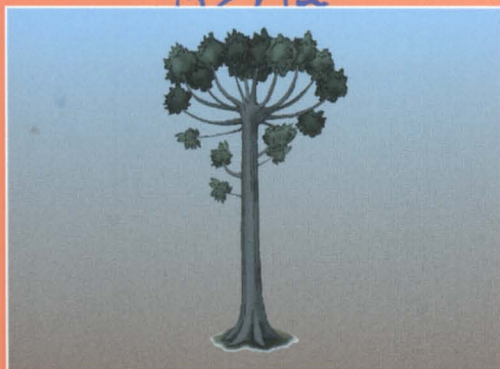


Paleontologia: Cenários de Vida - Paleoclimas



Editores:

Ismar de Souza Carvalho

Maria Judite Garcia

Cecília Cunha Lana

Oscar Strohschoen Jr.



Volume 5



EDITORA INTERCIÊNCIA

Paleontologia: Cenários de Vida

Paleoclimas

Volume 5

Prof. Dr. Luiz C. R. Pessenda
Resp. Laboratório ¹⁴C
CENA/USP

Paleontologia: Cenários de Vida

Paleoclimas

Volume 5

Prof. Dr. Luiz C. R. Pessenda
Resp. Laboratório ¹⁴C
CENA/USP



EDITORA INTERCIÊNCIA

Rio de Janeiro – 2014

PLEISTOCENO TARDIO E HOLOCENO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA – ESPÍRITO SANTO

LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE OF ATLANTIC FOREST BIOME – ESPÍRITO SANTO

Antonio Alvaro Buso Jr.¹, Luiz Carlos Ruiz Pessenda¹, Paulo Eduardo De Oliveira², Marcelo Cancela Lisboa Cohen³, Paulo César Fonseca Giannini⁴, Cecília Volkmer-Ribeiro⁵, Sonia Maria Barros de Oliveira², Dilce de Fátima Rossetti⁶, Flávio Lima Lorente¹, Marcos Antonio Borotti Filho¹, Jolimar Antonio Schiavo⁷, José Tasso Félix Guimarães⁸, Marlon Carlos França³, Janaina Paulino da Silva¹, Geovane Souza Siqueira⁹, Darcilêa F. Castro⁶, Milene Fornari⁴, Ximena Suárez Villagrán⁴, Igor Charles Castor Alves³, Fernanda Costa Gonçalves Rodrigues⁴ & Carolina Nogueira Mafra⁴

¹Universidade de São Paulo, CENA, Laboratório C-14, Avenida Centenário 303, Piracicaba. 13416-000, São Paulo, SP, Brasil

²Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, DGSA, Rua do Lago, 562, 05508-080 Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil

³Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, 66075-110 Belém, PA, Brasil

⁴Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, DGSA, Rua do Lago, 562. 05508-080 Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil

⁵Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Av. Salvador França, 1427, 90690-000, Porto Alegre, RS, Brasil

⁶Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Rua dos Astronautas 1758-CP 515, 12245-970, São José dos Campos, SP, Brasil

⁷Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Programa de Pós Graduação em Agronomia, Rodovia Aquidauana, km 12, 79200-000 Aquidauana, MS, Brasil

⁸Instituto Tecnológico Vale – ITV; Rua Boa Ventura da Silva, nº 955, 3º andar (Nazaré), 66055-090 Belém, Pará, Brasil

⁹Reserva Natural Vale, Caixa Postal 91, 29.900-970 Linhares, ES, Brasil

E-mails: aabuso@cena.usp.br, pessenda@cena.usp.br, paulo@bjd.com.br, mcohen@ufpa.br, pcgianni@usp.br, cvolkmer1427@gmail.com, soniaoli@usp.br, rossetti@dsr.inpe.br, florente@cena.usp.br, mborotti@cena.usp.br, schiavo@uems.br, tasso.guimaraes@vale.com, marlon_ufpa@hotmail.com, psjana@usp.br, geovane.siqueira@vale.com, darcastro@yahoo.com.br, milenefornari@yahoo.com.br, ximena.villagran@gmail.com, igorcharles@ufpa.br, cgr.fernanda@gmail.com, carol_mafra91@hotmail.com

RESUMO

Alguns dos atuais padrões da biodiversidade neotropical podem ter sido influenciados por processos relacionados às mudanças climáticas no Quaternário tardio. A Mata Atlântica dos estados do Espírito Santo e Bahia apresenta características de biodiversidade que podem estar relacionadas a tais eventos históricos, como a presença de centros de endemismos e a ocorrência de táxons com distribuição geográfica disjunta com o bioma Amazônia. Estudos paleoambientais do Quaternário ainda são escassos nessa região, no entanto alguns trabalhos recentes têm permitido um melhor conhecimento de sua história, especialmente durante o Pleistoceno tardio e o Holoceno.

Palavras-chave: biodiversidade, endemismo, conexão Amazônia-Mata Atlântica, refúgios florestais

ABSTRACT

Some of the modern patterns found in the Neotropical biodiversity may have been influenced by processes related with climatic changes during the late Quaternary. The Atlantic Rainforest in the States of Espírito Santo and Bahia presents modern characteristics that may be related

with such historical events, like the centers of endemism and the occurrence of disjunct taxa with Amazon Forests. Very few Quaternary paleoenvironmental studies are available for this geographic region. Nonetheless some recent works have allowed a better understanding of its history, especially during the late Pleistocene and the Holocene.

Keywords: biodiversity, endemism, Amazon-Atlantic Forest connection, forest refuges

1. INTRODUÇÃO

1.1 O Bioma Mata Atlântica nos estados do Espírito Santo e Bahia

O clima e a vegetação florestal do bioma Mata Atlântica nos estados do Espírito Santo e da Bahia podem ser descritos como se segue (Nimer, 1989; IBGE, 2004). Na maior parte da área do Espírito Santo, em regiões de clima tropical quente e úmido, ocorrem a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional Semidecidual, esta última principalmente no sul do estado. A Floresta Ombrófila Aberta ocorre em áreas mais elevadas sob um clima tropical mesotérmico úmido e em regiões localizadas mais ao oeste, sob um clima tropical quente e semiúmido. Na Bahia a Floresta Ombrófila Densa domina uma faixa predominantemente litorânea, desde o sul do estado até as proximidades da cidade de Salvador, sob um clima mediterrâneo quente e super-úmido. Em direção ao interior do estado e ao norte de Salvador predominam as Florestas Estacional Semidecidual e Estacional Decidual, sob um clima tropical quente e úmido ao sul e mediterrâneo quente e úmido em direção ao norte. Nos litorais dos dois estados o bioma apresenta áreas menos representativas de Formações Pioneiras com influência fluviomarinha.

Alguns estudos sobre os padrões de distribuição de espécies animais e vegetais mostram que a Mata Atlântica localizada desde o sul da Bahia até o norte do Espírito Santo apresenta grande número de espécies cuja ocorrência é restrita a essa região (Prance, 1982; Thomas *et al.*, 1998). Tais evidências podem caracterizar esse trecho da Mata Atlântica como um dos centros de endemismos do bioma.

A existência de centros de endemismos em ecossistemas florestais na região neotropical é explicada por alguns autores (e.g. Haffer, 1969; Prance, 1982) como consequência de mudanças do paleoclima. Tais mudanças teriam causado a fragmentação de uma biota ancestral e isolamento de fragmentos florestais. As espécies restritas a tais fragmentos teriam, então, sofrido processos de diferenciação alopátrica originando novas espécies e subespécies. Essa explicação é conhecida como hipótese dos refúgios florestais do Quaternário e procura esclarecer os processos que originaram a alta biodiversidade da região neotropical.

Embora inicialmente a hipótese dos refúgios tenha sido considerada como a principal explicação dos processos geradores da biodiversidade neotropical, posteriormente, outros autores passaram a questioná-la como a única explicação possível. Entre os argumentos utilizados questiona-se a ausência de evidências sobre a origem tão recente (Quaternário) das espécies neotropicais, o que leva à necessidade de se considerar eventos paleogeográficos e paleoclimáticos anteriores ao Quaternário como potencialmente importantes na promoção da especiação alopátrica e na diferenciação da biota neotropical (Cracraft & Prum, 1988; Bennett *et al.*, 2012). Outros autores criticam a hipótese dos refúgios com o argumento de que não existem evidências paleoecológicas suficientes que suportem a

ideia de fragmentação florestal durante os períodos glaciais do Quaternário (Colinvaux *et al.*, 1996; Bennett *et al.*, 2012).

Tais debates sobre a existência ou não dos refúgios florestais do Quaternário e seu papel na geração da biodiversidade neotropical têm se concentrado, sobretudo, nos estudos sobre a biodiversidade amazônica. Com relação ao bioma Mata Atlântica, estudos paleoambientais têm encontrado indícios de eventos de retração florestal em diferentes intervalos do Pleistoceno tardio e do Holoceno nas regiões sul, sudeste e nordeste como resposta a alterações climáticas (Behling, 1997, 2003; Behling & Lichte, 1997; Behling & Negrelle, 2001; Behling *et al.*, 2002, 2004; Gouveia *et al.*, 2002; Garcia *et al.*, 2004, Pessenda *et al.*, 2004, 2009; 2010a, Saia *et al.*, 2008; Ledru *et al.*, 2009).

Nesse mesmo sentido, alguns estudos filogeográficos têm encontrado em espécies florestais da Mata Atlântica padrões genéticos que seriam condizentes com eventos de retração florestal durante o Quaternário, principalmente no que tange à diversificação genética dentro da mesma espécie (Cabanne *et al.*, 2008; Grazziotin *et al.*, 2006). Esses resultados também sugerem que a vegetação florestal do bioma Mata Atlântica não respondeu de forma homogênea aos eventos climáticos do Quaternário tardio. O trabalho de Cabanne *et al.* (2008) realizado com *Xiphorhynchus fuscus*, espécie de ave florestal endêmica à Mata Atlântica, encontrou maior diversidade genética para a região do bioma localizada entre o sul da Bahia e o norte do Espírito Santo, o que sugere estabilidade demográfica dessas populações. Esse padrão poderia ser resultado da estabilidade da cobertura florestal nessa região durante os últimos 21 mil anos, em contraste à possível instabilidade do bioma em suas regiões mais ao sul e ao norte. Grazziotin *et al.* (2006) estudaram a variação genética de *Bothrops jararaca* na Mata Atlântica. Embora os resultados obtidos nesse trabalho sugiram que o mais importante evento de divergência para *B. jararaca* tenha ocorrido durante o Plioceno, os autores consideram que as oscilações climáticas do Pleistoceno tenham moldado os padrões genéticos e geográficos encontrados nas subpopulações da espécie, provavelmente resultado de uma maior estabilidade dos ecossistemas florestais na região da Mata Atlântica desde o leste de São Paulo até o norte do Espírito Santo e sul da Bahia.

Outra característica da Mata Atlântica desta região é a presença de gêneros e espécies botânicos que apresentam distribuição disjunta com a Amazônia, o que é interpretado como indícios de conexões pretéritas entre esses dois biomas (De Andrade-Lima, 1966; Rizzini, 1967; Mori & Prance, 1981; Fiaschi & Pirani, 2009). Os momentos nos quais essa conexão esteve ativa e os caminhos migratórios utilizados pelas espécies amazônicas e atlânticas são questões a serem esclarecidas. Coimbra-Filho & Câmara (1996) sugerem que essa conexão existia até recentemente, através da costa atlântica nordestina, sendo interrompida pela colonização europeia. Segundo Oliveira-Filho & Ratter (1995) a migração pode ter ocorrido pela rede de florestas ciliares existentes no cerrado e no semiárido. Costa (2003), com base na filogenia de pequenos mamíferos não voadores, sugere que mudanças da vegetação do Cerrado e da Caatinga durante o Pleistoceno podem ter favorecido o intercâmbio de espécies entre a Amazônia e a Mata Atlântica. De Oliveira *et al.* (1999), com base na palinologia, encontrou evidências da ocorrência de espécies amazônicas e atlânticas, há cerca de 10.500 anos A.P., em área atualmente ocupada pela Caatinga no vale do Rio Icatu, Bahia, indício direto de um possível ecossistema florestal que pode ter conectado a Amazônia e a Mata Atlântica.

1.2 Técnicas analíticas em estudos paleoambientais: $\delta^{13}\text{C}$, palinologia e datação ^{14}C da matéria orgânica de solos e sedimentos.

Atualmente há uma grande diversidade de ferramentas disponíveis para aplicação em estudos de reconstrução do paleoambiente. Com o intuito de facilitar a apresentação e a compreensão dos estudos que serão abordados na sequência desse capítulo, apresentam-se a seguir algumas ferramentas empregadas nos estudos paleoambientais.

A composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) da matéria-orgânica preservada em solos e sedimentos tem sido utilizada no estudo da dinâmica da vegetação, no que concerne à abundância de plantas de ciclo fotossintético C3 e C4 (Pessenda *et al.*, 1996 a,1996b, 2004, 2009; 2010b; Huang *et al.*, 2001; Gouveia *et al.*, 2002). As diferenças fisiológicas entre as plantas de diferentes ciclos fotossintéticos possuem implicações ecológicas, pois constituem adaptações a condições ambientais distintas. Plantas C4 (principalmente algumas espécies das famílias Poaceae e Cyperaceae) apresentam maior eficiência no uso da água, sendo, de um modo geral, mais competitivas que as plantas C3 em ambientes relativamente mais quentes e secos. Uma das vantagens do uso de isótopos estáveis de carbono na reconstrução paleoambiental é a sua aplicabilidade a diversos tipos de materiais, como sedimentos, solos e turfeiras. A matéria-orgânica originada de plantas C3 apresenta composição isotópica de carbono entre -32 e -20‰, enquanto que aquela originada de plantas C4 apresenta valores entre -17 e -9‰.

A palinologia aplicada a sedimentos lacustres e turfeiras permite identificar os principais gêneros e famílias da vegetação pretérita de um determinado local, e inferir as condições do paleoclima local e regional com base nas características ecológicas dos táxons botânicos. Vários estudos palinológicos já foram realizados no Brasil e forneceram importantes informações sobre a dinâmica da vegetação e sobre a dinâmica paleoclimática (Amaral *et al.*, 2012; Cohen *et al.*, 2012; Pessenda *et al.*, 2009).

A datação ^{14}C da matéria-orgânica preservada em sedimentos e turfeiras tem sido tradicionalmente utilizada para a medição da cronologia dos eventos ambientais do Quaternário tardio. A possibilidade da aplicação da técnica também na matéria-orgânica preservada em solos (Pessenda *et al.*, 1996 a,1996b, 1998, 2001) permitiu a ampliação da representatividade espacial dos estudos paleoambientais relacionados à dinâmica da vegetação, pois tais estudos não ficam restritos a regiões com presença de lagos e/ou turfeiras.

2. ESTUDOS DE RECONSTRUÇÃO AMBIENTAL DO QUATERNÁRIO TARDIO NA MATA ATLÂNTICA DO ESPÍRITO SANTO E BAHIA

Pelo exposto no início do capítulo verifica-se a importância dos eventos climáticos do Quaternário em alguns processos determinantes dos atuais padrões de diversidade neotropical. No entanto, com relação à Mata Atlântica do Espírito Santo e da Bahia, a literatura apresenta escassez de dados associados aos estudos paleoambientais, não sendo ainda possível uma caracterização dos paleoclimas quaternários em escala espacial e temporal adequadas.

Estudando a dinâmica de sedimentação costeira nos litoral leste e nordeste do Brasil, Dominguez *et al.* (1992) chegaram a conclusão que a sedimentação da planície costeira destas regiões

é modelada principalmente pela associação de três fatores. A variação do nível marinho, cuja subida favorece a formação de sistemas ilha barreira-laguna, enquanto sua descida promove a progradação da planície costeira. Mudanças climáticas, que alteram o regime de chuvas e o aporte de sedimento na costa; e fenômenos de circulação atmosférica, os quais controlam o ângulo de incidência das ondas sobre a costa, gerando a corrente de deriva litorânea. Martin & Suguio (1992) verificam truncamentos nos cordões no delta do Rio Doce causados por sucessivas inversões no sentido da corrente de deriva litorânea, atribuídas à interação entre fenômenos de variação climática como o El Niño/Oscilação Sul e variação em latitude da Zona de Convergência Intertropical.

Através do estudo palinológico de dois testemunhos sedimentares marinhos, distantes cerca de 110 km da atual linha de costa do estado do Espírito Santo, Behling *et al.* (2002) verificaram o depósito de material continental pleistocênico trazido pelo Rio Doce e pelo Rio Paraíba do Sul, com grande quantidade de grãos de pólen e esporos. Segundo os autores, altos valores percentuais de grãos de pólen herbáceos (e.g. Poaceae, Asteraceae, Cyperaceae) foram identificados no testemunho até o Holoceno inferior, refletindo o predomínio da vegetação de campo no continente, em condições climáticas mais secas e frias do que as atuais para a região costeira. A vegetação florestal teria sido drasticamente reduzida durante o Último Máximo Glacial (~18.000 anos A.P.) e os campos teriam ocupado desde as regiões baixas às regiões montanhosas. No entanto, os autores também encontraram indícios de expansão das áreas florestais de terras baixas durante o período glacial tardio e Holoceno inferior.

Veríssimo *et al.* (2012) realizaram a palinologia de uma turfeira localizada no Parque Nacional do Caparaó, sudoeste do estado do Espírito Santo, em região dominada por vegetação de campo de altitude, a 2.150 metros de altitude. Os autores encontraram registros polínicos indicadores do predomínio da vegetação campestre durante todo o Holoceno. No entanto, verificaram também um aumento na frequência de táxons típicos de florestas úmidas de altitude durante o Holoceno médio (cerca de 9.000–2.700 anos cal. A.P.), o que sugere, segundo os autores, um intervalo de clima mais úmido.

2.1 Resultados iniciais do projeto temático (ProjES) no Espírito Santo

O projeto temático intitulado “Estudos paleoambientais interdisciplinares na costa do Espírito Santo” (ProjES), financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), é coordenado pelo Laboratório Carbono 14 do CENA/USP, em Piracicaba/SP. A proposta refere-se ao estudo ambiental interdisciplinar desde o Pleistoceno tardio na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia, com a colaboração de especialistas de diversas áreas, tais como arqueologia, botânica, ecologia, geologia, oceanografia, pedologia, etc., com o objetivo de esclarecer questões relacionadas à dinâmica do clima, da vegetação, do nível relativo marinho e à atividade humana durante o Holoceno na região. Embora o projeto ainda esteja em sua fase inicial, alguns resultados que relacionam a dinâmica paleoclimática à biodiversidade da Mata Atlântica são descritos a seguir.

Dois grandes fragmentos florestais (Figura 1) ainda persistem na região nordeste do estado do Espírito Santo, a Reserva Biológica de Sooretama (Rebio Sooretama) e a Reserva Natural Vale (RNV), representantes da vegetação original constituída principalmente pela Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (IBGE, 2004), localmente denominada de mata de tabuleiros. Além da mata

de tabuleiros, tais reservas também abrigam outros tipos de vegetação natural, tais como florestas aluviais, brejos, matas de galeria, restingas e campos nativos.

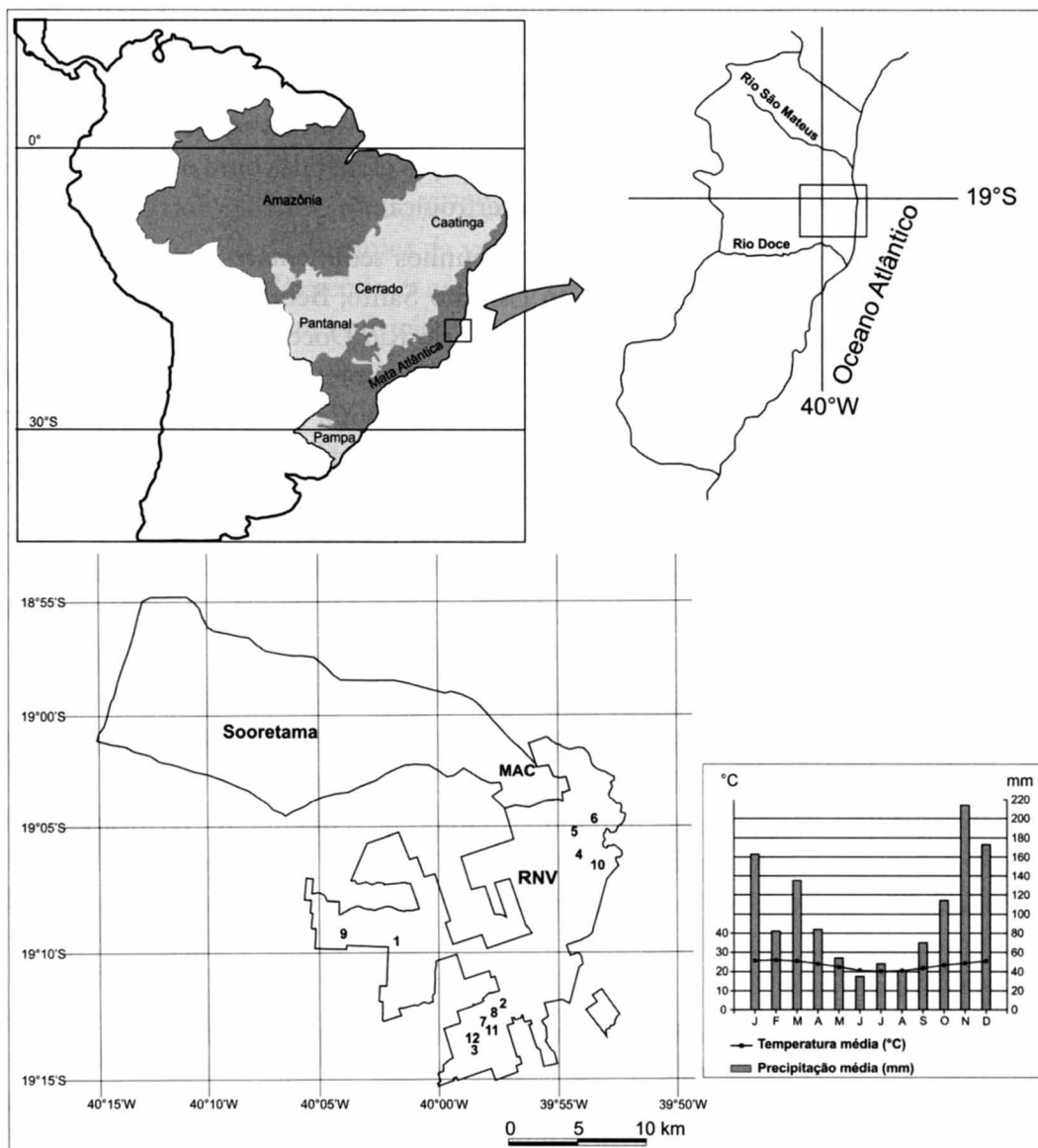


Figura 1. Distribuição dos biomas Mata Atlântica e Amazônia no Brasil (canto superior esquerdo); região de estudos, na costa nordeste do Espírito Santo (canto superior direito); locais de coleta na Rebio Sooretama e na RNV (canto inferior esquerdo): 1 a 12 são locais de coleta de solos; MAC indica a localização da Lagoa do Macuco, onde foi coletado um testemunho sedimentar; diagrama climático para a região para o período de 1975 a 2002 (canto inferior direito). Fonte: Buso Júnior *et al.* (2013a).

Na Rebio Sooretama e na RNV a mata de tabuleiros ocorre principalmente sobre Argissolo Amarelo Distrófico, em altitudes que variam entre 20 a 100 metros acima do nível do mar, em um terreno suavemente ondulado, formado por sedimentos depositados durante o Neógeno (Santos *et al.*, 2004; Dominguez, 2009). Essa vegetação florestal, com dossel com cerca de 30 metros de altura e árvores emergentes de até 40 metros, abriga alguns gêneros de espécies botânicas cuja distribuição

geográfica é disjunta com o bioma Amazônia. Como exemplos, podemos citar os gêneros *Glycydendron*, *Rinorea*, *Senefeldera*, *Symphonia*, *Borismene*, *Macoubea* e *Parkia*.

Na região há também a presença dos campos nativos, em alguns locais denominados muçunungas, que são áreas de vegetação aberta localizadas em meio à mata de tabuleiros. Santos *et al.* (2004) classificaram como Espodosolo a maioria dos solos sob campos nativos na RNV. Esse solo arenoso tende a acumular água durante os períodos chuvosos devido à presença de um horizonte cimentado localizado em sua base. Os campos nativos apresentam distintas fisionomias e composições florísticas em resposta principalmente ao estresse hídrico, seja pelo excesso de água durante os períodos de chuva ou pela ausência de água no período de seca, resultado da eficiência de drenagem, profundidade do solo e granulometria (IBGE, 1987; Saporetti Jr., 2009). Gêneros botânicos como *Bonnetia*, com distribuição disjunta entre a Amazônia e a Mata Atlântica, também são encontrados nesses locais.

O padrão de precipitação regional é controlado pelo sistema de monções da América do Sul (Garreaud *et al.*, 2009). O clima regional é fortemente sazonal, com a estação chuvosa durante o verão. De acordo com dados climáticos obtidos para o período entre 1975 e 2002 na estação meteorológica da RNV (Figura 1), a temperatura média mensal é sempre superior a 18°C, a temperatura média anual é de 23,3°C, a média de precipitação anual é de 1.215 mm, com estação seca durante os meses de junho a setembro.

Buso Junior *et al.* (2013a) utilizaram os isótopos de carbono da matéria-orgânica de solos sob diferentes coberturas vegetais (floresta de tabuleiro e campo nativo), além da palinologia de um testemunho sedimentar lacustre, coletado na Lagoa do Macuco, localizada no vale do rio Barra Seca (Figura 1). A cronologia foi estabelecida com base na datação ^{14}C da matéria orgânica presente nos solos e sedimentos (Pessenda *et al.*, 1996a, 1998, 2001, 2010a, 2010b 2012). Esse enfoque permitiu o estudo de uma área relativamente extensa, e dessa forma, a extrapolação das interpretações paleoambientais para a região nordeste do estado do Espírito Santo.

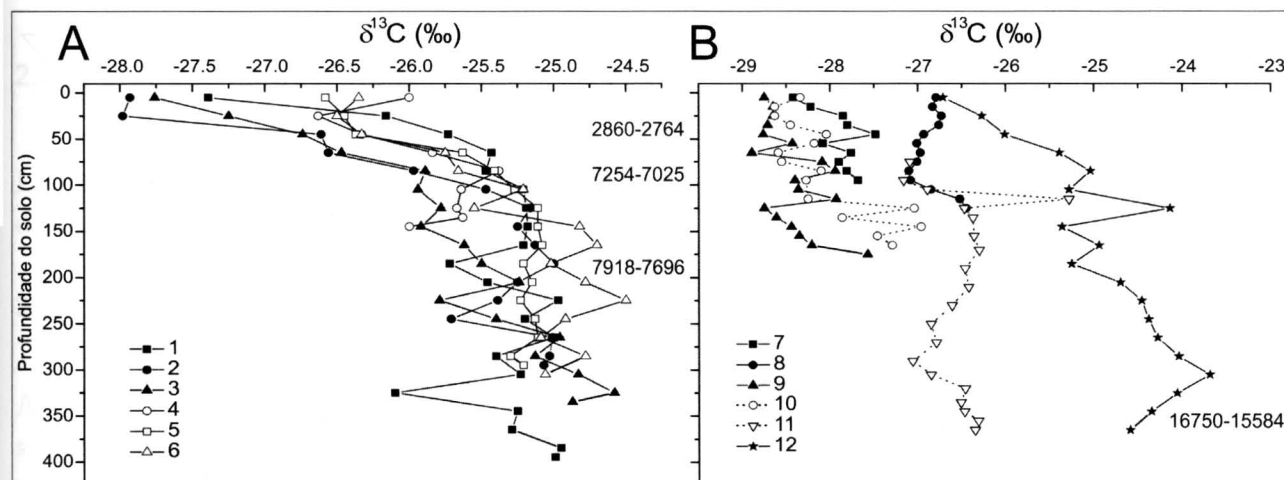


Figura 2. Variação da composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) da matéria-orgânica nos perfis de solo estudados e idades calibradas das datações da matéria-orgânica (fração humina). A. pontos sob floresta; B. pontos sob campos nativos. Fonte: Buso Júnior *et al.* (2013a).

As idades obtidas na fração humina das amostras de solo variaram de 16.750-15.584 anos cal. A.P. a 360-350 cm, no ponto localizado em campo nativo, a 7.918-7.696 a 200-190 cm e 2.860-2.764

anos cal. A.P. a 50-40 cm no ponto localizado em mata de tabuleiro (Figura 2). Essas idades concordaram com diversas outras datações obtidas para a matéria-orgânica e amostras de carvão em solos brasileiros. Isso permitiu aos autores estimar que as amostras de solo mais profundas nos demais pontos estudados representam o Pleistoceno tardio (aproximadamente 17.000 anos cal. A.P.).

Plantas coletadas nos locais estudados foram analisadas com relação à sua composição isotópica. Os resultados mostram que tanto as áreas florestais quanto as áreas campestres são dominadas por plantas de ciclo fotossintético C3, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando entre $-35,82\text{‰}$ e $-25,33\text{‰}$. Esse predomínio de plantas C3 é refletido na serapilheira dos pontos estudados, a qual apresentou valores entre $-30,57\text{‰}$ e $-28,93\text{‰}$. Somente dois indivíduos pertencentes a espécies C4 foram encontrados nos campos, com valores de $-13,64\text{‰}$ e $-13,44\text{‰}$, sendo que tais espécies não eram dominantes nos locais onde foram coletadas.

Todos os perfis de solo analisados apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ típicos de cobertura vegetal com predomínio de plantas C3 (Figura 2). A tendência para valores menos negativos (mais enriquecidos em ^{13}C) em maiores profundidades foram associados ao fracionamento isotópico decorrente da decomposição da matéria-orgânica, onde as maiores diferenças entre as amostras superficiais e as mais profundas em cada ponto não foram superiores a 3‰ (Boutton, 1991, Pessenda *et al.*, 1996b). Com base nesses resultados os autores interpretaram como predomínio de plantas C3 desde o Pleistoceno tardio (cerca de 17.000 anos cal. A.P.) nos locais de estudo.

As idades calibradas para o testemunho sedimentar coletado na Lagoa do Macuco variaram de 7.700-7.438 anos cal. A.P. a 200-198 cm até a idade moderna em 6-4 cm (Figura 3). A análise palinológica desse testemunho permitiu a identificação de 141 tipos de grãos de pólen e esporos, pertencentes a espécies arbóreas de manguezal, outras espécies arbóreas e arbustivas, plantas herbáceas e aquáticas e esporos de pteridófitas. As porcentagens de alguns tipos selecionados, bem como as três zonas polínicas delimitadas e as idades ^{14}C , são exibidas no diagrama polínico (Figura 3).

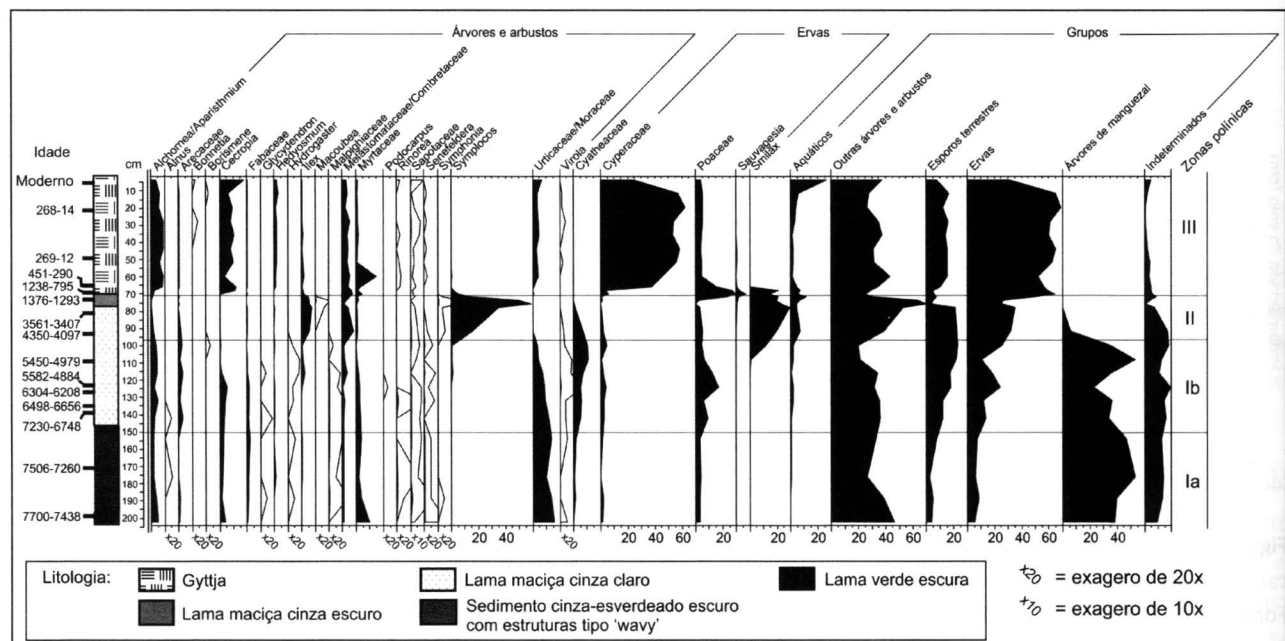


Figura 3. Idades calibradas e diagrama polínico do testemunho MAC-C da Lagoa do Macuco. Fonte: Buso Júnior *et al.* (2013a).

A zona polínica MAC-I, dividida em sub-zonas Ia e Ib, compreende o período entre 7.700 e 4.396 anos cal. A.P. Essa zona é caracterizada por porcentagens relativamente altas de grãos de pólen de espécies de manguezal, resultado da transgressão marinha holocênica (Buso Junior *et al.*, 2013b). Também estão presentes, em altas frequências, grãos de pólen de táxons arbóreos e arbustivos, entre eles gêneros encontrados atualmente na mata de tabuleiro (por exemplo, *Rinorea*, *Glycydendron*, *Senefeldera*), além de significativa representatividade das famílias Fabaceae, Myrtaceae, Urticaceae e Moraceae. Essa zona polínica apresenta também raros grãos de pólen de *Alnus* e *Podocarpus*, gêneros de espécies arbóreas que não possuem representantes na área de estudo. *Alnus acuminata* é uma árvore que cresce em regiões altas dos Andes, ocorrendo também no norte da Argentina. *Podocarpus* é uma gimnosperma que ocorre tanto nos Andes quanto nas matas de araucária do sul e sudeste do Brasil e também na Amazônia. Portanto, a presença de grãos de pólen de *Alnus* e *Podocarpus* na área de estudo pode ser explicada pelo transporte a longa distância pelas correntes de ventos.

Além da presença de vegetação florestal desde 7.700 anos cal. A.P., os dados palinológicos permitiram a identificação de duas subzonas, Ia e Ib, com base nas frequências de grãos de pólen de palmeiras e de esporos de samambaias arborescentes, família Cyatheaceae, os quais são bastante frequentes durante toda a subzona Ib e início da zona polínica MAC-II. A presença desses tipos no registro sedimentar é normalmente associada à ocorrência de condições ambientais com maior umidade. Atualmente as samambaias arborescentes são bastante raras na área de estudo, provavelmente devido ao clima sazonal, com escassez de chuvas durante o inverno.

As zonas polínicas MAC-II (4.396-1.287 anos cal. A.P.) e MAC-III (1.287 anos cal. A.P. até o presente) foram interpretadas como o estabelecimento de uma planície de inundação fluvial inicialmente com predomínio de *Symplocos*, *Ilex*, *Symphonia* e *Macoubea* e a posterior implantação de um ambiente similar ao atual (a partir de 585 anos cal. A.P.), composto pela planície de inundação do Rio Barra Seca e pela Lagoa do Macuco, com grande representatividade de plantas aquáticas, tais como o gênero *Potamogeton* e as famílias Nymphaeaceae e Pontederiaceae.

2.2 Inferências paleoclimáticas

Com base nos resultados da composição isotópica de carbono do solo e na palinologia da Lagoa do Macuco, Buso Junior *et al.* (2013a) inferiram possíveis características do paleoclima regional desde o Pleistoceno tardio.

2.2.1 Pleistoceno tardio

A manutenção da cobertura vegetal com predomínio de plantas C3 desde há 17.000 anos cal. A.P., como mostrado pelo $\delta^{13}\text{C}$ da matéria-orgânica do solo, pode indicar a manutenção de níveis satisfatórios de umidade durante o Pleistoceno tardio na região de Linhares, ES. Essa interpretação concorda com os estudos realizados com a composição isotópica de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) de espeleotemas das regiões sul e sudeste do Brasil (Cruz *et al.*, 2005 e 2006b), os quais sugerem intensificação das monções de verão na região sudeste do país durante o glacial tardio (cerca de 20.000 a 13.000 anos cal. A.P.), um período de maior insolação de verão no hemisfério sul. Concorda também com a tendência de expansão das florestas atlânticas das terras baixas nas bacias hidrográficas do Rio Doce e do Rio Paraíba do Sul, proposta por Behling *et al.* (2002) para o período glacial tardio.

2.2.2 Holoceno

De forma similar ao período anterior, a composição isotópica da matéria-orgânica dos solos indica o predomínio de plantas C3 durante todo o Holoceno nos pontos estudados. Em complemento, a palinologia do testemunho MAC-C registra a presença de vegetação florestal desde 7.700 anos cal. A.P. Tais resultados podem ser interpretados como a manutenção da cobertura florestal ao longo de todo o Holoceno na região de Linhares, novamente sugerindo a presença de condições climáticas suficientemente úmidas. Uma possível explicação para a origem dessa umidade foi sugerida por Ledru *et al.* (1998), onde durante o Holoceno inferior as frentes frias de origem polar alcançavam menores latitudes na América do Sul, sendo responsáveis pela manutenção de clima relativamente úmido ao longo de suas trajetórias, devido à ocorrência da precipitação frontal (causada pelo encontro da frente fria com massas de ar quente). Cruz *et al.* (2006a) estudaram isótopos de carbono e de oxigênio no espeleotema Bt2, coletado no sul do Brasil, encontrando evidências de maior frequência e intensidade das frentes frias de origem polar durante o Holoceno inferior. No testemunho MAC-C, a presença de raros grãos de pólen de *Alnus* e *Podocarpus*, provavelmente originados de regiões mais ao sul do continente e de florestas montanas do sudeste do Brasil, respectivamente, pode indicar a chegada de massas de ar polar na região norte do Espírito Santo durante o Holoceno inferior, as quais seriam, então, responsáveis pela ocorrência de precipitação frontal na região.

As maiores porcentagens de esporos de Cyatheaceae e grãos de pólen de Areceaceae (palmeiras) encontrados na subzona MAC-Ib até o início da zona MAC-II (cerca de 7.000-4.000 anos cal. A.P.) permitem inferir esse intervalo como o mais úmido registrado no testemunho sedimentar da Lagoa do Macuco. Um mecanismo já sugerido por outros autores, tais como Ledru *et al.* (1998) e Wanner *et al.* (2008), pode ser utilizado como uma possível explicação para esse intervalo mais úmido: a gradual intensificação do sistema de monções da América do Sul, consequência da também gradual migração da Zona de Convergência Intertropical para posições mais ao sul, a qual, por sua vez, seria causada pelo aumento da insolação de verão no hemisfério sul. Assim, níveis relativamente altos de umidade poderiam ser mantidos durante o ano todo na região de Linhares, como consequência da umidade de inverno, causada principalmente pela chegada das frentes frias, e pela intensificação da precipitação de verão, causada pelas monções. Outros autores também identificaram esse intervalo mais úmido durante o Holoceno médio na região da Mata Atlântica, tais como Behling & Negrelle (2001) e Veríssimo *et al.* (2012). Cruz *et al.* (2005) sugeriram um aumento gradual da precipitação causada pelas monções de verão no sul do Brasil durante o Holoceno, especialmente a partir de 7.000 anos A.P.

A partir de cerca de 4.000 anos cal. A.P. a frequência de Cyatheaceae é muito baixa, e até mesmo nula, no testemunho MAC-C. Buso Junior *et al.* (2013a) interpretam esse resultado como o estabelecimento de condições climáticas semelhantes às atuais, com estação seca durante o inverno, reflexo da atual posição da Zona de Convergência Intertropical. De acordo com Ledru *et al.* (1998), durante o Holoceno superior as massas de ar de origem polar passaram a ficar, a maior parte das vezes, restritas a latitudes mais ao sul do continente sul americano. Cruz *et al.* (2005; 2006b) sugerem intensificação das chuvas de monção durante o Holoceno médio e superior. O estabelecimento das atuais condições climáticas para o Brasil (Behling *et al.*, 2004; Gouveia *et al.*, 2002; Ledru *et al.*, 1998, Pessenda *et al.*, 1998, 2001, 2004, 2009) há cerca de 4.000 anos é uma proposta também apresentada por outros autores para a América do Sul, tais como Marchant & Hooghiemstra (2004), Wanner *et al.* (2008) e Wanner & Brönnimann (2012).

As inferências paleoclimáticas apresentadas por Buso Junior *et al.* (2013a) para a região de Linhares durante o Holoceno são sumarizadas na figura 4. Durante o Holoceno inferior as frentes frias polares causavam precipitação frontal na região, permitindo a manutenção da vegetação florestal. Durante o Holoceno médio (7.000-4.000 anos cal. A.P.) a intensificação gradual da insolação de verão no hemisfério sul levou à intensificação da monção de verão. A conjunção das chuvas de monção e as chuvas causadas pela chegada das frentes polares originou o período mais úmido na região de Linhares, com umidade ao longo de todo o ano. Esse intervalo mais úmido é delimitado pelas maiores porcentagens de esporos de Cyatheaceae e grãos de pólen de Arecaceae no sedimento da Lagoa do Macuco. A partir do Holoceno superior (cerca de 4.000 anos cal. A.P.) ocorre o estabelecimento de condições climáticas semelhantes às atuais. Nesse intervalo a insolação de verão no hemisfério sul alcança níveis próximos aos atuais, e a Zona de Convergência Intertropical alcança posições mais ao sul. Nesse clima sazonal, a existência de um período seco durante o inverno não é tão favorável ao desenvolvimento das samambaias arborescentes.

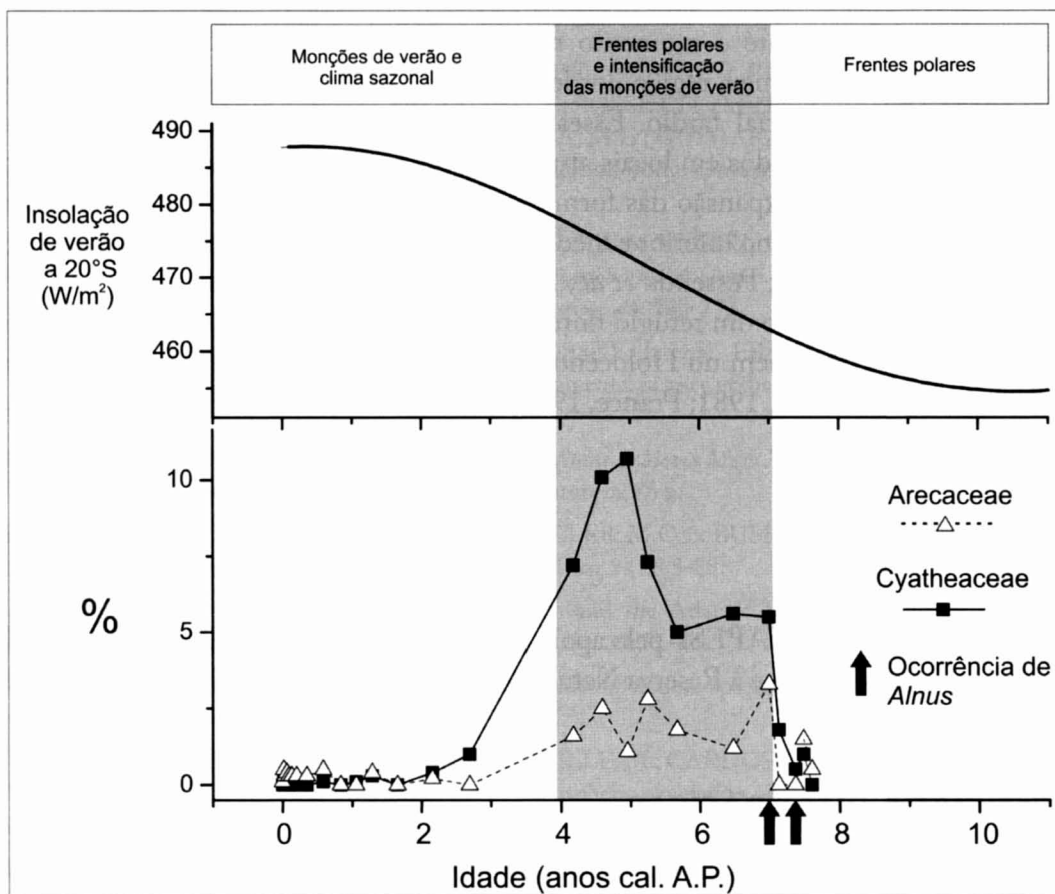


Figura 4. Inferências paleoclimáticas para a região de Linhares (quadro superior); Insolação de verão a 20°S durante o Holoceno (Laskar *et al.*, 2004) (quadro intermediário); Porcentagens de esporos de Cyatheaceae e de grãos de pólen de Arecaceae, e ocorrências de grãos de pólen de *Alnus* (quadro inferior). Fonte: Buso Junior *et al.* (2013a).

2.3 Conexão Amazônia – Mata Atlântica

O estudo revelou que alguns táxons botânicos que atualmente apresentam distribuição geográfica disjunta entre os biomas Amazônia e Mata Atlântica ocorrem na região nordeste do Espírito Santo desde, pelo menos, 7.500 anos cal. A.P. (tais como os gêneros *Glycydendron*, *Rinorea*, *Senefeldera* e *Symphonia*). Outros gêneros aparecem mais recentemente no material estudado: *Borismene* (4.600 anos cal. A.P.), *Macoubea* (2.700 anos cal. A.P.), *Bonnetia* (moderno). Esses dados confirmam que a hipotética conexão pretérita entre Amazônia e Mata Atlântica já havia ocorrido anteriormente a 7.500 anos cal. A.P., tal como sugerido por outros autores. Mori *et al.* (1981), Mori & Prance (1981) e Santos *et al.* (2007) sugerem que essa conexão ocorreu durante o Neógeno e o Pleistoceno. De Oliveira *et al.* (1999) sugere que essa conexão esteve ativa no Holoceno inferior.

2.4 Refúgios florestais na Mata Atlântica

Os resultados obtidos até o momento no projeto temático ProjES e publicados em Buso Junior *et al.* (2013a) mostram que a região nordeste do Espírito Santo apresentou cobertura florestal contínua desde o período glacial tardio. Esses resultados contrastam com os obtidos em outros estudos paleoambientais realizados em locais atualmente ocupados pelo bioma Mata Atlântica, onde foram observados eventos de expansão das formações vegetais abertas (campos e savanas) durante o Pleistoceno superior e o Holoceno inferior e médio (Behling 1997, 2003; Behling *et al.*, 2004; Gouveia *et al.*, 2002; Garcia *et al.*, 2004; Pessenda *et al.*, 2004, Saia *et al.*, 2008; Ledru *et al.*, 2009). Assim, a região de Linhares pode ter sido um refúgio florestal da Mata Atlântica desde o Pleistoceno superior (~17.000 anos cal. A.P.) e também no Holoceno, tal como sugerido por autores que se basearam em evidências indiretas (Mori *et al.*, 1981; Prance, 1982; Rizzini, 1967; Thomas *et al.*, 1998; Grazziotin *et al.*, 2006; Cabanne *et al.*, 2008).

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro (projetos 2007/03615-5 e 2011/00995-7), Universal CNPq 470210/2012-5 e à Reserva Natural Vale, Linhares, Espírito Santo, pelo apoio logístico.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, P.G.C.; GIANNINI, P.C.F.; SYLVESTRE F. & PESSENDA, L.C.R.; 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multo-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*, 27(2): 181-191.
- BEHLING, H. 1997. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129: 407-422.
- BEHLING H. 2003. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. *Vegetation History and Archaeobotany*, 12: 263-270.
- BEHLING, H. & LICHTHE, M.; 1997. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical southeastern Brazil. *Quaternary Research*, 48:348-358.

- BEHLING, H. & NEGRELLE, R.B. 2001. Tropical rain forest and climate dynamics of the Atlantic Lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. *Quaternary Research*, 56: 383-389.
- BEHLING, H.; ARZ, H.W.; PÄTZOLD, J. & WEFER, G.; 2002. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in southeastern Brazil, inferences from marine cores GeoB 3229-2 and GeoB 3202-1. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 179: 227-243.
- BEHLING, H.; PILLAR, V.P.; ORLÓCI, L. & BAUERMANN, S.G. 2004. Late Quaternary *Araucaria* forest, grassland (campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203:277-297.
- BENNETT, K.D.; BHAGWAT, S.A. & WILLIS, K.J. 2012. Neotropical refugia. *The Holocene*, 22(11): 1207-1214.
- BOUTTON, T.W. 1991. Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments. In: COLEMAN, D.C. & FRY, B. (eds.). *Carbon isotope techniques*. San Diego: Academic Press, p. 173-185.
- BUSO JUNIOR, A.A.; PESSENDA, L.C.R.; DE OLIVEIRA, P.E.; GIANNINI, P.C.F.; COHEN, M.C.L.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, S.M.B.; ROSSETTI, D.F.; LORENTE, F.L.; BOROTTI FILHO, M.A.; SCHIAVO, J.A.; BENDASSOLLI, J.A.; FRANÇA, M.C.; GUIMARÃES, J.T.F. & SIQUEIRA, G.S. 2013a. Late Pleistocene and Holocene vegetation, climate dynamics, and Amazonian taxa in the Atlantic Forest, Linhares, SE Brazil. *Radiocarbon*, 55(2-3): 1747-1762.
- BUSO JUNIOR, A.A.; PESSENDA, L.C.R.; DE OLIVEIRA, P.E.; GIANNINI, P.C.F.; COHEN, M.C.L.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; DE OLIVEIRA, S.M.B.; FAVARO, D.I.T.; ROSSETTI, D.F.; LORENTE, F.L.; BOROTTI FILHO, M.A.; SCHIAVO, J.A.; BENDASSOLLI, J.A.; FRANÇA, M.C.; GUIMARÃES, J.T.F. & SIQUEIRA, G.S. 2013b. From an estuary to a freshwater lake: a paleo-estuary evolution in the context of Holocene sea-level fluctuations, SE Brazil. *Radiocarbon*, 55(2-3): 1735-1746.
- CABANNE, G.S.; D'HORTA, F.M.; SARI, E.H.R.; SANTOS, F.R. & MIYAKI, C.Y. 2008. Nuclear and mitochondrial phylogeography of the Atlantic forest endemic *Xiphorhynchus fuscus* (Aves: Dendrocolaptidae): biogeography and systematics implications. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 49: 760-773.
- COHEN, M.C.L.; PESSENDA, L.C.R.; BEHLING, H.; ROSSETTI, D.F.; FRANÇA, M.C.; GUIMARÃES, J.T.F.; FRIAES, Y. & SMITH C.B. 2012. Holocene paleoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quaternary Science Reviews*, 55: 50 – 58.
- COIMBRA-FILHO, A.F. & CÂMARA, I.G. 1996. *Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza, 86 p.
- COLINVAUX, P.A.; DE OLIVEIRA, P.E.; MORENO, J.E.; MILLER, M.C. & BUSH M.B. 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science*, 247:8 5-88.
- COSTA, L.P. 2003. 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.
- CRACRAFT, J. & PRUM, R.O. 1988. Patterns and processes of diversification: speciation and historical congruence in some Neotropical birds. *Evolution*, 42(3) 603-620.
- CRUZ JR, F.W.; BURNS, S.J.; KARMANN, I.; SHARP, W.D.; VUILLE, M.; CARDOSO, A.O.; FERRARI, J.A.; DIAS, P.L.S. & VIANA, JR O. 2005. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, 434: 63-66.
- CRUZ JR, F.W.; BURNS, S.J.; KARMANN, I.; SHARP W.D.; VUILLE, M. & FERRARI, J.A. 2006a. A stalagmite record of changes in atmospheric circulation and soil processes in the Brazilian subtropics during the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, 25: 2749-2761.
- CRUZ JR, F.W.; BURNS, S.J.; KARMANN, I.; SHARP, W.D. & VUILLE, M. 2006b. Reconstruction of regional atmospheric circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. *Earth and Planetary Science Letters*, 248: 495-507.
- DE ANDRADE-LIMA, D. 1966. Contribuição ao estudo do paralelismo da flora amazônico-nordestina. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, *N. S. Bol. Téc.*, 19: 3-30.

- DE OLIVEIRA, P.E.; BARRETO, A.M.F. & SUGUIO K. 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian Caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152: 319-337.
- DOMINGUEZ, J.M.L. 2009. The coastal zone of Brazil. In: DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. (eds.). *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. Berlin: Springer-Verlag, p 17-46.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. & MARTIN, L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. *Sedimentary Geology*, 80: 213-232.
- FIASCHI, P. & PIRANI, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution*, 47(5):477-496.
- GARCIA, M.J.; DE OLIVEIRA, P.E.; SIQUEIRA, E. & FERNANDES, R.S. 2004. A Holocene vegetational and climatic record from the Atlantic rainforest belt of coastal State of São Paulo, SE Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 131: 181-199.
- GARREAUD, R.D.; VUILLE, M.; COMPAGNUCCI, R. & MARENGO, J. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281: 180-195.
- GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEEL-YBERT, R.; BENDASSOLLI, J.A.; RIBEIRO, A.S. & FREITAS, H.A. 2002. Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. *Global and Planetary Change*, 33: 95-106.
- GRAZZIOTIN, F.G.; MONZEL, M.; ECHEVERRIGARAY, S. & BONATTO, S.L. 2006. Phylogeography of the *Bothrops jararaca* complex (Serpentes: Viperidae): past fragmentation and island colonization in the Brazilian Atlantic Forest. *Molecular Ecology*, 15: 3969-3982.
- HAFFER, J. 1969. Speciation in Amazonian forest birds. *Science*, 165(3889): 131-137.
- HUANG, Y.; STREET-PERROTT, F.A.; METCALFE, S.E.; BRENNER, M.; MORELAND, M. & FREEMAN, K.H. 2001. Climate change as the dominant control on glacial-interglacial variations in C3 and C4 plant abundance. *Science*, 293: 1647-1651.
- IBGE. 1987. *Carta do Brasil. Folha SE-24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro: IBGE 548 p (Projeto RADAMBRASIL).
- IBGE. 2004. *Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação*. Ministério do Meio Ambiente.
- LASKAR, J.; ROBUTEL, P.; JOUTEL, F.; GASTINEAU, M.; CORREIA, A.C.M. & LEVRARD, B. 2004. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astronomy and Astrophysics*, 428: 261-285.
- LEDRU, M.P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L. & LORSCHETTER M.L. 1998. Vegetation dynamics in Southern and Central Brazil during the last 10,000 yr. BP. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99: 131-142.
- LEDRU, M.P.; MOURGUIART, P. & RICCOMINI, C. 2009. Related changes in biodiversity, insolation and climate in the Atlantic rainforest since the last interglacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 271: 140-152.
- MARCHANT, R. & HOOGHMSTRA, H. 2004. Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: a review. *Earth-Science Reviews*, 66: 217-260.
- MARTIN, L. & SUGUIO, K. 1992. 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.
- MORI, S.A. & PRANCE, G.T. 1981. The "sapucaia" group of *Lecythis* (Lecythidaceae). *Brittonia*, 33(1): 70-80.
- MORI, S.A.; BOOM, B.M. & PRANCE, G.T. 1981. Distribution patterns and conservation of eastern Brazilian coastal forest tree species. *Brittonia*, 33(2): 233-245.
- NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. 2 ed, 421 p.

- OLIVEIRA-FILHO, A.T. & RATTER, J.A. 1995. A study of the origin of Central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinb. J. Bot.*, 52(2): 141-194.
- PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; CAMARGO, P.B.; TELLES, E.C.C.; MARTINELLI, L.A.; CERRI, C.C.; ARAVENA, R. & ROZANSKI, K. 1996a. Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. *Radiocarbon*, 38(2): 203-208.
- PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. & TOMAZELLO, M. 1996b. The use of carbon isotopes (^{13}C , ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. *Radiocarbon*, 38(2): 191-201.
- PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; GOMES, B.M.; BOULET, R. & RIBEIRO, A.S. 1998. ^{14}C dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region. *Radiocarbon*, 40(2): 1013-1022.
- PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; ROSOLEN, V.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S. & LAMOTTE, M. 2001. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a Forest-Savanna transition zone, Brazilian Amazon region. *The Holocene*, 11(2): 250 - 254.
- PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R. & VALENCIA E.P.E. 2004. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *Quaternary International*, 114: 35-43.
- PESSENDA, L.C.R.; DE OLIVEIRA, P.E.; MOFATTO, M.; MEDEIROS, V.B.; GARCIA, R.J.F.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J.A.; LEITE, A.Z.; SAAD, A.R. & ETCHEBEHERE, M.L. 2009. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 ^{14}C BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary Research*, 71: 437-452.
- PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; DE OLIVEIRA, P.E. & ARAVENA, R. 2010a. Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297: 597-608.
- PESSENDA, L.C.R.; SAIA, S.E.M.G.; GOUVEIA, S.E.M.; LEDRU, M.P.; SIFEDDINE, A.; AMARAL, P.G.C. & BENDASSOLLI, J.A. 2010b. Last millennium environmental changes and climate inferences in the Southeastern Atlantic forest, Brazil. 2010b. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3): 717-729.
- PESSENDA, L.C.R.; VIDOTTO, E.; DE OLIVEIRA, P.E.; BUSO JUNIOR, A.A.; COHEN, M.C.L.; ROSSETTI, D.F.; RICARDI-BRANCO, F. & BENDASSOLLI, J.A. 2012. Late Quaternary vegetation and coastal environmental changes at Ilha do Cardoso mangrove, southeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 363-364: 57-58.
- PRANCE, G.T. 1982. A review of the phytogeographic evidences for Pleistocene climatic changes in the Neotropics. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 69(3): 594-624.
- RIZZINI, C.T. 1967. Delimitação, caracterização e relações da flora silvestre hileiana. *Atlas Simp. Biota Amazônica 4 (Botânica)*. p. 13-36.
- SAIA, S.E.M.G.; PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R. & BENDASSOLLI, J.A. 2008. Last Glacial Maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. *Quaternary International*, 184: 195-201.
- SANTOS, R.D.; BARRETO, W.O.; SILVA, E.F.; ARAÚJO, W.S.; CLAESSEN, M.E.C.; PAULA, J.L.; SOUZA, J.L.R.; PÉREZ, D.V. & SOUZA, J.S. 2004. Levantamento expedito dos solos das reservas florestais de Linhares e Sooretama no estado do Espírito Santo. *Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 49: 1-68.
- SANTOS, A.M.M.; CAVALCANTI, D.R.; SILVA, J.M.C. & TABARELLI, M. 2007. Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. *Journal of Biogeography*, 34: 437-446.
- SAPORETTI JR. A.W. 2009. *Vegetação e solos de muçununga em Caravelas, Bahia*. – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Tese Doutorado em Botânica, 139 p.
- THOMAS, W.W.; CARVALHO, A.M.V.; AMORIM, A.M.A; GARRISON, J. & ARBELÁEZ, A.L. 1998. Plant endemism in two forests in Southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 7: 311-322.

- VERÍSSIMO, N.P.; SAFFORD, H.F. & BEHLING, H. 2012. Holocene vegetation and fire history of the Serra do Caparaó, SE Brazil. *The Holocene*, 22(11): 1243-1250.
- WANNER, H.; BEER, J.; BÜTIKOFER, J.; CROWLEY, T.J.; CUBASCH, U.; FLÜCKIGER, J.; GOOSE, H.; GROSJEAN, M.; JOOS, F.; KAPLAN, J.O.; KÜTTEL, M.; MÜLLER, S.A.; PRENTICE, I.C.; SOLOMINA, O.; STOCKER, T.F.; TARASOV, P.; WAGNER, M. & WIDMANN, M. 2008. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1791-1828.
- WANNER, H. & BRÖNNIMANN, S. 2012. Is there a global Holocene climate mode? *PAGES News*, 20(1): 44-45.