

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](http://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**

# CAPÍTULO 2

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

Data de aceite: 01/01/2022

Data de submissão: 11/10/2021

### Lorena Tuane Gomes de Almeida

Programa de Pós-Graduação em Química-PPGQ, Centro de Ciências da Natureza–CCN, Universidade Federal do Piauí-UFPI  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/7505926250231164>

### Ailton da Silva Brito

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica-PPGG, Universidade Federal do Pará-UFPA  
Belém–Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9873489431846769>

### Sidney Gonçalo de Lima

Programa de Pós-Graduação em Química-PPGQ, Laboratório de Geoquímica Orgânica-LAGO, Centro de Ciências da Natureza–CCN, Universidade Federal do Piauí-UFPI.  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/1655930426274093>

**RESUMO:** A Formação Serra Alta faz parte da seção do Permiano Superior da Bacia do Paraná, ocorre imediatamente sobreposta à Formação Irati, definidas no estado de São Paulo com espessura de 60 m. É considerada uma das unidades litoestratigráficas menos estudadas da Bacia do Paraná, principalmente devido ao seu baixo potencial para hidrocarbonetos. O objetivo principal deste trabalho é caracterizar o paleoambiente deposicional e o grau de

evolução térmica da Formação Serra Alta por meio de biomarcadores presentes no extrato de rocha. A matéria orgânica foi extraída em sistema ultrassom, cromatografado em gel de sílica, modificada com nitrato de prata, e analisado por GC-MS. A distribuição geral dos *n*-alcanos e isoprenóides, e alguns parâmetros moleculares sugeriram um ambiente subóxico, baixa maturidade e paleoambiente deposicional marinho com contribuição de matéria orgânica terrestre.

**PALAVRAS-CHAVE:** biomarcadores, ambiente deposicional, Formação Serra Alta, Bacia do Paraná.

### ANALYSIS OF NEUTRAL BIOMARKERS IN SEDIMENT OF THE SERRA ALTA FORMATION – PERMIAN (PARANÁ BASIN)

**ABSTRACT:** The Serra Alta Formation is part of the Upper Permian section of the Paraná Basin, occurring immediately superimposed on the Irati Formation, defined in the state of São Paulo with a thickness of 60 m. It is considered one of the least studied lithostratigraphic units in the Paraná Basin, mainly due to its low potential for hydrocarbons. The main objective of this work is to characterize the depositional paleoenvironment and the degree of thermal evolution of the Serra Alta Formation through biomarkers present in the rock extract. The rocks were crushed and subjected to ultrasound-assisted extraction. The organic matter was chromatographed on silica gel, modified with silver nitrate, and analyzed by GC-MS. The general distribution of *n*-alkanes and isoprenoids and some molecular

parameters suggested a sub-oxic, low maturity, aquatic depositional paleoenvironment with the contribution of terrestrial organic matter.

**KEYWORDS:** biomarkers, depositional environment, Serra Alta Formation, Paraná Basin.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Bacia intracratônica do Paraná situa-se no centro-leste porção da América do Sul, e sua história evolutiva consiste em ciclos de subsidência acelerada induzida por eventos orogênicos (ZALÁN *et al.*, 1990). Como consequência desses ciclos, as incursões marinhas no paleocontinente permitiu a deposição de sedimentos orgânicos em um mar epicontinental anóxico (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Gordon Jr. (1947) e Schneider *et al.* (1974), que subdividiram o Grupo Passa Dois nas Formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (membros Serrinha e Morro Pelado) na porção central e sul da bacia do Paraná e nas Formações Irati e Corumbataí nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso. No entanto, muitos autores ainda utilizam a designação “Formação Estrada Nova” referindo-se as Formações Serra Alta, Teresina e o Membro Serrinha ou parte destas unidades (NEREGATO, 2007).

A Formação Serra Alta faz parte da seção do Permiano Superior da Bacia do Paraná, ocorre imediatamente sobreposta à Formação Irati, possuindo uma das maiores extensões, definidas no estado de São Paulo com espessura de 60 m, além de ser caracterizada por folhelhos cinza escuros com algumas intercalações muito delgadas de carbonatos e *bone beds* de peixes (NEREGATO, 2007). É considerada uma das unidades litoestratigráficas menos estudadas da Bacia do Paraná, principalmente devido ao seu baixo potencial para hidrocarbonetos.

Águas relativamente calmas e distantes da costa e com fundo pouco oxigenado caracterizam seu ambiente deposicional, pois os icnofósseis são praticamente ausentes, porém próximo à base de formação são encontrados bivalves da Zona *Barbosaia angulata*, evidenciando águas um pouco mais rasas e condições de fundo oxidantes, no entanto ainda não há evidências suficientes que indiquem uma possível origem marinha (ROHN, 2001; MEGLHIORATTI, 2006).

O estudo dos biomarcadores fósseis (produtos naturais que podem ser associados a uma origem biossintética específica), permitem a caracterização de petróleo, extratos de rochas ou sedimentos e inferir correlações óleo-óleo, óleo-rocha geradora; os precursores da matéria orgânica presente em sedimentos; maturidade térmica; avaliação da migração de hidrocarbonetos e o grau de biodegradação nos reservatórios; determinação das condições do ambiente deposicional além de informações sobre o período de deposição da rocha geradora (WANG *et al.*, 2007; BROCKS e SUMMONS 2014).

Neste sentido, esse trabalho tem por objetivo caracterizar o ambiente paleodeposicional e grau de maturação térmica da Formação Serra Alta – Bacia do Paraná

por meio da análise de biomarcadores identificados através de Cromatografia a Gás acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM).

## 1.1 A Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná (Figura 1) situa-se na parte centro-leste do continente sul-americano, cobrindo cerca de 1.500.000 km<sup>2</sup>, completamente desenvolvida sobre a crosta continental e preenchida por rochas sedimentares e ígneas (ZÁLAN *et al.*, 1990). Foi dividida por Milani e Ramos (1998) em seis superseqüências: 1) Rio Ivaí; 2) Paraná (Devoniano); 3) Godwana I (Carbonífero-Eotriássico); 4) Godwana II (Meso a Neotriássico); 5) Godwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e 6) Bauru (Neocretáceo).

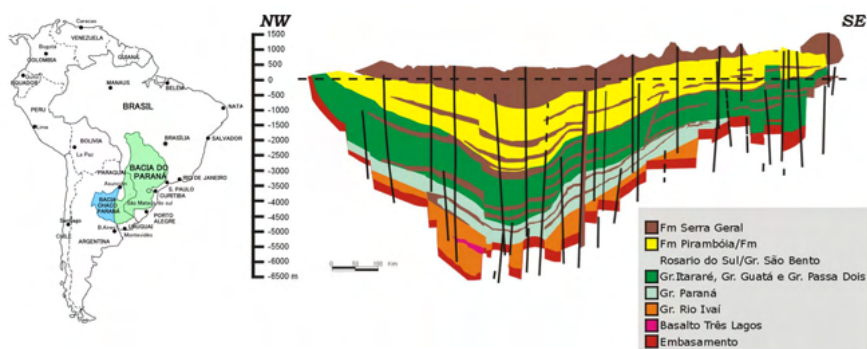


Figura 1. Localização e seção geológica esquemática da Bacia do Paraná. (Fonte: Modificado de ANP, 2010).

As três primeiras (Rio Ivaí, Paraná e Godwana I) estão associadas a sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivo-recessivo ligados a oscilações do mar no período paleozoico enquanto as demais representam a deposição de sedimentos continentais com rochas ígneas associadas (MILANI *et al.*, 2007).

A seqüência mais antiga, Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), foi depositada em um golfo imenso que era preenchido pelas águas do Panthalassa e é constituída por três formações geológicas: Form. Alto Garças que possui espessura máxima de aproximadamente 300 m sendo também a mais antiga; Form. Iapó onde apresenta depósitos relacionados a glaciação Ordoviciano, sendo sobreposta pela formação geológica Vila Maria composta por uma espessa camada argilosa rica em fósseis (BARTORELLI, 2005; MARQUES *et al.*, 2005; MILANI, 2005).

A superseqüência Paraná teve sua origem no período Devoniano, quando a bacia passava por um ciclo transgressivo-regressivo, e compreendem as Formações Furnas e Ponta Grossa, seção predominantemente argilosa e uma das potenciais geradoras de petróleo (MILANI *et al.*, 2007).

Do período Carbonífero superior ao Triássico inferior foram acumulados os sedimentos que formam a sequência Godwana I que devido ao longo período de deposição possui duas características marcantes: 1) sua porção basal é um importante registro da Glaciação Karoo, cujo pico aconteceu no Carbonífero inferior e a deglaciação no período Carbonífero superior até o Permiano inferior gerou extensos depósitos glaciais; 2) no Permiano médio há o aparecimento da flora *Glossopteris* e com o declínio das condições glaciais trouxe como consequência direta uma transgressão marinha (LAVINA e LOPES, 1986) e o início da deposição de folhelhos, arenitos e siltitos que constituem as formações Palermo e Tatuí, enquanto a Formação Irati é representada por calcários e folhelhos betuminosos depositados em ambiente marinho restrito (SILVA *et al.*, 2006).

A supersequência Godwana II foi depositada no início do Triássico e possui ocorrências restritas ao território do Rio Grande do Sul e norte do Uruguai, é formada pela deposição de sedimentos de origem fluvial e lacustre, indicando ausência de subsidência durante este período (MILANI, 2005).

A sequência Jurássica-Eocretácica (supersequência Godwana III) compreende o período em que se posicionam os sedimentitos eólicos da Formação Botucatu relacionado à grande desertificação do continente Godwana, e os magmatitos da Formação Serra Geral, associado ao mais volumoso episódio de extravasamento de lavas do planeta resultando no empilhamento de até 2000 m de basalto sobre os sedimentos da Bacia do Paraná (SILVA *et al.*, 2006; MILANI *et al.*, 2007).

A supersequência Bauru corresponde aos grupos Bauru e Caiuá e é constituída por depósitos de arenitos e conglomerados alúvio-fluviais depositados em ambiente continental a desértico, esta sequência ocupou a depressão superficial originada pelos derrames vulcânicos (SILVA *et al.*, 2006).

### 1.1.1 A Formação Serra Alta

A Formação Serra Alta aparece de forma definitiva como unidade independente no trabalho realizado por Schneider *et al.* (1974), uma revisão litoestratigráfica da Bacia do Paraná, sendo integrada aos estratos basais do Grupo Passa Dois (MENDES 1967; WARREN *et al.*, 2015).

Washburne (1930), Mendes (1952), Barbosa e Gomes (1958), Landim (1970), Fulfaro (1970), Soares e Landim (1973), Suguio *et al.* (1974), Zaine (1980), Petri e Coimbra (1982), Sousa (1985) e Andreis e Carvalho (2001). Sousa *et al.* (1991) são os principais autores que publicaram perfis litológicos para a Formação Serra Alta, porém essas publicações representam perfis idealizados mostrando as relações entre fácies e suas interpretações (MEGLHIORATTI, 2006).

A Formação Serra tem sua base associada ao desaparecimento dos folhelhos betuminosos e/ou calcários dolomíticos da Formação Irati e aparecimento de siltitos cinza

escuros maciços, às vezes caracterizados pela presença de níveis constituídos por restos de peixes e coprólitos (Lages, 2004). Na borda leste da Bacia do Paraná, a formação geralmente apresenta espessuras inferiores a 100 m (MEGLHIORATTI, 2006).

A presença *mesossauros* nas Formações Irati e Whitehill (África do Sul) permite a correlação entre essas unidades e atribuir a idade Artinskiana para deposição de ambas, por volta de 275 Ma (LAGES, 2004). Rocha-Campos *et al.* (2011), obteve idade por volta de 275 Ma para camada de cinza presentes no topo da Formação Irati, indicando que a sedimentação da Formação Serra Alta é mais recente que 275 Ma, nas unidades sobrepostas à Formação Serra Alta, Rocha-Campos obtiveram idades de  $267 \pm 17$  Ma para a Formação Teresina e de  $266,3 \pm 4,6$  Ma para a Formação Rio do Rasto. Esses dados permitem posicionar a deposição da unidade na época Guadalupiana (WANKE, 2000; HOLZFOERSTER, 2002).

A correlação entre dados palinológicos e as biozonas definidas para os vertebrados fósseis restringem um intervalo próximo a 3 Ma para a deposição dos extratos que compõem a Formação Serra Alta, delimitado entre as idades Capitaniana inferior (265 Ma) e Wordiana inferior (268 Ma), pertencentes a porção intermediária a superior da Época Guadalupiana (DAEMON e QUADROS 1970; BARBERENA *et al.* 1985; LAGES, 2004; LÓPEZ-GAMUNDÍ, 2006; SANTOS *et al.* 2006; ROCHA-CAMPOS *et al.* 2011).

O contato entre as Formações Serra Alta e Teresina é considerado transicional, materializando mudança gradual de ambiente profundo pouco oxigenado para ambiente de águas cada vez mais rasas e agitadas (MENDES 1984, WARREN *et al.*, 2015).

O contato inferior com a Formação é tradicionalmente descrito como transicional, sendo caracterizado pelo desaparecimento de folhelhos e carbonatos e surgimento gradual de siltitos laminados cinzas, próprios da Formação Serra Alta (MAACK, 1947; BEURLEN, 1954; CASTRO, *et al.* 1993).

Schneider *et al.* (1974) considera que a sedimentação das camadas da Formação Serra Alta teria ocorrido em condições similares às do Membro Taquaral da Formação Irati, ou seja, em águas calmas abaixo do nível de base de ondas, em áreas fisiograficamente restritas de um grande corpo d'água interior.

## 2 | METODOLOGIA

### Coleta das amostras

As amostras de poços oriundas de Papanduva-SC foram cedidas pela empresa IRATI PETRÓLEO E ENERGIA LTDA. A amostra analisada corresponde a uma profundidade de 15 m deste poço.



## Extração da matéria orgânica

A amostra pulverizada foi mantida em dessecador com  $\text{CaCl}_2$  e Pentóxido de Fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) para retirada do excesso de umidade durante 24 horas antes da extração. Cerca de 30 g de amostra foi submetida à extração em banho ultrassom durante 30 min com 50 mL de uma mistura azeotrópica (diclorometano:metanol 12%), 3 vezes. Foi adicionado ao extrato cerca de 500 mg de cobre metálico em pó e levou-se ao ultrassom por 30 min com aquecimento de 60 °C para a retirada do enxofre, as frações foram filtradas, o solvente evaporado sob pressão reduzida e acomodadas em frasco de vidro.

## Coluna Cromatográfica

O extrato obtido foi fracionado através de cromatografia em coluna (CC) utilizando como fase estacionária sílica: 10%  $\text{AgNO}_3$ , em uma proporção 1:70 (amostra: fase estacionária). O sistema de eluente empregado foi hexano (Saturados); hexano: acetato de etila 20% (Aromáticos); acetato de etila: metanol 5% (resinas e asfaltenos-NSO) (MOURA *et al.*, 2016).

## Condições de análise no CG-EM

A análise da fração saturada por CG-EM foi realizada em um cromatógrafo da Shimadzu, modelo GCMS-QP2010 SE, equipado com auto injetor AOC-5000, seguindo as seguintes condições de análise: injetor 290 °C, razão split de 1:10, temperatura inicial do forno de 60 °C (1 min), apresentando uma rampa de aquecimento de 4 °C/min até 315 °C permanecendo por 15 minutos. Para cromatografia dos componentes foi empregada uma coluna SLB-5MS, 30 m × 0,25 mm, espessura do filme interno de 0,25  $\mu\text{m}$ , usou-se  $\text{He}_2$  como gás de arraste com fluxo de 1,0 mL/min.

A temperatura de interface e da fonte de íons foram 320 °C e 230 °C, respectivamente. O analisador de massas utilizado foi do tipo quadrupolo operando por impacto eletrônico (70 eV) e os fragmentos detectados na faixa de 57 a 600 Da. A identificação dos biomarcadores foi feita por comparação das ordens de eluição, tempos de retenção e espectros de massas com dados da literatura.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Biomarcadores ou marcadores biológicos são compostos cujas estruturas podem ser interpretadas em termos de sua origem biológica, são considerados fósseis moleculares constituídos de carbono, hidrogênio e outros elementos. Podem ser encontrados em rochas, sedimentos ou carvões e apresentam pequena ou nenhuma mudança estrutural em relação às moléculas orgânicas originais presentes nas membranas plasmáticas dos organismos vivos (procarióticos ou eucarióticos), (PETERS e MOLDOVAN, 2005).

Para a avaliação das informações geoquímicas da Formação Serra Alta foram realizados cálculos de parâmetros de maturação térmica e ambiente deposicional, de acordo com a sua abundância relativa. A Figura 2 apresenta o perfil cromatográfico do monitoramento dos fragmentos  $m/z$  85, 191 e 217, característicos para  $n$ -alcanos, terpanos e esteranos, respectivamente.

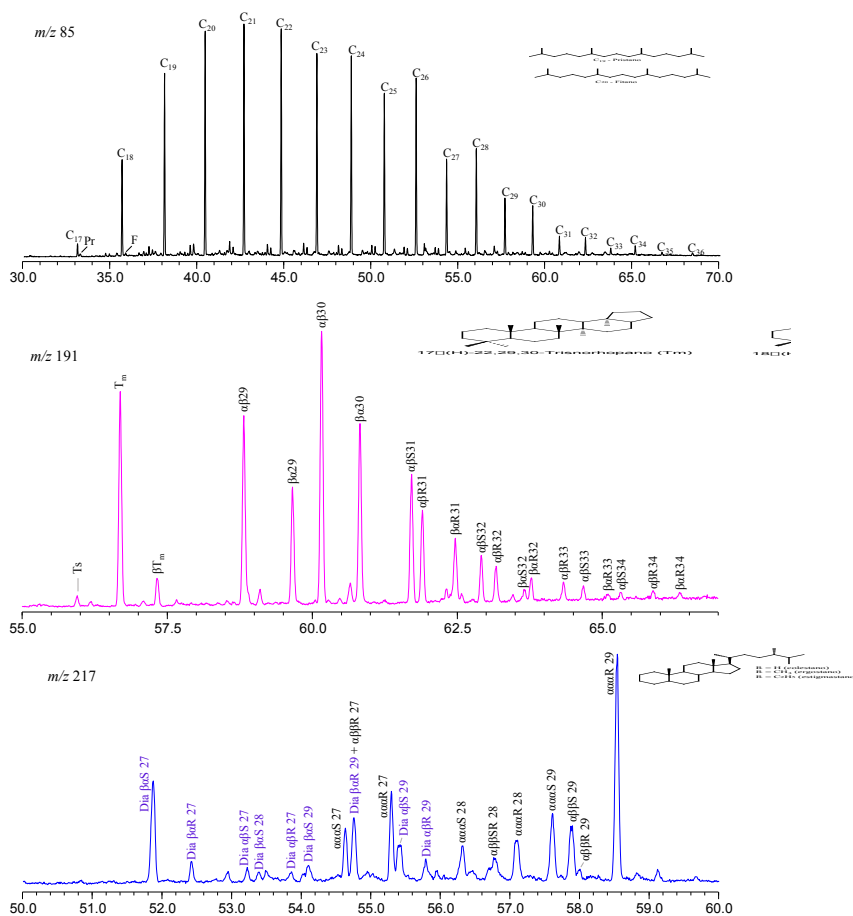


Figura 2. Perfil cromatográfico do monitoramento dos fragmentos  $m/z$  85, 191 e 217.

A série de  $n$ -alcanos variou de  $C_{15}$ - $C_{35}$ , com predominância de  $C_{19}$ - $C_{26}$ , indicativo de matéria orgânica de origem marinha com contribuição terrestre, os parâmetros CPI e OEP (Tabela 1) mostram preferência par sobre ímpar, e distribuição unimodal com máximos em  $C_{21}$ , apresentando alta abundância de  $n$ -alcanos.

A relação P/F, usada como parâmetro redox, apresentou valor próximo a 1,44 indicando ambiente deposicional óxico. Na geoquímica orgânica estes valores são geralmente aplicados para a avaliação da oxidação do ambiente deposicional, apesar das

suas muitas limitações, uma vez que pode ser rápida e facilmente medido. Considera-se que os valores destas razões acima de 1,0 indicam o ambiente de deposição óxido, enquanto valores <1,0 indicam condições anóxicas (KELLY *et al.*, 2011; TAO *et al.*, 2015).

Parâmetros	Amostra FSA-15
<sup>1</sup> CPI-I	0,61
<sup>2</sup> CPI-II	0,80
<sup>3</sup> OEP-I	0,95
<sup>4</sup> OEP-II	0,68
<sup>5</sup> TAR	0,90
<sup>6</sup> P/F	1,44
<sup>7</sup> P/(P+F)	0,59
<sup>8</sup> P/ <i>n</i> -C <sub>17</sub>	0,30
<sup>9</sup> F/ <i>n</i> -C <sub>18</sub>	0,03
<sup>10</sup> Ts/Tm	0,05
<sup>11</sup> Ts/(Ts+Tm)	0,04
<sup>12</sup> C <sub>30</sub> βα/(αβ+βα)	0,40
<sup>13</sup> C <sub>31</sub> αβ 22S/(22S+22R)	0,57
<sup>14</sup> C <sub>32</sub> αβ 22S/(22S+22R)	0,54
<sup>15</sup> C <sub>31</sub> 22R Hop/C <sub>30</sub> Hop	0,29
<sup>16</sup> C <sub>27</sub> /C <sub>29</sub> Est	0,35
<sup>17</sup> C <sub>27</sub> S/(20S+20R)	0,38
<sup>18</sup> C <sub>29</sub> 20S/(20S+20R)	0,26
<sup>19</sup> Hop/Ester	12,09

Tabela 1. Parâmetros de biomarcadores de maturidade térmica, origem e ambiente deposicional da matéria orgânica presente na Formação Serra Alta.

1 CPI-I:  $0,5 * [(C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}) / (C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}) + (C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}) / (C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32})]$

2 CPI-II:  $2x(C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29}) / [C_{22} + 2(C_{24} + C_{26} + C_{28}) + C_{30}]$

3 OEP-I:  $(C_{21} + 6C_{23} + C_{25}) / (4C_{22} + 4C_{24})$

4 OEP-II:  $(C_{25} + 6C_{27} + C_{29}) / (4C_{26} + 4C_{28})$

5 TAR:  $(C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{15} + C_{17} + C_{19})$

6 P/F: Pristano/Fitano

7 P/(P+F): Pristano/(Pristano+Fitano)

8 Pr/*n*-C<sub>17</sub>: Pristano/*n*-heptadecano (C<sub>17</sub>)

9 Ph/*n*-C<sub>18</sub>: Fitano/ *n*-octadecano (C<sub>18</sub>)

10 Ts/Tm: C<sub>27</sub>-18α(H)-22,29,30-trisnorneohopano/C<sub>27</sub>-17α(H)-22,29,30-trisnorhopano

11 Ts/(Ts+Tm): C<sub>27</sub>-18α(H)-22,29,30-trisnorneohopano/[(C<sub>27</sub>-18α(H)-22,29,30-trisnorneohopano+C<sub>27</sub>-17α(H)-22,29,30-trisnorhopano)]

12 C<sub>30</sub> βα/(αβ+βα): C<sub>30</sub>-17β, 21α-moretano/(C<sub>30</sub>-αβ- hopano + C<sub>30</sub>-17β, 21α-moretano)

13  $C_{31} \alpha\beta 22S/(22S+22R): C_{31}$ - 17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -homohopano 22S/ $C_{32}$ - 17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -homohopano 22S +  $C_{32}$ - 17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -homohopano 22R)

14  $C_{32} \alpha\beta 22S/(22S+22R): C_{32}$ -17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -bishomohopano 22S/ $C_{32}$ - 17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -bishomohopano 22S +  $C_{32}$ - 17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -bishomohopano 22R)

15  $C_{31} 22R \text{ Hop}/C_{30} \text{ Hop}: C_{31}$ -17 $\alpha$ , 21 $\beta$ -homohopano 22R/  $C_{30}$ -17 $\alpha$ , 21 $\beta$ - hopano

16  $C_{27}/C_{29} \text{ Est}: C_{27}$  5 $\alpha$ ,14 $\alpha$ ,17 $\alpha$ (H)-colestano R/  $C_{29}$  5 $\alpha$ ,14 $\alpha$ ,17 $\alpha$ (H)-estigmastano R

17  $C_{27} S/(20S+20R): C_{27}$  5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-colestano S/ $C_{27}$  5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-colestano S +  $C_{27}$  5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-colestano R)

18  $C_{29} 20S/(20S+20R): C_{29}$  5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-estigmastano S/ $C_{29}$  5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-estigmastano S +  $C_{27}$  5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-estigmastano R)

19 Hop/Ester:  $C_{30}$  17 $\alpha$ ,21 $\beta$ -hopano RIC  $m/z$  191/ $C_{27}$  20S 5 $\alpha$ ,14 $\alpha$ ,17 $\alpha$ (H)-colestano 20R+20S  $m/z$  217)

A presença de hopanos em óleos e sedimentos tem sido relacionada à atividade bacteriana e a contribuição de algas tornando-se um importante parâmetro de maturação, fonte e salinidade (JIANPING *et al.*, 1997; HAUSER *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2008). Este grupo de compostos compreendem três tipos de diasteroisômeros: 17 $\alpha$ , 21 $\beta$ (H)-hopanos ( $\alpha\beta$  hopanos) e 17 $\beta$ , 21 $\alpha$ (H)-hopanos ( $\beta\alpha$  hopanos ou moretanos) bem como seus diasteroisômeros bioquímicos como 17 $\beta$ , 21  $\beta$ (H)-hopanos ( $\beta\beta$  hopanos).

O 18 $\alpha$ (H)-trisneohopano (Ts) é mais resistente a degradação térmica do que o 17 $\alpha$ (H)-trisorhopano (Tm), com isso espera-se que os valores da razão Ts/Tm aumente com o aumento da maturação. A razão destes isômeros expressa como Ts/Tm e Ts/(Ts+Tm), apresentaram valores de 0,05 e 0,04, respectivamente, sugerindo amostras imaturas. O  $C_{27}$  17 $\beta$  (H) -22,29,30-trisorhopano ( $\beta$ Tm) também foi identificado, este composto é característico de rochas geradoras imaturas, conforme aumenta a maturação térmica, espera-se que a concentração relativa de  $\beta$ Tm diminua porque é termicamente instável quando comparada a Ts e Tm (HONG *et al.*, 1986).

A análise do perfil cromatográfico representativo dos esteranos monitorados a partir do fragmento  $m/z$  217 indicou a predominância do esterano  $C_{29}$  (estigmastano) em relação aos esteranos  $C_{27}$  (colestano) e  $C_{28}$  (ergostano), normalmente esta predominância é dada em função de uma maior contribuição de vegetais superiores (BECHTEL *et al.*, 2012).

Com o aumento da maturação térmica também é observado a isomerização dos esteranos regulares no  $C_{20}$ -5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H) de configuração R formando uma mistura de configurações R (epímero biológico), e S (epímero geológico), espera-se que a razão  $C_{29} 20S/(20S+20R)$  atinja valores de equilíbrio entre 0,52 e 0,55 (PAN *et al.*, 2008). As razões 20S/(20S+20R) foram 0,38 e 0,26, respectivamente, para  $C_{27}$  e  $C_{29}$ , corroborando com os valores de Ts/Tm e Ts/(Ts+Tm).

## 4 | CONCLUSÕES

A análise geoquímica da matéria orgânica da amostra da Formação Serra Alta foi

realizada por meio parâmetros moleculares, com base em *n*-alcanos, terpanos e esteranos.

A distribuição geral de hidrocarbonetos e/ou parâmetros de biomarcadores sugeriram que a amostra apresenta baixa evolução térmica, paleoambiente deposicional subóxico e ambiente marinho com contribuição de matéria orgânica terrestre (CPI e OEP mostram preferência par sobre ímpar), corroborado pela razão  $C_{27}/C_{29}$  esterano. Entre os esteranos, predominam àqueles de estereoquímica  $\alpha\alpha\alpha 20R$  em relação  $\alpha\alpha\alpha 20S$ , que é característica de amostras pouco evoluídas termicamente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa IRATI PETRÓLEO E ENERGIA LTDA pelas amostras cedidas e à UFPI, LAGO, PETROBRAS e FAPEPI pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

ANDREIS, R. R.; CARVALHO, I. S. A Formação Corumbataí (Permiano Superior/Triássico Inferior, Bacia do Paraná) na pedreira de Pau Petro, Município de Itaipava, São Paulo, Brasil: Análise paleoambiental e das pegadas fósseis. **Rev. Bras. De Paleontologia**, 2: 33 - 46, 2001.

ANP, 2010. **Décima Rodada de Licitações: Bacia do Paraná**. Disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round10/arquivos\\_r10/seminarios/STA\\_6\\_Bacia\\_do\\_Parana\\_portugues.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round10/arquivos_r10/seminarios/STA_6_Bacia_do_Parana_portugues.pdf). Acesso em: 13 de março de 2021.

BARBERENA, M.C.; ARAUJO, D.C.; LAVINA, E.L. Late Permian and Triassic tetrapods of Southern Brazil. **National Geographic Research**, 1:5-20, 1985.

BARBOSA, O.; GOMES, F. A., **Pesquisa de petróleo na bacia do rio Corumbataí, Estado de São Paulo, Brasil**. Bol. DNPM-DGM, Rio de Janeiro, 171, p.40, 1985.

BARTORELLI, A. Origem das grandes cachoeiras do planalto basáltico da Bacia do Paraná: evolução quaternária e geomorfologia. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Brasil: Beca, p. 95-111, 2005.

BECHTEL, A.; JIA, J.; STROBL, S. A. I.; REINHARD, SACHSENHOFER, R. F.; ZHAOJUN, L.; REINHARD, G.; PÜTTMANN, W. Paleoenvironmental conditions during deposition of the Upper Cretaceous oil shale sequences in the Songliao Basin (NE China): Implications from geochemical analysis. **Organic Geochemistry**, v. 2012, p. 76-95, 2012.

BROCKS, J. J. e SUMMONS, R. E. **10.3 - Sedimentary Hydrocarbons, Biomarkers for Early Life A2** - Holland, Heinrich D. Treatise on Geochemistry (Second Edition). K. K. Turekian. Oxford, Elsevier: p. 61-103, 2014.

CASTRO, J.C.; MACIEL, U.; ALVES, C.F.C.; GRECCHI, R.C. O Grupo Guatá na margem nordeste da Bacia do Paraná: uma revisão. In: **I Simpósio sobre a cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, Rio Claro**. Boletim de Geociências, p. 55-56, 1993.

DAEMON, R.F.; QUADROS, L.P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: 24º Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília. Anais, p. 359-412, 1970.

FÚLFARO, V. J. Contribuição à geologia da região de Angatuba, Estado de São Paulo. **Div. Geol. Miner. DNPM-DGM**, Rio de Janeiro, Bol., v.254, p. 83, 1970.

GORDON JR., M. Classificação das formações gonduânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. **Div. Geol. Min. D.N.P.M. Not. Prel. Est.**, 38, Rio de Janeiro, 20 p., 1947.

HAUSER, A.; DASHTI, H.; ZHAN, Z. H. Identificação of biomarker compounds in selected Kuwait crude oils. **Fuel**, v.78, p.1483-1488, 1999.

HOLZFOERSTER, F. Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia. **Beringeria**, v. 30,1-144, 2002.

HONG, Z.-H., LI, H.-X., RULLKÖTTER, J., MACKENZIE, A.S. Geochemical application of sterane and triterpane biological marker compounds in the Linyi Basin. **Organic Geochemistry**, v.10, 433-439, 1986.

JIANPING, B. 25-norhopane series in the unbiodegraded oil and the source. **Chinese Science Bulletin**, v.42, n. 16, p. 1388-1391, 1997.

KELLY, A. E.; LOVE, G. D.; ZUMBERGE, J. E.; SUMMONS, R. E. Hydrocarbon biomarkers of Neoproterozoic to Lower Cambrian oils from eastern Siberia. **Organic Geochemistry**, v. 42, p. 640-654, 2011.

LAGES, L.C. A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR). MS Dissertation, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, p. 117, 2004.

LANDIM, P. M. B., O Grupo Passa Dois (Permiano) na bacia do Rio Corumbataí, São Paulo. **Bol. DNPM-DGM**, v. 252: 1-103, 1970.

LAVINA, E. L.; LOPES, R. C. **A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul**. Paula Coutiana, Porto Alegre, n. 1, p. 51-103, 1986.

LÓPEZ-GAMUNDÍ O. Permian plate margin volcanism and tuFFs in adjacent basins of west Gondwana: age constraints and common characteristics. **Journal of South American Earth Sciences**, v.22, p.227-238, 2006.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia (IBPT)**, v.11, p.63-154, 1947.

MARQUES, L.S.; ERNESTO, M. **O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná**. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; NEVES, B.B.B. (Eds.). Geologia do continente sul americano evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Brasil: Beca, p. 245-263, 2005.

MEGLHIORATTI, T. Estratigrafia de seqüências das Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-São Paulo, 2006.

MENDES, J.C. A Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí (estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Série Geologia)**, v.145(8), p.1-119, 1952.

MENDES, J.C. **The Passa Dois Group**. In: Bigarella J.J., Becker R.D., Pinto I.D. (eds.). Problems in Brazilian Gondwana geology, Curitiba, Instituto de Geologia, p.119-166, 1967.

MENDES, J.C. Sobre os paleoambientes deposicionais do Grupo Passa Dois. **Revista do Instituto Geológico**, v. 5(1-2), p.15-24, 1984.

MILANI, E. J. **Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná**. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; NEVES, B.B.B. (Eds.). Geologia do continente sulamericano - evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Brasil: Beca, p. 264279, 2005.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; PAULO ALVES DE SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. In: Cartas Estratigráficas. **Boletim de Geociências**, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias Paleozóicas no domínio sul-americano do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p-473-484, 1998.

MOURA, A.K.S., SANTOS, A.L.S.; CITÓ, A. M. G. L. Otimização de Metodologia para Fracionamento Cromatográfico da Matéria Orgânica de Óleo Cru e Extratos de Rochas. **XIII Congresso De Geoquímica dos países de Língua Portuguesa**, p. 1, 2015.

NASCIMENTO, C. A.; SOUZA, E. S.; MARTINS, L. L.; RIBEIRO, H. J. P. S.; SANTOS, V. H.; RODRIGUES, R. Changes in depositional paleoenvironment of black shales in the Permian Irati Formation (Paraná Basin, Brazil): Geochemical evidence and aromatic biomarkers. **Marine and Petroleum Geology**, v. 126, p. 104917, 2021.

NEREGATO, R. Estudo palinológico das Formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto nos furos de sondagem SP-23-PR e SP-58-PR, centro-norte do Paraná (Permiano, Bacia do Paraná). 107 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-São Paulo, 2007

PAN, C.; PENG, D.; ZHANG, M.; YU, L.; SHENG, G.; FU, J. Distribution and isomerization of C<sub>31</sub>-C<sub>35</sub> homohopanes and C<sub>29</sub> steranes in oligocene saline lacustrine sediments from Qaidam Basin, Northwest China. **Organic Geochemistry**, v.39, p. 646-657, 2008.

PETERS, K. E.; WALTERS, C. C.; MOLDOWAN, J. M. **The Biomarker Guide. Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History**. v.1, Ed. 2nd, Cambridge University Press. 2005.

PETRI, S.; COIMBRA, A M. Estruturas sedimentares das Formações Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para a elucidação dos seus paleoambientes geradores, Brasil. In: **Actas 5º Congr. Latino-Americano de Geologia**, v.2: p.353-371, 1982.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; BASEI, M.A.; NUTMAN, A.P.; KLEIMAN, L.E.; VARELA, R.; LLAMBIAS, E.; CANILE, F.M.; ROSA, O.C.R. 30 million years of Permian volcanism recorded in the Choiyoi igneous province (W Argentina) and their source for younger ash fall deposits in the Paraná Basin: SHRIMP U-Pb zircon geochronology evidence. **Gondwana Research**, v.19, p 509-523, 2011.

- ROHN, R. A Estratigrafia da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) de acordo com furos de sondagem entre Anhembi (SP) e Ortigueira (PR). **Ciência-Técnica-Petróleo, Seção: Exploração de Petróleo**, v. 20, p. 209- 218, 2001.
- SCHNEIDER, R. L.; MULHMANN, H.; TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F., NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, Porto Alegre. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p. 41-65, 1974.
- SILVA, D. R. A.; MIZUSAKI, A. M.; ANJOS, S. M. C.; CONCEIÇÃO, R. V. O Método Radiométrico Rb-Sr Aplicado em Rochas Sedimentares o Exemplo da Bacia do Paraná, Brasil. **Pesquisa de Geociências**, v. 33, n.1, 83-100, 2006.
- SILVA, T. F.; AZEVEDO, D. A.; RANGEL, M. D.; FONTES, R. A.; NETO, F. R. A. Effect of biodegradation on biomarkers released from asphaltenes. **Organic Geochemistry**, v. 39, p. 1249-1257, 2008.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P. MB., Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: **Anais 27º Cong. Bras. Geologia**, Aracaju, v.1, p. 243-296, 1973.
- SOUSA, S. H. M.; SUGUI, K. e CASTRO, J. C., 1991. Sedimentary fácies of de Estrada Nova and Corumbataí Formation (Late Peleozoic of the Paraná Basin) in the State of São Paulo, Brazil. In: 7 International Gondwana Symposium, São Paulo, 161-172.
- SOUSA, S.H.M. Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo. São Paulo, SP. (Dissertação de Mestrado), IG-USP, p. 142, 1985.
- SUGUIO, K.; SALATI, E.; BARCELOS, J.H., Calcários oolíticos de Taguaí (SP) e seu possível significado paleoambiental na deposição da Formação Estrada Nova. **Rev. Brasil. Geoc.**, v.4, p.142-166, 1974.
- TAO, S.; WANG, C.; DU, J.; LIU, L.; CHEN, Z. Geochemical applications of tricyclic and tetracyclic terpanes biomarkers in crude oils of NW China. **Marine and Petroleum Geology**, v. 67, p. 460-467, 2015.
- WANG, C. YANG, E. A. L. **Petroleum biomarker for oil spill characterization and source identification**. Z. Wang, S. Stout (Eds.), Oil Spill Environmental Forensics, Academic Press, Oxford, 2007.
- WANKE, A. Karoo-Etendeka unconformites in NW Namibia and their tectonic implications. PhD Thesis, Würzburg University, Würzburg, p.116, 2000.
- WARREN, L.C.; ASSINE, M.L.; SIMÕES, M. G.; RICCOMINI, C.; LUÍS EDUARDO ANELLI, L.E. A Formação Serra Alta, Permiano, no centro-leste do Estado de São Paulo, Bacia do Paraná, Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, 45(1), p.109-126, 2015.
- WASHBURNE, H. R., **Petroleum geology of the State of São Paulo**. São Paulo, p. 272, 1930.
- ZAINE, M. F., Uma barreira geográfica no Paleozóico Superior na região de Fartura, SP. Universidade de São Paulo (Dissertação de mestrado), p.89, 1980.
- ZÁLAN, P. V.; WOLF, S.; ASTOLFI, M. A.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V.; SANTOS NETO, E. V.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: LEIGHTON MW, KOLATA DR, OLTZ DF e EIDEL JJ (Eds.). Interior cratonic basins. **American Association of Petroleum Geologists Memoir**, v. 51: p. 681-708, 1990.



## 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](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

 **Atena**  
Editora

Ano 2021

Fósseis Moleculares e Aplicações em  
**GEOQUÍMICA  
ORGÂNICA**

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



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



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora

Ano 2021