

SIDNEY GONÇALO
(Organizador)

Fósseis Moleculares e Aplicações em
GEOQUÍMICA
ORGÂNICA

Atena
Editora
Ano 2021

SIDNEY GONÇALO
(Organizador)

Fósseis Moleculares e Aplicações em
GEOQUÍMICA
ORGÂNICA

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Fósseis moleculares e aplicações em geoquímica orgânica

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Sidney Gonçalves de Lima

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F752 Fósseis moleculares e aplicações em geoquímica orgânica /
Organizador Sidney Gonçalves de Lima. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-815-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.158220601>

1. Fósseis moleculares. 2. Geoquímica orgânica. I.
Lima, Sidney Gonçalves de (Organizador). II. Título.

CDD 561

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

Fósseis Moleculares ou biomarcadores em amostras geológicas, são produtos derivados de precursores bioquímicos (biopolímeros) por processos diagenéticos (processos redox), os quais tem sido aplicado a estudos ambientais, análise forense e, em especial, na avaliação de sistemas petrolíferos. Tais compostos são alvos da Geoquímica Orgânica, tornando-se uma das ferramentas indispensável na exploração do petróleo, graças ao avanço, também, de técnicas cromatográficas de separação e análise.

O desenvolvimento de um estudo sistemático da composição orgânica dos sedimentos e petróleo experimentou um grande incremento nas últimas décadas. O desenvolvimento de novas técnicas analíticas instrumentais de CG-EM e CG/EM/EM compõem o fator determinante. São instrumentos que propiciam a caracterização molecular em microquantidades de misturas orgânicas altamente complexas, possibilitando contornar problemas de co-eluição e obter informações mais confiáveis sobre a identidade e quantidade dos biomarcadores.

Na presente edição denominada “**Fósseis Moleculares e Aplicações em Geoquímica Orgânica**”, apresenta-se alguns estudos teóricos e práticos, desenvolvidos em diferentes instituições de ensino e pesquisa, com óleos e rochas de Bacias Sedimentares Brasileiras.

Apresenta-se uma série de 14 artigos, referentes à análise de óleos e matéria orgânica de sedimentos, com diferentes abordagens, metodologias. Há, por exemplo, trabalhos de revisão sobre biomarcadores e suas aplicações, cálculos teórico-computacionais para prever a estrutura de asfaltenos, análise de hidrocarbonetos poliaromáticos em sedimentos recentes e, ainda, alguns estudos, correlacionando biomarcadores ao paleo-ambiente deposicional, a origem da matéria orgânica (marinha, lacustre), a fonte, a biodegradação e/ou a maturidade de amostras geológicas.

Sidney Gonçalo de Lima

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DE BIOMARCADORES EM ROCHAS CRETÁCEAS DA BACIA DE SÃO LUIS

Andrenilton Ferreira Silva
Artur Leal Carvalho Barros
Anita Jocelyne Marsaioli
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206011>

CAPÍTULO 2..... 14

ANÁLISE DE BIOMARCADORES NEUTROS EM SEDIMENTO DA FORMAÇÃO SERRA ALTA - PERMIANO (BACIA DO PARANÁ)

Lorena Tuane Gomes de Almeida
Ailton da Silva Brito
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206012>

CAPÍTULO 3..... 27

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS SATURADOS E CAROTENOIDES AROMÁTICOS EM AMOSTRA DE FOLHELHO DAS CAMADAS BATATEIRA, BACIA DO ARARIPE

Artur Leal de Carvalho Barros
Andrenilton Ferreira Silva
Gustavo Rodrigues de Sousa Junior
André Luiz Durante Spigolon
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206013>

CAPÍTULO 4..... 42

APLICAÇÃO DOS CROMANS NA AVALIAÇÃO DA SALINIDADE E INFLUXO DE ÁGUA DOCE EM FOLHELHOS DA FORMAÇÃO IRATI, BACIA DO PARANÁ

Laercio Lopes Martins
Caroline Adolphsson do Nascimento
Georgiana Feitosa da Cruz
Hélio Jorge Portugal Severiano Ribeiro
Eliane Soares de Souza
Hans-Martin Schulz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206014>

CAPÍTULO 5..... 59

AVALIAÇÃO DA ORIGEM E EVOLUÇÃO TÉRMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA REGISTRADA EM FÁCIES DA FORMAÇÃO IRATI AFETADAS POR INTRUSÕES ÍGNEAS (REGISTRO PERMIANO DA PORÇÃO NORTE DA BACIA DO PARANÁ), UTILIZANDO-SE BIOMARCADORES

Lucas Pinto Heckert Bastos
Danielle da Costa Cavalcante
Celma Jorge de Menezes

Carmen Lucia Ferreira Alferes
Debora Bonfim Neves da Silva
Andressa Oishi
René Rodrigues
Egberto Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206015>

CAPÍTULO 6..... 77

BIOMARCADORES PRESERVADOS EM CARBONATOS NEOPROTEROZOICOS REGISTRADOS NA FAZENDA ARRECIFE (FORMAÇÃO SALITRE) – BAHIA

Érika Gaspar Martins
Danielle da Costa Cavalcante
Debora Bonfim Neves da Silva
Egberto Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206016>

CAPÍTULO 7..... 94

CARACTERIZAÇÃO DE COMPONENTES ÁCIDOS EM PETRÓLEOS BIODEGRADADOS: COMPARATIVO ENTRE EXTRAÇÃO EM FASE SÓLIDA (SPE) E CROMATOGRAFIA EM COLUNA DE EXTRAÇÃO CONTÍNUA

Georgiana Feitosa da Cruz
Lívia Carvalho Santos
Laercio Lopes Martins
Luana Pontes Gouveia
Alexsandro Araujo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206017>

CAPÍTULO 8..... 111

COMPOSTOS POLARES EM PETRÓLEO APLICADOS A PROCESSOS GEOCROMATOGRÁFICOS

Paulo Cesar Muniz de Lacerda Miranda
Christian Rocque Souto Maior
Sidney Gonçalo de Lima
Gustavo Rodrigues de Sousa Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206018>

CAPÍTULO 9..... 123

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS INTERVALOS *OIL SHALE* PERMIANOS DA BACIA DO PARANÁ

Ailton da Silva Brito
Lorena Tuane Gomes de Almeida
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1582206019>

CAPÍTULO 10..... 133

ESTUDO *IN SILICO* DE ESTRUTURAS ASFALTÊNICAS UTILIZANDO DINÂMICA

MOLECULAR E TEORIA DO FUNCIONAL DA DENSIDADE

Moisés Pereira de Araujo
Alexandre Araujo de Souza
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.15822060110>

CAPÍTULO 11 146

OCORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS EM ROCHAS SEDIMENTARES DA FORMAÇÃO CODÓ – CRETÁCEO (BACIA DO PARNAÍBA)

Edymilaís da Silva Sousa
Chribstian Dário Silva de Melo
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.15822060111>

CAPÍTULO 12..... 161

OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS PARA SEPARAÇÃO DE COMPONENTES DE PETRÓLEOS BRASILEIROS POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA UTILIZANDO PLANEJAMENTO FATORIAL

Georgiana Feitosa da Cruz
Jhonny Costa Carvalho
Lívia Carvalho Santos
Laercio Lopes Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.15822060112>

CAPÍTULO 13..... 180

CONTAMINANTES ORGÂNICOS PERSISTENTES EM SEDIMENTOS DO RIO PARNAÍBA, TERESINA – BRASIL

Analine Daiany Costa Andrade
Artur Leal de Carvalho Barros
Michel Ricardo de Barros Chaves
Sidney Gonçalo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.15822060113>

CAPÍTULO 14..... 194

PRESERVAÇÃO DE GEOPOLÍMEROS NO REGISTRO ESTRATIGRÁFICO E SUAS IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS

Ailton da Silva Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.15822060114>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 210

ÍNDICE REMISSIVO..... 211

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS SATURADOS E CAROTENOIDES AROMÁTICOS EM AMOSTRA DE FOLHELHO DAS CAMADAS BATATEIRA, BACIA DO ARARIPE

Data de aceite: 01/01/2022

Artur Leal de Carvalho Barros

Laboratório de Geoquímica Orgânica -
Universidade Federal do Piauí
Teresina-PI
<http://lattes.cnpq.br/7318055745718661>

Andrenilton Ferreira Silva

Laboratório de Geoquímica Orgânica -
Universidade Federal do Piauí
Teresina-PI
<http://lattes.cnpq.br/2465958411999260>

Gustavo Rodrigues de Sousa Junior

Laboratório de Geoquímica Orgânica -
Universidade Federal do Piauí
Teresina-PI
<http://lattes.cnpq.br/7676488032110533>

André Luiz Durante Spigolon

PETROBRAS, Centro de P&D, Seção de
Geoquímica Orgânica, Brasil
Rio de Janeiro-RJ
<http://lattes.cnpq.br/2850903913611466>

Sidney Gonçalo de Lima

Laboratório de Geoquímica Orgânica -
Universidade Federal do Piauí
Teresina-PI
<http://lattes.cnpq.br/1655930426274093>

RESUMO: As Camadas Batateiras, Formação Barbalha, representam o registro da implantação do primeiro sistema lacustre caracterizado por condições anóxicas da Bacia do Araripe. Este trabalho teve como objetivo avaliar a origem

o grau de evolução térmica, bem como o paleoambiente deposicional da matéria orgânica presente em folhelhos das Camadas Batateiras. A amostra foi submetida ao processo de extração de matéria orgânica, seguido de fracionamento em coluna aberta. A análise das diferentes classes de compostos, tais como: *n*-alcanos, esteranos e hopanos, $\beta\beta$ -hopanos e hopenos, carotenóides aromáticos e seus derivados, foi possível sugerir que a matéria orgânica possui condições de baixa evolução térmica e anóxicas de deposição, que permitiram uma melhor preservação da matéria orgânica de origem lacustre, depositada em condições salinas e em coluna de água estratificada.

PALAVRAS-CHAVE: Camadas Batateiras; β -carotadieno; Hopenos; Carotenoides Aromáticos.

ANALYSIS OF SATURATED HYDROCARBONS AND AROMATIC CAROTENOIDS IN LEAF SAMPLE OF THE BATATEIRA BEDS, ARARIPE BASIN

ABSTRACT: The Batateiras Beds, Barbalha Formation, represent the record of the implementation of the first lacustrine system characterized by anoxic conditions of the Araripe Basin. This work aimed to evaluate the origin of organic matter, the degree of thermal evolution, as well as the depositional paleoenvironment and a sample of the Batateira Beds. The sample was submitted to the process of organic matter extraction followed by fractionation in open column. The analysis of *n*-alkanes, steranes and hopanes, $\beta\beta$ -hopanes and hopenes, aromatic

carotenoids and their derivatives, allowed us to suggest that organic matter had low evolution thermal, anoxic depositional conditions which allowed a better preservation of the organic matter of lacustrine origin, deposited under saline conditions and in a stratified water column.

KEYWORDS: Batateiras Beds; β -carotadiene; Hopenes; Aromatic Carotenoids.

1 | INTRODUÇÃO

Com uma área de aproximadamente 9000 km², a Bacia do Araripe (Fig. 1) é considerada como a maior bacia sedimentar do interior do Nordeste brasileiro e está localizada entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Sua origem está relacionada aos eventos de rifteamento do supercontinente Gondwana e a abertura do oceano Atlântico Sul (Assine, 2007; Assine et al., 2014; Chagas et al., 2007).

A Formação Barbalha é constituída por um conjunto de camadas depositadas na era neoptiana e constituiu a sequência neoptiana-eoalbian da Bacia do Araripe, juntamente com a Formação Santana, possuindo um dos principais marcos estratigráficos da bacia, as Camadas Batateiras (Assine, 2007; Assine et al., 2014; Chagas et al., 2007).

As Camadas Batateiras evidenciam a implantação do primeiro sistema lacustre, caracterizado por condições de anoxia da bacia, e são bastante utilizadas em estudos geológicos por apresentar características litológicas facilmente diferenciadas de outros intervalos presentes na Bacia do Araripe, bem como ser cronocorrelata com as Camadas Tariri, Bacia do Ceará e com as Camadas Ponta do Tubarão da Bacia Potiguar (Hashimoto et al., 1987; Assine, 2007; Rios-Netto et al., 2012). Além disso, as Camadas Batateira possuem rochas geradoras com alto potencial gerador de hidrocarbonetos e representa um ciclo transgressivo-regressivo incompleto no topo da Bacia do Araripe (Assine, 2007; Spigolon et al., 2015; Spigolon, 2014; Spigolon et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise de biomarcadores saturados e carotenoides aromáticos em amostra de folhelho betuminoso da Formação Barbalha (Camadas Batateiras), Bacia do Araripe, com o intuito de avaliar a origem da matéria orgânica, o grau de evolução térmica, bem como paleoambiente deposicional.

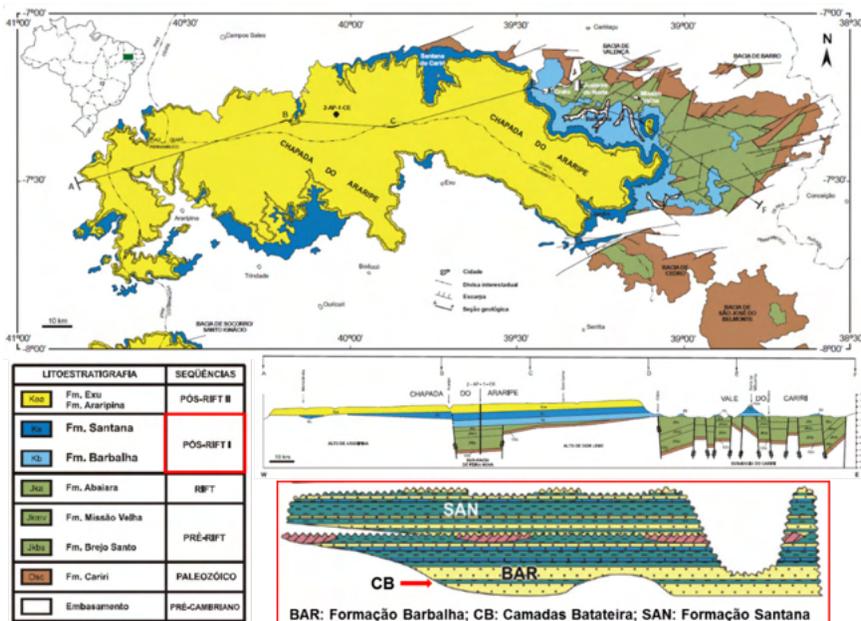


Figura 1. Mapa geológico da Bacia do Araripe, em destaque a estratigrafia da sequência Pós-Rift I, identificando as Formações Barbalha, Santana e as Camadas Batateiras. Fonte: Modificado de Spigolon et al.,2015.

2 I PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A amostra foi coletada no túnel da obra transposição do Rio São Francisco na região de Sítio Cabeceiras, Município de Barbalha (CE), latitude (UTM) 9189441, longitude (UTM) 462275. Aproximadamente 30 gramas de rocha, foi submetida à extração da matéria orgânica em um sistema do tipo Soxhlet, utilizando como solvente extrator Diclorometano/ Metanol (12%) durante 24 horas. Em seguida o extrato foi concentrado em um evaporador rotativo.

Cerca de 139,6 mg de extrato fracionado por cromatografia em coluna, utilizando como fase estacionária gel de sílica impregnada com nitrato de prata (AgNO_3) a 10%, eluída com *n*-Hexano, *n*-Hexano/Acetato de Etila (8%), Acetato de Etila/Metanol (5%), para a obtenção da fração de hidrocarbonetos saturados, hidrocarbonetos aromáticos e compostos polares, respectivamente (Moura e Citó, 2015).

As frações saturadas e aromáticas foram analisadas por CG-EM, modelo GCMS-QP2010 SE, AOC-5000 auto injetor da Shimadzu, utilizando uma coluna SLB-5MS, 30 m x 0,25 mm. Também foi feita análise em CG-EM/EM em um sistema ThermoScientific, modelo TRACE GC Ultra, acoplado a um espectrômetro de massas TSQ Quantum XLS, Triplo Quadrupolo utilizando uma coluna EquityTM-1, PerkinElmer, 30 m x 0,25 mm.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o rendimento percentual (em massa) das frações saturada, aromática e polar, obtido após processo cromatográfico clássico. Foi possível observar que a amostra apresentou uma porcentagem de compostos polares de 34,2 e um maior rendimento de fração aromática em relação aos saturados.

	SC-01
MOS¹ (mg)	0,588
Saturados (%)	5,9
Aromáticos (%)	18,2
Polares (%)	34,2
(S+A)/P²	0,71
S/A³	0,33

Tabela 1: Rendimentos obtido para as frações saturada, aromática e polar, e alguns parâmetros gerais.

¹ Matéria orgânica solúvel;

² (S+A)/P = (Saturados + Aromáticos)/Polares;

³ (S/A) = Saturados/Aromáticos.

As razões de compostos saturados/aromáticos (S/A) e saturados+aromáticos/polares ((S+A)/P), fornecem informações a respeito da evolução térmica das amostras. Os valores de 0,33 e 0,71 para as razões (S/A) e ((S+A)/P), respectivamente, bem como a alta porcentagem de compostos polares, sugere uma baixa evolução térmica da amostra, uma vez os valores encontrados foram menores que 1. Altos percentuais de compostos polares indica que não houve craqueamento térmico eficiente do querogênio, sugerindo que a rocha geradora não sofreu estresse térmico suficiente para possibilitar a sua evolução termoquímica (Castro et al., 2017; Peters et al., 2005).

O valor obtido de matéria orgânica solúvel (MOS) foi de 0,588 mg (Tab.1), que corresponde a aproximadamente 2% em relação a quantidade de rocha utilizada, sugerindo uma boa quantidade de matéria orgânica presente na rocha, sugerindo que esta amostra possa ter um alto valor de Carbono Orgânico Total (COT). A análise de COT é utilizada para medir a quantidade de matéria orgânica presente nos sedimentos, possibilitando avaliar se uma determinada rocha possui potencial gerador de hidrocarbonetos (Curriale, 2017). Segundo Spigolon et al. (2014, 2015), em estudos realizados em amostras de afloramento pertencente as Camadas Batateiras, os valores de COT foram de aproximadamente 28,5% sugere-se que as rochas das Camadas Batateira, possuem uma grande quantidade de matéria orgânica, justificando valor encontrado de MOS.

3.1 Indicadores para contribuição de matéria orgânica

Os hidrocarbonetos lineares (*n*-alcanos) são um dos principais compostos que constituem a fração saturada, podendo ter como precursores fito- e zooplânctons, algas, bactérias ou vegetais superiores. Apesar de não possuir um único precursor biológico, seus padrões de distribuições podem ser caracterizados devido à predominância de uma determinada faixa de hidrocarbonetos que depende da origem da matéria orgânica, e das possíveis alterações geoquímicas e/ou microbianas (Tissot e Welte, 1984; Peters et al.,2005). A Fig.2 apresenta o cromatograma de íons totais (TIC) da amostra estudada, bem como o cromatograma de íons monitorados *m/z* 85.

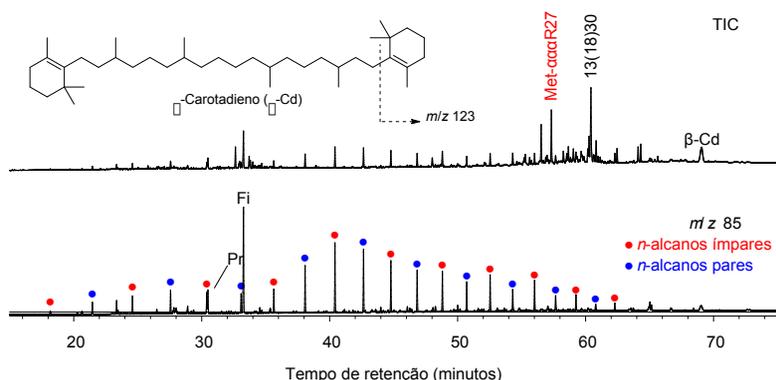


Figura 2. TIC da fração saturada da amostra estudada e cromatograma de íons monitorados *m/z* 85 para *n*-alcanos (β-carotadieno (β-Cd), com instauração apenas nos anéis).

O TIC apresenta uma baixa abundância relativa de *n*-alcanos, com alguns esteranos e hopanos sendo os sinais mais intensos no cromatograma. O *m/z* 85 apresenta uma distribuição essencialmente unimodal de *n*-alcanos que varia de *n*-C₁₃ a *n*-C₃₅, com máximo em *n*-C₂₁, bem como uma predominância dos *n*-alcanos de maior massa molecular de C₂₅ até C₃₃ (Fig.2).

A predominância de hidrocarbonetos lineares com mais de 22 carbonos e maior abundância de *n*-alcanos de cadeia ímpar entre *n*-C₂₃ e *n*-C₃₁, indica para a amostra uma contribuição relacionada a algas típicas de ambientes lacustres (Peters et al.,2005; Tissot e Welte, 1984; Castro et al. 2017).

A relação terrestre-aquático (TAR), o índice preferencial de carbono (CPI), bem como a predominância par-ímpar (OEP) são bastante utilizados como indicador de maturação e origem da matéria orgânica (Peters et al.,2005). Na amostra estudada a relação, Tabela 2, TAR>1, CPI aproximadamente 1,2, OEP(1) em torno de 1, e OEP(2) cerca de 1,4, são comuns em amostras com baixa evolução térmica, com contribuição de matéria orgânica

de plantas terrestres, tipicamente observadas em amostras de ambientes lacustres.

	SC-01
Parâmetros	CG-EM
^a P/F	0,20
^b P/n-C ₁₇	1,22
^c F/n-C ₁₈	6,58
^d TAR	1,39
^e CPI	1,20
^f OEP (1)	1,01
^g OEP (2)	1,43
^h %C ₂₇	67,95
ⁱ %C ₂₈	21,43
^j %C ₂₉	10,62
^k aaaS27/(aaaS27 +aaaR27)	0,19
^l aaaR27/aaaR29	7,08
^m αββ/(αββ + aaa) C29	0,28
ⁿ H29/H30	0,15
^h iG	60,54

Tabela 2. Parâmetros calculados com base na distribuição dos *n*-alcanos, terpanos pentacíclicos e, esteranos para as amostras estudadas.

^aP/F= pristano/fitano; ^bP/n-C₁₇= pristano/*n*-heptadecano; ^cF/n-C₁₈= fitano/*n*-octadecano, ^dTAR = [(C₂₇ + C₂₉ + C₃₁)/(C₁₅ + C₁₇ + C₁₉)] ^eCPI = 1/2x [(C₂₅ + C₂₇ + C₂₉ + C₃₁ + C₃₃)/(C₂₄ + C₂₆ + C₂₈ + C₃₀ + C₃₂ + (C₂₅ + C₂₇ + C₂₉ + C₃₁ + C₃₃)/(C₂₄ + C₂₆ + C₂₈ + C₃₀ + C₃₂ + C₃₄)]'; ^fOEP(1)= (C₂₁ + 6C₂₃ + C₂₅)/(4C₂₂ + 4C₂₄); ^gOEP(2)= (C₂₅ + 6C₂₇ + C₂₉)/(4C₂₆ + 4C₂₈); ^h%C₂₇= [Σ%C₂₇/Σ(%C₂₇ - %C₂₉)]x100; ⁱ%C₂₈= [Σ%C₂₈/Σ(%C₂₇ - %C₂₉)]x100; ^j%C₂₉= [Σ%C₂₉/Σ(%C₂₇ - %C₂₉)]x100; ^kaaaS27/(aaaS27 +aaaR27)= 5α(H), 14α(H), 17α(H)-S-colestanos/(5α(H), 14α(H), 17α(H)-S-colestanos+5α(H), 14α(H), 17α(H)-R-colestanos) ^laaaR27/aaaR29= 5α(H), 14α(H), 17α(H)- colestanos 20R/5α(H), 14α(H), 17α(H)-24-etilcolestanos 20R; ^mαββ/(αββ + aaa) C29=5α(H), 14β(H), 17β(H)-24-etilcolestanos/(5α(H), 14β(H), 17β(H)-24-etilcolestanos+5α(H), 14α(H), 17α(H)-24-etilcolestanos); ⁿH29/H30= ; ^hiG=100 x [Gamacerano/(Gamacerano +C30 17α(H),21β(H)-hopano)].

Os terpanos tricíclicos (TT) são comuns em extratos de rocha e de óleos e são utilizados para avaliar a contribuição de matéria orgânica, evolução térmica e correlação (Peters et al.,2005). Na amostra da camada batateira a série de TT varia de 18 a 26 átomos de carbono, com C₂₂ e C₂₅ abaixo do limite de detecção (Fig.3).

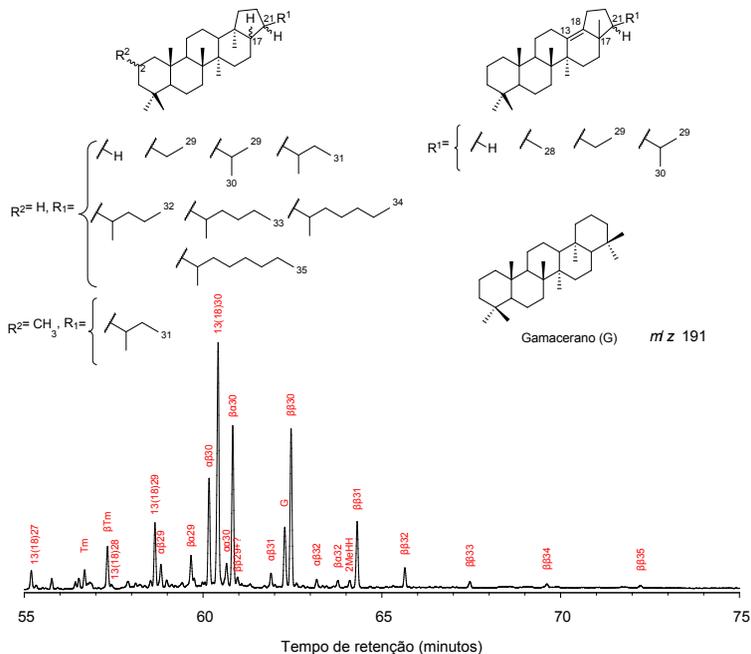


Figura 4. Identificação por CG-EM de hopanos pelo monitoramento do íon m/z 191.

Os hopanos possuem alguns centros assimétricos que sofrem alteração de configuração com o aumento de evolução térmica. O precursor biológico apresenta configuração $17\beta(H)$ e $21\beta(H)$, os quais com aumento de temperatura e pressão ocorre uma isomerização gerando a configuração $\beta\alpha$ e, em seguida $\alpha\beta$, desta forma é possível realizar cálculos de parâmetros para obter informações geoquímicas a respeito da maturação da amostra (Wenger e Isaksen, 2002).

Analisando a Fig. 4 foi possível identificar a presença do $17\alpha(H)$ 22,29,30-trisnorhopano (Tm), bem como a ausência do $18\alpha(H)$ 22,29,30-trisnorneohopano (Ts). A razão entre Ts/Tm é bastante utilizada para fornecer dados geoquímicos a respeito da maturação da amostra, uma vez que com o aumento da evolução térmica o Tm (configuração biológica) tende a ser convertido a Ts (configuração geológica) (Peters et al., 2005). Devido a ausência ou baixa abundância do Ts, não foi possível calcular a razão Ts/Tm, sugerindo a baixa evolução térmica da amostra, que pode ser sustentado ainda pela presença do $17\beta(H)$ 22,29,30-trisnorhopano que possui a configuração biológica no C-17 e é considerado precursor do Tm.

Os esteranos são produtos diagenéticos, formados a partir da redução dos esteróis presentes na membrana plasmática de organismos eucarióticos, os quais foram incorporados aos sedimentos, sendo amplamente utilizados como indicadores de evolução térmica, ambiente deposicional e principalmente de fonte da matéria orgânica (Peters et al.,

2005; Grice e Eiserbeck, 2013).

A diferença de fonte, bem como a evolução térmica de uma amostra geológica pode afetar diretamente na distribuição dos esteranos. Formados por três anéis de seis carbonos e um anel de cinco, os esteranos mais comuns encontrados em sedimentos e óleos possuem de 27 a 29 átomos de carbono. Sendo o colestano com 27 átomos de carbonos, ergostano possuindo 28 átomos e o stigmastano com 29 átomos (Peters et al., 2005). A Fig. 5 apresenta a distribuição de esteranos para a amostra estudada, identificadas pelo monitoramento do íon m/z 217.

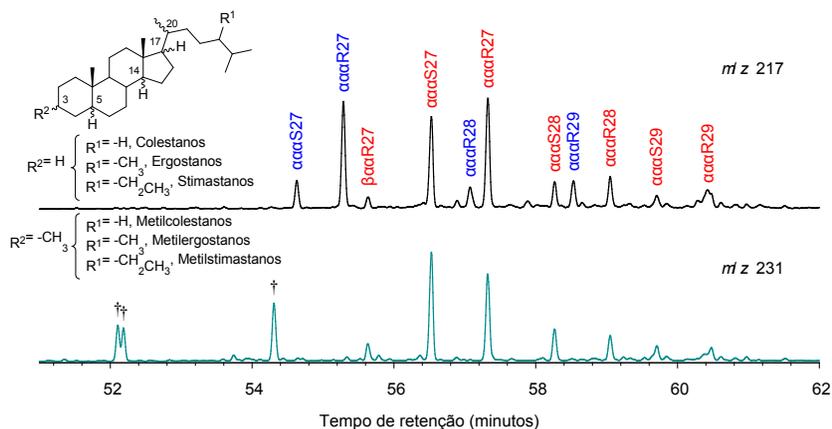


Figura 5. Distribuição de esteranos (azul) e metilesteranos (vermelho) identificados pelo monitoramento do íon m/z 217 e m/z 231 († *cross-talk* de esteranos aromáticos).

Os esteranos apresentam alguns centros assimétricos, sendo os C-5, C-14, C-17 e C-20, devido à presença desses centros esses compostos possuem uma grande diversidade de estereoisômeros. Durante o processo de catagênese e diagênese, os esteranos passam por rearranjos, em que a configuração biológica presente nos esteroides $5\alpha(H)$, $14\alpha(H)$, $17\alpha(H)$, $20R$ é convertida para as configurações “ $\alpha\alpha\alpha R$ ”, “ $\alpha\alpha\alpha S$ ”, uma vez que são termodinamicamente mais estáveis, e as configurações “ $\alpha\beta\beta R$ ” e “ $\alpha\beta\beta S$ ” são que consideradas intermediárias (Schwarzbauer e Jovančićević, 2016; Peters et al., 2005)

Quanto a distribuição de esteranos, a exemplo dos hopanos, os sinais exibem essencialmente a configuração biológica e, em alguns casos, a configuração 5β pode ser observada (Fig.5).

3.3 Indicadores de fonte de matéria orgânica

Segundo a literatura, a predominância de esteranos C_{27} sugere matéria orgânica algal/planctônica, enquanto que esteranos C_{29} indica matéria orgânica derivada de plantas terrestres (Schwarzbauer e Jovančićević, 2016; Hatem et al., 2016).

Considerando os parâmetros e a distribuição dos esteranos (Fig. 5) observa-se

uma predominância de C_{27} e C_{28} em relações ao C_{29} , sugerindo uma matéria orgânica derivada de algas e/ou plânctons. A maior abundância do esterano $\alpha\alpha R27$ em relação ao $\alpha\alpha R29$ reflete na razão $\alpha\alpha R27/\alpha\alpha R29$, que apresentou o valor de 7,08 sugerindo baixa contribuição de matéria orgânica derivada de plantas terrestres.

Altas abundâncias de hopanos em relação à esteranos são comuns em ambientes não marinhos, uma vez que os hopanos em matéria orgânica de origem terrestre são derivados de bactérias do solo e de plantas superiores.

3.4 Indicadores redox e de ambiente deposicional

A razão pristano e fitano (P/F), fornece informações a respeito das condições redox do paleoambiente deposicional da rocha geradora. O pristano e o fitano são isoprenoides derivados, principalmente, da cadeia lateral da clorofila, onde sob condições de anoxia, a cadeia lateral produz o fitano e sob condições óxicas é produzido o pristano (Peters et al., 2005; Hatem et. al., 2016).

O valor encontrado para a razão P/F foi de 0,20, sugerindo ambiente deposicional carbonático anóxico durante o processo de deposição da matéria orgânica (Peters et al., 2005). Segundo Assine, 2007, o primeiro ciclo fluvial, denominado Camadas Batateira, corresponde a folhelhos betuminosos pretos, ricos em lâminas carbonáticas de origem algálica, o que está de acordo com o observado na amostra estudada. Outro indicativo que suporta um ambiente deposicional carbonático é a relação diasteranos/esterano. Na Fig. 6 verificou-se que a abundância de diasteranos estava abaixo do limite de detecção, indicando uma rocha carbonáticas ou uma rocha com baixo teor de agilominerais depositada sobre condições anóxicas.

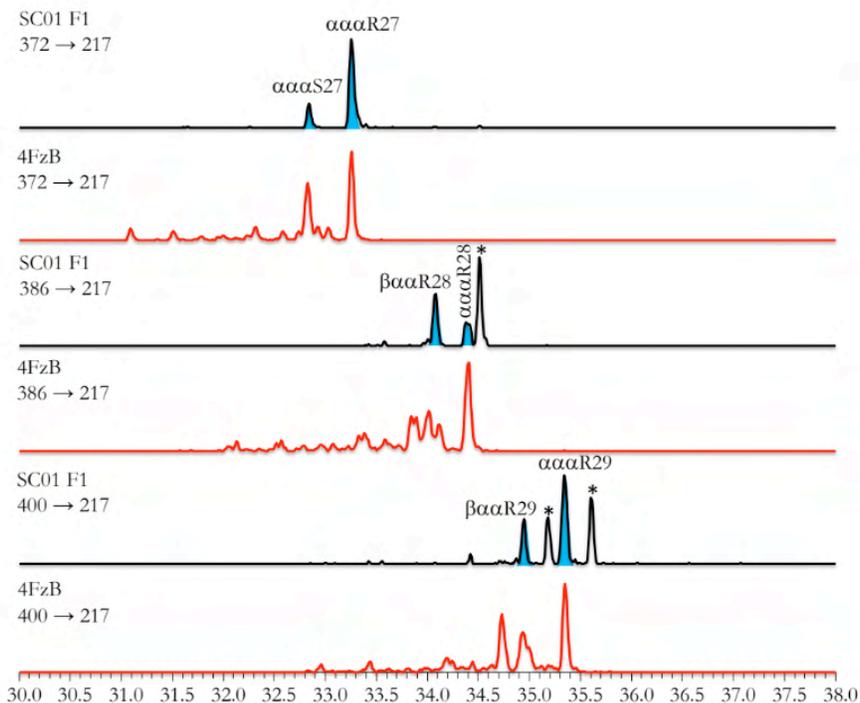


Figura 6. Análise MRM dos esteranos na amostra estudada (preto) comparada com uma amostra da Fazenda Belém, Bacia Potiguar (vermelho). *Cross-talk de metilesteranos.

Ainda foi identificado o gamacerano (G, Fig.4), produto diagenético derivado do tetraimanol presentes em organismos ciliados que proliferam em ambientes com coluna d'água estratificada pela diferença de salinidade (Sinninghe Damsté et al., 1995). O índice de gamacerano (iG) é calculado levando em consideração a abundância desse composto, sendo considerado baixo quando < 50, médio 50-60 e alto quando >60 (Sinninghe Damsté et al., 1995; Peters et al., 2005). Para a amostra estudada o iG (Tabela 2) foi de 60%, indicando ambiente deposicional salino.

As baixas relações P/F, junto com o alto índice de gamacerano sugere condições redutoras intensas no paleoambiente, acompanhada de uma coluna d'água estratificada, provavelmente devido a salinidade.

O β -carotano, frequentemente co-ocorre com o gamacerano. O β -carotano é amplamente observado em amostras associadas à anoxia e à salinidade (Sousa Junior, 2013) normalmente de ambientes lacustres salinos ou marinho restrito. Na amostra estudada, foi identificado um sinal, cujo espectro de massas é consistente com a estrutura de um derivado do β -caroteno, o β -carotadieno (β -Cd). A presença desse derivado reflete tanto a salinidade do ambiente deposicional, quanto o baixo grau de evolução térmica da amostra, como indicado por outros parâmetros.

Uma série de hopenos rearranjados de 27 a 30 átomos de carbono, caracterizados como neohepe-13(18)-enos foram identificados na amostra (Fig. 4). Sua presença pode ser explicada por desidratação e isomerização dos hopanois e hopenos. Segundo Sinninghe Damsté, (2014) esses compostos parecem estar relacionados à coluna d'água estratificada.

Os carotenoides aromáticos são uma das classes de biomarcadores utilizados para demonstrar a importância da anoxia da zona fótica para a preservação da matéria orgânica (Aderoju e Bend, 2018). Por meio do monitoramento da somatória dos íons m/z 133+134 foi possível realizar a identificação dos carotenoides aromáticos e seus derivados (Fig. 8).

Para a amostra estudada das Camadas Batateiras, Formação Barbalha, foi identificado a presença do isorenieratano, renieratano, bem como alguns derivados diagenéticos como os aril isoprenoides e alguns carotenoides tri- e tetraaromáticos (Fig.8).

O isorenieratano e o renieratano são derivados diagenéticos do isorenierateno e renierateno, respectivamente, presente em sulfobactérias verdes com pigmentação marrom, da família *Chlorobiaceae* (isorenieratano) e *Chromatiaceae* (renieratano) (Brocks e Schaeffer, 2008; Sousa Júnior et al., 2013). Estes compostos utilizam seus precursores como pigmentos auxiliares para a captação de luz com o objetivo de realizar fotossínteses em ambientes aquáticos com baixa luminosidade. Desta forma, são utilizados para caracterizar condições anóxicas e euxínicas na zona fótica na preservação da matéria orgânica (Summons e Powell, 1987; Manske et al., 2005). Logo, pode-se indicar que a identificação desses compostos sugere zona fótica euxínica do ambiente deposicional para a amostra estudada da Formação Barbalha, Bacia do Araripe, bem como, justifica o fato da preservação da matéria orgânica.

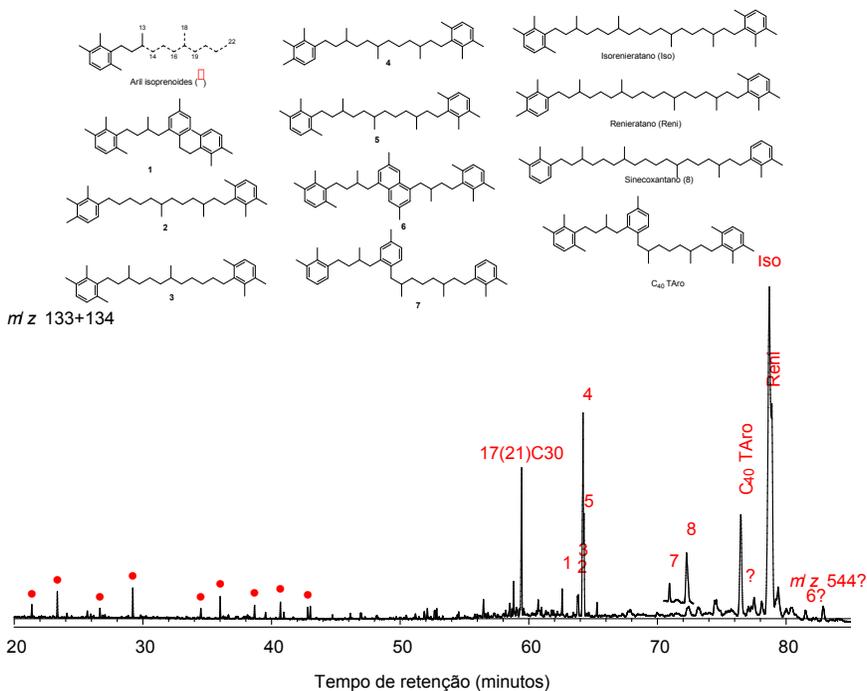


Figura 8. Distribuição dos carotenoides aromáticos e seus derivados, identificados pela somatória dos íons m/z 133+134.

4 | CONCLUSÃO

A distribuição de n-alcenos, a baixa relação P/F, a presença quase exclusiva de esteranos e hopanos com configuração biológica, bem como a presença de gamacerano, neohop-13(18)-enos, hop-17(21)-enos, β -carotadieno e vários derivados de carotenoides aromáticos indicam baixos níveis de evolução térmica para a matéria orgânica, bem como condições deposicionais anóxicas, o que permitiu uma melhor preservação da matéria orgânica de origem lacustre, depositadas sob condições salinas e em coluna d'água estratificada.

AGRADECIMENTO

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPS) apoio financeiro, ao André Luiz Durante Spigolon (CENPES/PETROBRAS) pela amostra cedida para estudo, a Universidade Federal do Piauí e ao Laboratório de Geoquímica Orgânica pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- ADEROJU, T., BEND, S. Reconstructing the palaeoecosystem and palaeodepositional environment within the Upper Devonian–Lower Mississippian Bakken Formation: A biomarker approach. **Organic Geochemistry**, 119, 91–100, 2018.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 17(2), 371-389, 2007.
- ASSINE, M. L., PERINOTTO, J. A. J., CUSTÓDIO, M. A., NEUMANN, V. H., VAREJÃO, F. G., MESCOLOTTI, P.C. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 22(1), 3-28, 2014. Brito Neves, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. **International Geological Congress**, 31, 151-182.
- BROCKS, J. J., SCHAEFFER, P. Okenane: a biomarker for purple sulfur bacteria (Chromatiaceae), and other new carotenoid derivatives from the 1640 Ma Barney Creek Formation. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 72(5), 1396–1414, 2008.
- CASTRO, R. G., SILVA, T.L.S., FAMBRINI, G. L., SOUZA NETO, J. A., PEREIRA, R. Caracterização geoquímica de folhelhos betuminosos da formação Ipubi, bacia do Araripe, NE Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 31(1),11-27, 2017.
- CHAGAS, D. B., ASSINE, M. L., FREITAS, F. I. Facies sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Geociências**, 26(4),313-322, 2007.
- CURRIALE, J. A. Total Organic Carbon (TOC), em **Encyclopedia of Petroleum Geoscience**. 1 ed. Geochemical Advisory Services: Texas. 2017.
- GRICE, K.; EISERBECK, C. **The Analysis and Application of Biomarkers**. 12ed. Elsevier Ltd., 12, 2013.
- HARTGERS, W. A., SINNINGHE DAMSTÉ, J. S., REQUEJO, A. G., ALLAN, J., HAYES, J. M., LING, Y., XIE, T. M., PRIMACK, J., DE LEEUW, J. W. A molecular and carbon isotopic study towards the origin and diagenetic fate of diaromatic carotenoids. **Organic Geochemistry**, 22(3–5), 703–725, 1994.
- HASHIMOTO, A. T.; APPI, C. J.; SOLDAN, A. L.; CERQUEIRA, J. R. O neo-Alagoas nas bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(2), 118-122, 1987.
- HATEM, B. A., ABDULLAH, W. H., HAKIMI, M. H., MUSTAPHA, K. A. Origin of organic matter and paleoenvironment conditions of the Late Jurassic organic-rich shales from shabwah sub- basin (western Yemen): Constraints from petrology and biological markers. **Marine and Petroleum Geology**. 72, 83-97, 2016.
- MANSKE, A. K., GLAESER, J., KUYPERS, M. M. M., OVERMANN, J. Physiologist and phylogeny of green sulfur bacteria forming a monospecific phototrophic assemblage at a depth of 100 meters in the Black Sea. **Applied and Environmental Microbiology**, 71, 8049-8060, 2005.
- MOURA, A. K. S., CITÓ, A. M. G. L. Otimização de metodologia para fracionamento de extrato de rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, Formação Codó. Em: **XXIV Seminário de Iniciação Científica**, anais, Teresina, 2015.
- PETERS, K. E., WALTERS, C. C., MOLDOWAN, J. M., **The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History**. v 1, 2nd. Cambridge: University Press, 2005.
- RIOS-NETTO, A. M., PAULA-FREITAS, A. B. L., CARVALHO I. S., REGALI, M. S. P., BORGUI, L., FREITAS, F. I. Formalização estratigráfica do Membro Fundão, Formação Rio da Batateira, Cretáceo

Inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 42(2), 281-292, 2012.

SCHWARZBAUER, A.; JOVANČIĆEVIĆ, B. **From Biomolecules to Chemofossils**. 1. ed. Suíça: Springer, 2016.

SINNINGHE DAMSTÉ, J. S., KENIG, F., KOOPMANS, M. P., KOSTER, J., SHOUTEN, S., HAYES, J. M., DE LEEUW, J. W. Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 59, 1895-1900, 1995.

SINNINGHE DAMSTÉ, J. S., SCHOUTEN, S., VOLKMAN, J. K. C₂₇-C₃₀ neohop-13(18)-enes and their saturated and aromatic derivatives in sediments: indicators for diagenesis and water column stratification. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 133, 402-421, 2014.

SOUSA JÚNIOR, G. R. DE.; SANTOS, A. L. S.; DE LIMA, S. G.; LOPES, J. A. D.; REIS, F. A. M.; NETO, E. V. S.; CHANG, H. K. Possible evidence of shallow anoxic zone during the deposition of Aptian source rocks based on aryl isoprenoids in petroleum from the Sergipe-Alagoas Basin, northeastern Brazil. **Organic Geochemistry**, 63, 94-104, 2013.

SPIGOLON, A. L. D. Investigação da composição e cinética de geração e expulsão de petróleo a partir de técnicas de maturação artificial para um querogênio do Tipo-I. Tese (Doutorado em Química). Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

SPIGOLON, A. L. D.; ASSINE, M. L.; MENDONÇA FILHO, J. G. Rochas Potencialmente Geradoras De Petróleo Da Bacia Do Araripe, Ne-Brasil. Em: Congresso Brasileiro De Geologia, 49., 2018, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBG, 2018.

SPIGOLON, A. L. D., LEWAN, M. D., PENTEADO, H. L. B., COUTINHO, L. F. C., MENDONÇA FILHO, J. G. Evaluation of the petroleum composition and quality with increasing thermal maturity as simulated by hydrous pyrolysis: a case study using a Brazilian source rock with Type I kerogen. **Organic Geochemistry**, 83(84), 27-53, 2015. Summons, R. E., Capon, R. J., 1988. Fossil steranes with unprecedented methylation in ring-A. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 52, 2733-2736.

SUMMONS, R. E., POWELL, T. G. Chlorobiaceae in paleozoic seas revealed by biological markers, isotopes and geology. **Nature**, 319, 763-765, 1986.

THIEL, V., BLUMENBERG, M., PAPE, T., SEIFERT, R., MICHAELIS, W. Unexpected occurrence of hopanoids at gas seeps in the Black Sea. **Organic Geochemistry**, 34(1), 81-87, 2003.

TISSOT, B. P.; WELTE, D. H. **Petroleum Formation and Occurrence**. v 1, 2nd. Berlin: Springer Verlag, 1984.

WENGER, L. M., ISAKSEN, G. H. Control of hydrocarbon seepage intensity on level of biodegradation in sea bottom sediments. **Organic Geochemistry**, 33(12), 1277-1292, 2002.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidez total 93, 95, 96, 97, 100

Ácidos naftênicos 93, 94, 95, 96, 107, 116

Alquildibenzotiofenos 145, 150

Alquilfenantrenos 145, 148, 149, 150

Análise SARA 161, 166

Asfalteno 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 140, 141, 163, 166, 168

B

Bacia de São Luís 1, 2, 6, 11, 12

Bacia do Paraná 4, 5, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 42, 46, 47, 48, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 72, 73, 74, 75, 122, 123, 125, 130, 198, 199

Biodegradação 3, 7, 15, 93, 94, 96, 97, 99, 101, 103, 104, 107, 108, 112, 113, 115, 119, 133, 142, 150, 152, 162, 164, 167, 168, 169, 177, 183, 204, 206, 209

Biomarcadores 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3, 14, 15, 16, 19, 21, 23, 28, 38, 49, 59, 60, 61, 66, 73, 76, 77, 79, 80, 87, 88, 89, 95, 108, 111, 115, 118, 122, 126, 127, 132, 133, 134, 135, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 146, 148, 152, 159, 160, 162, 193, 197, 199, 200, 201, 203, 204, 206, 209

Biomarcadores aromáticos 159

Biomarcadores saturados 28, 49, 59, 61, 76

C

Camadas batateiras 27, 28, 29, 30, 38

Carotenoides aromáticos 4, 27, 28, 38, 39, 145, 153, 155

Contaminação ambiental 179

Cretáceo 6, 1, 6, 12, 40, 64, 117, 120, 122, 145, 195

Cromatografia líquida 6, 48, 66, 80, 160, 161, 162, 163, 166, 171

D

DFT 132, 135, 136, 142

Dibenzotiofenos 111, 145, 150, 151

E

Extração em fase sólida 5, 93, 96, 98

F

Folhelho rico em carbono orgânico 193

Folhelhos betuminosos 17, 36, 40, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 123, 198
Formação codó 6, 1, 2, 3, 6, 11, 12, 40, 145, 146, 147, 149, 152, 153, 154, 155, 156
Formação Irati 4, 14, 15, 17, 18, 24, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 59, 60, 62, 63, 64, 73, 74, 75, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 198, 199
Formação serra alta 4, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 26, 124

G

Geocromatografia 110
Geoquímica orgânica 3, 1, 14, 20, 27, 39, 42, 55, 59, 60, 66, 74, 76, 79, 122, 126, 130, 148, 160, 179, 189, 200, 203, 209

H

Hidrocarbonetos alifáticos 81, 132, 134, 179, 180, 181, 182, 186, 188
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos 179, 180, 181, 187
Hopenos 27, 38

I

Interpretações paleoambientais 193, 199, 200

M

Matéria orgânica 3, 4, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 46, 47, 48, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 77, 79, 80, 81, 84, 85, 87, 88, 104, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 122, 124, 126, 128, 129, 130, 133, 134, 145, 146, 147, 148, 150, 162, 164, 180, 182, 183, 184, 185, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 206
Migração secundária 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 119
MTTC 42, 43, 44, 45, 49, 50, 51, 53

P

Paleoambiente deposicional 14, 23, 27, 28, 36, 42, 43, 45, 46, 52, 53, 55, 104, 145, 147, 150, 151, 155, 209
Paleosalinidade 42, 43, 45, 46, 50, 51, 52, 55
Permiano inferior 17, 24, 47, 62, 122
Petróleo 3, 5, 12, 15, 16, 18, 23, 26, 41, 42, 43, 55, 56, 59, 75, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 104, 107, 109, 110, 111, 112, 120, 125, 130, 132, 133, 142, 143, 144, 147, 151, 154, 157, 160, 161, 162, 163, 165, 168, 176, 177, 184, 188, 194, 195, 196, 198, 199, 200, 203, 204, 205, 209
Planejamento fatorial 6, 160, 161, 163, 166, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 178

Q

Química computacional 132

R

Rio Parnaíba 6, 179, 180, 181, 184, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192

Rochas geradoras 13, 22, 28, 46, 57, 59, 61, 122, 147, 150, 151, 193, 195, 199, 200, 202, 203, 204, 209

S

SMFI 110, 111, 113, 114, 115

Fósseis Moleculares e Aplicações em

GEOQUÍMICA ORGÂNICA

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

Fósseis Moleculares e Aplicações em
**GEOQUÍMICA
ORGÂNICA**

www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021