

**Tafoflora Paleógena da Formação Entre-Córregos
(Bacia de Aiuruoca): Arquitetura Foliar e Paleoclima**
*Paleogene Taphoflora of the Entre-Córregos Formation (Aiuruoca Basin):
Foliar Architecture and Paleoclima*

Maria Cristina de Castro-Fernandes¹, Mary Elizabeth Cerruti Bernardes-de-Oliveira^{1,2}, Amanda Hoelzel²

¹Universidade Guarulhos - UnG, Praça Tereza Cristina, 88, CEP 07023-070, Guarulhos, SP, BR (crislaw@terra.com.br; maryeliz@usp.br)

²Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, BR (ahoelzel@usp.br)

Recebido em 15 de março de 2012; aceito em 24 de outubro de 2012

Resumo

O presente estudo faz uma análise da arquitetura foliar de fitofósseis da Formação Entre-Córregos, ocorrentes no município de Aiuruoca, Estado de Minas Gerais. Com base nas feições arquiteturais foliares observadas e seus significados como adaptações climáticas, o estudo demonstrou que a região, durante o Mesopaleógeno (Neoceno-Eo-oligoceno), apresentava clima úmido e temperaturas elevadas, e estava incluída no bioma tropical sempre úmido, passando a subtropical de verão úmido.

Palavras-chave: Arquitetura foliar; Tafoflora paleógena; Formação Entre-Córregos; Bacia de Aiuruoca; Tropical sempre úmido.

Abstract

The present study aims to analyze the leaf architecture of the Entre-Córregos Formation plant fossils, from the municipality of Aiuruoca, State of Minas Gerais. Based on these foliar architectural features and their meanings as climatic adaptation, the work shows that during the Middle Paleogene (Late Eocene-Early Oligocene), this region had high temperatures and wet weather, and was included into a tropical everwet biome going on to a subtropical summerwet.

Keywords: Foliar architecture; Paleogene taphoflora; Entre-Córregos Formation; Aiuruoca Basin; Tropical everwet biome.

INTRODUÇÃO

Desde seu estabelecimento por Linnaeus (1753), a classificação botânica baseia-se principalmente na morfologia e anatomia dos órgãos reprodutores das plantas. Todavia, nas assembleias fitofossilíferas são as impressões e compressões foliares os macrofósseis mais comumente encontrados. Esse fato tem levado os paleobotânicos a estudarem com muito mais detalhe os órgãos foliares.

A arquitetura foliar possui padrões que permitem definir e ilustrar conjuntos fisiognômicos ou morfográficos de valor taxonômico e que configuram estruturas morfoadaptativas fornecedoras de dados paleoecológicos, paleoclimáticos e paleogeográficos, uma

vez que a folha está entre os órgãos vegetais com mais nítida adaptabilidade ambiental.

No início do século XX, Raunkiaer (1934) reconheceu seis tipos foliares (leptófilo, nanófilo, micrófilo, mesófilo, macrófilo e megáfilo) ao notar a importância da área do limbo na classificação das folhas, uma vez que essa superfície poderia estar relacionada a diversos fatores, tais como: hereditariedade, biologia vegetal e ecologia (clima, solo). Assim, ele preconizou a utilidade dos tipos foliares para a sistemática vegetal e a interpretação ecológica. Contudo, não prosseguiu nesses estudos, que ficaram incompletos e quase esquecidos.

Mouton (1966) revisou o uso da classificação foliar de Raunkiaer para folhas procedentes de

diferentes tipos climáticos, concordando com as seguintes ideias do autor: a aridez do ar e do solo favorece a microfília, enquanto a umidade do solo tende para a mesofília; as fortes umidades do ar quente (tensão de vapor ou neblina) conduzem à megafília.

Hickey (1973) usou a expressão arquitetura foliar inicialmente no sentido de localização e forma dos elementos constituintes do aspecto externo da estrutura foliar, o que inclui forma foliar, configuração marginal, padrão de venação e posição de glândulas.

A seguir, a arquitetura foliar foi conceituada por Hickey e Wolfe (1975) como o aspecto da morfologia que se aplica à organização e à configuração espacial dos elementos foliares, excluindo-se histologia, função, origem e desenvolvimento. Atribuíram maior importância à organização foliar, às feições marginais, incluindo a morfologia dos dentes, configuração da veia principal, características da venação intercostal e localização de glândulas, como itens para a identificação taxonômica. A análise propiciou a primeira chave sistemática das feições arquitetônicas foliares das famílias de dicotiledôneas e o princípio de um método regular para identificação taxonômica de folhas (Hickey, 1979).

Uma terminologia mais precisa, com padrão inconfundível para descrever a morfologia e venação de folhas, mormente de dicotiledôneas, mas também de monocotiledôneas, foi proposto no *Manual of Leaf Architecture* pelo *Leaf Architecture Working Group* (Ash et al., 1999), recentemente atualizado por Ellis et al. (2009). Essa terminologia ou método possibilitou quantificar a forma foliar permitindo descrições mais objetivas e comparações mais precisas entre diferentes tipos de folhas fósseis e atuais.

O presente trabalho visou, com base em feições morfoadaptativas foliares observadas em material fóssil da Formação Entre-Córregos, descritas segundo o manual citado, interpretar as condições climáticas reinantes durante o tempo de vida da paleoflora, considerando na interpretação os pontos a favor e contrários levantados por Bailey e Sinnott (1916), Wolfe (1978, 1979), Upchurch e Wolfe (1987), Baker-Brosh e Peet (1997), Wilf (1997), Gastaldo (1990), Martín-Closas e Gomez (2004), Burk e Walther (2005), Greenwood (2005), Steart, Greenwood, Boon (2005), Royer et al. (2005) e Green (2006).

ÁREA DE PROCEDÊNCIA DOS FITOFÓSSEIS: LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia sedimentar paleógena de Aiuruoca está localizada entre os paralelos 21° 30'S e 22° 15'S e os meridianos 44° 15'W e 44° 45'W, ao sul do Estado de Minas Gerais, próximo às fronteiras com os Estados de São Paulo e do

Rio de Janeiro. Situa-se no Planalto do Alto Rio Grande, limitada ao nor-noroeste pela serra de Minduri e ao sudeste pela serra da Mantiqueira, com uma área de 3.400 km² e altitude média de 1.100 m. Corresponde à área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Aiuruoca, afluente do rio Grande (Santos, 1999) (Figuras 1 e 2).

Tem sua origem a partir dos eventos tectônicos iniciados no final do Mesozoico, resultantes da abertura do Atlântico e consequente “rifteamento” continental do sudeste brasileiro (Ricominni, Sant’Anna, Ferrari, 2004). No Paleógeno, eventos de soerguimento e abatimento escalonados de blocos geraram o sistema montanhoso das serras da Mantiqueira e do Mar. Nessa época, a Bacia de Aiuruoca desenvolveu-se como um semigráben de direção E-W ou ENE-WSW, basculado para NNW, alojado entre as serras da Mantiqueira e Minduri, tendo como sua principal área fonte a Serra da Mantiqueira, conforme Santos (1999) (Figura 2).

A bacia é composta por duas unidades litoestratigráficas: Formação Pinheirinho, que se assenta sobre o embasamento cristalino e corresponde à fácies fanglomerática de sistema de deposição tipo leque aluvial, e a Formação Entre-Córregos, constituída por folhelhos, correspondente à fácies lacustre da bacia e que se interdigita com a primeira, conforme Santos (1999), que definiu a bacia em sua tese de doutorado. Encontra-se recoberta discordantemente por depósitos pleistocenos latossolizados e, em alguns locais, por depósitos holocenos arenosos da sequência fluvial entrelaçada (braided) (Figura 3). A área-tipo foi designada à margem do córrego Entre-Córregos por apresentar estratos das duas formações (Santos, 1999).

A Formação Entre-Córregos apresenta níveis fossilíferos contendo microfósseis de folhas, caules, pequenos frutos, peixes, anfíbios, insetos e coprólitos. Com base em seu conteúdo palinológico, Garcia et al. (2000) atribuíram-lhe uma idade eocena/oligocena.

O afloramento de procedência dos fitofósseis corresponde a uma seção da Formação Entre-Córregos e está situado à margem esquerda do córrego Entre-Córregos, a 1.080 m de altitude (Figura 1). Desde o nível do leito do córrego, a seção apresenta uma camada de 1,42 m de espessura de folhelho papiráceo argiloso, cinza, médio, com abundantes fósseis de pipídeos, poucos fósseis caulinares de 2 a 3 cm de diâmetro, raros frutos e folhas, algumas penas de aves, insetos e peixes. Essa camada está sobreposta por outra de 0,10 m de ritmo com alternância de folhelho e arenito fino, argiloso e micáceo. O ritmo é rico em fitofósseis foliares e constituiu-se na principal fonte fornecedora dos espécimes estudados. Recobre-o um folhelho papiráceo, micáceo, cinza escuro, pobre em fitofósseis e muito alterado de 0,24 m de espessura. Acima, tem-se um solo orgânico argiloso, de 0,60 m de espessura, permeado por raízes atuais (Figuras 4 e 5).

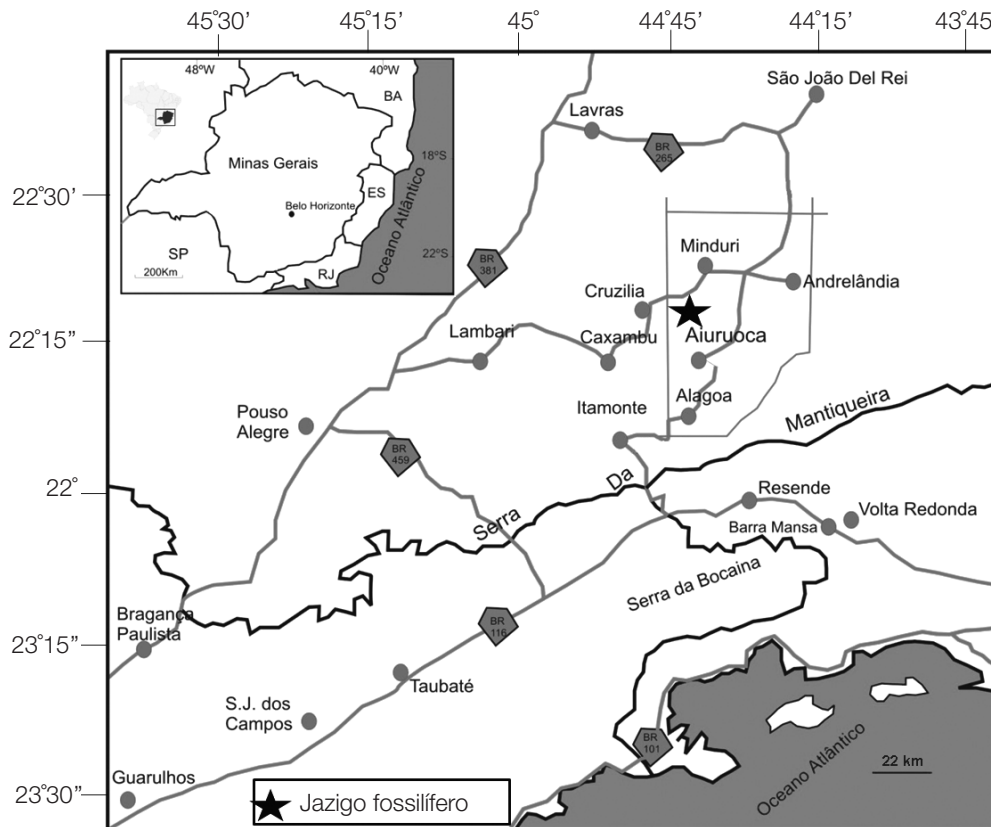


Figura 1. Mapa de localização da Bacia de Aiuruoca. Extraído de Franco-Delgado e Bernardes-de-Oliveira (2004).

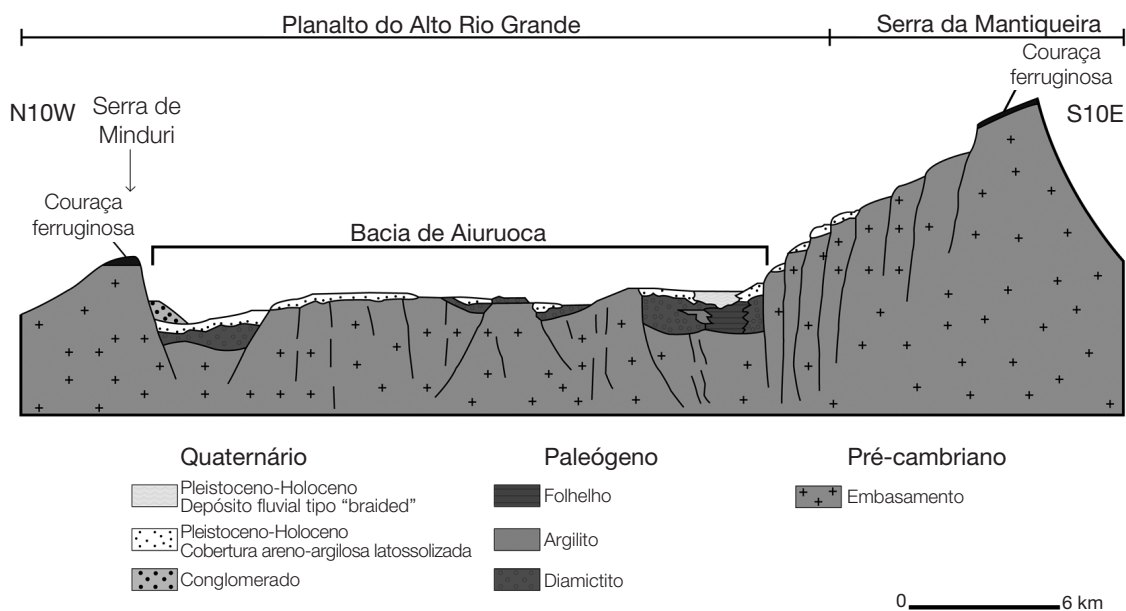


Figura 2. Seção transversal da Bacia de Aiuruoca situada no planalto do alto Rio Grande entre a Serra de Minduri, a noroeste, e a Serra da Mantiqueira, a sudeste. Modificado de Santos (1999).

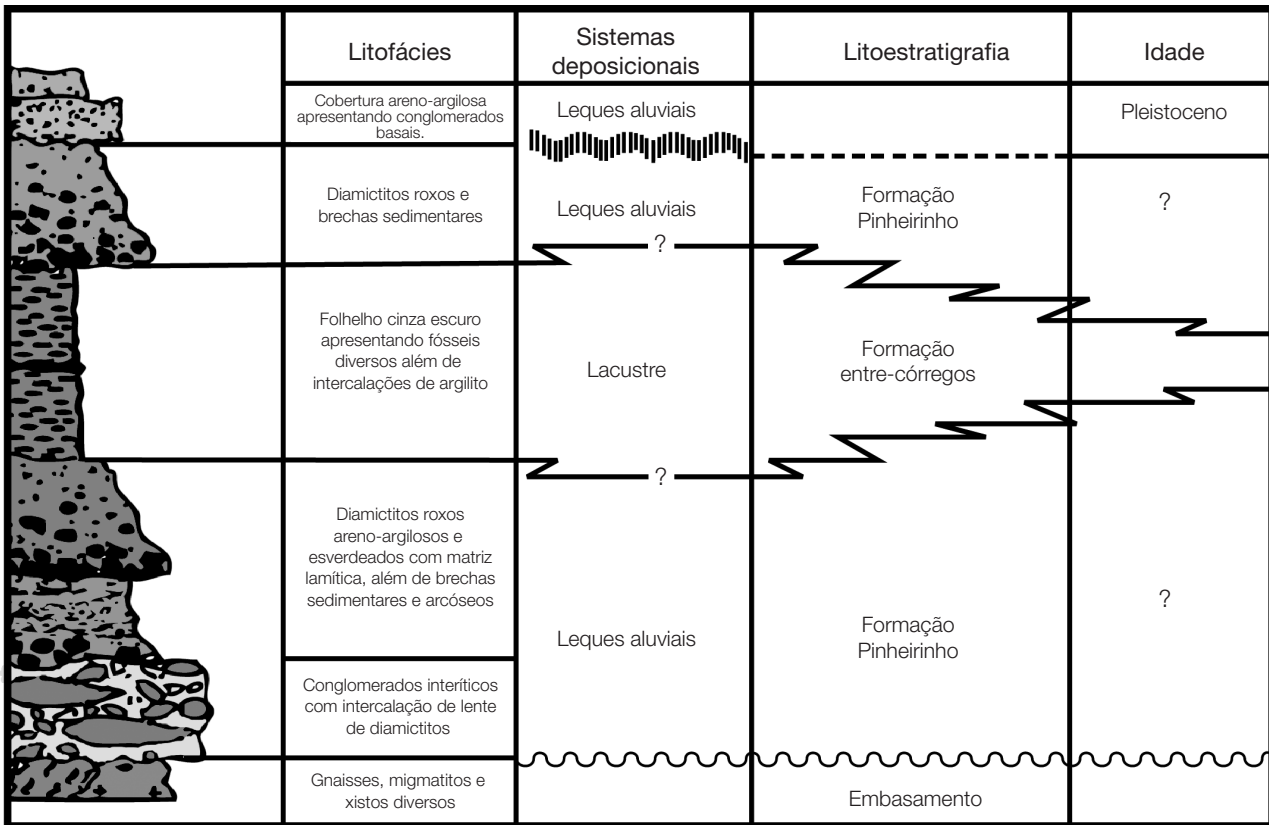


Figura 3. Unidades litoestratigráficas da Bacia de Aiuruoca, ambientes de sedimentação e idades. Modificada de Santos (1999).

MATERIAL E MÉTODOS DE ESTUDO

O material aqui analisado é constituído de 128 fitofósseis foliares preservados como incarbonizações, impressões ou contraimpressões. Estão depositados na coleção científica do Laboratório de Geociências da Universidade Guarulhos, sob numeração UnG/3T-03 a/b; UnG/3T-04 a/b; UnG/3T-219; UnG/3T-258 (identificados taxonomicamente), com mais 86 espécimes não passíveis de identificação taxonômica, mas com algumas feições morfológicas observáveis e avaliadas.

Os espécimes estão mais bem preservados nas lâminas argilosas do ritmito (margem, venação, ápice e/ou base) do que nas arenosas, onde as folhas foram preservadas inteiras, mas sem muitos detalhes, talvez devido à granulação mais grossa.

Quanto à tafonomia, devem ser ressaltados os seguintes aspectos: a) há uma fragmentação original, ocorrida durante a bioestratinomia. Entretanto, há também folhas preservadas inteiras, até mesmo com ápices agudos e delicados ou segmentos de frondes de folhas compostas, que evidenciarão transporte não muito longo e suave; b) a distribuição dos fitofósseis alongados sobre as lâminas da matriz é caótica, evidenciando

ambiente de corpo aquoso lântico, isto é, sem correnteza; c) a densidade de deposição é baixa, estando os fitofósseis esparsos pela superfície laminar da matriz, raramente se sobrepondo umas às outras, evidenciando ambiente sedimentar profundo e calmo e/ou pouca decidualidade foliar; d) os fitofósseis em matriz rítmica fina, com alternância de folhelhos e arenitos finos, argilosos e micáceos, evidenciarão, provavelmente, mudança muito pequena no aporte de sedimentos ao longo do ciclo (anual?), o que equivale dizer um clima mais ou menos homogêneo durante toda a época da deposição da camada.

Para estudos morfológicos da arquitetura foliar, os fitofósseis foliares, depois de descobertos na rocha matriz, foram examinados macroscopicamente e sob estereomicroscópio, com câmara clara acoplada.

As medidas lineares (comprimento, largura) foram feitas com paquímetro digital, e as angulares (ângulos da base, do ápice, de emergência da venação secundária etc.) com goniômetro ou transferidor sobre desenhos feitos com câmara clara ou sobre fotos ampliadas.

As medidas de superfície foram calculadas segundo a fórmula (comprimento x largura x 2) / 3, sugerida pelo Manual de Arquitetura Foliar (Ash et al., 1999).

Geocronologia		Litoestratigrafia	Profundidade	Descrição
Período	Época			
Quaternário			2,38 m	0,60 m - Solo orgânico argiloso, escuro permeado por raízes atuais.
			1,75 m	0,24 m - Folhelho papiráceo, micáceo, cinza escuro, pobre em fitofósseis, muito alterado com intromissões de raízes atuais.
Paleógeno	Oligoceno/Eoceno	Formação entre Córregos	1,52 m	0,10 m - Ritmito onde se alternam lâminas de folhelho e arenito fino, arenoso, micáceo, rico em fitofósseis, principalmente folhas.
			1,42 m	1,42 m - Folhelho papiráceo, argiloso, cinza escuro, com abundantes fósseis de pipídios e raros vegetais (predominando caules mais desenvolvidos) e pequeníssima quantidade de folhas, frutos e sementes, além de insetos, peixes e penas de aves.

Escalas:
Gráfica $\left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ cm} \\ 0 \text{ cm} \end{array} \right.$
Numérica 1: 20

Figura 4. Perfil colunar do afloramento fossilífero.

Na descrição e caracterização da “arquitetura foliar” ou fisiognomia foliar também foi utilizada a terminologia proposta pelo referido manual.

A TAFOFLORA DA FORMAÇÃO ENTRE-CÓRREGOS: DADOS MORFOGRÁFICOS

Designa-se aqui como “tafoflora Entre-Córregos” a assembleia fitofossilífera ocorrente em jazigo situado na área de Aiuruoca (MG), pertencente à unidade litoestratigráfica Formação Entre-Córregos. A tafoflora, descrita por Franco-Delgado (2002), Franco-Delgado e Bernardes-de-Oliveira (2004), Castro-Fernandes (2010) e Castro-Fernandes, Bernardes-de-Oliveira, Garcia (no prelo), apresenta como componentes: magnoliídeas, magnoliales (*Annona* sp., *Nectandra* sp.); malvídeas, malvales (*Apeiba* sp., *Luehea* sp.); mirtales (*Campomanesia* sp., *Eugenia* sp., *Myrciaria* sp., *Psidium* sp.); sapindales (*Sapindus* sp.) fabídeas, malpighiales (*Passiflora* sp.) e fabales (*Caesalpinia*, *Machaerium* spp.). Trata-se, portanto, de tafoflora relativamente bem diversificada, na qual predominam mirtales e fabales. Alguns exemplares podem ser vistos nas Figuras 6A a 6E.



Figura 5. Aspecto do folhelho no afloramento fitofossilífero. Foto de Castro-Fernandes, em 2008.

Os autores Franco-Delgado (2002); Franco-Delgado e Bernardes-de-Oliveira (2004); Bernardes-de-Oliveira et al. (2005); Bernardes-de-Oliveira, Castro-Fernandes e Franco-Delgado (2006); Bernardes-de-Oliveira, Garcia e Castro-Fernandes (2006) realizaram análises da arquitetura foliar de alguns elementos componentes da “tafoflora

Entre-Córregos”, para os quais obtiveram os resultados sintetizados na Tabela 1.

ANÁLISE E INTERPRETAÇÕES DA ARQUITETURA FOLIAR

Os dados fisiognômicos foram interpretados da seguinte forma:

- Quanto à área foliar: as folhas dessa taoflora apresentam tamanho variável entre micrófilos (45%) e mesófilos (33%), com presença menos frequente de macrófilos (22%) (Figura 7A). Pode-se afirmar (com base em Upchurch e Wolfe, 1987) que formas menores (micrófilos) podem estar associadas a condições de umidade relativamente mais baixas, temperaturas menores, altitudes elevadas ou ainda formas relacionadas ao dossel, transportadas por ventos acima da canóia em florestas tropicais úmidas (Martin-Closas e Gomez, 2004). Entretanto, há também a possibilidade de interpretar a presença de formas mesófilas como indicadora de certa disponibilidade de água, ainda que em profundidades maiores, para plantas xeromórficas, ou seja, com raízes profundas sob climas sazonais.

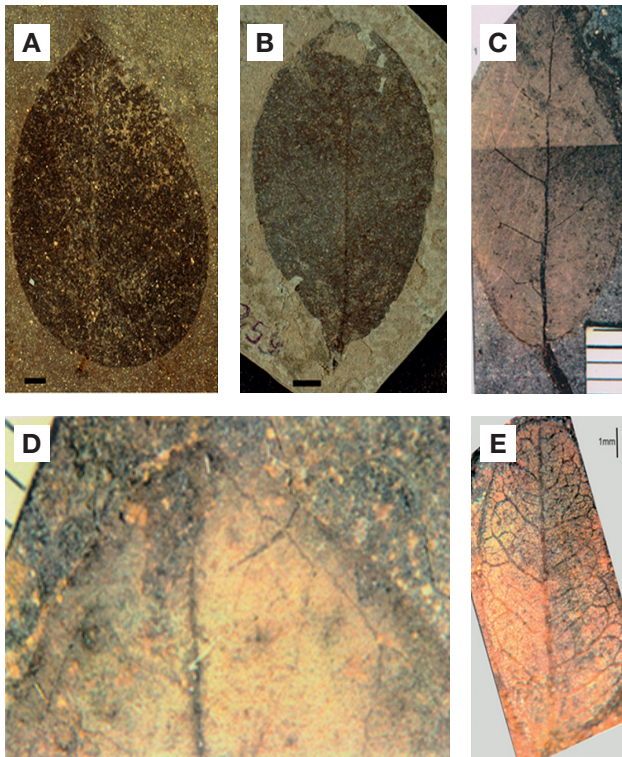


Figura 6. (A) *Machaerium* sp (Escala 5 mm); (B) *Machaerium* sp (Escala 3 mm); (C) *Eugenia* sp (Escala 5 mm); (D) *Psidium* sp (Escala 1 mm); (E) *Caesalpinia* sp (Escala 1 mm).

- Quanto ao tipo de margem: os paleobotânicos utilizam rotineiramente estatística de dados sobre tipos de margem foliar das floras fósseis como indicadores de paleoclimas (Bailey e Sinnott, 1916; Wolfe, 1978, 1979; Dolph e Dilcher, 1979; Wilf, 1997; Baker-Brosch e Peet, 1997; Royer et al., 2005).

Na taoflora de Entre-Córregos há uma forte predominância de formas de margem inteira (85%), ainda que haja formas de margem denteada (15%) (Figuras 6 e 7B). A predominância de folhas de margem inteira é uma forte indicação de florestas úmidas e, quando acima de 75%, está relacionada a baixas latitudes e altitudes, bem como altas temperaturas (Wolfe, 1968; Wilf, 1997). No entanto, esta característica pode estar mais associada à representatividade de uma vegetação regional, isto é, formas alóctones, enquanto a presença das formas lobadas e denteadas pode indicar formas parautóctones, ou seja, de ambientes marginais a corpo aquoso, conforme ressaltou Fittipaldi (1990). Essa elevada taxa de margens inteiras (85%) além do sugestivo ambiente úmido, conforme Wilf (1997) permite inferir uma temperatura média anual de 27°C, isto é, 8°C acima da média anual atual (de 19,1°C) para a mesma área, segundo <http://www.achetudoeregiao.com.br/mg/aiuruoca/geografia.htm> (Figura 8).

- Quanto ao tipo de ápice: 72% da assembleia com ápices preservados são agudos, atenuados e acuminados (com pontas gotejantes). Cerca de 20% dos ápices são arredondados e 8%, emarginados (Figura 7C). Segundo Wolfe e Upchurch (1987) e Fittipaldi (1990), os ápices atenuados e, principalmente, os acuminados (de pontas gotejantes) são relacionados a plantas de estratos inferiores das florestas úmidas, estando ausentes nos estratos superiores. Por outro lado, os ápices emarginados e arredondados podem ser atribuídos a árvores pertencentes ao estrato de cobertura (dossel), onde a umidade é menor, ou ainda relacionados à vegetação de climas subúmidos, no caso das fabáceas. Dessa forma, a morfologia desses ápices indicaria uma vegetação com estrato inferior de ambiente úmido (ambiente esciófito), e o estrato superior de ambiente mais seco (dossel, sujeito a maior exposição ao sol e aos ventos). Essas informações caracterizam bem uma vegetação relativamente aberta, próxima a corpos aquosos ou mata de galeria.
- Quanto à textura foliar: 77% dos fitofósseis foliares observados são de textura papirácea, 19%, semi-coriáceas/cartácea, e 4%, coriáceas (Figura 7D). Essa inferência, com base no baixo relevo das impressões e/ou na espessura da película carbonosa, é relativamente segura e é confirmada pelas informações da

Tabela 1. Algumas feições da arquitetura foliar da tafoflora Entre-Córregos, Bacia de Aiuruoca/MG (modificado de Franco-Delgado, 2002).

Feições de Arquitetura Foliar		Gêneros/Espécies											
		<i>Annona sp</i>	<i>Nectandra sp</i>	<i>Apeiba sp</i>	<i>Lueireia sp</i>	<i>Passiflora sp</i>	<i>Caesalpinia cf. c. eckinata</i>	<i>Macherium sp</i>	<i>Campomanesia sp</i>	<i>Eugenia sp</i>	<i>Mircaria sp</i>	<i>Psidium sp</i>	<i>Sapindus sp</i>
Área foliar	Micrófila		X						X	X	X	X	
	Mesófila	X		X	X	X							
	Macrófila						X	X					X
Margem foliar	Inteira	X	X				X	X	X	X	X	X	X
	Denteada			X	X	X							
Ápice foliar	Agudo		X	X	X	X				X	X	X	X
	Emarginado	X						X					
	Obtuso						X	X					
Textura foliar	Papirácea	X	X		X	X	X		X	X			X
	Semicoriácea			X			X					X	
	Coriácea								X				
Pilosidade	Glabra	X	X		X	X	X			X	X	X	X
	Pilosa			X				X	X				
Org. foliar	Simples	X	X	X	X				X	X	X	X	
	Composta						X	X					X

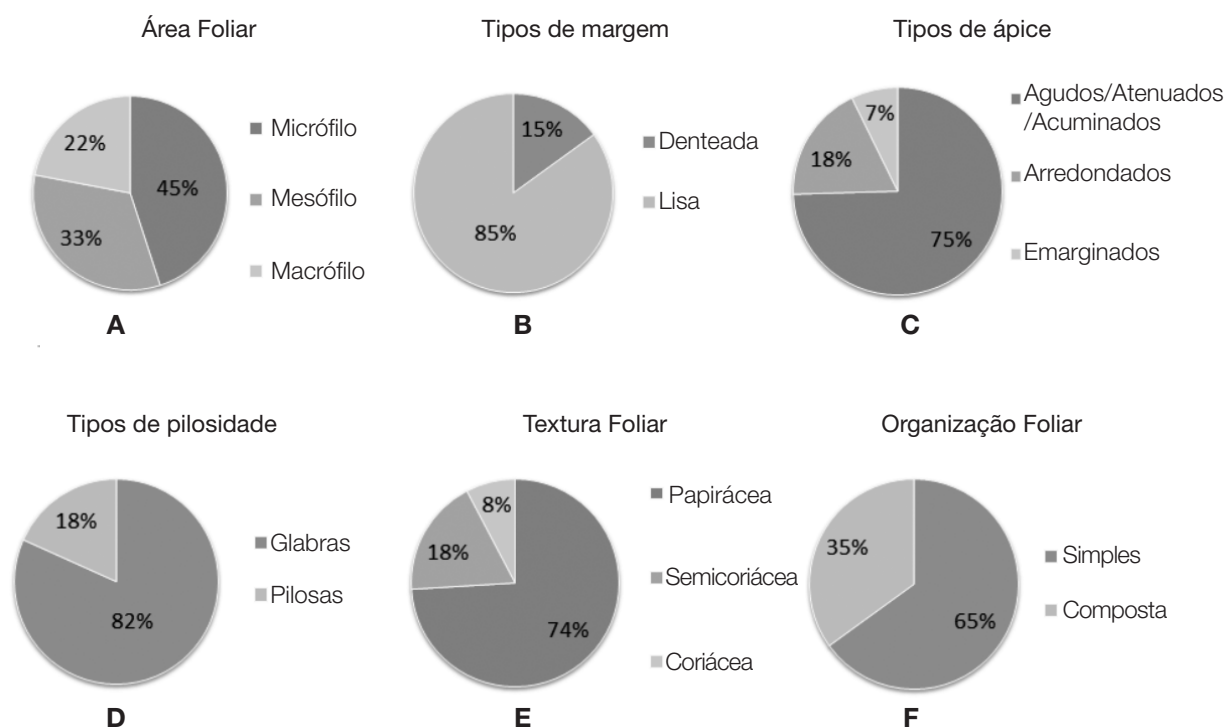


Figura 7. Gráficos referentes às percentagens de feições foliares na tafoflora de Entre-Córregos. (A) Área foliar; (B) Tipos de margem foliar; (C) Tipos de ápice foliar; (D) Tipos de textura foliar; (E) Tipos de pilosidade foliar; (F) Tipos de organização foliar.

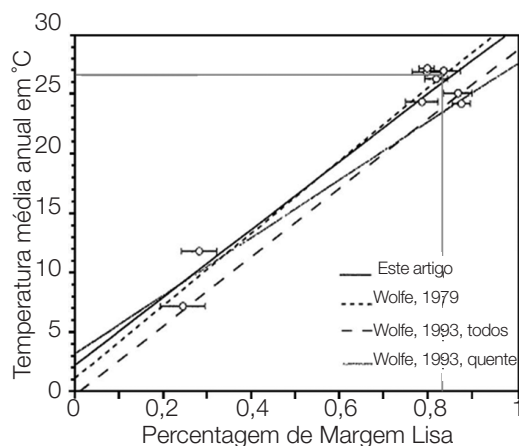


Figura 8. Relação margem inteira e temperatura para nove amostras florísticas, extraída de Wilf (1997), com modificação.

taxonomia genérica identificada em equivalentes atuais (por exemplo, *Annona*, *Luehea*, *Sapindus*, *Eugenia* etc.). O predomínio de folhas de textura papirácea sugere relação com uma vegetação composta de plantas contínuas ou periodicamente decíduas, relacionadas à vigência de estações sempre úmidas ou sazonalmente úmidas (Green, 2006).

- Quanto à pilosidade: verificou-se que 85% das folhas são glabras (lisas) e 15% são formas pilosas, caracteres detectados pela análise morfológica dos fósseis e por afinidades botânicas atuais. Fernandes (1998) observou que a cobertura pilosa acentuada estaria associada a vegetais que crescem sob intensa exposição à radiação solar.

Na tafloflora Entre-Córregos foi verificada a presença de caráter piloso nos gêneros *Apeiba*, *Macherium* e *Campomanesia*, que possivelmente estariam relacionados a um estrato superior (dossel), enquanto as formas glabras seriam características de estratos inferiores (micro e nanofanerófitos) relacionados a ambientes de sombra (esciófitos) e de elevada umidade atmosférica.

- Quanto à organização foliar: dos 128 espécimes examinados, verificou-se uma predominância de formas simples, 65% contra 35% de formas compostas, representadas pelas fabáceas e sapindáceas.
- Quanto à venação: os fitofósseis foliares da assembleia apresentaram 90% de venação primária pinada, com apenas dois exemplares de venação actinódroma de *Passiflora* sp. (UnG/3T-223) e de *Luehea* sp. (UnG/3T-221 e UnG/3T-222) e 100% de secundárias broquidódromas, o que evidencia um caráter bem

primitivo para a flora como um todo (Ellis et al., 2009), característico de floras neotropicais de clima úmido.

A TAFLOFLORA DA FORMAÇÃO ENTRE-CÓRREGOS: INTEGRAÇÃO DE DADOS

Integrando os dados obtidos na análise da arquitetura foliar e o significado morfoadaptativo de cada um deles, chega-se a um provável ambiente de vida ou cenário da paleoflora documentado em Entre-Córregos:

1. Havia um corpo aquoso lacustre (Santos, 1999) relativamente grande e calmo, de ambiente redutor, em cujas áreas rasas eram depositadas folhas, provenientes de uma vegetação marginal ou situada à pequena distância e, em profundidades maiores, eram depositados anfíbios aquáticos, insetos, caules, frutos e sementes.
2. Os dados taxonômicos dessa tafloflora apresentados em Franco-Delgado (2002); Franco-Delgado e Bernardes-de-Oliveira (2004); Castro-Fernandes, Bernardes-de-Oliveira, Garcia (no prelo) sugerem a presença de uma comunidade nanofanerófita a microfanerófita (< 6 m até 12 m de altura), constituída por *Sapindus*, *Psidium*, *Myrciaria*, *Eugeni*, etc., de localização ripariana.
3. Outra comunidade mesófila, dotada de dois ou três estratos, a dispor-se um pouco mais distante do lago, em encostas bem drenadas, e que seria constituída de *Annona*, *Nectandra*, *Apeiba*, *Luehea*, *Passiflora*, *Caesalpinia*, *Machaerium*, *Campomanesia* etc.
4. A tanatocenose como um todo evidencia um clima muito quente e úmido.
5. Os dados de arquitetura foliar sugerem um cenário de floresta tropical muito úmida e de altas temperaturas, do tipo presente hoje em baixas altitudes e encostas muito úmidas, nas baixas latitudes, típicas do quadro climático global do Eoceno-Oligoceno (Akhmetyev, 1987; Behrensmeyer et al., 1992).
6. Os dados palinológicos de cunho mais regional apontam também para a presença desta vegetação, cercada por outra de altitudes mais elevadas (Garcia, Santos, Hasui, 2000).
7. A área de Aiuruoca, hodiernamente, corresponde a uma área de tensão ou de enclave do cerrado em uma vegetação de floresta estacional semidecidual, segundo mapa do IBGE (1993). Durante o Paleógeno, apresentaria vegetação tipicamente mais úmida e semiúmida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um decréscimo paulatino e ligeiramente oscilante da temperatura média mundial é perceptível por vários fatores, desde um máximo climático antiglacial neocretáceo/

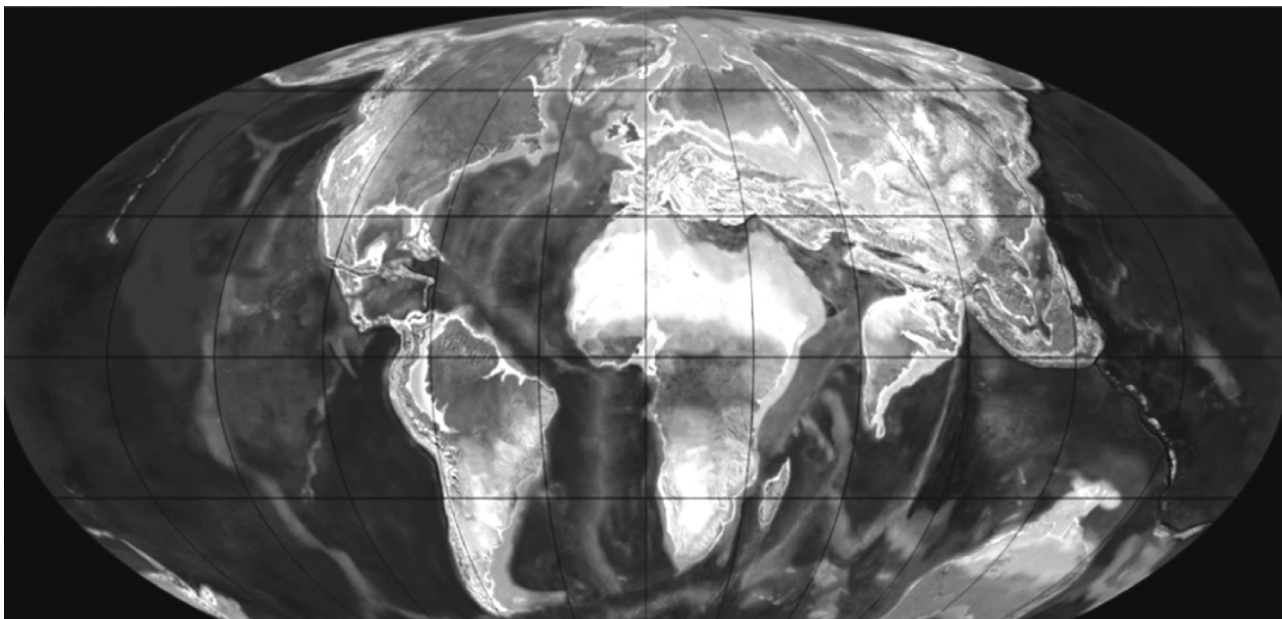


Figura 9. Mapa paleogeográfico do Neoceno mostrando a abertura NE do Atlântico Setentrional e a separação da Antártica e Austrália. Extraído de www.theresilientearth.com, em 24 de dezembro de 2012 .

eopaleógeno até os glaciais e interglaciais no Quaternário. Entretanto, por um curto período de tempo (Paleoceno/Eoceno, ao redor de 53/55 Ma) ocorreu uma elevação exagerada da temperatura, que coincide com a abertura do nordeste do Atlântico setentrional entre a Groenlândia e a Noruega, e também ao sul, com a separação da Antártica e a Austrália (Willis e McElwain, 2002) (Figuras 9 e 10).

Durante o Paleógeno, a vegetação moderna estendia-se desde o equador até as regiões polares; as zonas climáticas foram se estabelecendo à medida que a temperatura média global decrescia. Mesmo assim, alguns autores acreditam que no Oligoceno o clima ainda era mais quente que o atual, e os ambientes de deposição eram do tipo paludal (Figura 9).

No Brasil, o bioma tropical sempre úmido (com dicotiledôneas sempre verdes, lianas, palmeiras, fetos arbóreos e herbáceos) dominou durante o Paleoceno/Eoceno, como comprovam os registros fossilíferos macro e microfloreísticos da Formação Ipixuna/PA, da Formação Maria Farinha/PE e da Bacia Itaboraí/RJ. Esse mesmo tipo de bioma deve ter prevalecido em todo o oeste, centro-oeste e sul do Brasil. Embora não documentada, esta inferência é efetuada com base em ocorrências fossilíferas mais ocidentais coetâneas e de mesmas latitudes, como no Equador, Peru e noroeste da Argentina (Figura 10).

Na transição do Eoceno para o Oligoceno (ao redor de 34 Ma) e durante o Oligoceno propriamente dito, houve o resfriamento climático global e o crescimento de aridez decorrentes de grandes mudanças na circulação oceânica e da instalação do gelo sobre a Antártica (Figura 11).

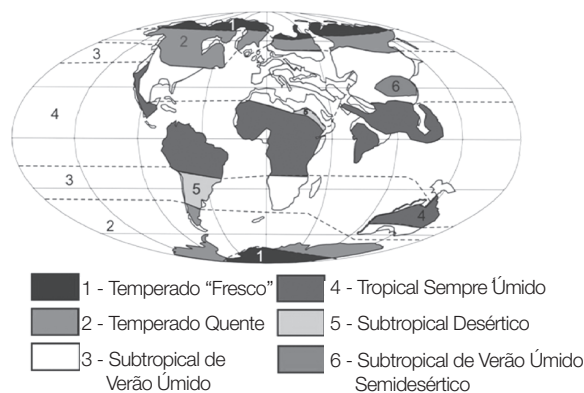


Figura 10. Mapa de Biomas do Eoceno. Modificado de Garcia et al., 2007.

O bioma subtropical de verão úmido, do tipo floresta paratropical (com dicotiledôneas perenifólias, lianas, palmas, coníferas (araucariáceas e podocarpáceas), fetos arbóreos e herbáceos, anteriormente apenas em latitudes mais altas na Argentina, avançou sobre o sul e sudeste brasileiros, conforme os registros principalmente palinológicos nas bacias de Macacu/RJ, Casa de Pedra/RJ, Resende/RJ, Bonfim/SP, Tanque/SP, nas formações Itatiaia (bacia de Resende/RJ), Tremembé (bacia de Taubaté/SP), São Paulo e Itaquaquecetuba (bacia de São Paulo/SP), chegando até as bacias de Aiuruoca, Fonseca e Gandarela (MG).

Conforme Garcia et al. (2007b) e Ricardi-Branco e Fanton (2007), os jazigos fitofossilíferos paleógenos

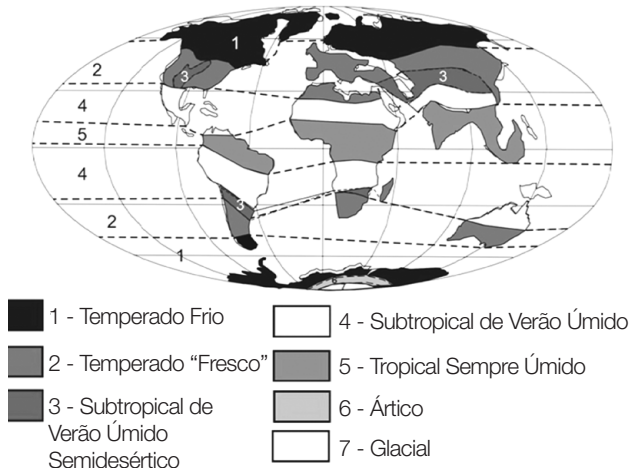


Figura 11. Mapa de biomas do Oligoceno. Notar o maior número de faixas climáticas em relação ao Eoceno. Modificado de Garcia et al., 2007.

brasileiros (paleocenos da Formação Ipixuna, sub-bacia de Cametá/PA; Formação Maria Farinha/PE e bacia de Itaboraí/RJ; meso a neoeocenos das bacias de Gandarela e Fonseca/MG e do linhito Caçapava, na bacia de Bonfim/SP; eocenos a oligocenos da Formação Entre-Córregos, na Bacia de Aiuruoca/MG; oligocenos da Formação Itaquaquecetuba, na bacia de São Paulo, e da Formação Tremembé, na bacia de Taubaté/SP) atestam a presença de uma vegetação predominantemente angiospérmica, típica de climas úmidos e quentes, que teria se desenvolvido em ambiente continental, provavelmente próxima a cursos de água e lagos nos quais foram depositados seus restos vegetais. Essas tafofloras constituem o documentário do paleobioma *neotropical subtropical de verão úmido*, do tipo *floresta paratropical* proposto por Rees, Ziegler, Valdes (2000) e Willis e McElwain (2002) (Figura 12).

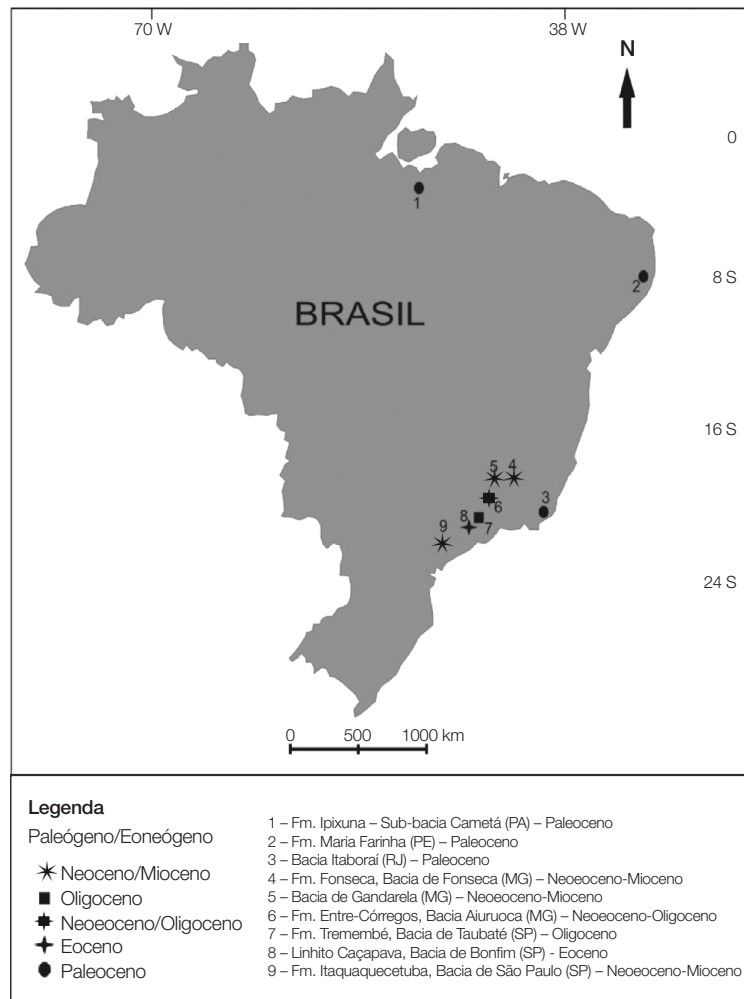


Figura 12. Mapa de localização das principais bacias com ocorrências fitofossilíferas paleógenas/eoneógenas brasileiras. Fontes com modificação: Garcia et al. (2007) e Veiga (2009).

REFERÊNCIAS

- AKHMETYEV, M. A. Cainozoic Floras. In: MEYEN, S. V. *Fundamentals of Palaeobotany*. New York: Chapman and Hall, 1987. p. 328-344.
- ASH, A.; ELLIS, B.; HICKEY, L. J.; JOHNSON, K.; WILF, P.; WINGS, S. *Manual of leaf architecture- morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Leaf Architecture Working Group (LAWG), Washington, DC: Smithsonian Institution, 1999. p. 65.
- BAKER-BROSH, K. F.; PEET, K. R. The ecological significance of lobed and toothed leaves in temperate forest trees. *Ecology*, v. 78, p. 1250-1255, 1997. [doi:http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1250:TESOLA]2.0.CO;2]
- BAILEY, I. W.; SINNOTT, E. W. The climate distribution of certain types of angiosperm leaves. *American Journal of Botany*, n. 3, p. 24-39, 1916.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; FRANCO-DELGADO, S. G.; FERNANDES, M. C. C.; SUCERQUIA, P. R. Malvaceae da Formação Entre-Córregos, Paleógeno da Bacia de Aiuruoca, Estado de Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 19, 2005, Aracaju. *Boletim de Resumos*, Aracaju, SBP, 2005.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; CASTRO-FERNANDES, M. C.; FRANCO-DELGADO, S. G. Folhas de Mirtáceas na Formação Entre-Córregos, Paleógeno da Bacia de Aiuruoca, Sudeste de Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7, SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1, 2006, Serra Negra. *Boletim de Resumos*, UNESP, 2006a. p. 22.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; GARCIA, M. J.; CASTRO-FERNANDES, M. C. Foliolos e Grãos de Pólen de Fabales na Formação Entre-Córregos, Paleógeno da Bacia de Aiuruoca, Sudeste de Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO ARGENTINO DE PALEOBOTANICA Y PALINOLOGIA, 13, 2006, Baia Blanca. *Boletim de Resumos*, Baia Blanca, Universidad Nacional del sur y CONICET, 2006b. p. 81.
- BEHRENSMEYER, A. K.; DAMUTH, J. D.; DIMICHELE, W. A.; POTTS, R.; SUES, H. D.; WING, S. L. *Terrestrial ecosystems through time: evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- BURK, D.; UHL, D.; WALTHER, H. Some aspects of the actinotaphonomy of leaves in stagnant ponds with implications for the formation of fossil leaf deposits: Preliminary results: Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, *Monatshefte*, v. 12, p. 705-728, 2005.
- DOLPH, G. E.; DILCHER, D. L. Foliar physiognomy as an Aid in determining paleoclimate. *Paleontographica*, Abt. B., v. 170, p. 151-172, 1979.
- ELLIS, B.; DAILY, D. C.; HICKEY, L. G.; JOHNSON, K. R.; MITCHELL, D. J.; WING, S. L. *The Manual of Leaf Architecture*. New York, Cornell University Press, 2009.
- FERNANDES, A. *Fitogeografia brasileira*. Recife: Multigraf, 1998. p. 340.
- FITTIPALDI, F. C. *Vegetais Fósseis da Formação Itaquaquetuba (Cenozoico, Bacia de São Paulo)*. 1990. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FRANCO-DELGADO, S. G. *Taoflora paleógena da Formação Entre-Córregos, Bacia de Aiuruoca, Estado de Minas Gerais, Brasil*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Centro de Pós- Graduação, Pesquisa e Extensão, Universidade de Guarulhos, Guarulhos, São Paulo.
- FRANCO-DELGADO, S. G.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. Annonaceae e Lauraceae da Formação Entre-Córregos (Paleógeno) na Bacia de Aiuruoca: Implicações Paleoclimáticas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 7, n. 2, p. 117-126, 2004.
- GARCIA, M. J.; SANTOS, M.; HASUI, Y. Palinologia da parte aflorante da Formação Entre-Córregos, bacia de Aiuruoca, Terciário de Minas Gerais, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, v. 5, p. 259, 2000.
- GASTALDO, R. A. The paleobotanical character of log assemblages necessary to differentiate blow-downs resulting from cyclonic winds, *Palaios*, v. 5, p. 472-478, 1990.
- GREEN, W. A. Loosening the CLAMP: An exploratory graphical approach to the climate leaf analysis multivariate program, *Paleontologia Electronica*, v. 9, n. 2, p. 17, 2006.
- GREENWOOD, D. R. Leaf margin analysis: Taphonomic constraints, *Palaios*, v. 20, p. 498-505, 2005.

- HICKEY, L. J. Classification of the architecture of dicotyledonous leaves, *American Journal of Botany*, v. 60, p. 17-33, 1973.
- HICKEY, L. J. A revised classification of the architecture of dicotyledonous leaves. In: METCALFE, C.R.; CHALK, L. W. (eds.) *Anatomy of the dicotyledons*. Oxford Science Publications, Clarendon Press. Oxford, v. 1, p. 25-39, 1979.
- HICKEY, L. J.; WOLFE, J. A. The bases of angiosperm phylogeny: vegetative morphology, *Annals Missouri Botanical Garden*, v. 62, p. 538-589, 1975.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de fitofisionomias do domínio da mata Atlântica. In: *Mapa de vegetação do Brasil*, Instituto sócio-ambiental, 1993.
- LINNAEUS, C. Species Plantarum, Exhibentes Plantas Rite Cogmitas, ad Genera Relatas cum Differentis Specificis Nominibus, Trivialibus, Synonymis, Selectis, Secundum Systema Sexuale Digestas. Tomus I. Paris: Laurentii Salvi, 1753.
- MARTÍN-CLOSAS, C.; GOMEZ, B. Taphonomie des plantes et interprétations paléocologiques, Une synthèse. *Geobios*, v. 37, p. 65-88, 2004.
- MOULTON, J. A. Les types biologiques foliaires de Raunkiaer etat actuel de la question, *Bulletin de la Société Botanique de France*, Momoires, p. 28-36, 1966.
- RAUNKIAER, C. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford: Clarendon Press, 1934. p. 368-378.
- REES, P. M.; ZIEGLER, A. M.; VALDES, P. J. Jurassic phytogeography and climates: new data and model comparisons. In: Hueber, F. M.; Macleod, K. G., Wing, S. L. (eds.) *Warm climates in Earth history*. Cambridge: University Press, 2000. p. 297-318.
- RICARDI-BRANCO, F.; FANTON, J. C. M. Principais registros paleoflorísticos do Cenozóico brasileiro. In: Carvalho, I.S., et al. (eds). *Paleontologia: Cenários da Vida*. v. 1. Rio de Janeiro: Interciência, 2007. p. 645-655.
- RICOMINNI, C; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO, V; BARTORELLI, A; CARNEIRO, C. D. R.; NEVES, B. B. B. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 383-405.
- ROYER, D. L.; WILF, P.; JANESKO, D. A.; KOWALSKI, E. A.; DILCHER, D. L. Correlations of climate and plant ecology to leaf size and shape: potential proxies for the fossil record, *American Journal of Botany*, v. 92, p. 1141-1151, 2005.
- SANTOS, M. *Serra da Mantiqueira e Planalto do Alto Rio Grande: a bacia terciária de Aiuruoca e evolução morfotectônica*. 1999. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, São Paulo.
- STEART, D. C.; GREENWOOD, D. R.; BOON, P. I. Paleocological implications of differential biomass and litter production in Canopy Trees in Australian *Nothofagus* and *Eucalyptus* forests, *Palaios*, v. 20, p. 452-462, 2005.
- UPCHURCH, G. R. Jr.; WOLFE, J. A. Mid-Cretaceous to Early Tertiary vegetation and climate: evidence from fossil leaves and wood. In: Friis, E.M., Chaloner, W.G., Crane, P.R. (eds). *The origins of angiosperms and their biological consequences*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. p. 75-105.
- WILF, P. When are Leaves good Thermometers? A New Case for leaf margin Analysis, *Palaeobiology*, v. 23, n. 3, p. 373-390, 1997.
- WILLIS, K. J.; McELWAIN, J. C. *The Evolution of Plants*. Oxford: Oxford University Press, 2002. p. 378.
- WOLFE, J. A. Paleogene biostratigraphy of nonmarine rocks in King County, Washington, *United States Geological Survey Professional Paper*. v. 571, p. 33, 1968.
- WOLFE, J. A. A Palaeobotanical Interpretation of Tertiary Climates in the Northern Hemisphere, *American Scientist*, v. 66, p. 694-703, 1978.
- WOLFE, J. A. Temperature parameters of humid to mesic forests of eastern Asia in relation to forests of other regions of the Northern Hemisphere and Australasia, *United States Geological Survey Professional Paper*; v. 1106, p. 37, 1979.