolos, encontrados sob floresta. Finaliza-se com o estágio inicial de uma coleção de referência de fitólitos, bioindicador de vegetação utilizado em estudos paleoambientais, extraídos de plantas da floresta de tabuleiros da RNV.

## Introdução

Em relação à vegetação da região norte do Espírito Santo e sul da Bahia, as questões gerais mais importantes a serem tratadas relacionam-se à teoria dos refúgios, à conexão pretérita entre Amazônia e Mata Atlântica e à dinâmica dos manguezais, que também se associam com as oscilações do nível marinho no Holoceno.<sup>1</sup> Especificamente na área da Reserva Natural Vale (RNV), pretende-se também caracterizar a origem e a evolução dos campos nativos (que serão denominados de campos) e do seu substrato arenoso classificado como Espodossolo, e determinar sua influência na dinâmica do ecótono floresta de tabuleiros-campo, naturalmente distribuído em diversos pontos da Reserva.

A caracterização das trocas de vegetação e do nível relativo marinho (NRM) permitirá melhor entendimento das flutuações climáticas e sua influência na dinâmica da ação humana, aspectos que também serão muito úteis para outras regiões costeiras do Sudeste do país, ainda carentes de pesquisas semelhantes, para comparações com as demais regiões brasileiras e para a ampliação da base de dados dos modelos climáticos.

Entre as ferramentas analíticas empregadas nos estudos interdisciplinares de reconstituição paleoambiental, os isótopos estáveis de Carbono ( $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ ) caracterizam as alterações da abundância relativa de plantas de ciclos fotossintéticos  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$  em um local ao longo do tempo.<sup>2</sup> O uso dessa ferramenta se baseia na diferença da composição isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) existente entre plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , e na preservação desse sinal isotópico na matéria-orgânica originada dessas plantas. O  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas  $\text{C}_3$  varia entre -32‰ a -20‰, enquanto que nas plantas  $\text{C}_4$  essa variação ocorre entre -17‰ e -9‰. Dessa forma, medindo-se o  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria-orgânica preservada em solos e sedimentos, é possível obter valores que indiquem a contribuição relativa de plantas  $\text{C}_3$  e plantas  $\text{C}_4$  na matéria-orgânica total. Plantas  $\text{C}_4$ , representadas principalmente por espécies de Poaceae e Cyperaceae, apresentam maior eficiência no uso da água, estando, de modo geral, mais adaptadas a ambientes quentes e com maior estresse hídrico do que as plantas  $\text{C}_3$ . Assim, o uso do  $\delta^{13}\text{C}$  permite o estudo das trocas de vegetação envolvendo abertura e fechamento de ecossistemas florestais e inferir os possíveis fatores ambientais causadores dessas trocas.

Em adição, quando se trabalha em locais costeiros e/ou com influência aquática, a razão dos resultados das aná-

<sup>1</sup> MARTIN, L. & SUGUIO, K. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths: example from the central Brazilian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99:119-140, 1992.

<sup>2</sup> DEINES, P. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: FRITZ, P. & FONTES, J. C. (Orgs.). *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. New York: Elsevier, 1980. p. 329-406. PESSENDA, L. C. R. et al. The use of carbon isotopes ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, 38(2):191-201, 1996. PESSENDA, L. C. R. et al. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000  $^{14}\text{C}$  BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary Research*, 71:437-452, 2009.

lises elementares de carbono (C) e nitrogênio (N) também apoia a caracterização do ambiente em que ocorrem as plantas vasculares e o fitoplâncton: valores de C/N próximos ou maiores do que 20 se associam ao primeiro caso, enquanto o material fitoplanctônico apresenta valores entre 4 e 10.<sup>3</sup>

Neste estudo, além das análises isotópicas de C e elementares de C e N aplicados às matrizes solo e sedimentos lacustres e/ou terrestres, empregaram-se ainda análises de grãos de pólen.<sup>4</sup> Outro bioindicador da vegetação, denominado fitólito, também vem sendo utilizado em estudos similares<sup>5</sup>; entretanto, para a sua determinação, há a necessidade do desenvolvimento e estabelecimento de uma coleção de referência – dados preliminares provenientes de espécies herbáceas e lenhosas de vegetação florestal da RNV são apresentados no final deste trabalho.

A junção dos indicadores isotópicos, geoquímicos e biológicos visa contribuir para o melhor entendimento sobre a diversidade passada e atual da Mata Atlântica e sobre as associações/interações com a dinâmica do clima, marinha e humana desde os últimos milhares de anos até o presente, na costa norte do Espírito Santo.

## Locais e métodos de coleta

Os locais e métodos de coleta com respectivas coordenadas geográficas, altitude e análises efetuadas são apresentados na figura 1 e no quadro 1. Dos 16 pontos amostrados, 14 encontram-se localizados dentro da RNV, um na planície herbácea/deltaica do rio Doce a aproximadamente 10km da Reserva (Li-32) e outro na lagoa do Macuco, na área da Reserva Biológica de Sooretama (MAC-C).

## Coletas e análises

### Plantas

Em cada ponto de amostragem de solo ou sedimento também se registrou a vegetação dominante, com coleta de folhas e caules situados até dois metros de altura para identificação botânica (herbário CVRD) e posterior caracterização do  $\delta^{13}\text{C}$ .

### Solo

Amostras de solos sob diferentes formações vegetais foram coletadas através do uso de trado ou abertura de poço (2 x 2 x 3m). As amostragens foram feitas a cada dez ou vinte centímetros de profundidade, com o material acondicionado em sacos plásticos identificados.

- <sup>3</sup> MEYERS, P. A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34:261-289, 2003.
- 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*, 64(4):685-698, 2005.
- <sup>4</sup> COLINVAUX, P. A. et al. A long pollen record from Lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science*, 274:85-88, 1996.
- 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* 152:319-337, 1999.
- <sup>5</sup> MADELLA, M.; ALEXANDRE, A. & BALL, T. International code for phytolith nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, 96(2):253-260, 2005.
- PIPERNO, D. *Phytolith: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. Oxford: Altamira Press, 2006. 237 p.
- CALEGARI, M. R. et al. Combining phytolith and  $\delta^{13}\text{C}$  matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: an example of an Oxisol in Brazil. *Quaternary International*, 287:47-55, 2013.

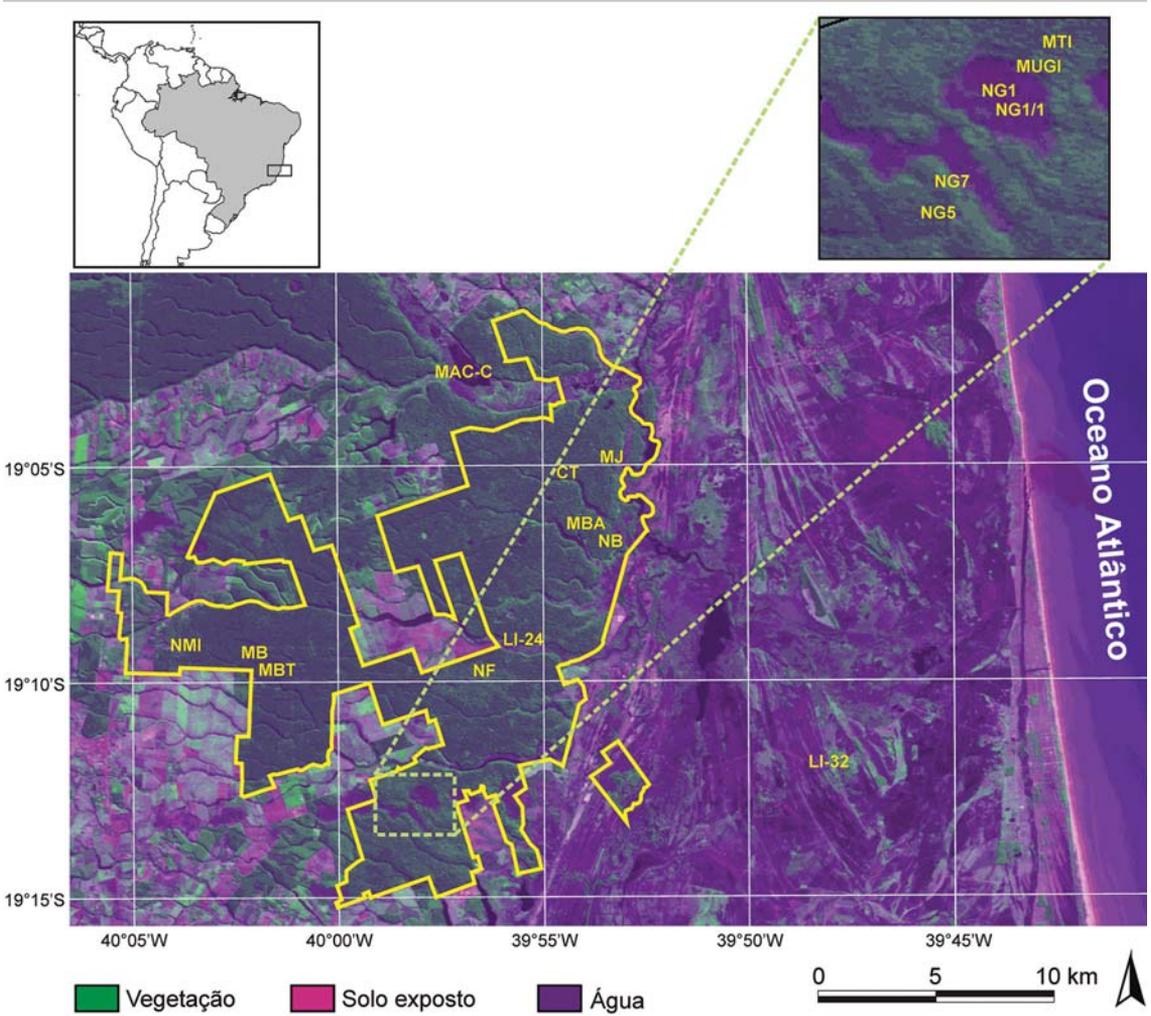


Figura 1: Pontos de coleta na Reserva Natural Vale e áreas vizinhas

<sup>6</sup> SANTOS, R. D. *et al.* *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5<sup>a</sup>. ed., Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2013. 100 p.

Os perfis foram descritos morfologicamente segundo Santos *et al.*<sup>6</sup>, sendo coletadas amostras em todos os horizontes. As amostras foram secas e peneiradas (malha de 2mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA). Nos Espodosolos e Argissolos as análises químicas e físicas foram realizadas na TFSA. A densidade das partículas ( $D_p$ ) foi determinada pelo método do balão volumétrico. Os cátions trocáveis  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  foram extraídos com solução de KCl 1mol L<sup>-1</sup> e o H+Al com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. Os teores de P, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram extraídos com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram determinados por titulometria com solução de EDTA 0,0125

mol L<sup>-1</sup>; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, por fotometria de chama; P por colorimetria; e Al<sup>3+</sup> e H+Al, por titulometria com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. Determinou-se o pH em água e em KCl (peso 1:2,5) por meio de potenciômetro, e a partir dos dados obtidos calculou-se o delta pH. Os teores de carbono orgânico (CO) foram determinados segundo Yeomans & Bremner<sup>7</sup>. A partir das análises, procedeu-se ao cálculo da saturação por alumínio (m), do valor SB (soma de bases trocáveis), valor T (CTC do solo), valor V% e da saturação por sódio.<sup>8</sup> Cerca de 100g de amostras foram encaminhadas para análise granulométrica pelo método do densímetro<sup>9</sup>, no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP.

### Sedimento

Para a coleta de sedimento na Lagoa do Macuco foi utilizado coletor de pistão<sup>10</sup> montado sobre plataforma flutuante<sup>11</sup>. Os tubos coletores de alumínio apresentavam pouco mais de um metro de comprimento e cerca de seis centímetros de diâmetro interno.

A amostragem foi realizada próximo ao centro da lagoa. Os tubos contendo o sedimento foram vedados nas extremidades, identificados e mantidos em ambiente resfriado até o momento de sua abertura, sendo coletado um testemunho de 1,23m de comprimento com denominação MAC-C (figura 1).

O testemunho sedimentar LI-32 (figura 1), de 5,75 m, foi obtido em cordões arenosos da planície herbácea com emprego de coletor russo.<sup>12</sup> O local se encontra a cerca de 30km do rio Doce e a aproximadamente 10km da atual linha de costa. As posições geográficas dos testemunhos sedimentares e demais pontos de coleta foram determinados por GPS (referência: SAD69).

O testemunho turfoso NF de aproximadamente 60 cm foi obtido no campo Nativo do Flamengo (figura 1) com emprego de um tubo de alumínio com cerca de 9cm de diâmetro.

Os tubos coletores com os testemunhos sedimentares MAC-C, Li-32 e NF em seu interior foram abertos longitudinalmente em duas metades no Laboratório <sup>14</sup>C do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA-USP. Características 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, serviu-se da Carta de Munsell de cores para solos.<sup>13</sup>

<sup>7</sup> YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1.467-476, 1988.

<sup>8</sup> EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análises de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

<sup>9</sup> KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relações solo/planta*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

<sup>10</sup> LIVINGSTONE, D. A. A lightweight piston sampler for lake deposits. *Ecology*, 36(1):137-139, 1955.

<sup>11</sup> COLINVAUX, P. A. *et al.* *Op. cit.*

<sup>12</sup> COHEN, M. C. L. & LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazônia: Application of GIS and remote sensing techniques. *Wetlands Ecology Management*, 11: 223-231, 2003.

COHEN, M. C. L. *et al.* Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quat. Sci. Rev.*, 55:50-58, 2012.

<sup>13</sup> MUNSELL COLOR. *Munsell Soil Color Charts*. New Windsor: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments, 1999.

Quadro 1: Locais de coleta de solo/sedimentos para caracterização da vegetação costeira e da dinâmica marinha desde o Pleistoceno tardio, métodos de coleta, coordenadas geográficas, altitude e análises efetuadas

Ponto	Descrição	Método de coleta	Coordenadas e altitude	Análises realizadas
MBT	Solo sob floresta de tabuleiros	Poço	19°09'12"S; 40°02'45"W; 66m	Datação <sup>14</sup> C
CT	Solo sob floresta de tabuleiros	Poço	19°05'15"S; 39°54'19"W; 32m	δ <sup>13</sup> C
MB	Solo sob floresta de tabuleiros	Tradagem	19°09'23"S; 40°02'33"W; 68m	δ <sup>13</sup> C
MT1	Solo sob floresta de tabuleiros	Tradagem/ plantas	19°12'20"S; 39°57'38"W; 40m	δ <sup>13</sup> C; fitólitos
NG5	Solo sob floresta de tabuleiros	Tradagem	19°13'25"S; 39°58'15"W; 34m	δ <sup>13</sup> C
MBA	Solo sob floresta de tabuleiros	Tradagem	19°06'35"S; 39°53'29"W; 30m	δ <sup>13</sup> C
MJ	Solo sob floresta de tabuleiros	Tradagem	19°04'56"S; 39°53'15"W; 28m	δ <sup>13</sup> C
NG1	Solo sob campo nativo	Tradagem/ poço	19°12'41"S; 39°57'51"W; 24m	δ <sup>13</sup> C; química; granulometria
NG1/1	Solo sob campo nativo	Tradagem	19°12'37"S; 39°57'48"W; 24m	Datação <sup>14</sup> C; δ <sup>13</sup> C
MUGI	Solo sob vegetação de transição (muçununga)	Tradagem	19°12'29"S; 39°57'43"W; 27m	δ <sup>13</sup> C; química; granulometria
NMI	Solo sob campo nativo	Tradagem	19°09'12"S; 40°03'56"W; 56m	δ <sup>13</sup> C
NG7	Solo sob campo nativo com arvoretas	Tradagem	19°13'13"S; 39°58'10"W; 26m	δ <sup>13</sup> C
NB	Solo sob campo nativo	Tradagem	19°06'36"S; 39°53'20"W; 14m	δ <sup>13</sup> C
NF	Turfa sob campo nativo arborizado	Tubo de alumínio	19°13'25"S; 39°58'15"W; 34m	Datação <sup>14</sup> C; δ <sup>13</sup> C; palinologia
MAC-C	Sedimento Lagoa do Macuco	Coletor de pistão	19°06'35"S; 39°53'29"W; 30m	Datação <sup>14</sup> C; δ <sup>13</sup> C; palinologia
Li-32	Sedimento planície herbácea	Coletor russo	19°04'56"S; 39°53'15"W; 28m	Datação <sup>14</sup> C; δ <sup>13</sup> C; C/N palinologia
Li-24	Sedimento planície herbácea	Coletor russo	19°12'41"S; 39°57'51"W; 24m	

<sup>14</sup> KIEHL, E. J. *Op. cit.*

<sup>15</sup> FRANÇA, M. C. *Desenvolvimento da vegetação e morfologia da foz do Amazonas-PA e rio Doce-ES durante o Quaternário tardio*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 2013. 153 p.

Parte das amostras foi encaminhada para análise granulométrica pelo método do densímetro<sup>14</sup>, no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP. Outras amostras, previamente preparadas de acordo com França<sup>15</sup>, foram analisadas por difração a laser no equipamento *Shimadzu Sald 2101* no Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Federal do Pará (UFPA).

### Fitólitos

Para a coleção de referência, efetuou-se uma coleta de folhas de plantas representativas no ponto MT1 (figura 1), sendo obtidas 48 espécies pertencentes a 21 famílias (identificadas em campo). As plantas foram lavadas, secas e transportadas até o Laboratório de Análise e Extração de Fitólitos da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, onde foram realizadas as etapas de extração e identificação dos fitólitos. As plantas coletadas estão armazenadas nos herbários CVRD e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

### Análises isotópicas e elementares

Os resultados das análises isotópicas de carbono e de nitrogênio são expressos pela unidade relativa “ $\delta$ ”, determinada em relação aos padrões internacionais VPDB para o carbono, conforme mostrado na equação:

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

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

As análises elementares envolvem a mensuração do carbono orgânico total – COT e nitrogênio total – N total, expressos em porcentagem do peso seco da amostra. As análises foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA-USP, em espectrômetro de massas ANCA GSL, com precisão de 0,2‰, 0,1% e 0,02%.

O procedimento adotado no pré-tratamento das amostras utilizadas para as análises isotópicas e elementares seguiu procedimentos rotineiros<sup>16</sup>: 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, tendo sido utilizados entre 0,5 e 1mg da amostra.

As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em malha de 210  $\mu\text{m}$ , limpas de raízes e outros fragmentos vegetais e animais, e homogeneizadas. Entre 40 e 70mg do material peneirado foram utilizados para a análise em intervalos de 10 a 20cm.

Dos testemunhos sedimentares MAC-C, Li-32 e NF foram efetuadas coletas a cada dois centímetros, de onde foram removidos raízes e outros fragmentos vegetais, com secagem em estufa a 50°C; as amostras foram submetidas às

<sup>16</sup> PESSENDA, L. C. R. *et al.* The use of carbon isotopes (<sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C) in soil... *Op. cit.*  
PESSENDA, L. C. R. *et al.* The evolution of a tropical rainforest/grassland... *Op. cit.*

análises isotópica e elementar de carbono e nitrogênio. Foram utilizadas massas entre 2 e 30mg para análises de carbono e entre 15 e 60mg para análise de nitrogênio.

### *Datação $^{14}\text{C}$ da matéria-orgânica do solo e do sedimento*

Aproximadamente 1,5kg de amostras de solo (Argis-solo) foram coletadas de camadas de 10cm da parte mais profunda para a superficial de um poço aberto sob vegetação de fisionomia florestal (ponto MBT) e de Espodossolo sob vegetação campestre (ponto NG1/1)

A datação da matéria-orgânica do solo foi realizada na fração humina<sup>17</sup>, na qual as amostras foram secas ao ar, em temperatura ambiente, destorroadas e removidos insetos, carvão, raízes e pequenos fragmentos vegetais. 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.

Cerca de 800g de cada amostra peneirada foram submetidos a 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, realizou-se o processo de extração alcalina com solução de  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  e NaOH 0,1M a frio, para a remoção de ácidos húmicos, e lavagem com água desionizada para a remoção dos ácidos e neutralização do pH. Finalizou-se o tratamento químico com hidrólise em solução de HCl 3,0 M a 90°C, durante 12 horas, para remoção de materiais orgânicos residuais. O resíduo obtido foi seco em estufa a 50°C para posterior combustão a 600°C na linha de síntese de benzeno do Laboratório  $^{14}\text{C}$ , para obtenção do  $\text{CO}_2$ . O gás foi acondicionado a vácuo em ampolas de vidro identificadas e encaminhado para datação AMS no Laboratório da Universidade da Geórgia (UGAMS), Estados Unidos.

Para as amostras sedimentares, selecionaram-se 25 camadas de dois centímetros ao longo dos testemunhos, sendo 16 no MAC-C, 6 no Li-32 e 1 no NF (camada 51 a 49 cm, com datação UGAMS#15861). O pré-tratamento das amostras de fragmentos vegetais e sedimento constituiu-se de uma hidrólise com HCl 2% ou 4% a 60°C por 4 a 6 horas<sup>18</sup>, secagem a 50°C, combustão e envio do  $\text{CO}_2$  para datação AMS. Os resultados em anos A. P. obtidos para as amostras de sedimento e solo foram calibrados de acordo com Reimer *et al.*<sup>19</sup>, com erro  $2\sigma$ , e os resultados expressos em anos calibrados (cal) A. P.

<sup>17</sup> PESSENDA, L. C. R. *et al.*  
The use of carbon isotopes  
( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) in soil... *Op. cit.*

<sup>18</sup> PESSENDA, L. C. R. *et al.*  
The evolution of a tropical  
rainforest/grassland... *Op. cit.*

<sup>19</sup> REIMER, P. J. *et al.* INTCAL  
04 terrestrial radiocarbon age  
calibration, 0–26 cal kyr BP.  
*Radiocarbon*, 46(3):1.029-  
1.058, 2004.

## Extração, identificação e contagem de grãos de pólen e esporos

Amostras de 1cm<sup>3</sup> de sedimento foram coletadas a cada dois centímetros ao longo dos testemunhos, acondicionadas em frascos de acrílico identificados e mantidos em geladeira. O tratamento polínico baseou-se no método de Colinvaux *et al.*<sup>20</sup>, no qual as amostras são transferidas para tubos de centrífuga de 15ml e adicionadas concentrações conhecidas de um marcador exótico, com o uso de duas pastilhas de *Lycopodium* com concentração média de 18.583 grãos e adicionados cerca de 5ml de HCl 10% para a dissolução das pastilhas. O material contido em cada tubo foi homogeneizado e centrifugado. Após lavagens com água desionizada, adicionou-se 10ml de HF 48% com reação em banho-maria a 90°C por 30min, completou-se o volume com HCl 10% e procedeu-se à centrifugação, ao descarte do material em solução e à lavagem com água desionizada. A seguir, utilizou-se banho-maria em solução de KOH 5% de 3 a 5min, centrifugou-se, descartou-se a solução e lavou-se o material com água desionizada.

<sup>20</sup> COLINVAUX, P. A. *et al.*  
*Op. cit.*

Utilizou-se HAc para desidratar as amostras que posteriormente sofreram acetólise em solução de (CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub>O e uma parte de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (total de 10ml) em banho-maria a 90°C, durante 15min. As amostras foram centrifugadas, a solução descartada e o resíduo lavado com água desionizada e desidratado com etanol absoluto. Após centrifugação, o excesso de etanol foi removido e o resíduo homogeneizado com a adição de gotas de glicerina bidestilada, seco em estufa a 50°C para remoção do etanol e acondicionado em frascos de acrílico identificados e mantidos em geladeira. Em seguida foram montadas lâminas de microscopia óptica e o meio utilizado foi glicerina líquida, sendo o resíduo colocado sobre a lâmina em um espaço delimitado por parafina. A lamínula foi vedada em suas bordas e as lâminas foram identificadas com o código correspondente.

A leitura dos palinomorfos foi realizada em um microscópio Zeiss Axisokop 40, com objetiva Achroplan 100x e a identificação com base nas coleções de referência do Laboratório de <sup>14</sup>C do CENA-USP e do Laboratório de Dinâmica Costeira (LADIC) da UFPA.

Para a contagem foram utilizadas pelo menos três lâminas de microscopia para cada amostra até se atingir um mínimo de 300 grãos de pólen identificados como pertencentes a táxons arbóreos. A partir dos dados de contagem e identificação dos tipos polínicos, foram utilizados os *soft-*

- <sup>21</sup> DAVIS, M. B. & DEEVEY JUNIOR, E. S. Pollen accumulation rates: estimates from Late-Glacial sediment of Rogers Lake. *Science*, 145 (3638):1.293-1.295, 1964.
- <sup>22</sup> GRIMM, E. C. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 131:13-35, 1987.
- <sup>23</sup> Preconizados por CAMPOS, A. C. de. & LABOURIAU, L. G. Corpos Silicosos de Gramíneas do Cerrado II. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 4:143-151, 1969 e PIPERNO, D. *Op. cit.*
- <sup>24</sup> CARNELLI, A. L. *et al.* Aluminum in the opal silica reticule of phytoliths: a new tool in palaeoecological studies. *American Journal of Botany*, 89(2):346-351, 2002.
- <sup>25</sup> MADELLA, M.; ALEXANDRE, A. & BALL, T. *Op. cit.*

wares *Tilia* e *Tilia Graph View* para a confecção de diagramas de concentração relativa (%), concentração absoluta (grãos/cm<sup>3</sup>) e taxa de acumulação polínica (grãos/cm<sup>2</sup>/ano<sup>21</sup>). 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<sup>22</sup> com base em todos os táxons, exceto os tipos indeterminados. A nomenclatura dos táxons de angiospermas foi baseada no sistema de classificação APGII.

### Extração, identificação e contagem de fitólitos

A extração foi realizada adaptando-se os procedimentos conhecidos na literatura como *dry ashing*<sup>23</sup>, e ao final do processo foi obtido o material residual contendo os fitólitos (cinzas). Esse material foi pesado e armazenado com identificação para repositório. Foram montadas lâminas temporárias (com óleo de imersão) para a contagem e descrição dos fitólitos conforme Carnelli *et al.*<sup>24</sup> A identificação e classificação taxonômica seguiram o Código Internacional de Nomenclatura de Fitólitos – ICPN 1.0.<sup>25</sup> Os morfotipos foram fotografados em microscópio óptico com magnificação de 63X e medidos em µm.

## Resultados e interpretações

### Dinâmica da vegetação

Plantas coletadas nos campos, nos ecótonos floresta-campo e no entorno da Lagoa do Macuco (figura 1 e quadro 1) foram analisadas com relação aos valores de δ<sup>13</sup>C e os resultados indicaram o predomínio de plantas C<sub>3</sub>: árvores, gramíneas e ciperáceas, com valores entre -36‰ e -25‰.

Na tabela 1 se observam as datações realizadas nas amostras de fração húmica em diferentes profundidades do Argissolo do ponto MBT, com a idade mais antiga (~7.700 anos calibrados) na camada de 195cm, a mais recente (~2.800 anos calibrados) na camada de 45cm, e no solo abaixo do horizonte espódico do Espodossolo do ponto NG1/1, com idade de ~16.000 anos calibrados.

Os resultados de δ<sup>13</sup>C da matéria-orgânica do solo da figura 2 indicam o predomínio de plantas de ciclo fotossintético C<sub>3</sub> durante os últimos ~16.000 anos nos pontos localizados sob vegetação de floresta de tabuleiros e nos ecótonos campo-floresta. Com base nesses resultados, pode-se inferir um clima regional suficientemente úmido para a manutenção da cobertura florestal durante os últimos 16 mil anos. De acordo com estudos paleoambientais desen-

<sup>26</sup> LEDRU, M. P. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research*, 39: 90-98, 1993.  
 PESSENDA, L. C. R. et al. The use of carbon isotopes (<sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C) in soil... *Op. cit.*  
 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*, 62:183-193, 2004.  
 PESSENDA, L. C. R. et al. Holocene palaeoenvironmental reconstruction in northeastern Brazil inferred from pollen, charcoal and carbon isotope records. *The Holocene*, 15(6):814-822, 2005.

volvidos em várias regiões do Brasil<sup>26</sup>, o clima apresentou-se mais seco (ou menos úmido) do que o atual entre o Holoceno inferior e médio, o que determinou a expansão dos campos e cerrados, para em seguida tender a mais úmido, similar ao atual. Com base nessas considerações, infere-se que provavelmente a região estudada foi um eventual refúgio florestal em parte do Holoceno.

Tabela 1: Resultados das datações realizadas na matéria-orgânica do solo (humina) dos 3 pontos no MBT e 1 no NG1/1

Código do laboratório	Material	Profundidade (cm)	Idade ± erro (anos A.P.)	Idade calibrada (anos cal. A.P.; 2σ)
UGAMS4270	Humina	40-50	2720 ± 25	2860-2764
UGAMS4271	Humina	90-100	6240 ± 30	7254-7154
UGAMS4272	Humina	190-200	6960 ± 30	7856-7696
UGAMS8195	Humina	350-360	13280 ± 60	16685-15461

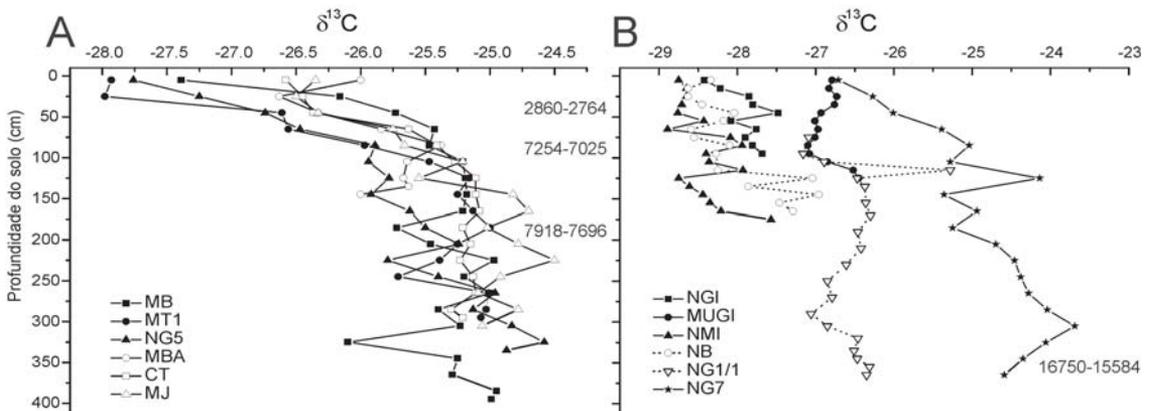


Figura 2: Variação do δ<sup>13</sup>C nos perfis de solo estudados e idades da matéria-orgânica; (A) pontos em vegetação florestal; (B) pontos nos ecótonos campo-floresta

PESSENDA, L. C. R. et al. Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297: 597-608, 2010.  
 FREITAS, H. A. et al. Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. *Quaternary Research*, 55: 39-56, 2001.  
 BEHLING, H. Investigations into the Late Pleistocene

As análises isotópicas realizadas no ponto NF (figura 3), localizado em área de campo arborizado com solo bastante úmido e camada turfosa em superfície, indicam o predomínio de plantas C<sub>3</sub> durante os últimos 6.000 anos, com valores variando entre -28‰ e -26‰. Tendência para valores mais enriquecidos é observada nas profundidades entre 34 e 20cm, sendo relativamente concordante com maiores porcentagens de gramíneas observadas nas amostras entre 32 e 26cm.

A palinologia desse ponto indica mudanças significativas de vegetação ao longo dos últimos 6.000 anos. As plantas herbáceas dominam as amostras entre 50 e 10cm de profundidade, com porcentagens entre 40% e 60% do total de





As análises isotópicas e palinológicas realizadas no testemunho sedimentar coletado no ponto MAC-C (figura 4) foram amplamente discutidos em Buso Junior *et al.*<sup>28</sup>. Seus resultados permitiram estudar a influência das flutuações do nível-relativo marinho holocênico na formação e no desenvolvimento de estuário no atual vale do rio Barra Seca entre 7.700-3.000 anos atrás, colonizado por extensa vegetação de manguezal no período entre 7.700 e 7.000 anos.

Em relação à vegetação florestal, a presença constante de grãos de pólen de espécies típicas de floresta de tabuleiros durante os últimos 7.700 anos no sedimento da Lagoa do Macuco sugere a continuidade da cobertura florestal na região de Linhares durante esse período. Frequências mais elevadas de esporos de Cyatheaceae, por sua vez, sugerem um período de clima mais úmido no intervalo entre 7.000 e 4.000 anos atrás, provavelmente relacionado com a intensificação do sistema de monções de verão da América do Sul.<sup>29</sup> Importante ressaltar a ocorrência de grãos de pólen de espécies cuja distribuição geográfica atual é disjunta entre a Amazônia e a Mata Atlântica (*Bonnetia*, *Glycydendron*, *Rinorea*, *Senefeldera*, *Symphonia*, *Borismene* e *Macoubea*), o que sugere que uma conexão pretérita entre esses dois biomas florestais, já mencionada por outros autores<sup>30</sup>, tenha ocorrido há pelo menos 7.700 anos atrás.

### *Dinâmica dos manguezais e fonte de matéria orgânica na planície deltaica do rio Doce*

A análise das estruturas e tamanho das partículas sedimentares, além de dados geoquímicos e polínicos do testemunho da planície deltaica do rio Doce (testemunho Li-32, figura 1), revelaram mudanças no sistema deposicional e na vegetação causadas pela ação combinada de oscilações do NRM e aporte de sedimentos arenosos durante o Holoceno. Os dados indicam a presença de um sistema lagunar rodeado por planície de maré colonizada por manguezais e sua matéria orgânica sedimentar proveniente de plantas C<sub>4</sub> (ervas), com influência marinha entre ~8.050 e ~7.115 cal anos AP, como pode ser observado na figura 5 (zona B).

No diagrama binário com resultados de  $\delta^{13}\text{C} \times \text{C/N}$  extraídos do testemunho coletado em uma região mais central da planície deltaica do rio Doce<sup>31</sup>, foi confirmada a mudança da fonte de matéria orgânica, que, durante a fase lagunar, apresentou influência de plantas C<sub>4</sub> (~8.050 até ~7.115 anos cal AP), enquanto que nas fases subsequentes, com a formação do lago (~7.115 anos cal AP) e da planície herbácea (~3.274 anos cal AP), houve a influência de ma-

<sup>28</sup> BUSO Jr., A. A. *et al.* Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate dynamics and Amazonian taxa at Atlantic Rainforest – Linhares, ES, southeastern Brazil. *Radiocarbon*, 55(2-3):1.747-1.762, 2013.

BUSO Jr., A. A. *et al.* From an estuary to a freshwater lake: a paleo-estuary evolution in the context of Holocene sea-level fluctuations, southeastern Brazil. *Radiocarbon*, 55(2-3):1.735-1.746, 2013.

<sup>29</sup> BUSO Jr., A. A. *et al.* Late Pleistocene and Holocene vegetation... *Op. cit.*

<sup>30</sup> Como MORI, S. A. & PRANCE, G. T. The “sapucaia” group of *Lecythis* (Lecythidaceae). *Brittonia* 33(1):70-80, 1981.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. & RATTER, J. A. A study of the origin of Central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburgh Journal of Botany*, 52(2):141-194, 1995.

COSTA, L. P. The historical bridge between the Amazon and the Atlantic Forest of Brazil: a study of molecular phylogeography with small mammals. *Journal of Biogeography*, 30:71-86, 2003.

SANTOS, A. M. *et al.* Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. *Journal of Biogeography*, 34:437-446, 2007.

<sup>31</sup> FRANÇA, M. C. *et al.* Mangrove vegetation changes on Holocene terraces... *Op. cit.*

téria orgânica proveniente de misturas entre carbono orgânico dissolvido marinho/fluviial e plantas C<sub>3</sub>, respectivamente (figura 6).

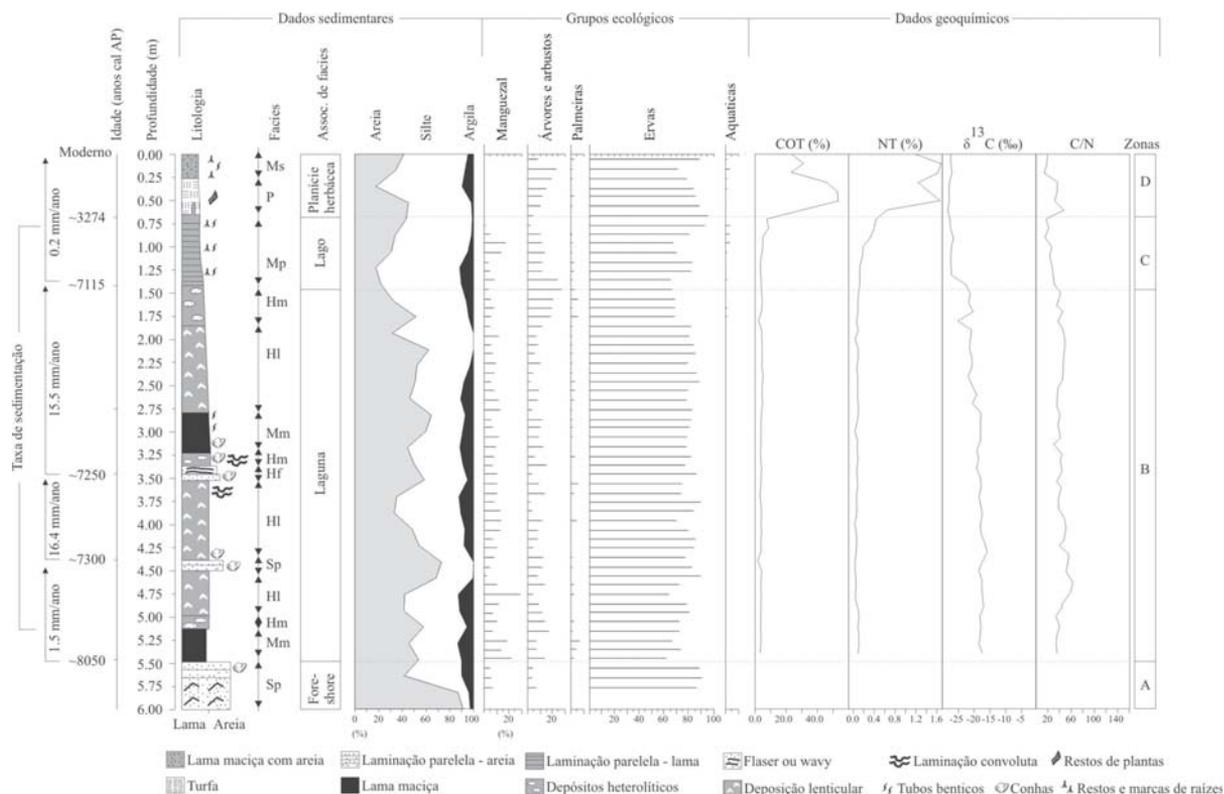


Figura 5: Síntese dos resultados do testemunho Li-32: datações <sup>14</sup>C, litologia sedimentar, análise polínica com os grupos ecológicos e variáveis geoquímicas, onde após ~3.043 anos cal AP os manguezais desapareceram do local. COT- Carbono Orgânico Total, NT- Nitrogênio Total, C- Carbono, N- Nitrogênio<sup>32</sup>

<sup>32</sup> FRANÇA, M. C. et al. Mangrove vegetation changes on Holocene terraces of the Doce River, southeastern Brazil. *CATENA*, 110:59-69, 2013.

<sup>33</sup> MARTIN, L. & SUGUIO, K. *Op. cit.*

<sup>34</sup> 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*, 19:101-124, 2003.

<sup>35</sup> FRANÇA, M. C. *Op. cit.*

Conforme o estudo realizado por Martin & Suguio<sup>33</sup> durante o Holoceno médio, quase todos os sedimentos fornecidos pelo rio Doce foram mantidos dentro de grandes lagoas localizadas atrás de uma ilha barreira. Isso ocorreu devido ao aumento no NRM durante o início e meados do Holoceno<sup>34</sup>, resultando posteriormente na formação de lagoas com o respectivo preenchimento por sedimentos continentais<sup>35</sup>. Atualmente, a área central da planície deltáica do rio Doce é caracterizada pela presença de cordões arenosos e planícies herbáceas com sedimentos finos a arenosos<sup>36</sup>; os manguezais encontram-se restritos às regiões de maior influência marinha, próximos às cidades de São Mateus e Barra Nova.

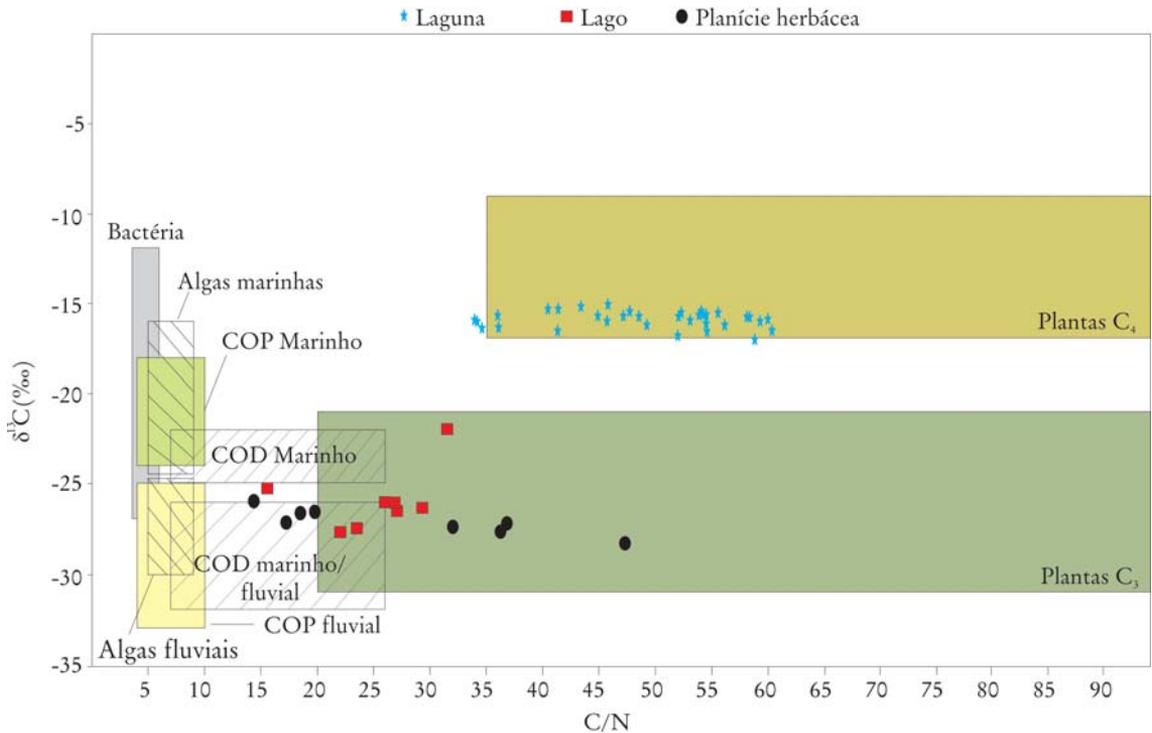


Figura 6: Diagrama binário com a relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N, que define a fonte de matéria orgânica durante as fases de evolução do ambiente costeiro na planície deltaica do rio Doce. Os resultados apresentam para a fase lagunar uma influência de plantas  $\text{C}_4$ , enquanto que as fases subsequentes apresentam uma mistura entre matéria orgânica fluvial/marinha e plantas  $\text{C}_3$ . COP - Carbono Orgânico Particulado, COD - Carbono Orgânico Dissolvido<sup>37</sup>

<sup>36</sup> FRANÇA, M. C. *et al.* Mangrove vegetation changes on Holocene terraces... *Op. cit.*

<sup>37</sup> FRANÇA, M. C. *et al.* Mangrove vegetation changes on Holocene terraces... *Op. cit.*

<sup>38</sup> FRANÇA, M. C. *et al.* Mangrove vegetation changes on Holocene terraces... *Op. cit.*

Durante o Holoceno médio e superior, os manguezais acompanharam a regressão marinha, migrando das regiões mais internas do delta do rio Doce para o litoral norte da planície deltaica. Durante esta fase, o desenvolvimento de um ambiente lacustre foi seguido pela colonização de ervas, árvores e arbustos. A deposição sedimentar contínua resultou na colmatagem da bacia central, permitindo a expansão de uma planície herbácea, como pode ser observado atualmente.<sup>38</sup> Esta evolução geomorfológica e a dinâmica da vegetação estão de acordo com o nível máximo do NRM ocorrido durante o Holoceno médio (~6.500-5.500 anos cal AP), com posterior queda até o presente.

Resultados extraídos de testemunhos sedimentares mais internos, em direção ao continente, como o Li24 e MAC-C (figura 1, quadro 1), a cerca de 15 e 23km da costa, respectivamente, também apresentaram períodos de maior influência marinha durante o intervalo em torno de 7.200 a

- <sup>39</sup> BUSO Jr., A. A. *et al.* From an estuary to a freshwater lake: a paleo... *Op. cit.*  
COHEN, M. C. L. *et al.* Landscape evolution during the late Quaternary at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Southeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415(2014)48-58.  
LORENTE, F. L. *et al.* Paly-nofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): depositional settings and palaeo-environmental evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415 (2014)69-82.
- <sup>40</sup> BUSO Jr., A. A. *et al.* From an estuary to a freshwater lake: a paleo... *Op. cit.*  
COHEN, M. C. L. *et al.* Landscape evolution during the late Quaternary. *Op. cit.*  
LORENTE, F. L. *et al.* Paly-nofacies and stable C and N isotopes of... *Op. cit.*

5.250 anos cal AP<sup>39</sup>, que permitiu o aumento da densidade dos manguezais durante o Holoceno médio. Atualmente, os setores mais internos da planície deltaica do rio Doce são colonizados por árvores/arbustos e vegetação herbácea, influenciados por matéria orgânica de origem continental e água doce, com total extinção dos manguezais.<sup>40</sup>

### *Solos do ecótono campo-floresta*

#### Características físico-químicas

Os solos com vegetação de gramíneas e floresta mostraram características morfológicas distintas (quadro 2). O solo da área de gramíneas apresentou horizonte A e E alábico seguido do horizonte B espódico cimentado com estrutura maciça extremamente dura (ortstein). Neste ambiente, os horizontes caracterizaram-se por cores escuras (valor e croma baixo), exceto no horizonte E, com croma elevado. De forma semelhante, as cores do solo (Argissolo) de vegetação florestal são escuras nos horizontes superficiais (valor e croma baixo) e acinzentadas nos subsuperficiais (valor elevado) característico do processo de gleização. Nos campos gramíneos a estrutura variou de grão simples nos horizontes superficiais e E, a maciça com blocos subangulares no B espódico, ao passo que, sob vegetação florestal, variou de granular nos horizontes superficiais a blocos subangulares nos subsuperficiais.

A granulometria dos solos nos dois ambientes foi distinta (quadro 3). No solo com gramíneas a textura variou de areia nos horizontes superficiais (981 g kg<sup>-1</sup> de areia) a franco arenosa nos horizontes subsuperficiais (751 g kg<sup>-1</sup> de areia), enquanto no solo sob floresta a textura variou de média nos horizontes superficiais (774 g kg<sup>-1</sup> de areia) a argilosa nos subsuperficiais (284 g kg<sup>-1</sup> de areia). Nos dois solos houve predomínio da areia fina, com pouca variação em profundidade da relação areia fina/areia total, indicando não haver descontinuidade litológica. Ainda, no solo de floresta, verifica-se acúmulo nos horizontes subsuperficiais de argila e silte.

Na área de gramíneas, o acúmulo de carbono orgânico e alumínio nos horizontes subsuperficiais, bem como o maior valor de saturação por bases nos horizontes superficiais, foram os principais atributos químicos que o diferiram do solo de floresta (quadro 4). Ambos os solos são de baixa fertilidade e elevada acidez e saturação por alumínio. Destacam-se no solo sob a floresta elevados teores de carbono orgânico e de fósforo nos horizontes superficiais.

Quadro 2: Principais atributos morfológicos de solos desenvolvidos na interface campo-floresta no nordeste do Espírito Santo

Horiz.	Prof. cm	Cor Munsell		Estrutura <sup>a</sup>	Consistência			Transição <sup>e</sup>
		Úmida	Seca		Seca <sup>b</sup>	Úmida <sup>c</sup>	Molhada <sup>d</sup>	
Perfil em área gramínoide - Altitude 29 m								
A1	0-16	10YR 4/1	10YR 5/1	Gs	S	S	Npl, Npj	PC
A2	16-22	10YR 4/1	10YR 5/1	Gs	S	S	Npl, Npj	PC
E	22-91	10YR 8/1	10YR 8/1	Gs	S	S	Npl, Npj	OA
Bm	91-93	10YR 4/1	10YR 5/2	Maciça	Ed	Mf	Npl, Lpj	PA
Bhsm	93-111	10YR 3/1	10YR 3/2	Maciça	D	Fm	Npl, Lpj	PA
Bhs	111-128 <sup>+</sup>	2,5Y 2,5/1	2,5Y 2,5/1	Mod, P, Bs	Mc	Fv	Npl, Npj	-
Perfil em área de floresta - Altitude 17 m								
A1	0-15	10YR 2/2	10YR 3/1	Mod, P, G	LD	Fm	Lpl, Lpj	PC
A2	15-34	10YR 2/1	10YR 3/2	Mod, P, G	LD	Fm	Lpl, Lpj	PC
A3	34-58	2,5Y 3/3	2,5Y 4/3	Mod, P, Bs	D	Fm	Npl, Npj	PC
A4	58-73	2,5Y 3/2	2,5Y 5/3	Mod, P, Bs	LD	Fv	Lpl, Npj	PC
A5	73-100	2,5Y 3/2	2,5Y4/2	Mod, P, Bs	LD	Fv	Lpl, Npj	PC
Bg1	100-129	2,5Y 8/3	2,5Y 8/2	Mod, P, Bs	D	Fm	Pl, Pj	PA
Bg2	129-150	2,5Y 8/3	2,5Y8/2	Mod, P, Bs	D	Fm	Pl, Pj	PC
Bg3	150-182 <sup>+</sup>	2,5Y 8/3	2,5Y 8/2	Mod, P, Bs	D	Fm	Pl, Pj	-

(<sup>a</sup>) Estrutura: (Mod: moderada; P: pequena; G: grande; Gs: grão simples; Bs: bloco subangular; G: granular). (<sup>b</sup>) Consistência no estado seco: (S: solta; Mc: macia; Ld: ligeiramente dura; D: dura; Ed: extremamente dura). (<sup>c</sup>) Consistência no estado úmido: (S: solta; Fv: friável; Mf: muito friável; Fm: firme). (<sup>d</sup>) Consistência no estado molhado: (Npl: não plástica, Pl: plástica; Lpl: ligeiramente plástica; Npj: não pegajosa, Lpj: ligeiramente pegajosa e Pj: pegajosa). (<sup>e</sup>) Transição: (PA: plana e abrupta; PC: plana e clara; OA: ondulada e abrupta).

<sup>41</sup> OLIVEIRA, A. P. *et al.* Spodosols pedogenesis under Barreiras Formation and sandbank environments in the south of Bahia. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 34(3):847-860, 2010.

COELHO, M. R. *et al.* Relação solo-relevo-substrato geológico nas restingas da planície costeira do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3):833-846, 2010.

SCHIAVO, J. A. *et al.* C. Characterization and classification of soils in the Taquari river basin – Pantanal

A natureza essencialmente arenosa do solo com vegetação de gramínea e sua baixa fertilidade natural fizeram com que a matéria orgânica depositada em superfície fosse removida para as camadas mais profundas, sendo complexada com o alumínio presente no sistema, formando o horizonte subsuperficial espódico cimentado característico do processo pedogenético de podzolização.<sup>41</sup> Segundo os autores dessa demonstração, a profundidade do horizonte B espódico é governada pela atividade do lençol freático e os solos com o intenso processo de podzolização são denominados de Espodosolos.<sup>42</sup> De acordo com Farmer *et al.*<sup>43</sup>, a cimentação ocorre devido à reação entre grãos de quartzo e compostos orgânicos.

Quadro 3: Atributos físicos de solos desenvolvidos na interface campo-floresta no nordeste do Espírito Santo

Horizonte	Profundidade	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Areia total	Areia Fina/ Areia total	Argila	Silte	Textura
	cm	g kg <sup>-1</sup>							
Perfil em área graminoide - Altitude 29m									
A1	0-16	131,00	380,27	470,06	981,33	0,5	3,55	15,12	Areia
A2	16-22	56,30	262,08	652,27	970,65	0,7	3,70	25,65	Areia
E	22-91	102,08	195,64	647,41	945,13	0,7	2,20	52,67	Areia Franca
Bm	91-93	204,39	170,57	376,46	751,42	0,5	8,70	239,88	Areia Franca
Bhsm	93-111	165,79	205,06	501,73	872,58	0,6	15,85	111,57	Franco Arenosa
Bhs	111-128 <sup>+</sup>	165,79	205,06	501,73	872,58	0,6	15,85	111,57	Franco Arenosa
Perfil em área de floresta - Altitude 17m									
A1	0-15	149,44	201,09	423,98	774,51	0,5	183,00	42,50	Média
A2	15-34	164,50	175,57	401,18	741,25	0,5	214,00	44,76	Média
A3	34-58	184,79	149,93	373,61	708,33	0,5	261,50	30,18	Média
A4	58-73	195,12	146,84	390,71	732,67	0,5	245,50	21,84	Média
A5	73-100	198,26	139,93	394,53	732,72	0,5	255,00	12,29	Média
Bg1	100-129	36,59	49,16	105,27	191,02	0,6	430,00	378,99	Argilosa
Bg2	129-150	20,19	42,09	105,95	168,23	0,6	486,50	345,28	Argilosa
Bg3	150-182 <sup>+</sup>	45,25	82,83	156,61	284,69	0,6	365,50	349,81	Argilosa

region, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (3):697-707, 2012.

<sup>42</sup> EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Projeto RADAMBRASIL). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 2013. 306 p.

<sup>43</sup> FARMER, V. C.; RUSSEL, J. D. & SMITH, B. F. L. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a Podzol Bs horizon. *Journal of Soil Science*, 34:571-576, 1983.

### *Hipótese preliminar para a evolução dos Espodosolos e sua influência na dinâmica da vegetação*

Com a gênese do horizonte B espódico (cimentado) a água de precipitação infiltra-se nos horizontes superficiais A e E, e se acumula no horizonte subsuperficial B espódico com cimentação (Bhsm), formando na maior parte do ano o denominado lençol freático suspenso. Dessa maneira, pode-se especular que a baixa fertilidade natural, o impedimento físico (cimentação) e a presença do lençol freático próximo à superfície do solo são fatores limitantes para o desenvolvimento vegetal; apenas espécies adaptadas a estas condições, como as gramíneas, e mais especificamente as C<sub>3</sub>, conseguem se estabelecer.

Na área de floresta tem-se a presença de Argissolos, solos com atributos morfológicos, físicos e químicos distintos dos Espodosolos, que não limitam o crescimento e a diversidade de espécies vegetais. No entanto, pode-se inferir que a presença do lençol freático no solo (gleização nos horizontes subsuperficiais) com vegetação de porte elevado (floresta, por exemplo), promoveria a destruição das argilas (378 g kg<sup>-1</sup> de argila horizonte Bg1), no processo denomi-

nado de acidólise, que torna o substrato mais arenoso. Numa etapa posterior, a matéria orgânica movimentada-se no perfil do solo (eluviação) formando complexos com alumínio, dando início à gênese do horizonte B espódico. Com a restrição imposta pela formação do horizonte cimentado, a vegetação de mata seria substituída pela vegetação de gramínea.

Quadro 4: Principais atributos químicos de solos desenvolvidos na interface do campo e floresta no nordeste do Espírito Santo

Horiz.	Prof. cm	COT g kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P mg kg <sup>-1</sup>	SB	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	T	V	M
					cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				%	
Perfil em área gramíneoide - Altitude 29 m										
A1	0-16	8,02	4,20	4,52	0,71	4,60	0,90	6,21	11,42	14,49
A2	16-22	2,30	4,48	4,85	1,11	2,70	0,60	4,41	25,23	13,59
E	22-91	1,82	5,21	0,00	0,72	1,00	0,20	1,92	37,36	10,44
Bm	91-93	7,24	4,17	0,00	0,41	9,30	1,50	11,21	3,68	13,38
Bhsm	93-111	35,20	3,83	0,00	0,81	48,60	7,60	57,01	1,43	13,33
Bhs	111-128+	33,90	3,88	1,88	1,41	43,80	5,80	51,01	2,77	11,37
Perfil em área de floresta- Altitude 17 m										
A1	0-15	58,52	4,47	13,30	0,40	9,60	2,50	12,50	3,20	13,79
A2	15-34	38,05	4,69	11,49	0,70	12,60	2,40	15,70	4,46	22,58
A3	34-58	58,75	4,88	7,54	0,40	21,40	3,00	24,80	1,61	11,76
A4	58-73	48,67	5,01	5,89	0,40	16,30	1,90	18,60	2,15	17,39
A5	73-100	36,96	5,02	6,47	0,40	12,70	1,80	14,90	2,68	18,18
Bg1	100-129	16,38	4,96	4,00	0,50	6,30	1,70	8,50	5,88	22,73
Bg2	129-150	17,19	4,95	4,06	0,50	4,60	2,00	7,10	7,04	20,00
Bg3	150-182+	21,05	4,93	4,65	0,40	4,50	1,50	6,40	6,25	21,05

COT= carbono orgânico total; SB= soma de bases trocáveis (Ca+Mg+K+Na); T= CTC do solo (SB+H+Al); m= saturação por alumínio; V=saturação por bases

### *Coleção de referência de fitólitos*

Foram coletadas 44 espécies subdividas em três estratos de vegetação. Nos estratos herbáceo e arbustivo foram analisadas 20 espécies (incluindo as palmeiras), enquanto no estrato arbóreo foram 24. Nos estratos herbáceo e arbustivo foram encontradas espécies de Poaceae, Cyperaceae, Pteridophyteae, Arecaceae e Marantaceae (quadro 5). Constatou-se que todas as 23 amostras das 20 espécies são produtoras de fitólitos identificáveis, isto é, morfotipos com significado taxonômico pelo menos em nível de família; algumas espécies apresentaram maior diversidade de morfotipos, como é o caso das Cyperaceae e Poaceae.

Quadro 5: Produção de fitólitos por espécies dos estratos herbáceo e arbustivos da floresta no ponto MB da Reserva Natural Vale

Família	Nome científico	Nome vulgar	Partes da Planta*	Produção de fitólitos**
Arecaceae	<i>Astrocaryum aculeatissimum</i> (Schott) Burret	Brejaúba	F	●●●
	<i>Allagoptera arenaria</i> (Gomes) Kuntze	Guriri	F	●●●
	<i>Attalea humilis</i> Mart.	Pindoba	F	●●
	<i>Bactris bahiensis</i> Noblick ex A. J. Hend.	Piririma	F	●●●
	<i>Bactris caryotifolia</i> Mart.	Coqueirinho	F	●●●
	<i>Bactris vulgaris</i> Barb. Rodr.	Tucum preto	F	●●
	<i>Geonoma rodeiensis</i> Barb. Rodr.	Aricanga marrom avermelhada	F	●●●
	<i>Geonoma elegans</i> Mart.	Aricanga de bengala	F	●●●
	<i>Polyandrococos caudescens</i> (Mart.) Barb. Rodr.	Palmito amargo	F	●●●
	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Palmito doce	F	●●●
	<i>Archontophoenix cunninghamii</i> H. Wendl. & Drude***	Palmeira seafórtia	F	●●●
	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.***	Açaí	F	●●●
Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	Barba de velho	F	●
	<i>Bromelia laciniosa</i> Mart. ex Schult. & Schult.f***	Gravatá da muçununga	F	●●
Cyperaceae	<i>Cyperus distans</i> L.	Tiririca de metro	T	●●
			R	●●●
			S/Fl	●●
	<i>Becquerelia cymosa</i> Brongn.	Tiririca gigante	F	●●●
			Fl	●●●
	<i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl.) Roem. & Schult.	Junco	F	●●●
<i>Eleocharis</i> sp.	---	F	●●●	
Marantaceae	<i>Calathea</i>	Caeté arroxçada	F	●●●
	<i>Maranta subterranea</i> J. M. A. Braga	Caeté rasteira	F	●●●
	<i>Sarantbe composita</i> (Link) K. Schum.***	Caeté coroa	F	●●
Poaceae	<i>Olyra latifolia</i> L.	Taquara orelha	F	●●
			T	●●
Pteridophyteae	<i>Adiantum</i> sp. A	---	F	●●
	<i>Adiantum</i> sp. B	Samambaia preta	F	●●●

\* F = folha; Fl = flores; R = raízes; T = talos e S = sementes

\*\* Produção de fitólitos: ausência (+) Rara: < 10 fitólitos a cada três linhas por lâmina (-); Pouca: 10 – 100 (●); Média: 100 – 300(●●); Abundante: >300 (●●●)

\*\*\* Local próximo ao ponto de coleta.

De modo geral, todas as famílias produziram boa quantidade de cinzas e de fitólitos identificáveis. Entre as Pteridophyteae, *Adiantum* sp. A apresentou muitos esporos

na lâmina e uma produção média de fitólitos, diferentemente de *Adiantum* sp. B, que não apresentou esporos e cujo número de fitólitos produzidos foi considerado abundante (>300 fitólitos por lâminas). Entre as espécies de *Areaceae*, *Attalea humilis* foi a única a apresentar uma produção média de fitólitos, pois em todas as demais a produção foi classificada como abundante (quadro 5). O morfotipo *globular echinate*, assim como na literatura corrente, foi identificado como o morfotipo diagnóstico de *Areaceae*. Variações foram observadas quanto à cor, tamanho e grau de esfericidade neste morfotipo (figura 7).

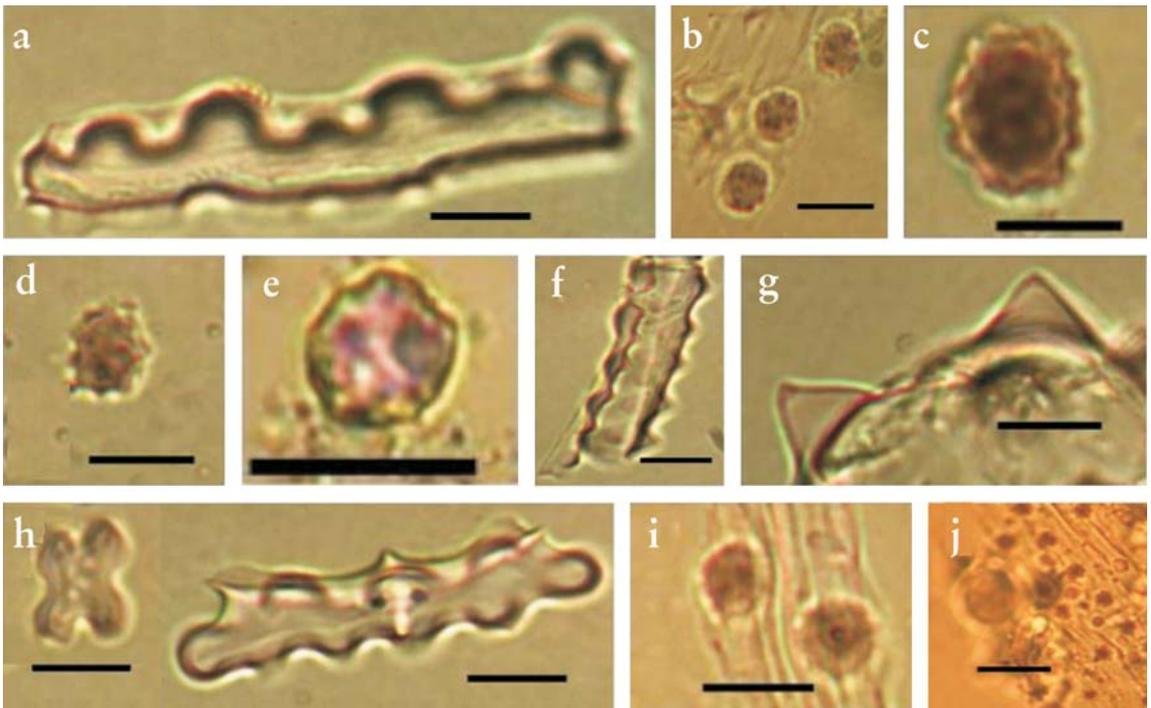


Figura 7: Microfotografias dos principais morfotipos de fitólitos produzidos pelas espécies dos estratos herbáceo e arbustivo da floresta ombrófila densa das terras baixas (floresta de tabuleiros) da Reserva Natural Vale. **Areaceae** (*globular echinate*): a) *Bactris vulgaris*; b) *Astrocaryum aculeatissimum*; c) *Geonoma elegans*; d) *Polyandrococos caudencens*; **Bromeliaceae** (*globular verrucate*): e) *Tillandsia usneoides*; **Cyperaceae**: f) *Cyperus distans*; g) *Becquerelia cymosa*; **Poaceae**: h) *Olyra latifolia*; **Pteridophyteae**: i) *Adiantum* sp. A; **Marantaceae**: j) *Maranta subterranea*. (Escala: 10  $\mu$ m)

As amostras de algumas espécies foram separadas em partes (folha, talo, semente, flor e raiz) para a extração de fitólitos, a exemplo de *Olyra latifolia* (*Poaceae*) e *Cyperus distans* (*Cyperaceae*). A primeira não apresentou diferença significativa na produção de fitólitos, sendo classificada co-

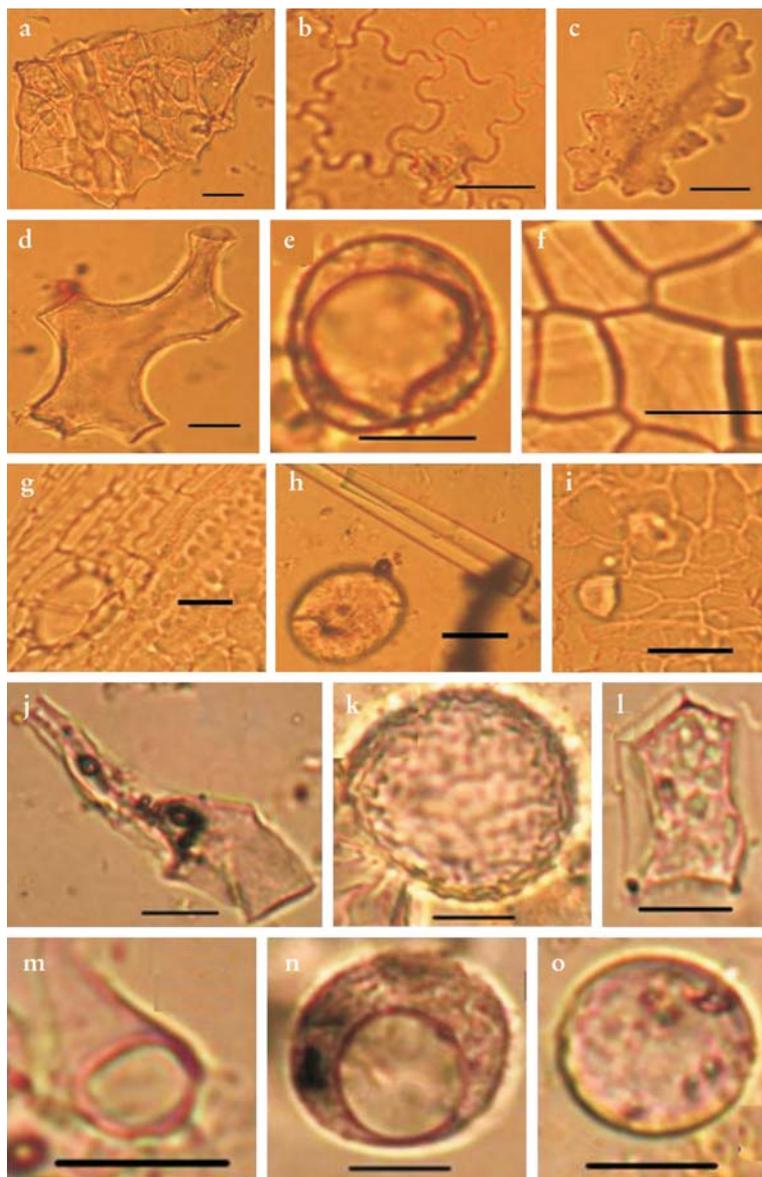
mo média tanto na folha como no talo. Em *C. distans* a produção foi abundante nas folhas e raízes e média nas demais partes (quadro 5). De modo geral, as espécies de Cyperaceae são reconhecidas como grandes produtoras de fitólitos<sup>44</sup>, como encontrado nas três espécies analisadas.

<sup>44</sup> PIPERNO, D. *Op. cit.*

Quadro 6: Produção de fitólitos pelas espécies do estrato arbóreo da floresta, ponto MB da Reserva Natural Vale

Família	Nome científico	Nome vulgar	Produção de fitólitos*
Anacardiaceae	<i>Spondias macrocarpa</i> Engl.	Cajá mirim	●●
Bombacaceae	<i>Eriotheca macrophylla</i> (K. Schum.) A. Robyns	Embiruçu	●
	<i>Quararibea penduliflora</i> (A. St. Hil.) K. Schum.	Poleiro de macuco	●●
Burseraceae	<i>Protium warmingianum</i> Marchand	Amescla branca	●●●
Combretaceae	<i>Terminalia kublmannii</i> Alwan & Stace	Pelada	●●●
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum affine</i> A. St. -Hil.	Epadu amarelo	●●
Fabaceae	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	Jataipeba	●●
	<i>Hymenaea rubriflora</i> Ducke var. <i>rubriflora</i>	Jatobá vermelho	●●●
	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A. M. G. Azevedo & H. C. Lima	Óleo amarelo	●●
	<i>Melanoxylon brauna</i> Schott	Braúna preta	●●●
	<i>Moldenbawera papillanthera</i> L. P. Queiroz, G. P. Lewis & R. Allkin	Caingá	●●
Flacourtiaceae	<i>Carpotroche brasiliensis</i> (Raddi) Endl.	Sapucainha	●●●
Lauraceae	<i>Ocotea prolifera</i> (Nees & Mart.) Mez	Imbuia cheirosa	●●●
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	Imbiriba	●●
Meliaceae	<i>Trichilia lepidota</i> subsp. <i>schumanniana</i> (Harms) T. D. Penn.	Casca cheirosa	●●
Moraceae	<i>Ficus gomelleira</i> Kunth & C. D. Bouché	Mata pau	●●●
	<i>Sorocea guilleminiana</i> Gaudich.	Folha de serra	●●●
Myristicaceae	<i>Virola gardneri</i> (A. DC.) Warb.	Bicuíba	●●
Myrtaceae	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Grumixama da mata	+
	<i>Plinia involucrata</i> (O. Berg) McVaugh.	Jambre	+
Sterculiaceae	<i>Sterculia speciosa</i> Ducke	Imbira quiabo	+
	<i>Pterygota brasiliensis</i> Allemão	Farinha seca ou Pau rei	●●
Violaceae	<i>Amphirrhox longifolia</i> (A. St.-Hil.) Spreng	Capitão branco	+
	<i>Rinorea bahiensis</i> (Moric.) Kuntze	Tambor	●●

\* Produção de fitólitos: ausência (+); Rara: < 10 fitólitos a cada três linhas por lâmina (-); Pouca: 10 – 100 (●); Média: 100 – 300(●●); Abundante: >300 (●●●).



<sup>45</sup> RAITZ, E. *Coleção de Referência de Silicofitólitos da Flora do Sudoeste do Paraná: Subsídios para Estudos Paleambientais*. Dissertação de Mestrado – Francisco Beltrão: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, 2012. 204 p.

<sup>46</sup> ROVNER, I. Potential of Opal Phytolith for use in Paleocological Reconstruction. *Quaternary Research*, 1:343-359, 1971.

Luiz Carlos Ruiz Pessenda é físico, doutor em Solos e Nutrição de Plantas e professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, responsável pelo Laboratório C-14 CENA/USP.

pessenda@cena.usp.br

Antônio Álvaro Buso Junior é biólogo, mestre e doutorando em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo.

aabusoc@cena.usp.br

Marcelo Cancela Lisboa Cohen é geólogo, doutor em Ecologia Marinha Tropical e professor da Universidade Federal do Pará.

mcohen@ufpa.br

Figura 8: Microfotografias dos principais morfotipos de fitólitos produzidos por espécies dos estratos herbáceo e arbustivo da floresta ombrófila densa de terras baixas (floresta de tabuleiros) da Reserva Natural Vale. **Bombacaceae:** a) *Eriotheca macrophylla*; **Flourourtiaceae:** b) *Carpatroche brasiliensis*; **Lecythidaceae:** c) *Eschweilera ovata*; **Marantaceae:** d) *Calathea*; **Meliaceae:** e) *Trichilia lepidota* subsp. *Schumanniana*; **Moraceae:** f) *Ficus gomelleira*; g) *Sorocea guillermiana*; **Myristicaceae:** h) *Virola gardneri*; **Sterculiaceae:** i) *Pterygota brasiliensis*; j) *Hymenaea rubriflora* var. *rubriflora*; **(Fabaceae):** k) *Virola gardneri* (**Myristicaceae**); l) *Spondias macrocarpa* (**Anacardiaceae**); m) *Terminalia kuhlmannii* (**Combretaceae**); n-o) *Melanoxylon brauna* (**Fabaceae**). (Escala: 20  $\mu$ m)

**Márcia Regina Calegari** é geógrafa, doutora em Solos e Nutrição de Plantas e professora da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

marciareg\_calegari@hotmail.com

**Jolimar Antônio Schiavo** é agrônomo, doutor em Produção Vegetal e professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul.

schivo@uem.br

**Marlon Carlos França** é oceanógrafo, doutor em Geologia e Geoquímica e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará.

marlon.franca@ifpa.edu.br

**Flávio Lima Lorente** é biólogo, mestre em Geologia e doutorando em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo.

flimalorente@yahoo.com.br

**Paulo César Fonseca Giannini** é geólogo, doutor em Geociências e professor do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

pcgianni@usp.br

**Paulo Eduardo De Oliveira** é engenheiro agrônomo, PhD em Zoologia e Botânica e professor do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

paulo.deoliveira@usp.br

**Dilce de Fátima Rossetti** é geóloga, PhD em Ciências e pesquisadora titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

rossetti@dsr.inpe.br

**Geovane Souza Siqueira** é estudante de graduação em Ciências Biológicas pela Faculdade Pitágoras e curador do herbário da Reserva Natural Vale.

geovane.siqueira@vale.com

**Mariah Izar Francisquini** é bióloga, mestre e doutoranda em Ciências pela Universidade de São Paulo.

mariah@cena.usp.br

No estrato arbóreo foi realizada extração somente das folhas das 24 espécies de eudicotiledôneas, embora se tenha material lenhoso amostrado. A produção entre as espécies sintetizadoras de silício foi muito variada, sendo que quatro espécies não produziram fitólitos identificáveis, uma espécie teve sua produção classificada como pouca, onze espécies como média e oito como abundante (quadro 6). As maiores porcentagens de cinza foram obtidas para as espécies *Erythroxyllum affine* (Erythroxyllaceae), com 2,34% da massa inicial, seguida por *Sorocea guillermiana* (Moraceae), com 2,55%, e *Dialium guianense* (Fabaceae) com 2,54%. As demais espécies que apresentaram valores elevados foram *Rinorea brasiliensis* (Violaceae) com 1,87%, *Pterygota brasiliensis* (Sterculiaceae) com 1,34% e *Carpotroche brasiliensis* (Flacourtiaceae) com 1,55% da massa seca. No quadro 6 é possível observar que existe variação inter e intrafamiliar na quantidade de material recuperado e na produção de fitólitos. As demais espécies produziram <1% de cinza, porém a produção de fitólitos variou entre média (*Rinorea brasiliensis* e *Pterygota brasiliensis*) e abundante (*Sorocea guillermiana* e a *Carpotroche brasiliensis*).

As espécies que produziram pouca cinza (<1%), mas não apresentaram fitólitos identificáveis, foram *Eugenia brasiliensis* e *Plinia involucreta* (Myrtaceae), *Amphirrhox longifolia* (Violaceae) e *Sterculia speciosa* (Sterculiaceae). Entretanto, é conhecido que algumas espécies de Myrtaceae são produtoras de fitólitos, conforme encontrado por Raitz<sup>45</sup> na floresta ombrófila mista. Seguindo a concepção de que a produção de fitólito não apresenta relação direta com a quantidade de cinza obtida por família, foi constatado, como em *Sorocea guillermiana* (Moraceae), que espécies que produzem muita cinza (2,55%) também são excelentes produtoras de fitólitos; por outro lado, espécies como *Ficus gomelleira* (Moraceae) produziram apenas 0,34%, mas também apresentaram produção abundante de fitólitos (figura 8). A redundância e a multiplicidade, conforme descreve Rovner<sup>46</sup>, foram constatadas em relação aos morfotipos *globular*, encontrados em várias espécies e famílias de eudicotiledôneas, *elongates*, em várias famílias e partes de uma mesma planta, e *irregulars jigsaw puzzle-shaped* encontrados em pyteidophytae e algumas eudicotiledôneas.

## Conclusões

Com o emprego de isótopos de carbono (<sup>14</sup>C, <sup>13</sup>C, <sup>12</sup>C) e da palinologia, os estudos paleoecológicos conduzidos na área da Reserva Natural Vale, Linhares, Espírito

**Cecília Volkmer-Ribeiro** é naturalista com livre-docência pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e pesquisadora da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.  
cvolkmer1427@gmail.com

**José Albertino Bendassolli** é engenheiro químico, doutor em Ciências e professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.  
jab@cena.usp.br

**Marco Madella** é graduado em Ciências Naturais, PhD em Ciências Arqueológicas, professor do Instituto Catalão de Pesquisa e Estudos Avançados e pesquisador visitante da Universidade de São Paulo.  
marco.madella@icrea.cat

**Margarita Luisa Osterrieth** é geóloga, doutora em Ciências Naturais e professora da Universidade Nacional de Mar del Plata.  
mosterri@mdp.edu.ar

**Fernanda Aparecida Cecchet** é geógrafa, mestranda em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
fercechet@hotmail.com

**Paula Louise de Lima Felipe** é geógrafa, mestranda em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
paulinha0508@hotmail.com

**Lucas Tagliari Brustolin** é estudante de graduação em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.  
lucastb@hotmail.com

**Giliane Gessica Rasbold** é engenheira ambiental, mestranda em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá.  
grasbold@gmail.com

**Mayara dos Reis Monteiro** é engenheira ambiental, mestranda em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá.  
mayarareismonteiro@gmail.com

Santo, e em suas proximidades, sugerem que a cobertura vegetal se manteve com predomínio de plantas  $C_3$  desde aproximadamente 16 mil anos, em um clima predominantemente úmido. Estudos palinológicos indicam predomínio de vegetação florestal no entorno do rio Barra Seca e a presença de táxons com distribuição disjunta entre Amazônia e Mata Atlântica desde os últimos 7.700 anos, e permitiram a inferência de um intervalo de clima regional mais úmido, entre 7.000 e 4.000 anos. Os resultados obtidos no campo Nativo do Flamengo permitiram caracterizar a história da dinâmica da cobertura vegetal em uma área de campo e floresta, indicando alterações na vegetação nos últimos 6 mil anos, inicialmente dominada por gramíneas, depois por ciperáceas sob condições de maior umidade, para uma fisionomia mais fechada com maior presença de espécies arbustivas e arbóreas. Verificou-se também a influência da variação do nível-relativo marinho durante o Holoceno médio e superior no vale do rio Barra Seca e na planície deltaica do rio Doce, com o desenvolvimento de estuário e laguna, respectivamente, entre ~7.700 e 3.000 anos e ampla cobertura de vegetação de manguezal entre ~7.700 e 3.300 anos.

Inferiu-se que a baixa fertilidade natural, o impedimento físico (cimentação) e a presença do lençol freático próximo à superfície dos Espodossolos, são fatores limitantes para o desenvolvimento florestal onde se encontram os Argissolos. Desse modo, apenas espécies adaptadas a essas condições, como as gramíneas e ciperáceas, mais especificamente as  $C_3$ , conseguem se estabelecer e constituem a atual vegetação campestre da RNV. A manutenção do clima sazonal atual fortalece a gênese dos Espodossolos e a presença dos campos na região em ecótonos com a vegetação florestal.

As espécies selecionadas para o início da coleção de referência de fitólitos mostraram-se excelentes sintetizadoras de sílica e boas produtoras de fitólitos com potencial taxonômico. A produção de fitólitos apresenta redundância e multiplicidades inter e intrafamiliar nos diferentes estratos amostrados, conforme amplamente discutido na literatura.

---

#### **Agradecimentos:**

A equipe agradece todo o empenho dos funcionários e apoio logístico da Reserva Natural Vale, Linhares, Espírito Santo; à FAPESP através do projeto Temático 2011/00995-7 (ProjES); e ao CNPq – Universal 2012-5/470210, pelo aporte financeiro e a colaboração dos técnicos do Laboratório  $^{14}C$ , Liz Mary Bueno de Moraes e Thiago Casemiro Barrios de Campos, na preparação de amostras gasosas para a datação  $^{14}C$ .