

Paleontologia: Cenários de Vida



Editores:

Ismar de Souza Carvalho

Rita de Cassia Tardin Cassab

Cibele Schwanke

Marcelo de Araujo Carvalho

Antonio Carlos Sequeira Fernandes

Maria Antonieta da Conceição Rodrigues

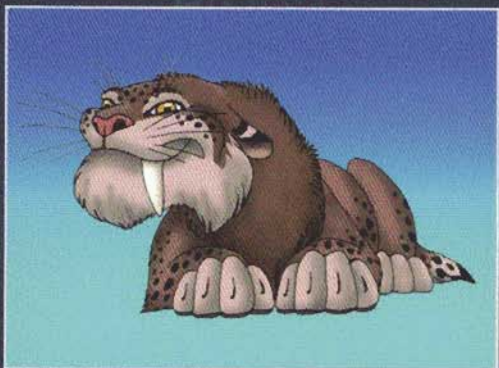
Marise Sardenberg Salgado de Carvalho

Mitsuru Arai

Maria Emília Queiroz Oliveira



Volume 1



PATROCÍNIO:



PETROBRAS



EDITORA INTERCIÊNCIA

OCORRÊNCIAS DE ÂMBAR NAS BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS – UMA REVISÃO

AMBER OCCURRENCES IN THE BRAZILIAN SEDIMENTARY BASINS – A REVIEW

Ricardo Pereira¹, Ismar de Souza Carvalho¹, Débora de Almeida Azevedo²
& Antônio Carlos Sequeira Fernandes³

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia,
Av. Brigadeiro Trompowski, s/n, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, 21910-200

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica,
Av. Brigadeiro Trompowski, s/n, CT, Bl. A, 6º andar, Cidade Universitária, Ilha do Fundão,
Rio de Janeiro, RJ, 21949-900

³Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Departamento de Geologia e Paleontologia,
Quinta da Boa Vista, s/n, São Cristóvão, Rio de Janeiro, RJ, 20940-040

ricardopereira@iq.ufrj.br, ismar@geologia.ufrj.br, debora@iq.ufrj.br, fernande@acd.ufrj.br

RESUMO

O estudo do âmbar mostra-se de grande importância para diversas áreas das Geociências, tais como a Geoquímica Orgânica, Paleobotânica e Paleoecologia. No Brasil as ocorrências de resinas fósseis são raras, sendo em sua maioria datadas do Cretáceo Inferior (Aptiano-Albiano). Este artigo apresenta uma revisão das pesquisas de âmbar no Brasil, resumindo as informações disponíveis na literatura quanto à Quimiotaxonomia, Paleobotânica e o contexto geológico e paleoambiental das resinas fósseis.

Palavras-chave: Âmbar, Paleobotânica, Geoquímica Orgânica

ABSTRACT

The research on amber has a major role in many geoscience areas, such as, Organic Geochemistry, Paleobotany and Paleoecology. In Brazil, the occurrences of fossil resins are rare, and most of them were recorded from Lower Cretaceous (Aptian-Albian) deposits. This contribution presents a review of amber research in Brazil, gathering information available in literature about Chemotaxonomy, Paleobotany, geological and paleoenvironmental context of the fossil resins.

Key-words: amber, Paleobotany, Organic Geochemistry

1. INTRODUÇÃO

O âmbar e o copal são produtos do processo de fossilização de resinas vegetais, secretadas por angiospermas ou gimnospermas. Essas resinas consistem em misturas de terpenos e fenóis, produzidos em dutos internos ou glândulas superficiais especializadas dos vegetais. Geralmente uma resina vegetal que possui vários milhões de anos, tem idade suficiente para sofrer polimerização e ser classificada como âmbar. Aquelas com milhares de anos, por outro lado, são conhecidas como copal. Este processo de polimerização é o principal responsável pelo endurecimento e alta resistência do âmbar às influências ambientais (Langenheim, 1990).

O âmbar ocorre no tempo geológico desde o Devoniano até o Mioceno, constituindo amplos depósitos ou ocorrências isoladas. O registro de âmbar mais antigo é datado do Devoniano, tendo sido encontrado na Bacia do Parnaíba (Formação Cabeças), segundo Viana *et al.* (2001). No Carbonífero, fósseis de árvores do gênero *Cordaites* mostram evidências de canais secretores de resinas (Van Bergen *et al.*, 1995). Durante os períodos Permiano e Triássico, os registros de âmbar são escassos. Segundo Martinez-Delclòs *et al.* (2004), a partir do Triássico, pteridospermas são gradualmente substituídas por formas mais evoluídas de gimnospermas – as coníferas. Assim, no Cretáceo, o âmbar torna-se mais comum no registro geológico, coincidindo com o aumento de temperatura e umidade no clima, bem como com o surgimento de coníferas da família Araucariaceae.

O estudo do âmbar, de sua composição molecular e de suas inclusões mostra-se de grande importância para a Geoquímica Orgânica, Paleobotânica e Paleopalinologia, bem como para a Paleoecologia.

O estudo dos processos envolvidos na transformação da resina em âmbar é relevante em estudos ligados à Geoquímica Orgânica, por contribuir com dados referentes às alterações diagenéticas sofridas pela matéria orgânica na geosfera (Otto & Simoneit, 2001). Por outro lado, Franceschi *et al.* (2000) apontam que o estudo de assembléias palinológicas preservadas em âmbar pode se tornar uma nova especialidade da Paleopalinologia.

No âmbito da Paleobotânica a Quimiotaxonomia é uma ferramenta comum em estudos sistemáticos de plantas extintas. Diversas classes de compostos orgânicos, como fenóis, ligninas e terpenóides, são valiosos para elaboração de propostas quimiotaxonômicas. Estes compostos podem ser extraídos de sedimentos, compressões carbonizadas de vegetais fósseis, bem como de âmbar (Otto & Simoneit, 2001, 2002; Otto *et al.*, 2002). O conhecimento de grupos de moléculas características pode fornecer importantes informações quanto à sistemática de espécies fósseis desconhecidas, dados para a reconstrução da flora fóssil em sedimentos sem estruturas anatômicas preservadas e para a reconstrução de relações filogenéticas (Otto & Wilde, 2001).

Há várias tentativas de se correlacionar esses chamados geo-terpenóides (ou biomarcadores) com os terpenóides bio-sintetizados de diferentes fontes vegetais. A matéria orgânica isolada de fósseis vegetais distintos mostra-se bastante adequada para investigações quimiosistemáticas. Isso se deve ao fato de que as impressões carbonizadas de folhas, madeira e ramos podem conter geo-terpenóides que podem ser associados com certas moléculas precursoras conhecidas em plantas extintas (Otto & Simoneit, 2001, 2002; Otto *et al.*, 2002; 2003; 2005), o que se constitui num princípio aplicado também à elucidação da origem botânica do âmbar.

O âmbar pode apresentar ainda diversos organismos preservados em seu interior. Esses registros comumente revelam interações como reprodução, comensalismo e parasitismo sendo, portanto, muito úteis em estudos de Paleozoologia e Paleoecologia (Martinez-Delclòs *et al.*, 2004).

O propósito desse artigo é apresentar uma revisão das pesquisas acerca dos âmbar encontrados no Brasil, sintetizando os conhecimentos geológicos e paleontológicos existentes na literatura até o momento.

2. AS OCORRÊNCIAS DE ÂMBAR NAS BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS: HISTÓRICO, CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEOAMBIENTAL

Ao todo, a literatura aponta um total de 14 registros de resinas fósseis no país, entre ocorrências de âmbar e copal. Destes, cinco provém da Bacia do Araripe (Formação Santana, Membro Crato), revelando esta bacia ser até o momento a localidade no Brasil com maior número de ocorrências de âmbar. Os outros registros encontram-se distribuídos entre as bacias do Amazonas, Parnaíba, Pirabas e Recôncavo, bem como na bacia hidrográfica do rio Amapari. A tabela 1 mostra uma síntese de informações sobre o âmbar no Brasil.

Até a década de 1970, apenas três registros de âmbar no país são conhecidos. Fróes de Abreu (1937) fornece o primeiro registro de âmbar no Brasil. Tratam-se de fragmentos de material resinoso em arenito, de coloração variando do amarelo-avermelhado a vermelho, tendo volume inferior a 1 cm³. Diversas informações de caráter físico-químico são descritas por Fróes de Abreu (1937), tais como um ponto de fusão superior a 375°C, baixa solubilidade em solventes orgânicos de caráter polar (etanol, propanona e clorofórmio) e fórmula bruta representada por C₂₈H₄₄O₃S. O material foi datado como do Cretáceo Inferior (Aptiano), sendo proveniente da Formação Maracangalha, Bacia do Recôncavo, tendo sido depositado em ambiente flúvio-lacustre.

Num trabalho pioneiro no país, Langenheim & Beck (1968) realizaram as primeiras análises por Espectroscopia no Infravermelho de uma amostra de âmbar brasileiro. A mesma é de idade miocênica e proveniente da Formação Pirabas, cujos depósitos são interpretados como de ambiente marinho litorâneo. O espectro de infravermelho obtido para esta amostra foi incluído num catálogo de espectros de infravermelho de resinas fósseis de diferentes localidades e idades. Com isso, este trabalho se constitui na primeira referência internacional de uma amostra de âmbar brasileira.

Castro *et al.* (1970) reportaram a primeira ocorrência de âmbar no Membro Crato da Formação Santana, Bacia do Araripe. Os âmbares descritos pelos autores ocorrem em um pacote de arenito fino a siltico, compacto a friável, com estratificação cruzada na parte superior e várias intercalações de filmes finos de material carbonoso na porção inferior. Interpretou-se o paleoambiente onde as resinas foram encontradas como flúvio-lacustre. A cor desses âmbares varia do avermelhado ao castanho-claro, sendo que umas das poucas características físico-químicas determinadas para esse âmbar foi a baixa solubilidade em etanol e éter. Os nódulos de âmbar apresentam-se com seus eixos maiores paralelos aos planos de estratificação do sedimento, deformados provavelmente pela compressão litostática. Essa característica foi posteriormente também observada para diversas outras amostras de âmbar provenientes do Membro Crato (Martill *et al.*, 2005; Pereira, 2006).

Após o trabalho de Castro *et al.* (1970), entre as décadas de 1970 e 1990 não há na literatura científica nenhuma menção a âmbar no Brasil. No entanto, a partir de 1998, novos relatos de âmbar começam a surgir na literatura por meio de dissertações de mestrado, artigos científicos e resumos publicados em diversos congressos e simpósios.

Carvalho (1998) escreveu a primeira dissertação de mestrado no país analisando resinas fósseis brasileiras sob o ponto de vista da Geoquímica Orgânica e Quimiotaxonomia. Foi determinada a composição molecular de amostras de âmbar provenientes das bacias do Parnaíba (Formação Itapecuru) e Recôncavo (Formação Maracangalha), bem como de amostras quaternárias de copal provenientes da Bacia do Amazonas e bacia hidrográfica do rio Amapari. Este é o primeiro trabalho

no país a relatar uma ocorrência de copal, sendo também o primeiro relato de âmbar na Bacia do Parnaíba. As análises realizadas permitiram propor possíveis afinidades botânicas para as resinas fósseis estudadas.

Dino *et al.* (1999) relataram a primeira ocorrência de âmbar na Bacia do Amazonas (Formação Alter do Chão), sendo datado como do Cretáceo Inferior (Albiano). O material provém de depósitos fluviais, encontrado sob a forma de diversos fragmentos de coloração amarelada. É importante salientar que os autores tiveram como principal objetivo em seu trabalho a caracterização palinológica e estratigráfica da Formação Alter do Chão. As amostras de âmbar foram encontradas ao se realizarem sondagens para obtenção de sedimentos para análise palinológica (com. pess. Rodolfo Dino, 2006).

Cardoso *et al.* (1999) reportam a ocorrência de quatro fragmentos de material resinoso, amarelado, obtidos durante a escavação de um poço na localidade do Sítio do Oiti, em Santana do Cariri, CE. Os fragmentos, com diâmetro médio de 3 cm, foram encontrados em veios d'água que jorravam do calcário laminado pertencente ao Membro Crato (Formação Santana). Apresentam ainda aspecto trincado e com fratura conchoidal. Os resultados preliminares das análises realizadas nesse material, segundo Cardoso *et al.* (1999), não permitiram afirmar se a resina fóssil encontrada é âmbar ou copal. No entanto, com base na idade das amostras, afirmamos que essas resinas fósseis constituem amostras de âmbar. Por definição, considera-se copal a resina fóssil de idade quaternária (Langenheim, 1990).

Carvalho, I.S. *et al.* (1999), Carvalho, M.A. *et al.* (2000) e Carvalho & Carvalho (2001) publicaram três artigos traçando um panorama do conhecimento sobre o âmbar nas bacias sedimentares brasileiras, bem como reportando resultados das análises quimiotaxonômicas realizadas por Carvalho (1998).

Cardoso *et al.* (2001) registraram posteriormente novas ocorrências de âmbar para a Bacia do Araripe, no Membro Crato da Formação Santana.

Viana *et al.* (2001) relataram a ocorrência de âmbar mais antiga do registro geológico. A amostra descrita pelos autores possui aproximadamente 2 cm de diâmetro, tendo sido localizada nos arenitos da Formação Cabeças (ambiente flúvio-estuarino), Bacia do Parnaíba, sendo datada do Devoniano Médio-Superior (Givetiano-Frasniano).

Martill *et al.* (2005) apresentam um estudo tafonômico e físico-químico de resinas fósseis provenientes da Bacia do Araripe (Membro Crato da Formação Santana). Além disso, registram a ocorrência de hifas de fungos preservadas no âmbar analisado, o que consiste no primeiro registro no Brasil de inclusões orgânicas em âmbar.

Pereira (2006) e Pereira *et al.* (2006a, 2006b, 2006c), também desenvolveram estudos geoquímicos, quimiotaxonômicos e paleopalínológicos de âmbar cretácicos das bacias do Amazonas (Formação Alter do Chão), Araripe (Formação Santana, Membro Crato) e Recôncavo (Formação Maracangalha, Membro Caruaçu). Ressalta-se aqui que os âmbares da Bacia do Amazonas analisados por Pereira (2006) foram descritos previamente por Dino *et al.* (1999).

3. COMPOSIÇÃO MOLECULAR E AFINIDADES PALEBOTÂNICAS

Entre os métodos analíticos comumente utilizados na elucidação da composição molecular e origem botânica do âmbar, citam-se a Espectroscopia de Infravermelho e a Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM).

No Brasil, análises de âmbar por infravermelho foram realizadas inicialmente por Langenheim & Beck (1968). Como resultado, os autores concluíram que o âmbar analisado possui afinidade paleobotânica com a família Leguminosae, o que se deduziu por comparação com o espectro de infravermelho de uma resina atual produzida por *Hymenaea courbaril* (jatobá).

Por meio também de análises envolvendo Espectroscopia no Infravermelho, Martill *et al.* (2005) determinaram como possível fonte paleobotânica para âmbares por eles estudados da Bacia do Araripe a família Araucariaceae. Esta conclusão foi apoiada também pela observação de possíveis microexudações de resina em fósseis de coníferas do Membro Crato.

Compostos individuais encontrados no âmbar, e em associação com fósseis vegetais, podem ser relacionados a certas classes estruturais, sendo estas agrupadas de acordo com presumíveis rotas de síntese bioquímica (Otto & Wilde, 2001).

Vários estudos envolvendo CG/EM tentaram estabelecer as afinidades paleobotânicas de âmbares de diversos locais do mundo, com diferentes idades, a partir de suas composições moleculares (Mills *et al.*, 1984; Czechowski *et al.*, 1996; Otto *et al.*, 2003).

A tabela 2 mostra os compostos orgânicos identificados nas resinas fósseis analisadas por Carvalho (1998) e Pereira (2006). Os âmbares (Figura 1) analisados quimicamente no Brasil apresentam uma composição molecular baseada em: parafinas; fenóis e ácidos carboxílicos; alquil-benzenos, alquil-naftalenos e alquil-hidronaftalenos; monoterpênos, sesquiterpênos e diterpênos.

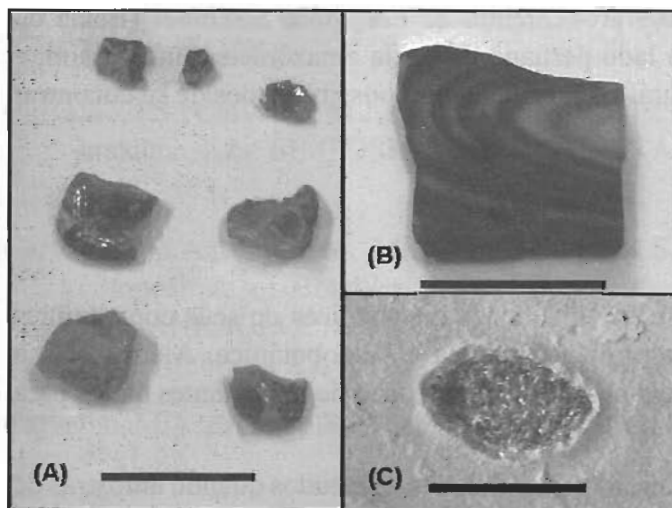


Fig. 1: Fotografias de âmbares brasileiros analisados por Pereira (2006). (A) Âmbares da Bacia do Amazonas, Formação Alter do Chão. Barra de escala: 2 cm. (B) Âmbar da Bacia do Recôncavo, Formação Maracangalha. Barra de escala: 1 cm. (C) Âmbar da Bacia do Araripe, Membro Crato. Barra de escala: 2 cm.

Foi proposta a família Araucariaceae como a provável fonte botânica dos âmbares das bacias do Amazonas, Araripe, Parnaíba e Recôncavo. Esta classificação baseou-se, principalmente, na comparação com resultados analíticos encontrados para âmbares reconhecidamente originados de araucariáceas, como os descritos, por exemplo, por Grimalt *et al.* (1988). Diversos diterpênos derivados do pimarano e abietano foram encontrados nessas amostras. São eles: 16,17,19- trisnorabieta-8,11,13-trieno, 7-oxo-16,17,18-trisnorabieta-8,11,13-trieno, ácido isopimara-8,15-dien-18-óico, ácido 16,17-bisnordeidroabiético, ácido isopimar-7-en-18-óico, abietatrienona, 16,17-bisnordeidroabietato de metila, deidroisopimarato de metila e deidroabietato de metila. Diterpenóides com esqueletos de pimarano, abietano e labdano são, segundo Wang & Simoneit (1990), constituintes de resinas fósseis da família Araucariaceae, especialmente o gênero *Agathis*. A ausência de diterpênos específicos para as famílias Pinaceae, Podocarpaceae e Cupressaceae, exclui esses grupos como fontes para os âmbares analisados.

No entanto, compostos derivados do filocladano e kaurano são biomarcadores específicos para a família Araucariaceae (Otto & Simoneit, 2002). Estes não foram identificados em nenhuma das

amostras das bacias do Amazonas, Araripe, Parnaíba e Recôncavo. Dessa forma, estabelecer a família Araucariaceae como a origem botânica desses âmbares com base exclusivamente na composição molecular das amostras é algo que merece atenção. A presença de fósseis de Araucariaceae nos estratos sedimentares em que os âmbares foram localizados é um dado importante a ser levado em consideração na determinação da origem botânica dos âmbar, tendo sido um dos argumentos utilizados por Pereira (2006) na elaboração de sua proposta quimiotaxonômica.

O copal analisado por Carvalho (1998) demonstrou afinidade paleobotânica com a família Leguminosae, a partir da detecção dos sesquiterpenos α -cubebeno, *cis* e *trans* cariofileno, β -elemeno, α -humuleno e o diterpeno cativato de metila, detectados também em amostras de copal originadas de angiospermas por Brackman *et al.* (1984) e Grimalt *et al.* (1988).

4. PRESERVAÇÃO DE INCLUSÕES

No Brasil, os únicos registros de inclusões em âmbar consistem em microinclusões de natureza palinológica. Martill *et al.* (2005) relatam hifas de fungos preservadas em um âmbar proveniente da Bacia do Araripe. Pereira (2006) e Pereira *et al.* (2006c) relatam a presença de esporos de fungos preservados em um âmbar da Bacia do Amazonas (Formação Alter do Chão).

Antoine *et al.* (2006) descrevem uma grande diversidade de insetos, microorganismos e palinófitos preservados em âmbares miocênicos provenientes da Formação Solimões (Bacia do Amazonas). No entanto, os âmbares ocorrem no lado peruano da bacia amazônica. Ainda assim, é um dado importante por apontar um nível estratigráfico no Brasil com possibilidades de se encontrar novas amostras de resinas fósseis.

5. CONCLUSÕES

O estudo do âmbar, sua origem botânica e das alterações diagenéticas de seus constituintes apresentam implicações importantes para a Geoquímica Orgânica e Paleobotânica. Além disso, a presença de inclusões no interior das resinas fósseis possibilita a obtenção de importantes dados para a Paleoecologia e Paleozoologia.

Ainda que as ocorrências sejam raras no país, as possibilidades de estudos quando amostras de âmbar são encontradas, mostram-se extremamente amplas. Destaca-se também o fato de que técnicas instrumentais, como a CG/EM, necessitam de quantidades diminutas de amostras para análise. Dessa maneira, mesmo fragmentos de âmbar muito pequenos podem ser analisados quimicamente, possibilitando a aquisição de informações importantes para a Biogeoquímica e para interpretações paleoclimáticas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoine, P.O.; Franceschi, D.; Flynn, J.J.; Nel, A.; Baby, P.; Benammi, M.; Calderón, Y.; Espurt, N.; Goswami, A. & Gismondi, R.S. 2006. Amber from western Amazonia reveals Neotropical diversity during the middle Miocene. *Proceedings of the natural Academy of Sciences of the United States of America*, 103(37): 13595-13600.
- Brackman, W.; Spaargaren, K.; Dongen, J.P.C.M.; Couperus, P.A. & Bakker, F. 1984. Origin and structure of the fossil resin from an Indonesian Miocene coal. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 2483-2487.
- Cardoso, A. H.; Saraiva, A. A. F.; Nuvens, P. C. & ANDRADE, J. A. F. G. 1999. Ocorrência de uma resina fóssil na Formação Santana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 16, 1999. *Boletim de Resumos*. Crato, Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 32.
- Cardoso, A. H.; Costa, J.G.M. & Andrade, J.A.F.G. 2001. Nova ocorrência de resina fóssil na Formação Crato, Membro Nova Olinda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17, 2001. *Boletim de Resumos*. Rio Branco, Universidade Federal do Acre, Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 76.
- Carvalho, M.A. 1998. *Âmbar: Composição Molecular de Amostras Brasileiras*. Programa de Pós-graduação em Química Orgânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 108 p.
- Carvalho, I.S.; Carvalho, M.A.; Loureiro, M.R.B. & Nóbrega, J.C. 1999. Âmbar nas bacias cretácicas brasileiras. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, 1999. *Boletim*. Rio Claro, p. 479-483.
- Carvalho, M.A.; Loureiro, M.R.B.; Carvalho, I.S. & Cardoso, J.C. 2000. Bulk and molecular composition of Brazilian ambers (Cretaceous). In: LATIN AMERICAN CONGRESS ON ORGANIC GEOCHEMISTRY, 7, Foz do Iguaçu, Brasil, 2000. *Proceedings*, Foz do Iguaçu, Latin American Association on Organic Geochemistry – ALAGO, p. 76-79.
- Carvalho, M.A. & Carvalho, I.S. 2001. Resinas fósseis do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 2: 81-82.
- Castro, C.; Menor, E.A. & Campanha, V.A. 1970. Descoberta de resinas fósseis na Chapada do Araripe, município de Porteira – Ceará. *Notas Prévias*. Série C, Universidade Federal de Pernambuco, Instituto de Geociências, 1: 1-12.
- Czechowski, F.; Simoneit, B.R.T.; Sachanbinski, M.; Chojcan, J. & Wotowiec, S. 1996. Physicochemical structural characterization of ambers from deposits in Poland. *Applied Geochemistry*, 11: 811-834.
- Dino, R.; Silva, O. B. & Abrahão, D. 1999. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, 1999. *Boletim*, Rio Claro, p. 557-565.

- Franceschi, D.; Dejax, J. & Ploëg, G. 2000. Extraction du pollen inclus dans l'ambre [Sparnacien du Quesnoy (Oise), bassin de Paris]: vers une nouvelle spécialité de la paléo-palynologie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Sciences de la Terre et des Planètes/Earth and Planetary Sciences*, 330: 227-233.
- Fróes de Abreu, S. 1937. Sobre a ocorrência de âmbar nos arenitos da Série da Baía. *Boletim de Informação do Instituto Nacional de Tecnologia*, 2(4):3-8.
- Grimalt, J.O.; Simoneit, B.R.T.; Hatcher, P.G. & Nissebaum, A. 1988. The molecular composition of ambers. *Organic Geochemistry*, 13(4/6): 677-690.
- Langenheim, J.H. & Beck, C.W. 1968. Catalogue of infrared spectra of fossil resins (ambers) I North and South America. *Botanical Museum Leaflets*, 22(3): 65-120.
- Langenheim, J.H. 1990. Plant resins. *American Scientist*, 78: 16-24.
- Martill, D.M.; Robert, F.L.; Andrade, J.A.F.G & Cardoso, A.H. 2005. An unusual occurrence of amber in laminated limestones: the Crto Formation Lagerstätte (Early Cretaceous) of Brazil. *Palaeontology*, 48(6): 1399-1408.
- Martinez-Delclòs, X.; Briggs, D.E.G. & Peñalver, E. 2004. Taphonomy of insects in carbonates and amber. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203: 19-64.
- Mills, J.S.; White, R. & Gough, L.J. 1984. The chemical composition of Baltic Amber. *Chemical Geology*, 47: 15-39.
- Otto, A. & Simoneit, B.R.T. 2001. Chemosystematics and diagenesis of terpenoids in fossil conifer species and sediment from the Eocene Zeitz Formation, Saxony, Germany. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(20): 3505-3527.
- Otto, A. & Simoneit, B.R.T. 2002. Biomarkers of Holocene buried conifer logs from Bella Coola and north Vancouver, British Columbia, Canada. *Organic Geochemistry*, 33: 1241-1251.
- Otto, A.; Simoneit, B.R.T.; Wilde, V.; Kunzmann, L. & Püttmann, W. 2002. Terpenoid composition of three fossil resins from Cretaceous and Tertiary conifers. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 120: 203-215.
- Otto, A.; Simoneit, B.R.T.; & Rember, W.C. 2003. Resin compounds from the seed cones of three fossil conifer species from the Miocene Clarkia flora, Emerald Creek, Idaho, USA, and from related extant species. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 126: 225-241.
- Otto, A.; Simoneit, B.R.T.; & Rember, W.C.. 2005. Conifer and angiosperm biomarkers in clay sediments and fossil plants from the Miocene Clarkia Formation, Idaho, USA. *Organic Geochemistry*, 36: 907-922.
- Otto, A. & Wilde, V. 2001. Sesqui-, Di-, and Triterpenoids as chemosystematic markers in extant conifers, a review. *The Botanical Review*, 67(2): 141-238.
- Pereira, R. 2006. *Geoquímica de âmbares cretácicos das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo*.

Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 104 p.

- Pereira, R.; Carvalho, I.S. & Azevedo, D.A. 2006a. Afinidades paleobotânicas de âmbares cretácicos das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo. *In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL*, 7, Serra Negra, 2006. *Resumos*, Serra Negra, UNESP, p. 100.
- Pereira, R.; Carvalho, M.A.; Mendonça Filho, J.G.; Azevedo, D.A. & Carvalho, I.S. 2006b. Ocorrência de esporos de fungos preservados em âmbar cretácico da Bacia do Amazonas, Formação Alter do Chão. *In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL*, 7, Serra Negra, 2006. *Resumos*, Serra Negra, UNESP, p. 101.
- Pereira, R.; Carvalho, I.S. & Azevedo, D.A. 2006c. Terpenoid composition of Cretaceous ambers from Amazonas, Araripe and Recôncavo basins, Brazil. *In: LATIN AMERICAN CONGRESSO ON ORGANIC GEOCHEMISTRY*, 10, Salvador, Brasil, 2006. *Book of Abstracts*, Salvador, Latin American Association on Organic Geochemistry – ALAGO, p. 152-154.
- Van Bergen, P.F.; Collinson, M.E.; Scott, A.C. & De Leeuw, J.W. 1995. Unusual resin chemistry from Upper Carboniferous pteridosperm resin rodlets. *In: ANDERSON, K.G. & CRELLING, J.C. (ed.) Amber, Resinite and fossil resins*, American Chemical Society Symposium Series 617, Washington, DC, p.149-169.
- Viana, M.S.S.; Agostinho, S.; Fernandes, A.C.S.; Carvalho, I.S. & Campelo, F.M.C.A. 2001. Ocorrência de resina na Formação Cabeças (Devoniano da Bacia do Parnaíba). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS*, 1, 2001. *Anais*, Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Sociedade Brasileira de Química, Regional RN, p.45.
- Wang, T.G. & Simoneit, B.R.T. 1990. Organic geochemistry and coal petrology of tertiary bown coal of the Zhoujing Mine, Baise Basin, South China, 2, Biomarker assemblage and significance. *Fuel*, 69: 12-20.