

Fins da Geologia

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)

Fins da Geologia

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G633f Gomes, Ingrid Aparecida.
Fins da geologia [recurso eletrônico] / Ingrid Aparecida Gomes. –
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-020-9
DOI 10.22533/at.ed.209182112

1. Geologia. 2. Geologia química. I. Título.

CDD 550

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra *“Estudos Geológicos Contemporâneos”* aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 11 capítulos, discussões de diferentes vertentes da Geologia, com ênfase na Geologia Química.

A Geologia engloba, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Esta ciência estuda as diversas relações existentes entre natureza e o homem, principalmente os fatores de composição da crosta terrestre.

A percepção geológica possibilita a aquisição de conhecimentos e habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas.

A ideia moderna da Geologia refere-se a um processo de mudança física geral, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador do meio físico, tais discussões não são apenas mais fundadas em critérios antropológicos, mas também são incluídos fatores caracterização, avaliação, investigação de anomalias, mais centrado nos aspectos litológicos.

Neste sentido, este volume dedicado a Geologia, apresenta artigos alinhados com estudos da natureza. A importância dos estudos geológicos dessas vertentes, é notada no cerne da ciência, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos Geólogos e profissionais de áreas afins, em desvendar a realidade dos meios natural e antrópico.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Ingrid Aparecida Gomes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	8
CARACTERIZAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO FURNAS, REGIÃO DE CAMPO NOVO-PR	
Ricardo Maahs Norberto Dani Ericks Henrique Testa Elisa Oliveira da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.2091821121	
CAPÍTULO 2	13
CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DA FORMAÇÃO IÇÁ	
Luciana F. Pereira Guilherme T. Bueno Thierry Allard	
DOI 10.22533/at.ed.2091821122	
CAPÍTULO 3	20
CONTRIBUIÇÃO À AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERADOR DE HIDROCARBONETOS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO), NO ESTADO DO TOCANTINS, BACIA DO PARNAÍBA, BRASIL	
Iasmine Maciel Silva Souza Olívia Maria Cordeiro de Oliveira Hélio Jorge Portugal Severiano Ribeiro Eliane Soares de Souza Jose Roberto Cerqueira Ilene Matanó Abreu Rafael Regueira Santos	
DOI 10.22533/at.ed.2091821123	
CAPÍTULO 4	30
AVALIAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLIAROMÁTICOS EM EXTRATOS DE ROCHAS GERADORAS DA BACIA DO AMAZONAS, FORMAÇÃO BARREIRINHA	
Artur Leal de Carvalho Barros Sidney Gonçalo de Lima Andrenilton Ferreira Silva Edymilaís da Silva Sousa Moisés Pereira de Araújo Sebastian Molina Calderón Afonso Cesar Rodrigues Nogueira	
DOI 10.22533/at.ed.2091821124	
CAPÍTULO 5	43
FATORES QUE AFETAM A BIODISPONIBILIDADE DE CONTAMINANTES METÁLICOS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA BAÍA DE SEPETIBA, RIO DE JANEIRO, BRASIL	
Christiane do Nascimento Monte Ana Paula de Castro Rodrigues Alexandre Rafael de Freitas Renato Campello Cordeiro Ricardo Erthal Santelli Wilson Machado	
DOI 10.22533/at.ed.2091821125	

CAPÍTULO 6	58
ANOMALIAS GEOQUÍMICAS DE ESTRÔNCIO NO ESTADO DE ALAGOAS E PERSPECTIVAS DE MINERALIZAÇÕES	
Enjorras de Albuquerque Medeiros Lima	
Melissa Franzen	
Fernanda Soares de Miranda Torres	
DOI 10.22533/at.ed.2091821126	
CAPÍTULO 7	63
TEORES ANÔMALOS DE CROMO EM ASSOCIAÇÃO COM COBRE, FERRO E NÍQUEL NA REGIÃO DE JOAQUIM GOMES, NORDESTE DO ESTADO DE ALAGOAS	
Melissa Franzen	
Enjorras de Albuquerque Medeiros Lima	
Fernanda Soares de Miranda Torres	
DOI 10.22533/at.ed.2091821127	
CAPÍTULO 8	69
CONCENTRAÇÕES DE NITRATO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE ATIVIDADE MINEIRA NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL, RS, BRASIL	
Cristiane Heredia Gomes	
Karine Persea Junges	
Diogo Gabriel Sperandio	
Rafael Lima Dessart	
Pedro Daniel da Cunha Kemerich	
DOI 10.22533/at.ed.2091821128	
CAPÍTULO 9	85
GEOQUÍMICA MOLECULAR DE ROCHAS GERADORAS DA FORMAÇÃO BARREIRINHA, MUNICÍPIO RURÓPOLIS – PARÁ, BACIA DO AMAZONAS	
Andrenilton Ferreira Silva	
Sidney Gonçalo de Lima	
Artur Leal Carvalho Barros	
Sebastian Molina Calderón	
Afonso Cesar Rodrigues Nogueira	
DOI 10.22533/at.ed.2091821129	
CAPÍTULO 10	98
SEPARAÇÃO DE ASFALTENOS POR CROMATOGRAFIA EM PLACA PREPARATIVA E ANÁLISE POR CG-EM DE BIOMARCADORES OCLUÍDOS	
Sidney Gonçalo de Lima	
Iara Samara de Alcantara Silva	
José Arimateia Dantas Lopes	
Igor Viegas Alves Fernandes de Souza	
Ramsés Capilla	
Georgiana Feitosa da Cruz	
DOI 10.22533/at.ed.20918211210	
CAPÍTULO 11	106
STUDY OF LITHOLOGIC INFLUENCE ON KARSTIC GEOMORPHOLOGY DEVELOPED ON PEDRO LEOPOLDO AND LAGOA SANTA MEMBER'S – SETE LAGOAS FORMATION/ MG, BRAZIL	
Amanda Rodrigues Lima da Silva	
Gizelle Guedes Cunha de Moura	
Letícia Amaral Cardoso	
Maria Luiza Menezes Cordeiro	

Rafael Queiroga Viana Machado
Ana Katuscia Pastana de Souza Weber
Marcia Rodrigues Marques
Ulisses Cyrino Penha

DOI 10.22533/at.ed.20918211211

SOBRE A ORGANIZADORA..... 117

GEOQUÍMICA MOLECULAR DE ROCHAS GERADORAS DA FORMAÇÃO BARREIRINHA, MUNICÍPIO RURÓPOLIS – PARÁ, BACIA DO AMAZONAS

Andrenilton Ferreira Silva

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – PI

Sidney Gonçalo de Lima

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – PI

Artur Leal Carvalho Barros

Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Departamento de Química
Teresina – PI

Sebastian Molina Calderón

Universidade Federal do Pará – UFPA, Instituto
de Geociências
Belém – PA

Afonso Cesar Rodrigues Nogueira

Universidade Federal do Pará – UFPA, Instituto
de Geociências
Belém – PA

RESUMO: A Formação Barreirinha é considerada uma das mais importantes rochas geradoras de hidrocarbonetos da Bacia do Amazonas, sendo constituída por folhelhos e carbonatos. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a matéria orgânica presente em rochas de afloramento coletadas no município Rurópolis – Pará, através de

parâmetros moleculares de hidrocarbonetos. Com base na distribuição e parâmetros moleculares de hidrocarbonetos saturados (*n*-alcanos e isoprenoides, terpanos, esteranos) e/ou aromáticos (carotenoides aromáticos e seus derivados) foi possível sugerir que as amostras apresentam baixa evolução térmica, ambiente deposicional marinho anóxico com coluna d'água estratificada (condições euxínica) e salinidade elevada.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Barreirinha, Devoniano, Carotenoides aromáticos, Derivados catagenéticos, Isorenieratano.

ABSTRACT: The Barreirinha Formation is considered one of the most important hydrocarbon generating rocks of the Amazon Basin, being constituted by shales and carbonates. The main goal of this study is to characterize organic matter (OM) present in rock outcrop collected in the municipality Rurópolis – Pará, through saturated and aromatic biomarkers. Based on the distribution and molecular parameters of saturated hydrocarbons (*n*-alkanes and isoprenoids, terpanes, steranes) and/or aromatics (aromatic carotenoids and their derivatives), it was possible to suggest that the samples present low thermal evolution, anoxic marine environment, and euxinic conditions.

KEYWORDS: Formation Barreirinha, Devonian, Aromatic Carotenoids, Catagenic Derivatives,

INTRODUÇÃO

A Bacia do Amazonas possui uma extensão territorial de aproximadamente 500.000 km², abrangendo parte dos estados do Amazonas e Pará (Figura 1) (CUNHA et al., 2007). Registra um ciclo transgressivo-regressivo em suas rochas sedimentares dos Grupos Urupadí e Curuá, que juntos compõem a sequência devoniano-carbonífera. O Grupo Curuá, do qual faz parte a Formação Barreirinha, compreende ainda as formações Curiri e Oriximiná e abrangendo uma espessura de 920 m (Figura 1).

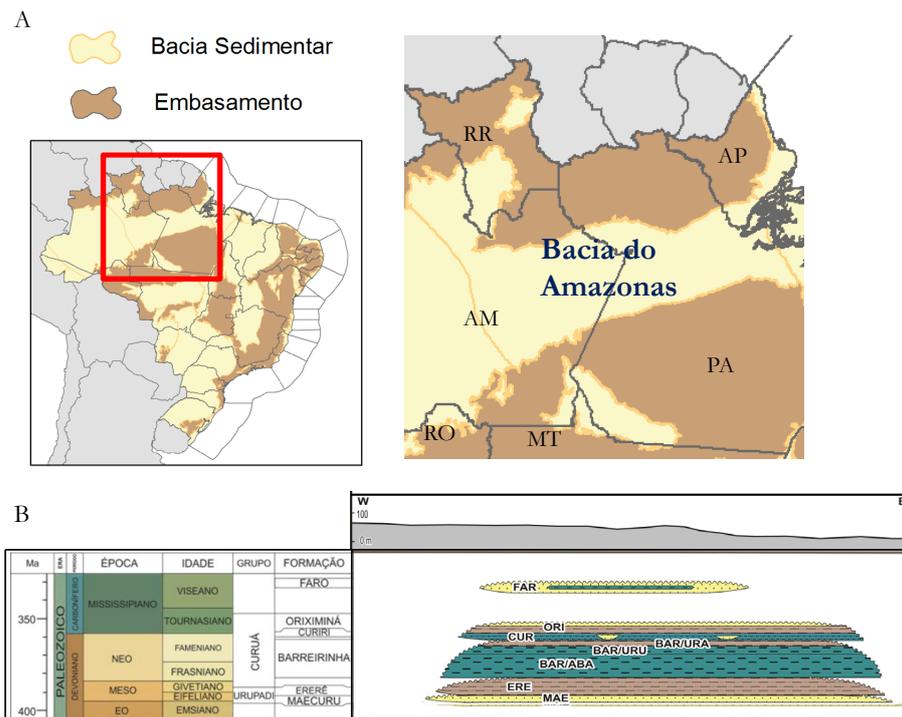


Figura 1 – Localização da Bacia do Amazonas (A). Corte da carta estratigráfica evidenciando o Grupo Curuá (B) (CUNHA et al., 2007). BAR/ABA = Fm. Barreirinha, Membro Abacaxis; BAR/URU = Fm. Barreirinha, Membro Urubu e BAR/URA = Fm. Barreirinha, Membro Uraíá.

Os folhelhos devonianos da Formação Barreirinha são compostos quase exclusivamente de folhelhos pretos, finamente laminados, piritosos, em parte betuminosos e carbonosos (QUADROS, 1992). Os folhelhos são altamente radioativos na base, onde são observados, também, alguns níveis delgados de siltitos. A zona radioativa basal apresenta um alto conteúdo de matéria orgânica e pirita, atestando condições altamente redutoras e grande influxo de organismos planctônicos (TRIGUIS et al., 2005). Na seção superior, não radioativa, as condições redutoras são menos pronunciadas e os folhelhos tornam-se menos piritosos e mais sílticos (SZATMARI et al., 1975).

Considerada como uma das mais importantes geradoras de hidrocarbonatos da bacia, esta unidade pode ser dividida em duas seções distintas, a porção basal, denominada Barreirinha Inferior, é composta de folhelhos negros devonianos que

atingem a espessura de 160 metros no depocentro da bacia. Valores de Carbono Orgânico Total (COT) variam entre 3 e 8% e análises geoquímicas indicam a predominância de querogênio Tipo II (GONZAGA et al., 2000 citado por FERREIRA et al., 2015). A porção superior denominada Barreirinha Superior, alcança a espessura de 150 metros e apresenta valores de COT entre 1 e 2%, exibindo predominância de querogênio Tipo III (TRIGUIS et al., 2005).

O estudo dos fenômenos ocorridos desde a sedimentação, até a formação do petróleo é de grande importância econômica e científica. É através da geoquímica orgânica e dos seus fundamentos e técnicas, é possível realizar estudos a respeito de rochas geradoras e de óleos, fornecendo informações de origem, preservação, maturação da matéria orgânica; geração, migração e acúmulo de óleos, além de ser utilizada para solução de problemas ambientais (TISSOT & WELTE, 1984; KILLOPS & KILLOPS, 2005).

Os biomarcadores ou fósseis químicos são a principal ferramenta no estudo geoquímico. Estes compostos estão presentes em óleos e extratos de rochas, que preservam a estrutura e composição isotópica que remete a uma origem biológica, ou seja, um precursor (BROCKS e SUMMONS, 2003).

Em virtude de sua estabilidade e resistência a ações externas e internas, os biomarcadores podem ser utilizados para estabelecer relações que fornecem a origem da matéria orgânica, paleoambiente de deposição, evolução térmica, grau de degradação além de poderem ser utilizados como indicadores de contaminação ambiental. Contudo, para que um composto orgânico derivado de organismos vivos seja considerado um biomarcador, é necessário que sua estrutura química informe a respeito da sua origem biológica (Figura 2), bem como estar em altas concentrações nos organismos vivos com especiações e o esqueleto de carbono deve ser quimicamente estável quando submetidos aos processos de sedimentação e soterramento da MO (SOUSA JÚNIOR, 2017; BROCKS e SUMMONS, 2003).

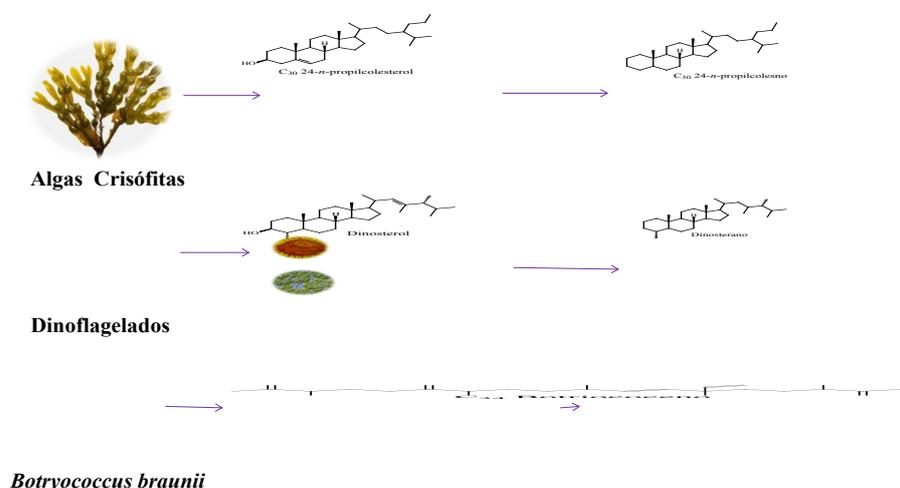


Figura 2 – Relação entre alguns biomarcadores e seus precursores biológicos, após transformações químicas.

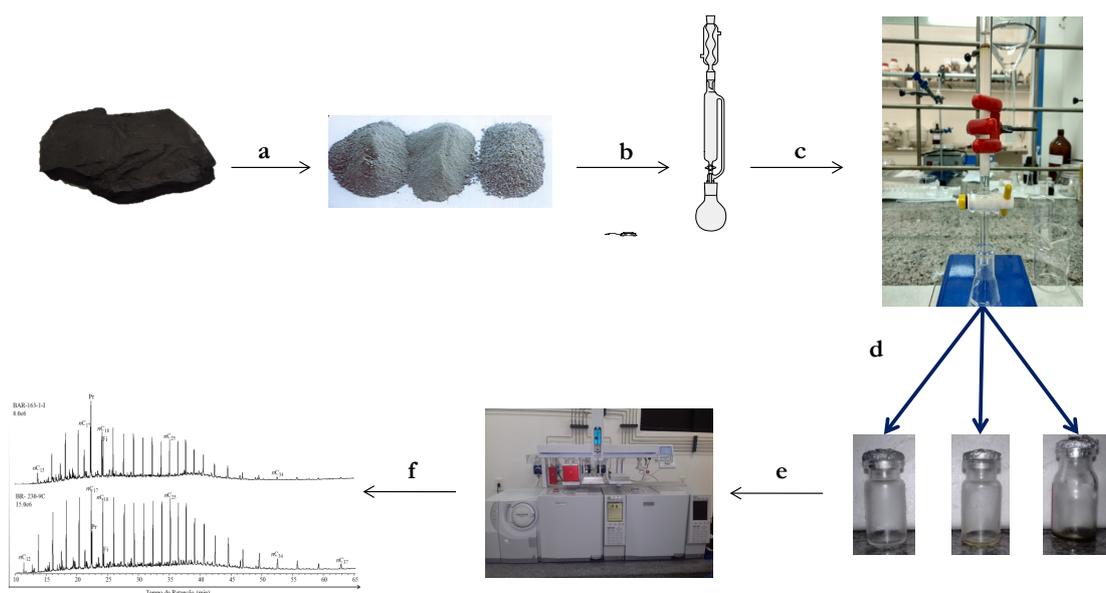
Estes biomarcadores podem ser analisados, identificados e até mesmo

quantificados por CG-EM, podendo fornecer informações a respeito da origem da matéria orgânica, condições paleoambientais, o grau de degradação sofrida pelo óleo, a evolução térmica da matéria orgânica, entre outras informações.

Com presente trabalho teve como objetivo caracterizar a matéria orgânica presente em rochas de afloramento coletadas no município Rurópolis – Pará, através de parâmetros moleculares de hidrocarbonetos saturados e aromáticos.

1 | METODOLOGIA

Cinco amostras de rochas de afloramento foram coletadas, lavadas e pulverizadas, posteriormente a matéria orgânica foi extraída em sistema tipo Soxhlet por 24h, com mistura de solventes (DCM: MeOH 12%). O extrato foi concentrado, pesado para cálculo de rendimento e fracionado em coluna aberta com o sistema de eluentes: hexano (100%) para fração saturada; Hexano:DCM (8:2) para fração aromática e DCM:MeOH (7:3) para fração polar. As frações saturada e aromática foram analisadas via CG-EM. O Fluxograma 1 mostra a sequência metodológica utilizada neste trabalho.



Fluxograma 1 – Metodologia de análise das amostras estudadas. Após coleta as amostras foram pulverizadas (a), extraídas em Soxhlet (b), o extrato foi concentrado e fracionado (c), as frações coletadas (d) foram analisadas em CG-EM (e) e em seguida os dados foram tratados (f).

2 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os *n*-alcanos geralmente constituem os principais componentes da fração saturada e sua distribuição é caracterizada pela predominância de hidrocarbonetos que dependem da matéria orgânica depositada (TISSOT e WELTE, 1984). A Figura 3 mostra a distribuição típica de *n*-alcanos da fração saturada (TIC). A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros calculados para a fração saturada das amostras estudadas.

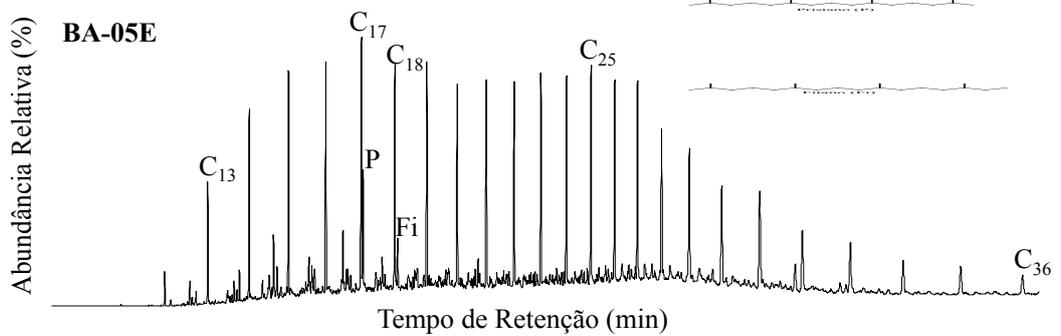


Figura 3 – TIC típico dos hidrocarbonetos saturados presentes na matéria orgânica (MO) presente em rochas de afloramento da Formação Barreirinha, município Rurópolis – Pará.

Com relação aos isoprenoides, foi possível observar pristano (P) e fitano (Fi) como componentes majoritários, Figura 3. Estes compostos são produtos da clivagem da cadeia lateral da clorofila (Fitol) presente em organismos fototróficos (Figura 4). Sob condições anóxicas, a cadeia lateral é clivada produzindo o fitol, que é reduzido a dihidrofitol e posteriormente a fitano. Em condições oxidantes o fitol é oxidado a ácido fitênico, descarboxilado a pristeno e, então, reduzido a pristano. Entretanto, outras fontes destes compostos têm sido relatadas, como os lipídios de arqueobactérias (halofílicas ou metanogênicas) e o tocoferol - precursor do pristano (PETER et al., 2005).

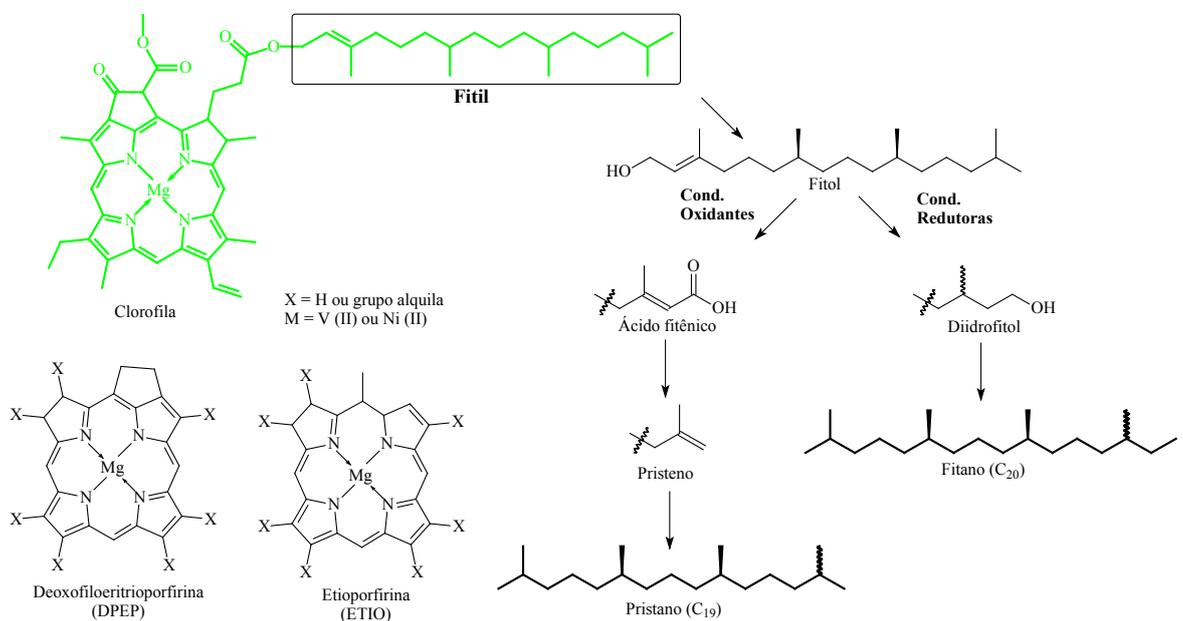


Figura 4 – Estrutura da clorofila e seus derivados diagenéticos.

Para a fração saturada, foi possível, ainda, observar uma distribuição bimodal, que sugere uma contribuição de MO depositada num ambiente marinho, porém com uma contribuição de vegetais superiores (partes como casca, folhas, polens, esporos, frutos e sementes). Tais partes dos vegetais possuem significativas quantidades de lipídios, com grande resistência química e bioquímica.

AMOSTRAS	CPI	OEP	P/n-C ₁₇	F/n-C ₁₈	Ts/Tm	Hop./Est.
BA-05E	1,12	1,03	0,29	0,18	0,37	16,15
BA-04D	1,15	1,07	0,57	0,22	0,26	15,34
BA-03C	1,37	1,10	1,90	0,64	0,16	15,50
BA-02B	1,12	0,87	0,54	0,19	0,34	12,32
BA-01A	1,22	1,06	0,49	0,29	0,32	12,34

CPI = $0,5 \times [\sum_{\text{Ímpares}} n\text{-C}_{23} - n\text{-C}_{31} + \sum_{\text{Pares}} n\text{-C}_{25} - n\text{-C}_{29}] / \sum (n\text{-C}_{22} - n\text{-C}_{30})$ no cromatograma *m/z* 71; **OEP-1** = $(n\text{-C}_{13} + 6 \times n\text{-C}_{15} + n\text{-C}_{17}) / (4 \times n\text{-C}_{14} + 4 \times n\text{-C}_{16})$ no cromatograma *m/z* 71; **Pr/C₁₇** = Pristano/*n*-C₁₇ no TIC (PETERS et al., 2005); **Fi/C₁₈** = Fitano/*n*-C₁₈ no TIC (PETERS et al., 2005); **Ts/Tm** = C₂₇ 18α(H)-22,29,30-trisnorhopano / C₂₇ 17α(H)-22,29,30-trisnorhopano, usando as áreas dos sinais no cromatograma *m/z* 191; **Hop./Est.** = C₃₀ 17α(H),21β(H)-hopano / C₂₇ 5α(H),14α(H),17α(H) 20S

Valores de CPI podem indicar a predominância de hidrocarbonetos com número ímpar ou par de carbonos em uma faixa específica, enquanto que valores de OEP indicam a contribuição de matéria orgânica de vegetais superiores (KILLOPS & KILLOPS, 2005; PETERS et al., 2005; TISSOT & WELTE, 1984). A contribuição de vegetais superiores é suportada pelos valores de OEP > 1 (LIU et al., 2013; PETERS et al., 2005). Para as amostras, a razão CPI foi maior que 1, indicando uma predominância de hidrocarbonetos ímpares (Tabela 1) e a razão OEP (>1, com exceção da amostra BA-02B), sugerindo a contribuição de aporte terrestre nas amostras estudadas. Além dos baixos valores de T_{máx} obtido por Pirólise *Rock Eval*, valores de CPI, OEP, P/C₁₇ e F/C₁₈ (Tabela 1), sugerem a baixa evolução térmica da matéria orgânica, confirmada pela baixa relação Ts/Tm (Tabela 1).

Vários compostos derivados de esteroides e hopanoides pentacíclicos foram identificados nas amostras estudadas. A complexidade da distribuição dos esteranos em uma amostra geológica é afetada por dois fatores principais: diferença de fonte e maturidade. Os esteranos mais comuns em sedimentos e óleos são aqueles correspondentes a C₂₇ (Colestanos), C₂₈ (Ergostanos) e C₂₉ (Estigmastanos). Estes compostos são utilizados em estudos de correlação de óleos e como indicadores de paleoambiente. Os esteróis C₂₇ e C₂₈ são os mais abundantes em plânctons e invertebrados marinhos, enquanto que nos animais e vegetais superiores, principal fonte de matéria orgânica continental, predominam os esteróis em C₂₇ e C₂₉ (SEIFERT e MOLDOWAN, 1986).

Esteranos normais sofrem uma gradativa isomerização no carbono C-20, passando da configuração biológica (20R) para uma configuração geológica (20S). Os compostos C₂₉, que possuem configuração 5α(H),14α(H),17α(H) (20R,S) alteram a razão 20S/(20S+20R), que varia de 0,0-0,55, alcançando seu máximo em torno de 50-55% (SEIFERT e MOLDOWAN, 1986; FARRIMOND et al., 1998).

Com a evolução térmica ocorre um incremento na proporção dos compostos 5α(H),14β(H),17β(H) (20R, 20S), em relação aos de configuração 5α(H),14α(H),17α(H) (20R, 20S). A Figura 5 mostra uma proposta de isomerização capaz de explicar os isômeros referentes às posições 5, 14 e 17.

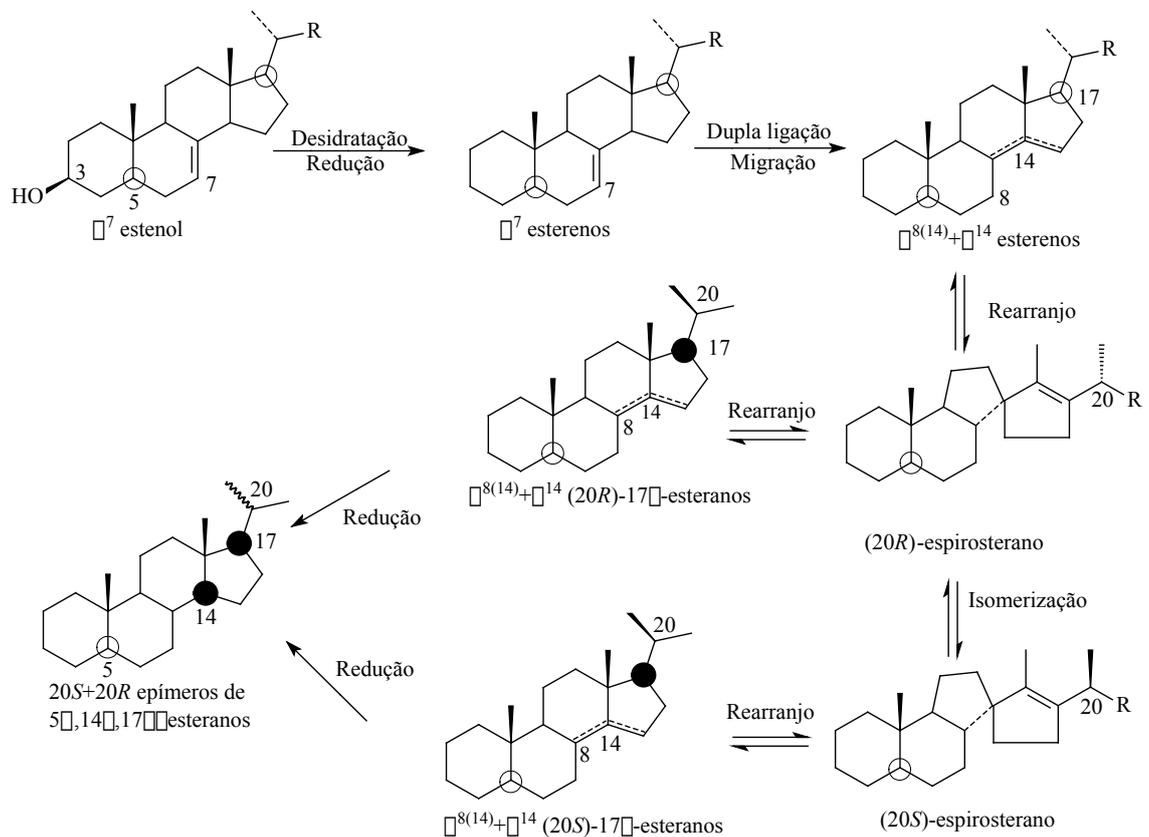


Figura 5 – Possibilidades da origem dos epímeros 20S e 20R de 5 α (H),14 β (H),17 β (H) de sedimentos imaturos. Fonte: Adaptado de KILLOPS e KILLOPS, 2005.

Os compostos da série dos hopanos pentacíclicos compreendem três tipos de diastereoisômeros: 17 α , 21 β (H)-hopanos ($\alpha\beta$ hopanos) e 17 β , 21 α (H)-hopanos ($\beta\alpha$ hopanos ou moretanos) bem como seus diastereoisômeros bioquímicos como 17 β , 21 β (H)-hopanos ($\beta\beta$ hopanos), essa transformação a partir do precursor C₃₅-Bacteriohopanotetrol é esquematizada na Figura 6. A presença destes compostos em óleos e sedimentos tem sido relacionada à atividade bacteriana e a contribuição de algas tornando-se um importante parâmetro de evolução térmica e fonte.

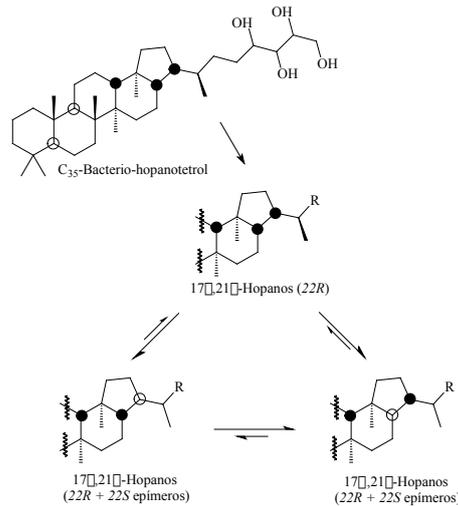


Figura 6 – Possíveis transformações para origem dos diferentes diastereoisômeros dos hopanos.

A Figura 7 apresenta a distribuição típica de esteranos (m/z 217) e hopanos (m/z 191) nas amostras estudadas. De modo geral, a predominância de esteranos C_{27} indica contribuição de matéria orgânica predominantemente algal/planctônica, enquanto que esteranos C_{29} são associados à entrada de matéria orgânica de plantas terrestres (NADY et al., 2014; YANDOKA et al., 2015).

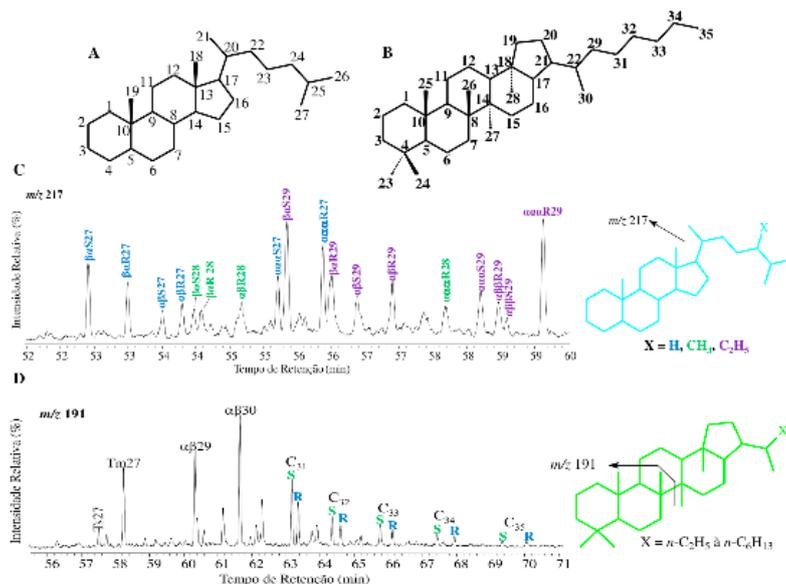


Figura 7 – Numeração sistemática para esteranos (A) e hopanos (B). Distribuição típica de esteranos (C) e hopanos (D) das amostras estudadas. Os sinais em esteranos são indicados pela designação das estereoquímicas das posições em C-5, C-17 (C-13 e C-17 para diasteranos) e C-20 e o número total de átomos. Para hopanos, a notação indica a designação das estereoquímicas de C-17 e C-21e quando necessário de C-22 (S ou R). Ts indica 17 α (H)-22,29,30-trisnorhopano e Tm indica 18 α (H)-22,29,30-trisnorhopano

Nas amostras analisadas, os esteranos C_{27} e C_{29} são predominantes em relação ao C_{28} (Figura 7), sugerindo uma mistura na contribuição de origem marinha e terrestre. A razão Hop./Est. reflete a contribuição de matéria orgânica, uma vez que os hopanos são basicamente derivados de bactérias e cianobactérias enquanto, esteranos são predominantemente sintetizados por plantas superiores e algas, podendo os valores encontrados (Tabela 1) estarem relacionados à maior contribuição de matéria orgânica de origem continental.

Hidrocarbonetos aromáticos (HA's) são componentes importantes do petróleo bruto e de betumes de rochas geradoras. Os caminhos das reações orgânicas podem levar à mudança de abundância bem como distribuição destes hidrocarbonetos. Tem-se sugerido que a ocorrência destes HA's está ligada à transformações complexas de precursores biológicos durante o processo de sedimentação da matéria orgânica.

De forma geral, hidrocarbonetos aromáticos são componentes importantes em óleos e betume e podem fornecer informações geoquímicas valiosas acerca de ambiente deposicional, tipo de matéria orgânica que foi depositada e evolução térmica.

Compreender os fatores de controle em ambientes deposicionais que favorecem a preservação da matéria orgânica nos sedimentos é um requisito básico para estudar a distribuição e a continuidade lateral das rochas fonte de hidrocarbonetos. A matéria orgânica bem conservada pode fornecer visão importante sobre as condições de deposição e os paleoambientes bem como paleoclimática.

A Figura 8 apresenta a distribuição típica de hidrocarbonetos da fração aromática das amostras estudadas neste trabalho, com os principais constituintes desta fração. A identificação dos compostos de interesse deu-se pela comparação das ordens de retenção relativas, bem como os espectros de massas já apresentados na literatura.

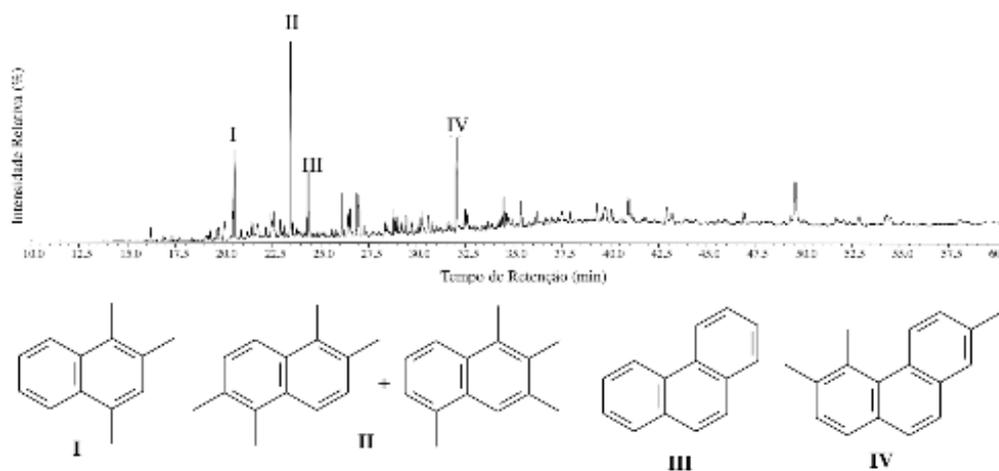


Figura 8 – Cromatograma de Íons Totais (TIC) típico da fração aromática das amostras. A numeração indica os principais constituintes desta fração. I 1,2,4-Trimetil-naftaleno; II 1,2,5,6-Tetrametil-naftaleno; III Fenantreno; IV 1,2,8-Trimetil-fenantreno.

A Figura 9 (A) apresenta a distribuição da série pseudo-homóloga de carotenoides aromáticos identificada nas amostras estudadas, estudada inicialmente por Zhang et al (2011), aqui variando de C₁₁ a C₂₅. Estes compostos têm íons consistentes com a fórmula C_nH_{2n-6}, indicativa de hidrocarbonetos monoaromáticos. Os fragmentos *m/z* 119 são formados a partir da clivagem β do anel aromático e os fragmentos *m/z* 120, a partir do rearranjo de McLafferty. Esta série de dimetil aril isoprenoides é possivelmente gerada através da perda de um grupo metila a partir do anel aromático em C-6 ou C-3 ou C-4 (ZHANG et al., 2011).

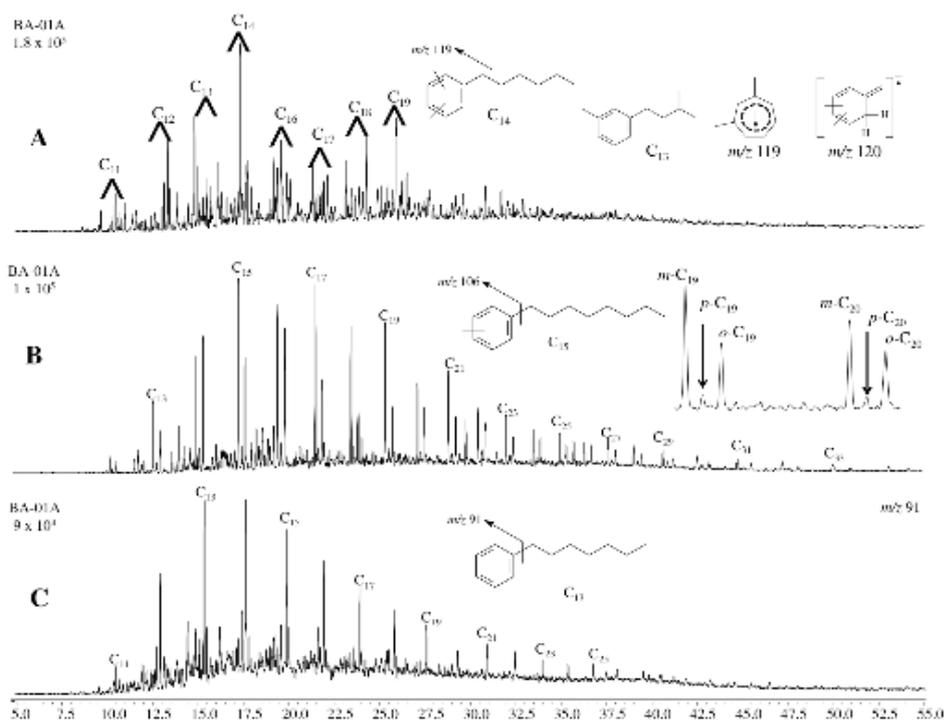


Figura 9 – RIC's *m/z* 119 (A), *m/z* 106 (B) e *m/z* 91 (C) representativos para as amostras estudadas. É possível observar as quebras características da clivagem β e rearranjo de McLafferty (A) e as diferentes posições das substituições no anel aromático (B).

A Figura 10 apresenta a distribuição de aril isoprenoides nas amostras em estudo. Estes compostos (C₁₃ – C₃₁) têm sido identificados em rochas geradoras, bem como em óleos de diferentes períodos, inclusive do Devoniano superior (PETERS et al., 2005). Além disso, são amplamente utilizados como biomarcadores para a caracterização de ambiente deposicional, uma vez que seus precursores são biossintetizados por sulfobactérias verdes (*Chlorobiaceae*) e roxas (*Chromatiaceae*), de ambientes anóxicos e presença de H₂S, componente necessário para a fotossíntese. Seus produtos diagenéticos são identificados pelo monitoramento dos fragmentos *m/z* 133 (resultante da clivagem β) e *m/z* 134 (resultado do rearranjo de McLafferty) e adicionalmente a partir dos fragmentos característicos para compostos aromáticos (*m/z* 119,120, 105, 91 e 77).

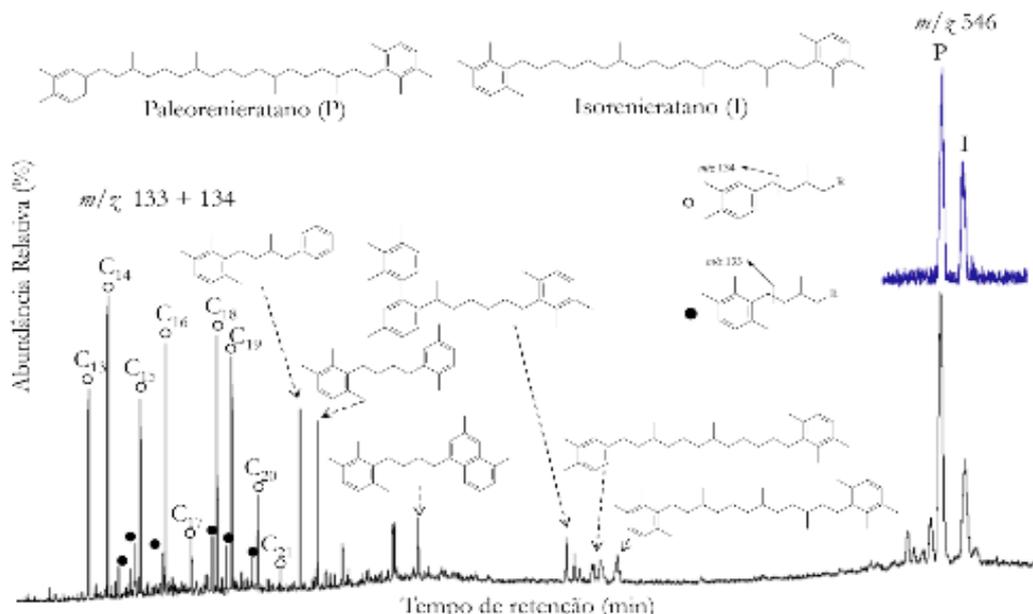


Figura 10 – MIC m/z 133 + 134 mostrando a distribuição de aril isoprenoides nas amostras estudadas. Em evidência, m/z 546, característicos dos carotenoides aromáticos com 40 carbonos (Paleorenieratano e Isorenieratano).

O isorenieratano (Figura 8) é o derivado diagenético do isorenierateno e este é exclusivamente produzido pelas sulfobactérias verdes (*Chlorobiaceae*). A Figura 11 mostra de forma simplificada a deposição da matéria orgânica em ambiente com condições euxínicas durante a sedimentação na zona fótica, com exemplo do isorenierateno (precursor do isorenieratano) e possíveis derivados diagenéticos e catagénéticos, também identificados neste trabalho.

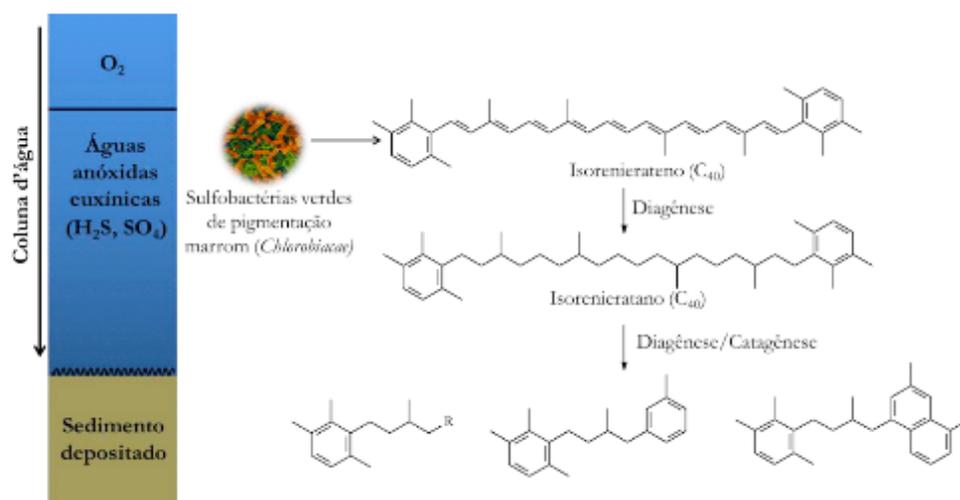


Figura 11 – Perfil simplificado do ambiente com condições euxínicas na zona fótica. Isorenierateno e derivados diagenéticos (isorenieratano) e catagénéticos.

3 | CONCLUSÃO

Em geral, com base na distribuição e abundância relativa de *n*-alcanos (C_{12} – C_{37}), poliaril isoprenoides e carotenoides aromáticos foi possível sugerir que as amostras apresentam baixa evolução térmica e paleoambiente deposicional anóxico e salino. Apresentam distribuição similar de *n*-alcano, com predominância ímpar/par e maior abundância relativa $n-C_{25}$, $n-C_{27}$ e $n-C_{29}$, sugerindo contribuição de matéria orgânica continental. A presença do isorenieratano e seus derivados sugere deposição da matéria orgânica na zona fótica anóxica e euxínica, enquanto que parâmetros moleculares de esteranos e hopanos sugerem que as amostras apresentam baixa evolução térmica.

4 | AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa concedida, à UFPI, ao LAGO-UFPI.

REFERÊNCIAS

- CUNHA, P.R.; MELO, J. H.; SILVA, O. **Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências. Manaus. PETROBRAS, v. 15, n. 2, p. 227–251. 2007.
- FARRIMOND, P.; TAYLOR, A.; TELNÆS, N. **Biomarker maturity parameters: the role of generation and thermal degradation**. Organic Geochemistry. v. 29. n. 5-7. p. 1181-1197. 1998.
- FERREIRA, A.; RIGUETI, A. e BASTOS, G. **BACIA DO AMAZONAS Sumário Geológico e Setores em Oferta**. Superintendência de Definição de Blocos SDB. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis 13ª Rodada de licitações. 2015.
- GONZAGA, F. G.; GONÇALVES, F. T. T.; COUTINHO, L. F. C. **Petroleum Geology of the Amazon Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration**. In: MELO, M. R. and KATZ, B. J.(Ed.). Petroleum Systems of South Atlantic Margins. AAPG Memoir 73: 159 -178. 2000.
- KILLOPS, S, KILLOPS, V. **Introduction to Organic Geochemistry**. 2nd. Oxford: Blacwell Publishing Ltd, 2005.
- LIU, F. J.; WEI, X. Y.; GUI, J.; WANG, Y. G.; LI, P.; ZONG, Z. M. **Characterization of biomarkers and structural features of condensed aromatics in Xianfeng lignite**. Energy Fuels. v. 27, n. 12. p. 7369-7378. 2013.
- NADY, M. M.; HARB, F. M.; MOHAMED, N. S. **Source rock evaluation for hydrocarbon generation in Halal oilfield, southern Gulf of Suez**. Egypt Egyptian Journal of Petroleum. v. 23, p. 455–459. 2014.
- PETERS, K. E, C. C. WALTERS e J. M. MOLDOWAN. **The Biomarker Guide, Volume 2: Biomarkers and Isotopes in the Petroleum Exploration and Earth History**. USA: Cambridge University Press. 2005.
- QUADROS, L.; MELO, J.; GRAHN, C. **Bacia do Solimões**. In: Beurlen, G.; Quadros, L., Bioestratigrafia das bacias paleozóicas brasileiras: Rio de Janeiro, Petrobras. p, 7-14. 1992.
- SEIFERT, W. K.; MOLDOWAN, J. M. **Applications of steranes, terpanes and monoaromatics the**

maturation, migration and source of crude oils. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* v. 42. p. 77-95. 1978.

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

TRIGÜIS, J. A.; RODRIGUES, R.; SOUZA, E. **Estratigrafia química da seção tipo da Formação Barreirinha (Devoniano Superior), Bacia do Amazonas-Brasil.** Salvador, 3rd Congresso Brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em petróleo e gás, n. 3, p. 1–4. 2005.

YANDOKA, B. M. S.; ABDULLAH, W. H.; ABUBAKAR, M.B.; HAKIMI, M. H. A. K. A. **Geochemical characterisation of Early Cretaceous lacustrine sediments of Bima Formation, Yola Sub-basin, Northern Benue Trough, NE Nigeria: Organic matter input, preservation, paleoenvironment and palaeoclimatic conditions.** *Marine and Petroleum Geology.* v. 61, p. 82-94. 2015.

ZHANG, C.; ZHANG, Y.; CAI, C., 2011. **Aromatic isoprenoids from the 25–65 Ma saline lacustrine formations in the western Qaidam Basin, NW China.** *Organica Geochemistry*, 42: 851–855.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-020-9

