

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**JUAN DAVID VALLEJO RAMÍREZ**

**INFERÊNCIAS PALEOAMBIENTAIS NA BACIA PERNAMBUCO (FURO IATE 1  
LABIO-PE3, ALBIANO-MAASTRICHTIANO) COM BASE EM ANÁLISE DE  
PALINOFÁCIES**

**Recife**

**2017**

JUAN DAVID VALLEJO RAMÍREZ

INFERÊNCIAS PALEOAMBIENTAIS NA BACIA PERNAMBUCO (FURO IATE 1  
LABIO-PE3, ALBIANO-MAASTRICHTIANO) COM BASE EM ANÁLISE DE  
PALINOFÁCIES

Dissertação apresentada à Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pela Profa. Dra. Sonia Maria Oliveira Agostinho e co-orientada pelo Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho como preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 10 de março de 2017.

Catalogação na fonte  
Bibliotecária Valdicèa Alves, CRB-4 / 1260

R173i Ramírez, Juan David Vallejo.

Inferências paleoambientais na Bacia Pernambuco (Furo Iate 1 Labio-PE3, Albiano-Maastrichtiano) com base em análise de palinofácies / Juan David Vallejo Ramírez. - Recife: O Autor, 2017. 72folhas, Il. e Tabs.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sonia Maria Oliveira Agostinho da Silva.  
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2017.  
Inclui Referências e Apêndices.

1. Geociências. 2. Bacia Pernambuco. 3. Formação. 4. Matéria orgânica. 5. Palinofácies. I. Silva, Sonia Maria Oliveira Agostinho da. (Orientadora). II. Carvalho, Marcelo de Araújo. (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-130

**JUAN DAVID VALLEJO RAMÍREZ**

**INFERÊNCIAS PALEOAMBIENTAIS NA BACIA PERNAMBUCO (FURO IATE 1  
LABIO-PE3, ALBIANO-MAASTRICHTIANO) COM BASE EM ANÁLISE DE  
PALINOFÁCIES**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Geociências da  
Universidade Federal de Pernambuco,  
como requisito parcial para a obtenção do  
título de Mestre em Geociências.

Aprovada em: 10/03/2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr.<sup>a</sup> Sonia Maria Oliveira Agostinho da Silva (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Mário Ferreira Lima Filho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Ricardo Pereira (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Viviane Segundo Faria Trindade (Examinadora Externa)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

*Dedico aos meus pais e irmãos como  
fonte de inspiração e gratidão para com eles.*

## AGRADECIMENTOS

Sensação de satisfação, de alegria, de meta cumprida, de ter coragem e enfrentar-me ao assumir este desafio, de conhecer outra cultura, aprender outro idioma de crescer como pessoa, como profissional e como pesquisador. Ainda o caminho é longo, mas me sinto feliz e agradecido com aquelas pessoas que, de certa forma, estiveram envolvidas na realização deste.

Foi uma assembleia de colegas e de professores que ajudaram a corrigir minhas dúvidas, professores Dr. Mário Ferreira de Lima Filho, Dra. Paula Sucerquia, Dra. Viviane Segundo, Yumi Asakura, Robbinson Melo, Juliana Guzmán, Cristian Usma, Luís Jeronimo Valencia, Germano Mario Silva Ramos, Jairo Mauricio Reyes (IIES), Nestor Dario Salazar e Adrian Londoño; todos eles engrandeceram este trabalho.

Agradeço minha orientadora Sonia Agostinho por sua confiança, apoio, por deixar-me decidir e atuar com meu jeito, gratidão com ela.

Ao meu Coorientador Marcelo Carvalho por aceitar-me, abrir-me as portas e introduzir-me ao mundo das palinofácies.

À Viviane Segundo por sua paciência, ajuda, dedicação e fazer-me entender aquele micromundo da matéria orgânica sedimentar.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e a todos os professores que contribuíram com a minha formação.

Agradeço meus amados pais María Melva Ramírez e Carlos Enrique Vallejo, deles aprendi fazer as coisas com amor e responsabilidade, nunca desistir. Meus irmãos foram a força na distância, apoio incondicional e motivação para cada dia lutar por meu objetivo, dando-me esforços para que eu chegassem até esta etapa da minha vida, e meus dois preciosos sobrinhos já que eles deram felicidade a minha querida família.

Agradeço os laboratórios LAGESE, lar do meu estudo, PALEOLAB, Laboratório de Paleoenología Vegetal do (DGP/MN/UFRJ) e ao Instituto de Investigações em estratigrafia (IIES) Colômbia.

Obrigado!

*“Ciência é muito mais uma maneira de pensar do que um corpo de conhecimento”*

*Carl Sagan*

## RESUMO

Com o objetivo de compreender a evolução paleoambiental na Bacia Pernambuco, foi realizada uma análise de palinofácies no poço Iate 1 LABIO-PE3, perfurado na margem sul do Estado de Pernambuco. Os estudos foram realizados em 26 amostras coletadas entre as profundidades de 41,5m e 143,8m no intervalo Albiano - Maastrichtiano, abrangendo as formações Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame. As amostras foram preparadas e analisadas seguindo a metodologia padrão para palinofácies. Três categorias de matéria orgânica palinológica foram identificadas: fitoclastos, matéria orgânica amorfa (MOA) e palinomorfos. Com base na origem da matéria orgânica sedimentar seis associações de palinofácies foram estabelecidas: MOA, Opacos, Terrígenos, Degradados, Esporomorfos e Elementos Marinhos. As mudanças na distribuição estratigráfica das associações permitiram identificar quatro intervalos. Os quatro intervalos identificados pelas associações de palinofácies coincidem com as formações estudadas. A Palinofácies Opacas é predominante na Formação Cabo sugerindo um ambiente associado à fonte flúvio-deltaica ou mesmo à exposição subaérea. Na Formação Estiva a abundância das Palinofácies Opacas continua alta, porém acompanhada de altos valores das Palinofácies Terrígenos e presença de palinomorfos continentais sugerindo ambiente proximal com forte fluxo terrígeno típico de um ambiente flúvio-deltaico. A Formação Itamaracá se registra aumento na quantidade de palinomorfos marinhos na seção estudada indicando uma subida do nível do mar. Porém, o fluxo de elementos continentais continua nesse intervalo sugerindo um ambiente marinho raso. A Formação Gramame está representada na seção apenas com quatro amostras; contudo com valores elevados de palinofácies Marinho, Opacos e MOA sugerindo ambiente marinho raso. A evolução paleoambiental da seção estudada reflete uma progressiva influência marinha na área. Os resultados obtidos confirmam a mudança de um ambiente flúvio deltaico para um ambiente marinho raso aberto controlada pelas mudanças do nível do mar.

Palavras-chave: Bacia Pernambuco. Formação. Matéria orgânica. Palinofácies.

## ABSTRACT

In order to understand the paleoenvironmental evolution in the Pernambuco Basin, a palynofacies analysis was performed in the Iate 1 LABIO-PE3 well, drilled on the southern shore of the State of Pernambuco. The studies were carried out on 26 samples collected between the depths of 41.5 m and 143.8 m in the Albian - Maastrichtian range, covering the Cabo, Estiva, Itamaracá and Gramame formations. Samples were prepared and analyzed following the standard methodology for palynofacies. Three categories of palynological organic matter were identified: phytoclasts, amorphous organic matter (AOM) and palynomorphs. Based on the origin of the sedimentary organic matter, six associations of palynofacies established and formed: AOM, Opaque, Terrigenous, Degraded, Sporomorphs and Marine Elements. The changes in the stratigraphic distribution of the associations allowed the identification of four intervals. The four intervals identified by the associations of palynofacies coincide with the formations studied. Palynofacies Opaque is predominant in the Cabo Formation suggesting an environment associated with the fluvial-deltaic source or even the subaerial exposure. In the Formation Estiva, the abundance of opaque Palynofacies remains high, but accompanied by high values of the Palynofacies Terrestrial and the presence of continental palynomorphs suggesting a proximal environment with strong terrigenous flow typical of a fluvial-deltaic environment. The Itamaracá Formation shows an increase in the number of marine palynomorphs in the studied section indicating a rise in sea level. However, flow of continental elements continues in this range suggesting a shallow marine environment. The Gramame Formation is represented in the section with only four samples; However with high values of marine, opaque and MOA palynophases suggesting a shallow marine environment. The paleoenvironmental evolution of the studied section reflects a progressive marine influence in the area. The results confirm the change from a deltaic fluid environment to an open shallow marine environment controlled by sea level changes.

Keywords: Pernambuco Basin. Formation. Organic matter. Palynofacies.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Mapa de localização do poço 1- LABIO-PE3 coletado na margem continental de Pernambuco.....   | 18 |
| Figura 2 - Mapa mostrando a estrutura geológica da Bacia Pernambuco.....  | 19 |
| Figura 3 - Coluna estratigráfica da Bacia Pernambuco.....   | 22 |
| Figura 4 - Visualização esquemática do processamento no laboratório: a) HCL 32% por 24 horas, remoção dos Carbonatos; b) HF 40% por 24 horas, remoção dos silicatos; c) HCL 10% por 12 horas, remoção fluorsilicatos; d) obtenção partículas orgânicas com resíduos minerais.....   | 41 |
| Figura 5 - Perfil estratigráfico do testemunho Iate 1 LABIO-PE3.....  | 45 |
| Figura 6 - Distribuição percentual dos grupos da matéria orgânica particulada.....  | 46 |
| Figura 7 - Partículas do querogênio identificadas. (a) Matéria orgânica amorfa (b) Fitoclasto opaco equidimensional; (c) Fitoclasto não opaco degradado; (d) Fitoclasto não opaco bioestruturado, bandado; (e-f) Cutículas; (g) Fitoclasto não opaco não bioestruturado; (h) Esporo trilete; (i-j) Grãos de pólen; (k) Foraminífero; (l) Prasinófita; (m-n-o) Dinoflagelados.....   | 47 |
| Figura 8 - Intervalos definidos pelos resultados da abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies do Poço Iate 1 LABIO-PE3. Pro. Profundidade; Sis. Sistema; Est. Estágio; For. Formação; Lit. Litologia. PA-1 Palinofácies MOA; PA-2 Palinofácies Degradada; PA-3 Palinofácies Terrígenas; PA-4 Palinofácies Opacas; PA-5 Palinofácies Esporomorfos; PA-6 Palinofácies Marinha; Int. Intervalo.....                | 49 |
| Figura 9 - Formação Cabo, intervalo definido pelo resultado da abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies do poço Iate 1 LABIO-PE3. Linha pontilhada = valor médio. For. Formação; Lit. Litologia. Pro. Profundidade. PA-1 Palinofácies MOA; PA-2 Palinofácies Degradada; PA-3 Palinofácies Terrígenas; PA-4 Palinofácies Opacas; PA-5 Palinofácies Esporomorfos; PA-6 Palinofácies Marinha, Int. Intervalo..... | 52 |
| Figura 10 - Diagrama ternário com a distribuição das amostras nos campos de palinofácies: I – Bacia ou plataforma altamente proximal. II – Bacia marginal disóxica-anóxica. III – Plataforma óxica heterolítica (plataforma proximal). IV – Transição plataforma-bacia. V – Plataforma óxica dominada por lama (“plataforma” distal). VI – Plataforma proximal subóxica-anóxica. VII –Plataforma” distal disóxica-anóxica.      |    |

|   |    |
|---|----|
| VIII – Plataforma distal disóxica–anóxica. IX – Bacia distal subóxica–anóxica / Plataforma carbonática/Marinho restrito.....  | 53 |
| Figura 11 - Formações definidas pelos resultados da abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies do poço Iate 1 LABIO-PE3. Linha pontilhada = valor médio. For. Formação; Lit. Litologia; Pro. Profundidade. PA-1 Palinofácies MOA; PA-2 Palinofácies Degradada; PA-3 Palinofácies Terrígenas; PA-4 Palinofácies Opacas; PA-5 Palinofácies Esporomorfos; PA-6 Palinofácies Marinha; Int. Intervalo.....  | 55 |
| Figura 12 - Palinofácies variando quanto aos tipos de matéria orgânica particulada. Fotos 20X (a) (56,88 m) Fácies de calcarenito, contendo Fitoclastos opacos, equidimensionais, opacos e não opacos com matéria orgânica amorfa. (b) (78,06 m) Fácies constituídos principalmente arenito argilito e finas camadas de folhelhos apresentando grãos de pólen, fitoclastos opacos e não opacos de cor marrom. (c) (142,8 m) Fácies de argilito de cor marrom com fitoclastos opacos equidimensionais. (d) Fácie folhelho com fitoclastos opacos equidimensionais, fitoclastos não opacos, grãos de pólen, hifas de fungo, partes de cutículas e matéria orgânica amorfa. (e) (51,31 m) Facie de calcário dolomito com abundância de dinoflagelados ( <i>Dinogymnium</i> ). (f) abundância de fitoclastos opacos equidimensionais..... | 57 |
| Figura 13 - Representação esquemática do paleoambiente da Bacia Pernambuco. ....  | 61 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Parâmetros utilizados na análise de palinofácies. ....  | 37 |
| Tabela 2 - Síntese das amostras coletadas e analisadas do Poço Iate 1 LABIO-PE3, Bacia Pernambuco. ....                                    | 44 |
| Tabela 3 - Contagem das partículas agrupadas nos grupos de matéria orgânica. ....  | 48 |
| Tabela 4 - Média ( $\bar{\alpha}$ ) das palinofácies do furo estudado. Em negrito, as associações de palinofácies mais significativas..... | 49 |
| Tabela 5 – Resultados das partículas total da Matéria Orgânica Sedimentar.....   | 72 |

## **LISTA DE QUADROS**

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Classificação geral dos principais componentes do grupo Fitoclasto.....          | 28 |
| Quadro 2 - Classificação geral dos principais componentes do grupo Matéria Orgânica Amorfa. |    |
| .....   | 28 |
| Quadro 3 - Classificação geral dos principais componentes do grupo Palinomorfos. ....       | 29 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| INTRODUÇÃO.....  | 15 |
| a) Objetivo geral .....  | 17 |
| b) Objetivos específicos.....  | 17 |
| CAPÍTULO I: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....   | 18 |
| 1. Introdução .....  | 18 |
| 2. Origem e evolução tectônica .....   | 20 |
| 3. Evolução sedimentar e estratigráfica.....   | 21 |
| 3.1 Embasamento Maciço Pernambuco/Alagoas .....  | 22 |
| 3.2 Formação Cabo (Sequência K40-K70).....   | 22 |
| 3.3 Suíte Magmática Ipojuca (SMI) .....  | 23 |
| 3.4 Formação Estiva (Sequência K82-K86) .....  | 23 |
| 3.5 Formação Beberibe (Sequência K88-K130).....  | 24 |
| 3.6 Formação Itamaracá (Sequência K88-K130) .....  | 24 |
| 3.7 Formação Gramame (Sequência K88-K130) .....  | 24 |
| CAPÍTULO II: CONTEXTUALIZAÇÃO E GRUPOS DE PARTÍCULAS .....                                 | 26 |
| 1. Palinofácies.....   | 26 |
| 2. Querogênio .....  | 27 |
| 2.1 Classificação do querogênio .....  | 27 |
| 3. Classificação e distribuição dos componentes orgânicos.....                             | 29 |
| 3.1 Grupo Fitoclasto .....   | 29 |
| 3.2 Grupo Matéria Orgânica Amorfa .....  | 31 |
| 3.3 Grupo Palinomorfos .....   | 32 |
| 4. Distribuição de querogênio.....   | 35 |
| 4.1 Tendências na distribuição dos grupos de querogênio (Parâmetros de palinofácies) ..... | 35 |
| CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 39 |
| 1. Materiais .....   | 39 |

|   |    |
|---|----|
| 1.1 Amostras / Testemunho .....                     | 39 |
| 1.2 Reagentes.....                                  | 39 |
| 1.3 Equipamentos .....                              | 39 |
| 2. Métodos .....                                    | 40 |
| 2.1 Preparação para palinofácies .....              | 40 |
| 2.2 Tratamento dos dados.....                       | 42 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO .....           | 43 |
| 1. Caracterização de Litofácies.....                | 43 |
| 2. Palinofácies.....                                | 46 |
| Fonte: o autor.....                                 | 49 |
| 3. Descrição das Palinofácies .....                 | 49 |
| 3.1 Palinofácies Opacos.....                        | 49 |
| 3.2 Palinofácies Terrígenos .....                   | 50 |
| 3.3 Palinofácies Degradado .....                    | 50 |
| 3.4 Palinofácies Esporomorfos .....                 | 50 |
| 3.5 Palinofácies Marinho .....                      | 51 |
| 3.6 Palinofácies MOA .....                          | 51 |
| 4 Distribuição estratigráfica das Palinofácies..... | 51 |
| 4.1 Formação Cabo.....                              | 52 |
| 4.2 Formação Estiva .....                           | 53 |
| 4.3 Formação Itamaracá .....                        | 54 |
| 4.4 Formação Gramame .....                          | 55 |
| 5.Discussão .....                                   | 58 |
| 5.1 Interpretação paleoambiental.....               | 59 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSÃO .....                         | 63 |
| Referências .....                                   | 64 |
| APÊNDICE .....                                      | 72 |

## INTRODUÇÃO

A caracterização qualitativa e quantitativa da matéria orgânica contida nos sedimentos e rochas sedimentares constitui a análise de palinofácies. Este processo usa a identificação dos componentes individuais. A análise das palinofácies identificadas dentro de uma sequência deposicional, que apresenta modificações nas fácies relacionadas com as variações do nível do mar, assume grande importância nas reconstruções ambientais (Meyer et al., 2005).

A Bacia Pernambuco representa uma peça importante para a compreensão dos processos deposicionais envolvidos na abertura do Atlântico, sendo formada no limiar da separação entre a América do Sul e África Ocidental (Rand & Mabesoone 1982; Ponte 1992; Barbosa & Lima Filho 2006; Lima Filho et al., 2006). Possui características estratigráficas, sedimentares e estruturais semelhantes às demais bacias marginais brasileiras onde ocorre a presença de hidrocarbonetos (Ponte, 1992; Lima Filho, 1998).

Esta pesquisa está principalmente dirigida ao uso de microscopia de luz transmitida ('palinofacies') na qual efetua-se uma caracterização das partículas totais da matéria orgânica presente em rochas sedimentares. Estas informações fornecem em um contexto mais amplo os fatores gerais que controlam a sedimentação, distribuição e preservação da matéria orgânica. Sua ênfase principal é a análise paleoambiental, mas também a avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos.

As Palinofácies são associações de matéria palinológica em sedimentos, principalmente considerando em termos das razões para a associação, que é geralmente geológica, mas pode ser ligada à origem biológica das partículas. Esporos, pólens, dinocistos, acritarcos e todos os outros palinomorfos são naturalmente incluídos nas palinofácies, mas também outras partículas orgânicas visíveis na palinologia de tamanho de 2 a 250 µm que ocorrem nos resíduos de maceração palinológica (Tyson, 1995; Traverse, 2007).

Os estudos de palinofácies foram desenvolvidos e distribuídos como uma ferramenta útil para interpretar as condições paleoambientais (Carvalho et al., 2013; Zobaa et al., 2013). Entre as pesquisas nesta área para o nordeste do Brasil existem poucos trabalhos. Entre eles Spigolon (2003), onde o querogênio foi caracterizado por meio de palinofácies. Foram identificados quatro tipos com diferentes variações que correspondem a um sistema deltaico-

lagunar associado às primeiras incursões marinhas durante o Neoaptiano, na Formação Alagamar da Bacia Potiguar.

Através de trabalhos desenvolvidos por Carvalho et al. (2005; 2006a; 2006b), foi possível reconstruir o paleoambiente Aptiano médio – Albiano da Bacia de Sergipe por meio de análises do querogênio, mostrando aumento progressivo da influência marinha e como a bacia evoluiu. Estes trabalhos analisaram a matéria orgânica em sedimentos, integrando técnicas de litofácies, geoquímica e estratigrafia.

Ferreira (2009) caracterizou as variações organo-faciológicas da sequência Cenomaniano – Turoniano da Bacia Pernambuco, considerando que o paleoambiente deposicional compreende uma plataforma carbonática rasa com um ambiente proximal com influência de fontes flúvio deltaicas.

Santos et al. (2013) apresentou resultados integrados de palinofácies e análises geoquímicas em estratos de carbonato do Turoniano da Bacia de Sergipe, Brasil. Os estudos desenvolvidos em secções da Formação Cotinguba, nas pedreiras Votorantim e Rita Cacete, permitiram a caracterização da matéria orgânica e a interpretação dos ambientes de deposição, concluindo que as mudanças na produtividade marinha parecem estar relacionadas a períodos de baixa intensidade de ressurgência, o que provavelmente diminui os níveis de oxigênio dissolvido na bacia.

Coelho et al. (2014) estudaram uma seção do Cretáceo na Bacia de Sergipe, integrando as ferramentas da geoquímica orgânica e de palinofácies, distinguindo as primeiras ingressões marinhas ocorridas no final do Aptiano. Estas foram caracterizadas em três palinofácies distintas dominadas pelo predomínio de matéria orgânica amorfa.

Os trabalhos supracitados analisaram a matéria orgânica registrada em rochas sedimentares, permitindo compreender sua história de deposição e seu potencial de geração dos hidrocarbonetos. Isto demonstra a importância desses estudos para as bacias marginais brasileiras, particularmente para a Bacia Pernambuco que ainda é pouco explorada.

**a) Objetivo geral**

- ✓ Caracterizar a matéria orgânica contida em amostras do testemunho de sondagem Iate 1 LABIO-PE3 da Bacia Pernambuco através da análise de palinofácies ocorrentes nas formações Cabo, Estiva e Gramame identificando ambientes deposicionais.

**b) Objetivos específicos**

- ✓ Caracterizar qualitativa e quantitativamente a matéria orgânica;
- ✓ Identificar os componentes orgânicos, para auxiliar na caracterização do ambiente deposicional;
- ✓ Determinar as palinofácies para caracterização dos ambientes deposicionais durante a evolução da Bacia Pernambuco.

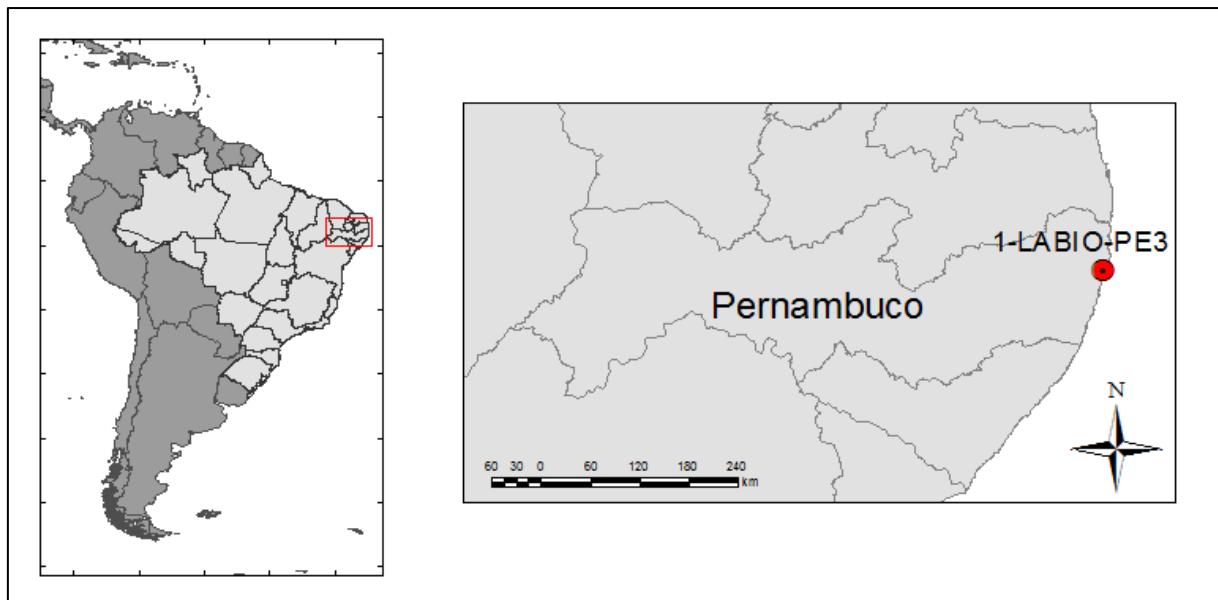
## CAPÍTULO I: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 1. Introdução

A Bacia Pernambuco, localizada no Estado de Pernambuco (Fig. 1), Nordeste do Brasil, representa uma porção marginal da Plataforma Sul-Americana depositada sobre a parte oriental da Província Borborema (BP) (Almeida et al., 1981; Araújo et al., 2013; Van Schmus et al., 2015; Buarque et al., 2016). Esta é considerada como uma bacia independente por suas características geológicas distintas (Barbosa, 2004; Lima Filho et al., 2005).

Geologicamente, a bacia é limitada ao sul pelo Alto de Maragogi e ao norte pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco (*PESZ*). Na plataforma continental estende-se até a porção norte do Platô de Pernambuco (Fig. 1 e 2) (Alves & Costa, 1986; Buarque et al., 2016). A bacia é dividida em dois setores. O primeiro definido pelo Alto do Maracatu, o rifte interno que ocupa uma faixa estreita ao longo do litoral e o segundo que está em águas profundas e ultra profundas (Almeida et al., 2005).

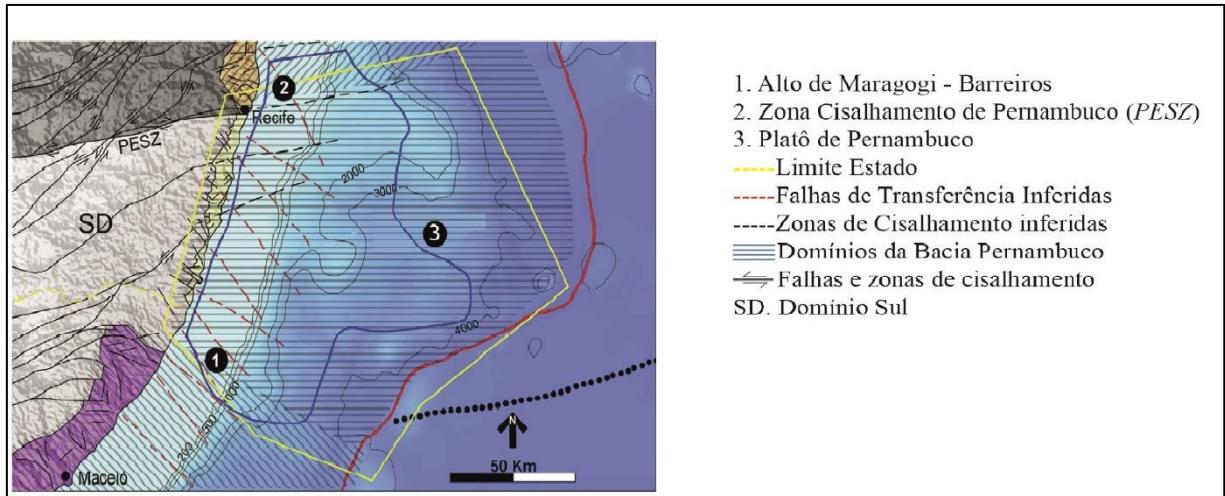
Figura 1 - Mapa de localização do poço 1-LABIO-PE3 coletado na margem continental de Pernambuco.



Fonte: o autor.

A evolução da Bacia Pernambuco está intimamente associada à evolução das bacias marginais costeiras brasileiras durante a abertura do Atlântico Sul, iniciada no Neojurássico, mas desenvolvida plenamente no Cretáceo, cujo preenchimento inclui unidades de idade Aptiano ao Maastrichtiano e Terciário, além de ampla cobertura quaternária (Lima Filho, 1998).

Figura 2 - Mapa mostrando a estrutura geológica da Bacia Pernambuco.



Fonte: Modificado de Buarque et al. (2016).

Sua evolução tectono-sedimentar está diretamente ligada à ruptura dos continentes América do Sul e África no decorrer da abertura do Atlântico Sul, cujo período mais intenso de rifteamento ocorreu no final do Cretáceo Inferior (Aptiano/Albian) (Lima Filho, 1998; Albuquerque, 2004).

O primeiro estágio de evolução da bacia foi controlado pela abertura do Oceano Atlântico durante o Cretáceo Inferior, sendo marcado pela reativação de zonas de falhas de orientação NW-SE herdadas, que contribuíram na distribuição e geometria de numerosas sub-bacias que se formaram ao longo da paleomargem costeira entre o Brasil e África. Com a continuação do movimento extensional NW-SE formaram-se riftes paralelos, com desenvolvimento de zonas de cisalhamento (falhas transcorrentes). O prolongamento de esforços distensivos fez surgir duas bacias paralelas, uma de cada lado da Dorsal Mesoatlântica, permitindo correlacionar as bacias marginais tanto da costa leste brasileira quanto da costa oeste africana (Lima Filho, 1998).

A bacia engloba seções do tipo rifte, com dois depocentros identificados na faixa costeira: o Graben de Piedade e o Graben do Cupe, separados por uma estrutura positiva, o Alto do Cabo de Santo Agostinho, que corresponde a intrusões de rochas magmáticas da Suíte Ipojuca (~100 m.a). Estes grabens são internos e estão separados da plataforma por um alto estrutural externo (Lima Filho, 1998; Almeida et al., 2005).

## 2. Origem e evolução tectônica

A Bacia Pernambuco integra o sistema de bacias marginais do leste sul-americano e foi a última porção a se separar durante fragmentação de Gondwana (Sobral et al., 2010).

Beurlen (1961) foi pioneiro a salientar que a abertura do Atlântico se iniciou a partir do Sul durante o Cretáceo Inferior e que a ligação final entre os continentes estava localizada na área entre Recife e João Pessoa, no Brasil, e Nigéria-Gabão, na África.

Durante o Aptiano desenvolveram-se falhas geradas provavelmente pelo rifteamento sul-atlântico, as quais limitam a bacia ao oeste (Lima Filho et al., 2005). As falhas da borda da bacia, a grande maioria com direção NE, de caráter normal com atividades progressivas desde a separação dos continentes às falhas horizontais com direção NW/SE com rejeito direcional e são predominantemente distais, compatíveis assim com estruturas de transferência (Lima Filho, 1998).

Sá et al. (2002) definiram quatro diferentes tipos de relações de bordas para a Bacia de Pernambuco: a primeira composta por falhas normais com direção NE, a segunda por falhas de transferência com direção NW, a terceira por uma não conformidade, enquanto a última por zonas de deslocamento distensivos.

Lima Filho (1998) estudou os eventos tectono-magnéticos relacionados à evolução tectônica da bacia, sendo eles: o evento tectônico inicial correspondente ao rifteamento que é marcado pela discordância na base da seção rifte; o segundo definido pelo evento tectono-magnético do Albiano; o terceiro ocorrido no Cenomaniano-Turoniano, o quarto ocorrido durante o Turoniano superior - Coniaciano e marcando o início da fase drifte, o último evento correspondendo à discordância final do Turoniano e podendo ser correlacionado ao evento Pré-Calumbi na Bacia de Alagoas (Lima Filho et al., 2006).

Lima Filho et al. (2005) propõem uma sequência evolutiva tendo como principal divisor a Zona de Cisalhamento de Pernambuco (*PESZ*), evidenciando que o rift do Cupe começou no Barremiano:

- a) Na bacia o preenchimento se deu num rifte estreito gerado por movimentos transcorrentes distais. Estes movimentos formaram um pequeno romboide que se estendeu até a *PESZ*.
- b) Durante o Albiano, os esforços extensionais continuaram na bacia, mas a presença de magmatismo não ultrapassou a *PESZ*. No final do Albiano o rifte interno sofreu uma parada na sedimentação principalmente na sua porção norte, enquanto que no Graben do Cupe houve subsidência.

- c) No Turoniano, os levantamentos epirogênicos foram responsáveis pela erosão que atingiu os sedimentos da fase rifte e as rochas da Suite Magmática de Ipojuca. Juntamente com movimentos distensionais, causaram a deposição da Formação Algodoais de idade ainda não definida.

### **3. Evolução sedimentar e estratigráfica**

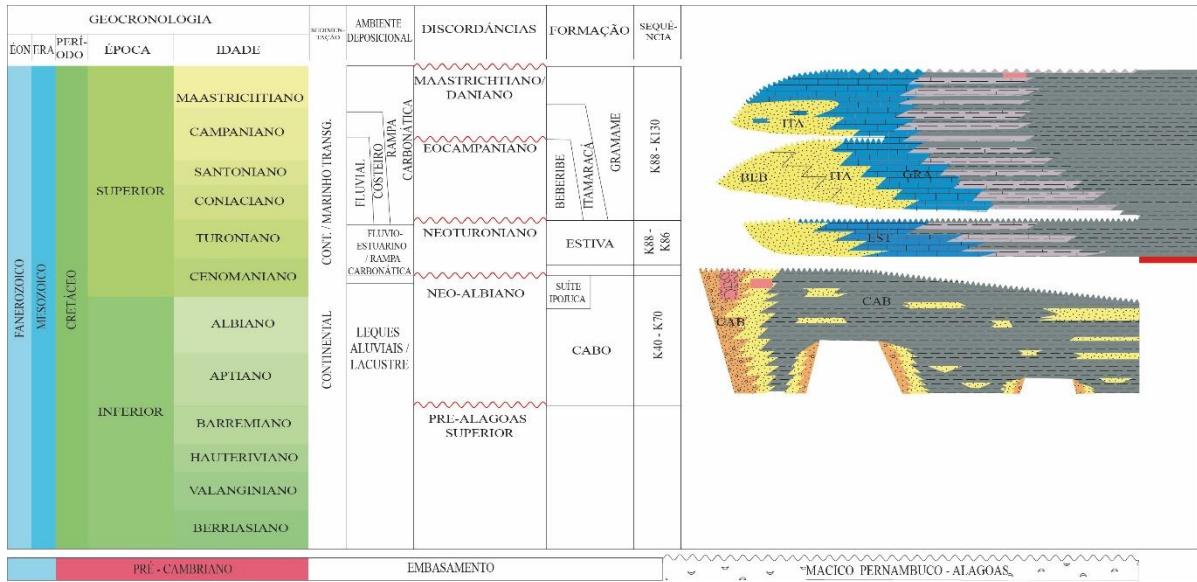
A estratigrafia da Bacia Pernambuco é bem conhecida na porção emersa ao longo da costa, porém totalmente desconhecida na plataforma continental devido à escassa amostragem (ausência de poços) (Lima Filho et al., 2006).

O preenchimento sedimentar está composto por leques aluviais da Formação Cabo, (incluindo uma seção evaporítica de provável idade Aptiana-Albiana) e as rochas da Suíte Magmática Ipojuca. Sobre eles ocorrem arenitos e sobrepostos a estes últimos, os calcários da Formação Estiva ligados à plataforma carbonática de idade Cenomaniano - Turoniano. A Formação Gramame tem idade provavelmente pós-turoniana, pois a mesma encontra-se sobre os calcários da Formação Estiva. Nela se encontram os arenitos conglomeráticos da Formação Beberibe e arenitos calcíferos da Formação Itamaracá (Lima Filho, 1998; Lima Filho et al., 2005; Córdoba et al., 2007).

A Suíte Ipojuca está representada por intrusões magmáticas e derrames de rochas básicas, intermediárias e ácidas com depósitos de fluxos piroclásticos. Estratigraficamente, as rochas demonstram uma contemporaneidade com a porção superior da Formação Cabo de idade Aptiana-Albiana (Lima Filho 1998; Cruz et al., 2003, Nascimento et al., 2004; Lima Filho et al., 2006; Córdoba et al., 2007).

A carta estratigráfica ilustra cinco discordâncias representadas por superfícies de erosão, ocorrendo desde as porções proximais até as distais. Esta é preenchida pela Formação Cabo, Suíte Ipojuca, Formação Estiva, Formação Beberibe, Formação Itamaracá, e Formação Gramame (Fig. 3). A discordância mais antiga delimita a unidade basal da coluna sedimentar (Sequência Rifte, Mesoaptiano). A discordância do Albiano / Cenomaniano (Rifte-Drifte) delimita no topo a sequência de rochas vulcânicas-sedimentares afetadas pela deformação distensional associada ao evento de rifteamento Sul-Atlântico. As discordâncias mais jovens do Turoniano superior, Maastrichtiano superior / Daniano e Mioceno inferior foram originadas no estágio de deriva continental, quando as flutuações glacio-eustáticas passaram a ter um papel fundamental na construção do arcabouço cronoestratigráfico (Cordoba et al., 2007).

Figura 3 - Coluna estratigráfica da Bacia Pernambuco.



Fonte: Modificado de Córdoba et al. (2007).

### 3.1 Embasamento Maciço Pernambuco/Alagoas

Compreende domínios pré-cambrianos, formando um mosaico de terrenos gnáissicos-migmatíticos-graníticos, e terrenos metassedimentares ou sistemas de dobramento, ou ainda, faixas móveis proterozoicas (Lima Filho, 1998).

O embasamento apresenta elevado grau de complexidade, denotada pela presença de descontinuidades entre as diversas unidades geotectônicas e pelo grande número de feições e estruturas policíclicas, cuja estrutura possui orientação geral NE-SE (Souza-Lima et al., 2003).

### 3.2 Formação Cabo (Sequência K40-K70)

Corresponde à sequência Rift (incluindo uma sequência evaporítica), depositada diretamente sobre o embasamento, sendo formada de rochas siliciclásticas subdivididas em três grupos: Proximal, Média e Distal (Lima Filho, 1998; Nascimento et al., 2004), de idade aptiana – albiana (Lima Filho et al., 2005). A fase Rift perdurou até o Neoalbiano.

- Fácies proximal: representada por conglomerados que afloram nas proximidades da borda falhada no oeste da bacia. São conglomerados e brechas polimíticos e polimodais, com blocos e fragmentos de granitos, gnaisses, xistos e pegmatitos. Esta unidade grada para a próxima unidade;

- b) Fácies mediana: composta por arenitos conglomeráticos a médios, arcoseanos e imaturos;
- c) Fácies distal: composta por arenitos arcoseanos finos, intercalados com camadas argilosas, além de folhelhos negros depositado num ambiente anóxico (Nascimento et al., 2004).

Segundo Nóbrega (1995), a unidade é representada por depósitos distais de leques aluviais, sedimentos próximos às margens de lago, em ambiente lacustre, sob condições de anoxia compactadas por folhelhos cinza escuros a negros. Segundo Lima Filho (1998) esta unidade foi depositada em condições de ambiente continental, com feições características de um sistema deposisional de leques aluviais.

A Formação Cabo, composta por sistemas de leques aluviais e lacustres depositados em contexto tectonicamente ativo, apresenta alguns níveis de folhelhos negros, intensamente bioturbados, o que pode indicar condições de deposição em águas lacustres mais profundas (Cordoba et al., 2007).

### **3.3 Suíte Magmática Ipojuca (SMI)**

É constituída principalmente por rochas vulcânicas a hipabissais, com posicionamento sincrônico à sedimentação (derrames, caracterizados por seixos nos níveis sobrepostos) e falhamentos. Esta é formada por uma gama de rochas vulcânicas e subvulcânicas, que são basaltos, traquitos ou traquiandesitos, ignimbritos, riolitos, álcali-feldspato granito e depósitos piroclásticos, além do granito do Cabo de Santo Agostinho (Almeida et al., 2005; Lima Filho, 1998).

### **3.4 Formação Estiva (Sequência K82-K86)**

Corresponde à sequência Drifte (Transgressiva inferior) de idade Cenomaniano – Turoniano (Lima & Pedrão 1987; 1989), compreendendo as rochas carbonáticas depositadas em ambientes de plataforma, compostas por calcários maciços de coloração cinza-esbranquiçada, microcristalinos e dolomitizados em associação com siltitos/argilitos escuros e folhelhos esverdeados (Lima Filho, 1998), com tectônica subsidente permitindo o desenvolvimento de uma plataforma carbonática decorrente com mais de um evento transgressor (Lima & Pedrão 1987; Lima filho, 1998; Lima filho et al., 2005).

A Formação Estiva é representada por sistemas deposicionais que incluem leques costeiros e deltas nas porções proximais, gradando para uma plataforma carbonática de águas rasas e baixa energia em *offshore*. A sequência é formada predominantemente pelos tratos de sistemas transgressivos e de nível de mar alto, relacionada à passagem do Cenomaniano para o Turoniano, momento que registra um evento global de anoxia (Cordoba et al., 2007).

Tomé et al. (2006), em sua interpretação paleoambiental, determinaram uma plataforma carbonática marinha rasa, condições de clima quente e seco, semelhante a uma planície de costa dominada por regime de marés (planície de marés).

### **3.5 Formação Beberibe (Sequência K88-K130)**

Segundo Beurlen (1967a, 1967b), a formação é composta por arenitos continentais médios a grossos variando até arenitos conglomeráticos de ambientes flúvio lacustres depositados provavelmente a partir do Coniaciano? - Santoniano, estes como depósitos de origem fluvial entrelaçado numa planície de inundação e flúvio-lacustre (Nóbrega & Alheiros, 1991). Sobre eles ocorrem os sedimentos da Formação Itamaracá (Barbosa et al., 2003).

### **3.6 Formação Itamaracá (Sequência K88-K130)**

Segundo Kegel (1955) esta unidade é formada de depósitos costeiros de estuários e lagoas, contendo fósseis de ambiente marinho salobro, composta por arenitos carbonáticos, arenitos calcíferos e margas, sendo como uma unidade de transição para a fase marinha, cuja origem está associada a um evento transgressivo que recobriu os depósitos continentais basais. A idade corresponde ao Campaniano e Neocampaniano-Eomaastrichtiano (Barbosa, 2004, Barbosa et al., 2007; Souza, 2006).

### **3.7 Formação Gramame (Sequência K88-K130)**

Ocorre em ambiente *offshore* sendo formada de fácies carbonáticas incluídas originalmente na Formação Estiva, que vai do Turoniano superior ao Maastrichtiano superior / Daniano. A Formação Gramame depositou-se em trato de sistemas de níveis de mar alto, sendo representada pelas rochas carbonáticas de idade Campaniano-Mastrichtiano. É composta predominantemente por *grainstones* a *packstones* maciços, por vezes intensamente

dolomitizados, com grãos siliciclásticos e por lamito e margas com intensa bioturbação (Cordoba et al., 2007).

A formação é composta por depósitos de plataforma carbonática constituída na porção inferior por calcários com sedimentos siliciclásticos e na parte média e superior por uma alternância de calcários e margas, de idade Maastrichtiana, de ambiente distante da linha de costa submetidos a um processo de regressão marinha (Barbosa et al., 2003 e 2007).

## CAPÍTULO II: CONTEXTUALIZAÇÃO E GRUPOS DE PARTÍCULAS

### 1. Palinofácies

O conceito de palinofácies foi introduzido por Combaz (1964) como sendo “o estudo palinológico da associação total de matéria orgânica contida em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico) ”.

No conceito moderno proposto por Tyson (1995) trata-se de "um corpo de sedimento contendo uma assembleia distinta de matéria orgânica palinológica mostrando um conjunto específico de condições ambientais associada com uma gama característica do potencial para geração de hidrocarbonetos".

Para Mendonça Filho (1999) as palinofácies referem-se ao estudo da matéria orgânica particulada existente em sedimentos e rochas sedimentares, utilizando os métodos de isolamento de matéria orgânica para a preparação da amostra (concentração do querogênio) e aplicando técnicas de microscopia como ferramenta principal para a aquisição de dados e de métodos estatísticos para sua interpretação.

Batten & Stead (2005) as definem como associações de matéria palinológica em sedimentos, consideradas em termos principalmente das razões para a associação, que é geralmente geológica, mas pode ser ligado à origem biológica das partículas. Esporos, pólen, dinoflagelados, acritarcos e todos os outros palinomorfos são, naturalmente, incluídos em palinofácies, mas também as outras partículas orgânicas visíveis (2-250 µm) que ocorrem nos resíduos da maceração palinológica.

O estudo da matéria orgânica em rochas sedimentares enfoca a interação entre a biosfera e a geosfera, fazendo desta uma das atividades mais multidisciplinares em todo o campo das ciências da terra (Tyson, 1995).

A análise de palinofácies é o estudo palinológico de ambientes deposicionais e do potencial de identificação de rochas geradoras de hidrocarbonetos, baseado na associação total de componentes da matéria orgânica particulada. Esta análise compreende o exame qualitativo e quantitativo do querogênio, integrando todos os aspectos dos componentes da matéria

orgânica, como a identificação dos componentes particulados individuais, determinação de suas proporções relativas e seu estado de preservação (Tyson, 1995; Mendonça Filho et al., 2011).

Para a caracterização da matéria orgânica sedimentar é fundamental a identificação dos componentes orgânicos individuais organizados dentro de uma classificação estabelecida, pois esses dados podem fornecer informações sobre o tipo de aporte terrestre, condição redox e identificar ciclos relacionados a eventos transgressivos e regressivos. Além disso, também é possível a caracterização do paleoambiente, sistemas deposicionais e das unidades estratigráficas (Tyson 1995; Mendonça Filho et al., 2011).

Os principais grupos morfológicos constituintes reconhecidos dentro da assembleia do Querogênio são: Palinomorfos (constituintes de parede orgânica que permanecem após a maceração utilizando ácidos HCl e HF), fitoclastos (fragmentos de tecidos derivados de plantas superiores ou fungos) e Matéria Orgânica Amorfa “MOA” (material sem estrutura derivada de algas, fitoplâncton ou de ação bacteriana e secreções ou decomposição de plantas superiores) (Mendonça Filho et al., 2011).

## **2. Querogênio**

É a fração da matéria orgânica sedimentar insolúvel em solventes orgânicos, sendo comumente mais rica em hidrogênio e de baixa aromaticidade. O termo é mais utilizado para descrever a matéria orgânica particulada contida nas rochas sedimentares (Welte 1972).

### **2.1 Classificação do querogênio**

Durand (1980) define o querogênio como “Matéria orgânica sedimentar insolúvel nos solventes orgânicos usuais”. Segundo Tyson (1995), querogênio é a matéria orgânica residual isolada de uma rocha sedimentar após a completa dissolução da matriz rochosa por ácido clorídrico e fluorídrico.

O *Workshop* sobre Classificação de Matéria Orgânica (Universidade de Amsterdam, junho de 1991) decidiu usar o termo matéria orgânica palinológica para descrever o querogênio observado sob luz branca transmitida (Mendonça Filho et al., 2011).

A classificação do querogênio realizada neste trabalho procura agregar o maior número de variáveis, tomando como base as classificações propostas por Tyson (1993, 1995), Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho et al. (2011). Estas refletem as condições redox do

ambiente em que foram depositados, indicam o fator de proximidade de fontes fluviais ativas, além das condições reinantes no tempo da deposição (Mendonça Filho et al., 2011).

O querogênio é dividido basicamente em três grupos principais: Fitoclastos, Matéria Orgânica Amorfa e Palinomorfos, como apresentando nos quadros 1, 2 e 3, respectivamente. Os quadros mostram a classificação detalhada dos componentes palinológicos individuais e a descrição das diferentes partículas propostas por Tyson (1993, 1995), Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho et al. (2011).

Quadro 1 - Classificação geral dos principais componentes do grupo Fitoclasto.

| Categoria   | Fonte      | Constituinte                         | Grupos & Subgrupos                                 | Descrição   |   |
|-------------|------------|--------------------------------------|--|---|---|
| ESTRUTURADO | FITOCLASTO | Macrófitas plantas detritos          | Cutícula/ tecido epidérmico                        | Equisimensional (Equação)   | Preto ou opaco na cor mesmo no contorno de grão, na sua maioria sem estrutura interna   |
|             |            |                                      |  | Comprimento = largura < 2   |   |
|             |            |                                      |  | Alongado Comprimento = largura > 2  | Preto ou opaco na cor mesmo no contorno de grão. Esboço afiado, pode mostrar buracos  |
|             |            |                                      |  | Corroído  | De cor preta, esboço mais difusa, irregular   |
|             |            | Xilema secundário (Madeira)          | Fragments de tecidos derivados de plantas e fungos | Não-degradado contorno (pode ser levemente irregular). Pode ser estilhacado ou Degradado,   | Hifa de fungos<br>Filamentos de hifas.<br>Cor castanho.<br>Filamentos individuais do micélio da base vegetativa dos fungos  |
|             |            |                                      |  | Irrregular e com contorno difuso ou Pseudoamorfa  |   |
|             |            | Carvão vegetal bioquimicamente oxido | Não opaco  | Esfôrco difuso, não exibe coloração de fluorescência, altamente degradado “Amorfo” contornos difusos, exibe coloração de fluorescência, oriundo de retrabalhamento microbiológico ou                              | Não-bioestruturado<br>Partícula de cor marrom não-bioestruturada  |
|             |            |                                      |  | Em decomposição “Altamente preservado” contornos irregulares sob luz branca transmitida, exibe coloração de fluorescência. As características indicam um grão de preservação química devido condições específicas | Cutícula<br>Partícula de cor amarelo-pálida a marrom claro, delgadas, com estrutura celular, em alguns casos com estômatos visíveis. Ocasionalmente, podem ocorrer materiais cuticulares mais espessos, nesse caso a cutícula estão associadas camadas mais internas do vegetal, corteza ou epidermes |
|             |            | Detritos Fungos                      | Hifa   | Em decomposição “Altamente preservado” contornos irregulares sob luz branca transmitida, exibe coloração de fluorescência. As características indicam um grão de preservação química devido condições específicas | Membrana<br>Partículas de cor amarelo-pálida, comumente transparentes sem estrutura celular   |
|             |            |                                      |  |   | Bioestruturado<br>Partículas de cor marrom bioestruturada Estriado Listrado Bandado Perfurado   |

Fonte: o autor.

Quadro 2 - Classificação geral dos principais componentes do grupo Matéria Orgânica Amorfa.

| Categoria     | Fonte                         | Constituinte                                | Grupos & Subgrupos                       | Descrição   |   |
|---------------|-------------------------------|---|--|---|---|
| SEM ESTRUTURA | MATERIA ORGÂNICA AMORFA “MOA” | Secrões plantas superiores                  | Resinas intra/extra celular              | “MOA” Fitoplâncton ou bactérias   | Material não estruturado e com formato variado, cor: amarelo-laranja-vermelho, laranja-marrom; cinza, algumas vezes com inclusões de palinomorfos, fitoclasto, pirita. Pode exibir ou não colorações de fluorescência   |
|               |                               | Flocos                                      | Agregados orgânicas e pelotas fecais     | Resina, na maior parte produzida por plantas superiores terrestre em climas tropicais | Partícula não estruturada, hialina, usualmente arredondada, homogênea, fluorescente ou não-fluorescente   |
|               |                               | Fitoplâncton                                |  |   |   |
|               |                               | Bactéria                                    | Cianobactéria                            | Produtos de tecido macrófitos (Pseudomorfa/ “Amorfa”)                                 | Esboço difuso, marrom claro, marrom escuro, começando a mostrar alguns aspectos da MOA, mas homogênea em aparência (fluorescência plana), pirita não salpicada, sem inclusões. Pode exposições fluorescência  |
|               |                               | Plantas superiores produtos de decomposição | Precipitados arquivamento celular húmico |   | Consistem predominante de lamalginita maceral quando examinadas à luz branca refletida. Formam partículas coesivas em vez de maneira uniforme e fortemente fluorescentes que mostram contornos por vezes bastantes angulares, relativamente definidas e distintas após a maceração. |
|               |                               |   | Produtos amorfos                         | Tapetes microbianos   | Produtos de bactéria. Extracelular bacteriana. Substância polimérica (EPS)  |
|               |                               |   |  |   | Capa mucilaginosa. Difuso esboço, fino, pode ficar amarelo pálido, amarelo, laranja, cinza na cor. Pirita não salpicada, sem inclusões. Pode exposições intensa fluorescência   |

Fonte: o autor.

Quadro 3 - Classificação geral dos principais componentes do grupo Palinomorfos.

| Categoría                  | Fonte   | Constituinte                             | Grupos & Subgrupo   |  |  | Descrição  |  |
|----------------------------|---|--|---|--|--|--|--|
| ESTRUTURADO<br>PALINOMORFO | Zooclastos  | Zooplâncton e Zoobentos                  | Detritos graptólitos e artrópodes   |  |  |  |  |
|                            | Zoomorfos   | Escolecodonte                            | Elementos dispersos do aparelho bucal de anelídeos                                  |  |  | Peças bucais compostas por quitina. Ordoviciano inferior-Recente   |  |
|                            |   | Palinoforaminífero                       | Revestimentos orgânicos quitinosos de conchas calcárias de foraminíferos            |  |  | Revestimentos tipicamente de cor castanha escura, apesar das câmaras exteriores serem muitas vezes de parede fina e translúcida. Bom indicador das condições marinhas  |  |
|                            |   | Quitinizado                              | Vesículas em forma de balões ou pequenas garrafas (30 a 2000 µm), afinidade incerta |  |  | Constituem um grupo extinto de organismos marinhos dotados de testas orgânicas de quitina. Ordoviciano - Devoniano   |  |
|                            | Parede orgânica Fitoplâncton incluindo Meroplâncton | Prasinófitas                             | Microplâncton marinho   | Microfósseis produzidos por pequenas algas quadriflageladas (Divisão Phylophyta)                   |  | Maioria, como Tasmanites, são esféricas, diâmetro 50 a 2000µm. Pré-Cambriano – Recent. Existem espécies atuais de água doce  |  |
|                            |   | Chlorococcales cianobactérias            | Microplâncton de água doce  | Pediastrum   | Algas Chlorococcales   | Algatas verdes coloniais, radialmente simétricas, 30-200 µm, dois chifres no anel mais externo das células. Células internas podem ser de forma irregular com espaços entre elas ou compactadas. Jurásico (?) - Recent.                        |  |
|                            |   | Chlorococcales: Botryococcus Hydrocystis |   |  |  | Colônias globulares, irregulares, 30-200 µm, algumas vezes com vários lóbulos, laranja-marrom. Carbonífero – Recent.   |  |
|                            |   | Cistos de Dinoflagelados                 | Microplâncton marinho   | Restos de cistos produzidos durante a parte sexual do ciclo de vida da Classe Dinophyce            |  | Registro fóssil quase totalmente confinado à formas que tem ciclo de vida meroplânctônica. Principais morfotipos proximado, cavado e corado. Jurásico – Recent. Existem espécies atuais de água doce.  |  |
|                            |   | Acritarcos                               |   | Cistos fossilizados, unicelular de parede orgânica. Não possuem nenhum estatuto taxonômico formal. |  | São eucariontes e unicelulares (5 a 150 µm), constituídos de cavidade central circundada por uma parede de camada simples ou múltipla de esporopolinina. Com simetria, forma, estrutura e tipo de desenvolvimento da ornamentação bem variada. |  |
|                            | Eспорomorfo   | Miosporos: micrósporos e megásporos      | Esporomorfo   | Esporo   | Palinomorfo terrestre produzido por pteridófitas, briófitas e fungos | De forma triangular ou circular, apresentando marca trilete ou monolete. Ornamentação variada  |  |
|                            |   |  |   | Grão de Pólen  | Palinomorfo terrestre produzir por gimnospermas e angiospermas       | Morfologia complexa a simples, esférico a subestérico, ornamentação variada, pode apresentar aberturas   |  |

Fonte: o autor.

### 3. Classificação e distribuição dos componentes orgânicos.

#### 3.1 Grupo Fitoclasto

Partículas orgânicas de origem continental, derivadas de tecidos lenhosos (xilema) de vegetais superiores e hifas de fungos. O Grupo Fitoclastos descreve todas as partículas com tamanho de argila ou de areias finas derivadas de plantas superiores ou fungos. Os fitoclastos podem ser opacos (pretos) ou translúcidos (não opacos) e não-bioestruturado, biestruturado ou pseudoamorfo, os quais permitem fazer uma identificação seletiva das tendências de preservação e condições de energia nos ambientes deposicionais (Carvalho et al., 2005, Mendonça Filho et al., 2011).

### **3.1.1 Fitoclastos opacos (coloração preta, carbonizado)**

Representado por cor preta ou opaco, é considerado como resultado da alteração terrestre pós-deposicional, refletindo flutuações sazonais na exposição da coluna de água permitindo exposição à oxidação sub-aérea ou durante o transporte (Tyson, 1993, 1995). Originam-se de processos de oxidação sob condições subaéreas em solos, na superfície da terra ou por carbonização (elevada temperatura, ausência de oxigênio) (Mendonça Filho et al., 2011). Quanto à forma, eles podem ser: equidimensional, alongado ou corroído.

### **3.1.2 Fitoclastos não opacos ou translúcidos (madeiras translúcidas ou marrons)**

Tecido lenhoso da cor laranja a castanha ( $\pm$  faixas escuras que são nervuras espessadas, onde as paredes celulares se juntam). Em material muito jovem e imaturo também pode ser pálida, amarela, laranja-avermelhada, marrom claro ou marrom muito escuro.

Esta série de preservação pode ser dividida em:

- a) Não degradado: contorno nítido (pode ser ligeiramente irregular ou estilhaçado);
- b) Degradado: contorno mais difuso, irregular;
- c) Pseudoamorfo: contorno difuso;
- d) Amorfo: contorno difuso, aparência amorfa;
- e) Em decomposição: altamente preservado;

Pertencem a este grupo: Hifas de fungo, não bioestruturados (sem estrutura botânica), Cutículas, Membranas e Bioestruturados.

#### **3.1.2.1 Hifas de fungo**

São fragmentos representados por restos de fungos, geralmente apresentando uma forma de hifas de fungos, assemelhando-se a um estreito tubo fino que pode ser transparente ou incolor (Mendonça Filho et al., 2011).

#### **3.1.2.2 Não bioestruturados**

Esse tipo não apresenta nenhuma estrutura interna, nem estrutura botânica, sendo geralmente marrom. Podem ser de forma lisa ou iguais.

### **3.1.2.3 Cutículas**

Partículas de cor amarelo-pálida a marrom claro, delgadas, preservando a estrutura celular, em alguns casos com estômatos visíveis.

### **3.1.2.4 Membranas**

Partículas cinzentas pálidas, finas, geralmente transparentes, com forma de folhas e contornos claros, representando a camada de cutina da epiderme de folhas ou ramos de plantas superiores.

### **3.1.2.5 Bioestruturados**

Representados por fragmentos do xilema secundário dos vegetais e mostrando alguma estrutura interna. De acordo com o tipo de estrutura interna que apresentam são classificados como:

- a) Estriados – apresentam alienações longitudinais de aspecto fibroso;
- b) Listrados – com listras longitudinais irregulares sou desigual;
- c) Bandados – com espessamento lateral paralelo igual e regular;
- d) Perfurados – apresentam perfurações.

## **3.2 Grupo Matéria Orgânica Amorfa**

A matéria orgânica sem estrutura biológica pode ser dividida em resina e matéria orgânica amorfa (MOA) (Tyson 1995).

Referida como MOA, comprehende todo componente orgânico particulado sem estrutura definida, incluindo matéria orgânica amorfa derivada de bactérias, fitoplâncton e agregados orgânicos degradados de coloração amarelo-laranja-vermelho, laranja-marrom e cinza, algumas vezes com inclusões de palinomorfos, fitoclastos e pirita (Mendonça Filho et al., 2011).

O termo "amorfo" consiste de todos os componentes orgânicos em partículas que aparecem sem estrutura de sentido descritivo à escala da microscopia óptica (Tyson, 1995). Foi escolhido por causa da origem exclusivamente continental de sedimentos analisados de

modo a evitar conflitos com a matéria orgânica amorfada (MOA), comumente relacionada a ambientes marinhos ou sistemas deposicionais que sofrem influência das variações eustáticas.

A resina é um material muito semelhante ao âmbar, proveniente do metabolismo vascular de vegetais, especialmente gimnospermas. É uma partícula não-estruturada hialina, usualmente arredondada, homogênea, não-fluorescente, derivada de vegetais superiores de florestas tropicais e subtropicais (Carvalho et al., 2005), associada com predominância de sedimentos carbonáticos.

### **3.3 Grupo Palinomorfos**

São microfósseis orgânicos de parede constituída por material proteico inteiramente não mineralizada, tais como quitinizadoários, esporos e grão de pólen, prasinófitas, acritarcos e dinoflagelados.

O termo palinomorfo foi introduzido por Tschudy (1961) para se referir a todo microfóssil unicelular, multicelular ou colonial. Eles são discretos, coerentes, ocorrendo como indivíduos ou entidades coloniais e podem ser subdivididos em terrestres (esporomorfos) e subgrupos aquáticos (marinhos e de água doce) (Tyson, 1995, Mendonça Filho et al., 2011).

#### **3.3.1 Subgrupo esporomorfos (palinomorfos terrestres)**

Esporomorfo foi um termo inicialmente definido como um coletivo útil para todos os esporos terrestres e grãos de pólen. Neste caso, seriam todos palinomorfos produzidos por plantas terrestres. Este subgrupo é composto por dois componentes: esporos e grãos de pólen, que são amplamente utilizados para a correlação estratigráfica nacional e regional (Tyson, 1995). Sua abundância relativa fornece informações paleoambientais e paleoclimáticas (Mendonça Filho et al., 2011).

#### **3.3.2 Esporos de fungos**

De acordo com Tyson (1995), a presença de esporos de fungos pode indicar uma proximidade ou redeposição de áreas de origem flúvio-deltaico ativa (especialmente deltaica, estuarina ou lagunar, fácies óxica). Quando estas partículas orgânicas estão associadas com um elevado número de dinoflagelados e foraminíferos, elas podem indicar áreas de ressurgência.

### **3.3.3 Microplâncton de água doce**

É outro subgrupo do grupo Palinomorfo. Eles pertencem aos componentes aquáticos (água doce) associados com esporos e grãos de pólen de origem exclusivamente continental. Os principais componentes deste grupo pertencem às algas Chlorococcace, existindo duas formas comuns, tanto coloniais quanto exclusivamente de água doce: *Botryococcus* e *Pediastrum*.

#### **3.3.3.1 *Botryococcus*:**

São algas colônias globulares irregulares de tamanho variável (30-2,000 µm) com aparência amarelo brilhante ou laranja-castanho, ocorrendo amplamente na fácies lagunares e lacustres. Ocorrem em sedimentos marinhos apenas por redeposição ou transporte, como por exemplo em fácies prodeltaicas.

#### **3.3.3.2 *Pediastrum*:**

Gênero de algas fossilizadas mais comum, com 30-200 µm de diâmetro, colônias em forma cenóbia e plana “roda dentada”. De acordo com Evitt (1963), o registro geológico deste gênero remonta ao início do Cretáceo, e pelo menos tão cedo quanto o Barremiano tardio. São comuns em fácies lacustres.

### **3.3.4 Microplâncton marinho (Parede orgânica)**

Inclui cistos de Dinoflagelados, Prasinófitas e Acritarcos. Eles exibem propriedades variáveis de fluorescência e alguns táxons podem tolerar condição salobras.

#### **3.3.4.1 Cistos de Dinoflagelados:**

São cistos de repouso marinho, compreendendo algas vermelhas unicelulares que apresentam composição celulósica. Seu ciclo de vida alterna entre as células flageladas planctônicas assexuais ativas que vivem nas águas superficiais utilizando os seus flagelos para nadar, e os cistos de repouso bentônicos dormentes (zigotos) produzidos durante a fase sexual do ciclo de vida. Esta parte do ciclo de vida planctônico e bentônico é descrita como "meroplânctonica", ou seja, utilizando parte de sua vida como uma fase de flagelação móvel e parte como um cisto de repouso bentônico. O registro fóssil de dinoflagelados é quase inteiramente confinado a formas que têm uma vida "meroplânctonica". Os cistos são

produzidos abundantemente apenas por essas formas. Eles ocorrem copiosamente nos sedimentos do Triássico Superior ao Holoceno e são excelentes índices bioestratigráficos devido à sua rápida evolução e distribuição geográfica generalizada. Cistos de Dinoflagelados ocorrem predominantemente em rochas marinhas, mas também estão presentes nas fácies lacustre do Cretáceo e Cenozoico.

Este grupo vive em águas rasas e instáveis, pois cistos de parede orgânica não são produzidos em águas permanentemente estratificadas. A maioria dos dinocistos em sedimentos oceânicos foram redepositados da plataforma (Mendonça Filho et al., 2011).

Os dinoflagelados passaram a ser comuns em bacias costeiras brasileiras desde o início da Fase Oceânica no Aptiano tardio. Antes disso, as bacias eram continentais (principalmente lacustres e fluviais) e restritas - marinhas (incluindo evaporíticas), onde sua concentração na distribuição de táxons é selecionada pela sua restrição a áreas geográficas específicas durante intervalos de tempo determinados (Arai et al., 2000).

#### **3.3.4.2 Prasinófitas:**

São organismos cosmopolitas com uma distribuição paleogeográfica global. É um tipo de alga presente desde o Pré-Cambriano até o Recente. São estruturas fossilizadas produzidas por um pequeno fitoplâncton quadriflagelado de fase móvel. São encontrados em ambientes proximais (*onshore*), como lagunas rasas e áreas deltaicas, bem como em sedimentos oceânicos (Mendonça Filho et al., 2011).

#### **3.3.4.3 Acritarcos:**

De afinidade biológica desconhecida pertencem a um grupo polifilético de palinomorfos cujo nome significa "de origem incerta" e podem incluir cistos de diversos grupos de algas. Eles estão distribuídos desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. A maioria são "espinhosos", sendo excelentes índices bioestratigráficos para o Proterozoico, principalmente no Devoniano, tornando-se menos diversos no Mesozoico e Cenozoico (Mendonça Filho et al., 2011).

#### **3.3.4.4 Subgrupo Zoomorfo – Palinoforaminíferos:**

Composto por palinomorfos derivados de organismos, sendo representados por palinomorfo-zoomorfos (partículas animais unitárias discretas, inteiras ou danificadas), além

de testas de foraminíferos, quitinizado e escolecodontes (Tyson, 1995, Mendonça Filho et al., 2011).

- a) Palinoforaminíferos: A distribuição é primeiramente controlada pelo desenvolvimento de foraminíferos. Estes são maiores e mais pesados do que os outros palinomorfos e são, geralmente, menos abundantes em termos de números de indivíduos por volume de amostra. Eles são um bom indicador de condições de plataforma marinha ou salobra (as testas de foraminíferos são um indicador importante das condições marinhas normais) (Tyson, 1995 Mendonça Filho et al., 2011).
- b) Escolecodontes: Elementos dispersos do aparelho bucal de anelídeos poliquetas, compostos por quitina, parcialmente calcificados, ocorrendo quase inteiramente em sedimentos marinhos. Seu registro estratigráfico ocorre desde Ordoviciano Inferior ao Recente, sendo mais diversos durante o Ordoviciano Superior ao Devoniano (Tyson, 1995, Mendonça Filho et al., 2011).
- c) Quitinizado: Microfósseis extintos de parede orgânica, em forma de frasco ou de garrafa (50 µm a 2000 µm de tamanho), que ocorrem em rochas do Ordoviciano ao Devoniano. São pouco conhecidos (organismos de afinidade incerta), mas podem ser ovos de Metazoários (Mendonça Filho et al., 2011).

#### **4. Distribuição de querogênio**

Em ambientes marinhos, a tendência proximal-distal é um dos controles mais importantes na distribuição de querogênio. Para uma análise ambiental detalhada as tendências e parâmetros são baseadas em percentagens de categorias de querogênio (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999).

##### **4.1 Tendências na distribuição dos grupos de querogênio (Parâmetros de palinofácies)**

O comportamento deposicional dos constituintes da matéria orgânica permite fazer inferências sobre as condições do paleoambiente apresentadas nas tendências deposicionais dos grupos e subgrupos da matéria orgânica (Tyson, 1995; Mendonça Filho, et al., 2011). A determinação dos parâmetros é baseada na percentagem de frequência relativa de partículas para a matéria orgânica total.

Há uma série de parâmetros que são comumente usados em estudos paleoambientais e sua interpretação é baseada em diversas variáveis, principalmente variações proximal-distal (proximidade) (Tabela 1). Mudanças podem ser observadas na assembleia de matéria orgânica

palinológica que ocorre ao longo de um transecto proximal (perto de origem) para distal (longe da fonte), sendo que a variação proximal-distal é mais indicada pelos componentes terrestres (ou seja, esporomorfos e fitoclastos, palinomorfos também retrabalhados e algas de água doce) (Tyson, 1995; Mendonça Filho, et al., 2011).

#### **4.1.1 Fitoclastos**

As partículas orgânicas terrestres tornam-se geralmente menos abundantes, pequenas e mais oxidadas (mais refratárias) numa direção distal. Percentagens elevadas de fitoclastos estão mais relacionadas com condições de deposição proximal (Mendonça Filho et al., 2011).

O principal fator de controle é o curto transporte das partículas. Outros fatores, como as condições oxidantes e de resistência relativa dos tecidos que revestem são associados com a proximidade da área da fonte (Mendonça Filho, 1999). Geralmente grande quantidade de partículas de fitoclastos são depositados pelos rios em estuários e ambientes de delta, ambos perto de linhas costeiras (Carvalho, 2001).

Quando há alta porcentagem de fitoclastos, pode ser um indício de condições oxidantes onde somente o material mais refratário se preserva (Tyson, 1989).

Os fitoclasto não-opacos (translúcidos) constituem o material mais flutuante na assembleia de querogênio, sendo resistentes à degradação e podem ser concentrados em ambientes de alta energia. O fitoclasto opaco é seletivamente transportado para configurações mais distais onde é comumente dominante (Tyson, 1995; Mendonça Filho et al., 2011).

#### **4.1.2 Tendência de Distribuição dos Palinomorfos**

Sus distribuições são controladas pela extensão de fitoclastos e matéria orgânica amorfa, de modo que ambientes em que os valores de fitoclastos e matéria orgânica amorfa são reduzidos, o conteúdo de palinomorfos torna-se um pouco mais elevado (Tyson, 1993).

Na assembleia dominada por dinoflagelados, elevadas porcentagens podem ser relacionadas com áreas de alta produtividade primária. Em ambientes costeiros são tipicamente associadas às condições nas áreas de terra adjacentes e, portanto, são geralmente pobres em fitoclastos (Tyson 1993, 1995; Mendonça Filho et al., 2011).

As algas Prasinófitas dominam a assembleia de palinomorfos marinhos, especialmente na fácies disóxica-anóxica de águas estavelmente estratificadas com baixa produção *in situ* de dinoflagelados (Tyson 1993, 1995; Mendonça Filho et al., 2011).

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na análise de palinofácies.

| Parâmetros                        | Fatores ambientais        |                       |                         |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                                   | Tendência proximal-distal | Fácies distal anóxica | Ressurgência (Interior) |
| % Fitoclastos/Querogênio          | ►                         | ▲                     | ▲                       |
| % MOA/Querogênio                  | ◀                         | ▲                     | ▼                       |
| % Palinomorfos/Querogênio         | ◀                         | ▲                     | ▼ ?                     |
| Opaco: Fitoclasto translucido     | ◀                         | ▼                     | ▼                       |
| % Esporomorfos/palinomorfos       | ►◀                        | ▼                     | ▲                       |
| % Micoplâncton/palinomorfos       | ◀◀                        | ▲                     | ▲                       |
| Abundância de dinoflagelados      | ◀◀                        | ▲                     | ▼                       |
| Frequência de Palinoforaminíferos | ►                         | ▲                     | ▼                       |

|              |                     |           |                 |   |
|--------------|---------------------|-----------|-----------------|---|
| alto-baixo ► | alto-baixo-alto ◀◀  | diminui ▲ | pode aumentar ▼ | ? |
| baixo alto ◀ | baixo-alto-baixo ◀◀ | aumenta ▼ |                 |   |

Fonte: Modificado de Tyson (1995) e Carvalho (2001).

#### 4.1.3 Matéria Orgânica Amorfa (MOA)

A alta percentagem de 'MOA' é característica de áreas de alta preservação devido às condições redutoras e de baixa energia (Carvalho, 2001). A preservação da MOA está diretamente relacionada às condições não oxidantes e consequentemente, mas não necessariamente, está correlacionada à alta produtividade primária (Tyson, 1993).

A maior parte da matéria orgânica marinha em sedimentos é representada pela "MOA". No entanto, este componente orgânico é facilmente degradado quando exposto em

condições aeróbicas. Portanto, a alta porcentagem pode ser interpretada como um ambiente redutor (Mendonça Filho et al., 2011).

A abundância de MOA poderia sugerir um meio ambiente distal (subóxico – anóxico) estante (Tyson, 1993; 1995).

## CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Materiais

#### 1.1 Amostras / Testemunho

As amostras estudadas compreendem parte do furo 1-LABIO-PE3 perfurado na cidade do Recife, região *onshore* da Bacia Pernambuco, localizado nas coordenadas 8°02'24" S e 34°51'58.82" O.

Este testemunho encontra-se depositado no Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESE) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco. A longo do testemunho foram coletadas um total de 26 amostras. O testemunho foi amostrado onde foram observadas variações de fácies sedimentares. O processamento de laboratório foi realizado no Instituto de Investigação em Estratigrafia (IIES) da Universidade Caldas (Colômbia) e no Laboratório de Paleoecologia Vegetal (LAPAV) do Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro.

#### 1.2 Reagentes

Ácido Clorídrico 37 % e diluído 10 %

Ácido Fluorídrico 40 %

Cloreto de zinco

#### 1.3 Equipamentos

Béqueres de polipropileno 100 mL

Câmara extração

Centrífuga

Chapa aquecedora

Lamínulas

Goma acácia

Entellan

## 2. Métodos

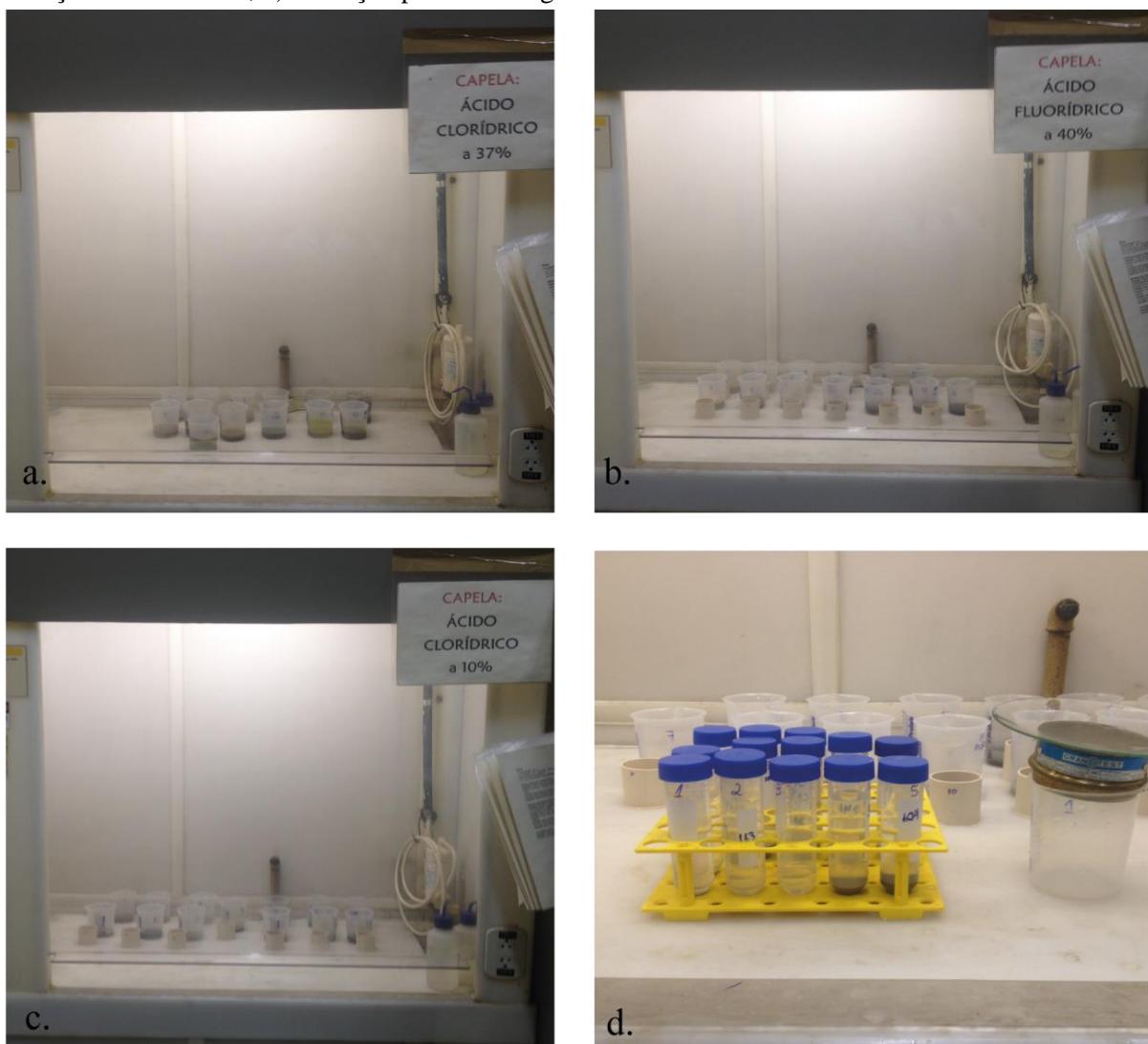
### 2.1 Preparação para palinofácies

Após uma identificação prévia, as amostras foram preparadas no Laboratório de Paleoecologia Vegetal (LAPAV, MN/UFRJ) com a técnica padrão descrita por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2011).

Tal procedimento consistiu primeiro na Trituração do material. Cinquenta gramas de cada amostra foram colocados em bêqueres de polipropileno de 100 mL. Adicionou-se HCl a 37%, numa quantidade suficiente para cobrir totalmente a amostra, deixando em repouso por 24 horas. Em seguida as amostras foram lavadas três vezes com água destilada. Posteriormente adicionou-se HF a 40%, cobrindo a amostra e deixou-se reagir por 24 horas. Lavou-se novamente três vezes com água destilada. Em seguida, 12 horas em HCl a 10% numa quantidade suficiente para cobrir a amostra (Fig. 4).

Finalmente adicionaram-se duas partes de solução de Cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) à amostra. Estas são centrifugadas por 15 minutos (velocidade de 1500 RPM), para separação em duas frações. A fração sobrenadante (material orgânico) foi retirada. Para eliminar o  $ZnCl_2$  do material orgânico, acrescentou-se HCl (10%) e água destilada até a completa neutralização, obtendo-se assim o material para análise.

Figura 4 - Visualização esquemática do processamento no laboratório: a) HCL 32% por 24 horas, remoção dos Carbonatos; b) HF 40% por 24 horas, remoção dos silicatos; c) HCL 10% por 12 horas, remoção fluorsilicatos; d) obtenção partículas orgânicas com resíduos minerais.



Fonte: o autor.

Para a confecção das lamínulas, utilizou-se chapa aquecedora a 70°C. As lamínulas foram fixadas na chapa com auxílio de uma gota de água. Em seguida foram gotejadas três gotas de goma acácia, uma gota do resíduo orgânico e algumas gotas de água destilada para homogeneização. Aguardou-se a secagem e para a montagem da lamínula adicionou-se Entellan.

## 2.2 Tratamento dos dados

Após a contagem das 300 partículas orgânicas os dados foram recalculados para valores percentuais totais da matéria orgânica particulada e valores absolutos das assembleias de palinofácies. Posteriormente, estes foram representados na forma de tabelas e diagramas.

O *software* Tilia (Version 1.7.16) foi utilizado para representar os dados da matéria orgânica recuperada na rocha, gerando uma representação gráfica dos níveis estratigráficos, a fim de visualizar a distribuição das amostras pelas palinofácies e determinar seus intervalos.

Para representar o contexto paleoambiental recuperado da matéria orgânica palinológica, foi utilizado o gráfico ternário. Este identifica os três principais parâmetros paleoambientais marinhos, condições redox, distribuição proximal-distal e influência terrestre (Zobaa et al., 2015).

Neste gráfico, os dados de palinofácies são categorizados em três membros finais, cada um dos quais apresentando uma indicação paleoambiental. Os fitoclastos e os palinomorfos não marinhos são combinados no membro final superior para indicar o grau de influxo terrestre e de água doce. A matéria orgânica marinha amorfa (MOMA) é representada graficamente na base-esquerda para refletir o estado de oxigenação, enquanto que a extremidade inferior direita representa os palinomorfos marinhos que, juntamente com a MOMA, marcam a distância aproximada da costa (Zobaa et al., 2015).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Caracterização de Litofácies

As descrições do testemunho do Poço Iate 1 LABIO-PE3 (Formação Cabo, Estiva e Gramame) da Bacia Pernambuco e o perfil levantado permitiram a identificação de 18 litofácies sedimentares, sintetizadas na Tabela 2. Destas, três são carbonáticas, treze são arenosas, uma siltica e uma argilosa.

Na descrição deste testemunho foi possível identificar três intervalos principais que correspondem a ciclos de sedimentação completos. As litofácies identificadas foram codificadas como *Cbi* (calcarenito bioturbado, com icnofósseis), *Cb* (calcarenito bioturbado), *Cdb* (calcarenito dolomítico bioturbado), *Afm* (arenito fino a médio), *Amg* (arenito médio a grosso), *Amg* (arenito muito grosso), *Afd* (arenito fino com estrutura deformacional), *Afmd* (arenito fino a médio com estrutura deformacional), *Afmb* (arenito fino a médio bioturbado), *Afmar* (arenito fino a médio argiloso), *Afmarb* (arenito fino a médio argilosos e bioturbado), *Afmard* (arenito fino a médio argiloso com estrutura deformacional), *Afb* (arenito fino bioturbado), *Amicb* (arenito médio com intercalação de calcário e bioturbação), *Afarm* (arenito fino argilosos maciço), *Anf* (arenito com níveis de folhelho), *Ar* (argilito) e *Si* (siltito).

As litofácies carbonáticas ocorrem nos intervalos correspondentes às formações Gramame e Estiva. Nesta última, às vezes, ocorrem associadas às litofácies arenosas, de granulação mais fina a média, onde o processo de bioturbação está muito presente. Com relação às litofácies arenosas, estas predominam na Formação Cabo. No entanto, nesta unidade, ocorrem também litofácies siltica e argilosa de forma subordinada.

Vale ressaltar que o furo estudado é composto na base pelas litofácies siltica e argilosa. As litofácies arenosas ocorrem predominantemente em direção ao topo, indicando um padrão de sequência de granocrescência ascendente. Também é possível observar litofácies calcárias (contendo moldes ou restos de conchas) sobrepondo as litofácies arenosas.

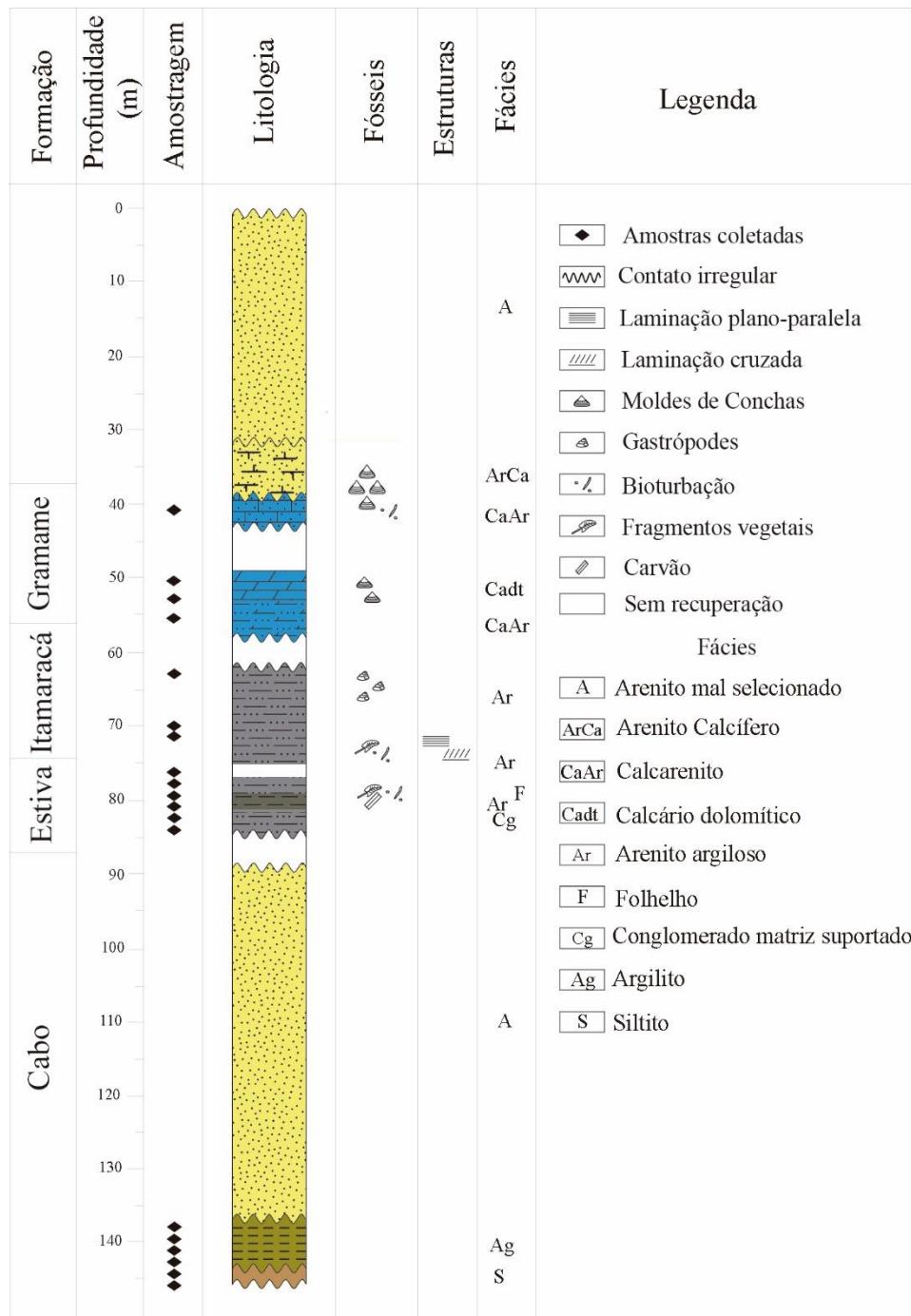
Tabela 2 - Síntese das amostras coletadas e analisadas do Poço Iate 1 LABIO-PE3, Bacia Pernambuco.

| Intervalo | Amostra/Profundidade   | Descrição   |
|-----------|--|---|
| Gramame   | <b>PE-01</b> , 41,5m.  | <i>Cbi</i> : Calcarenito de coloração cinza a esbranquiçada, maciço, onde são identificados moldes de conchas, biturbação e icnofósseis.  |
|           | <b>PE-02</b> , 50,93m.   | <i>Cdb</i> : Calcário dolomítico cinza, maciço, apresentando intercalações de níveis finos de calcilutito com moldes de conchas (contramolde) e bioturbação; apresenta mica e quartzo na sua composição |
|           | <b>PE-03</b> , 51,31m.   | <i>Cdb</i> : Calcário dolomítico de coloração cinza, maciço, apresentando moldes de conchas e bioturbação   |
|           | <b>PE-04</b> , 52,1m.  | <i>Cd</i> : Calcário dolomítico, de coloração cinza clara, maciço, apresentando moldes de conchas e bioturbação   |
| Itamaracá | <b>PE-05</b> , 56,88m.   | <i>Am</i> : Arenito médio, silicificado, de coloração cinza, maciço, contendo pontos isolados de calcário   |
|           | <b>PE-06</b> , 57,18m.   | <i>Amg</i> : Arenito médio a grosso, silicificado, de coloração cinza, maciço   |
|           | <b>PE-07</b> , 63,09m.<br><b>PE-08</b> , 63,52m.   | <i>Amg</i> : Arenito muito grosso, de coloração cinza, maciço, bem selecionado e contendo fósseis de gastrópodes, apresentando uma graduação inversa  |
|           | <b>PE-09</b> , 70,5m.  | <i>Amg</i> : Arenito médio a grosso, de coloração cinza, maciço, mal selecionado e apresentando cristais de pirita  |
|           | <b>PE-10</b> , 71,94m.   | <i>Amcb</i> : Arenito médio, silicificado, com coloração acinzentada, com laminação cruzada, bem selecionado, com intercalação de calcário; também apresenta detrito vegetal e bioturbação              |
| Estiva    | <b>PE-11</b> , 77,7m.  | <i>Afmar</i> : Arenito fino a médio e argiloso, de coloração cinza, maciço, com níveis argilosos mal selecionados   |
|           | <b>PE-12</b> , 78,6m.  | <i>Afd</i> : Arenito fino, cinza, com níveis carbonáticos, estrutura pós-deposicional do tipo sobrecarga  |
|           | <b>PE-13</b> , 79,13m.   | <i>Afmd</i> : Arenito fino a médio, acinzentado, com estrutura pós-deposicional do tipo sobrecarga, contendo quartzo  |
|           | <b>PE-14</b> , 80,12m.<br><b>PE-15</b> , 80,58m.   | <i>Afmb</i> : Arenito fino a médio, bioturbado, com detritos vegetais e presença de níveis finos argilosos  |
|           | <b>PE-16</b> , 81,09m.   | <i>Afmard</i> : Arenito fino a médio, de coloração cinza, com níveis argilosos (folhelhos) e presença de estrutura pós-deposicional do tipo sobrecarga  |
|           | <b>PE-17</b> , 81,26m.   | <i>Afb</i> : Arenito fino, de coloração cinza, maciço, com níveis de folhelhos, bioturbação, restos de vegetais; ocorrem pirita oxidata e mica na sua composição  |
|           | <b>PE-18</b> , 82,37m.   | <i>Afmarb</i> : Arenito fino a médio, de coloração cinza e mal selecionado; apresenta níveis argilosos, biturbação e restos de vegetais   |
|           | <b>PE-19</b> , 84m.  | <i>Afarm</i> : Arenito fino a argiloso, maciço, de coloração cinza  |
|           | <b>PE-20</b> , 84,23m.   | <i>Anf</i> : Arenito com níveis de folhelhos intercalados, de coloração escura (preta), com estrutura pós-deposicional do tipo sobrecarga   |
|           | <b>PE-21</b> , 142,8m.<br><b>PE-22</b> , 143m.<br><b>PE-23</b> , 143,1m.<br><b>PE-24</b> , 143,3m.<br><b>PE-25</b> , 143,6m. | <i>Ar</i> : Argilito marrom, com níveis esbranquiçados isolados   |
| Cabo      | <b>PE-26</b> , 143,8m.   | <i>Si</i> : Siltito acinzentado   |

Fonte: o autor.

O empilhamento estratigráfico do intervalo do poço estudado é caracterizado pela predominância de sedimentos arenosos, perfazendo cerca de 70% da seção (Fig. 5). Contudo, ocorrem, de forma subordinada, depósitos argilosos, siltíticos e carbonáticos. Observa-se nesta sucessão que a fácie argilosa apresenta contato erosivo tanto com a fácie de siltito (subjacente), quanto com a fácie arenosa (sobrejacente).

Figura 5 - Perfil estratigráfico do testemunho Iate 1 LABIO-PE3.



Fonte: o autor.

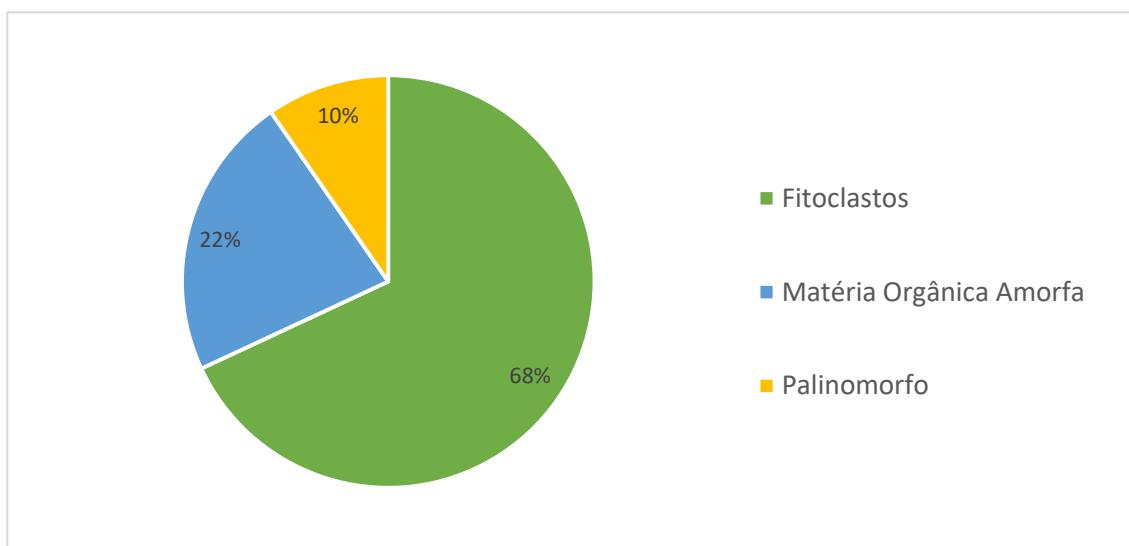
## 2. Palinofácies

A análise de palinofácies do Poço Iate 1 LABIO-PE3 revelou uma variedade de tipos de partículas orgânicas que foram identificadas nas amostras, sendo classificadas em Palinomorfos, Fitoclastos e Matéria orgânica amorfa (MOA).

O estudo mostrou que as partículas identificadas apresentam variações em suas distribuições estratigráficas e interpretações paleoambientais distintas. O material estudado é dominado por fitoclastos (68%), seguido de partículas amorfas (22,3%) e em menor quantidade estão os palinomorfos (9,6%) (Fig. 6).

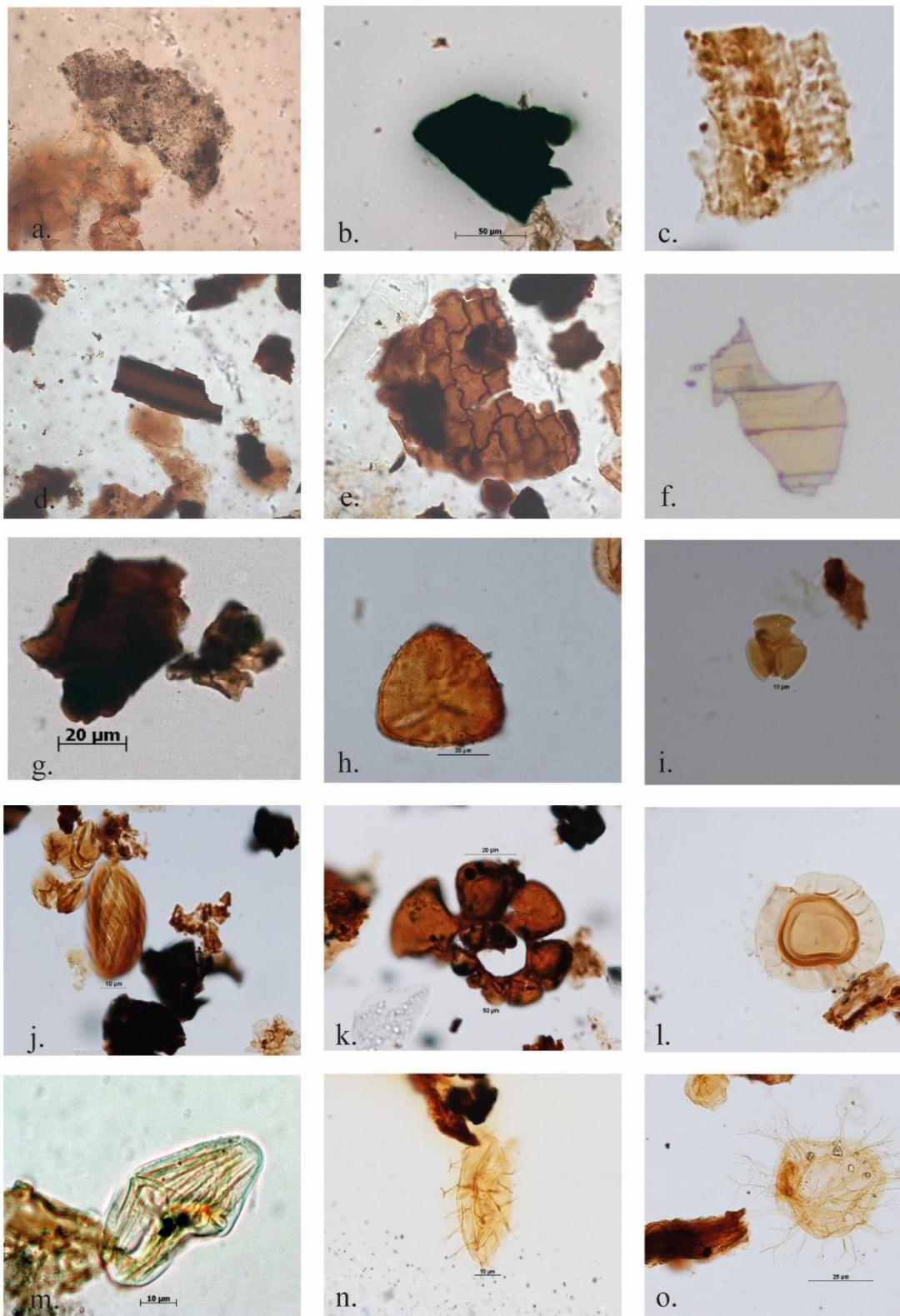
No poço estudado foram identificados os três principais grupos de querogênio além dos subgrupos, tais como Grupo dos Palinomorfos-Esporomorfos (esporos, grão de pólen e esporos de fungos), Microplâncton marinho (cistos de dinoflagelados e prasinófitas), Zoomorfos (Palinoforaminíferos), Grupo dos Fitoclastos-Opacos (equidimensional e alongado), Não Opacos (Não degradado, Degradado, Bioestruturado), Hifas de Fungos e Cutícula (degradada e não degradada), Pseudoamorfa e Grupo da Matéria Orgânica Amorfa - MOA e Resina. (Fig. 7).

Figura 6 - Distribuição percentual dos grupos da matéria orgânica particulada.



Fonte: o autor.

Figura 7 - Partículas do querogênio identificadas. (a) Matéria orgânica amorfã; (b) Fitoclasto opaco equidimensional; (c) Fitoclasto não opaco degradado; (d) Fitoclasto não opaco bioestruturado, bandado; (e-f) Cutículas; (g) Fitoclasto não opaco não bioestruturado; (h) Esporo trilete; (i-j) Grãos de pólen; (k) Foraminífero; (l) Prasinófita; (m-n-o) Dinoflagelados.



Fonte: o autor.

As amostras foram agrupadas em intervalos paleoambientais, sendo identificados quatro intervalos que, em geral, correspondem às formações estudadas. Deste modo, os intervalos foram nomeados de acordo com as formações, ficando definidos como intervalos Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame (Fig. 8).

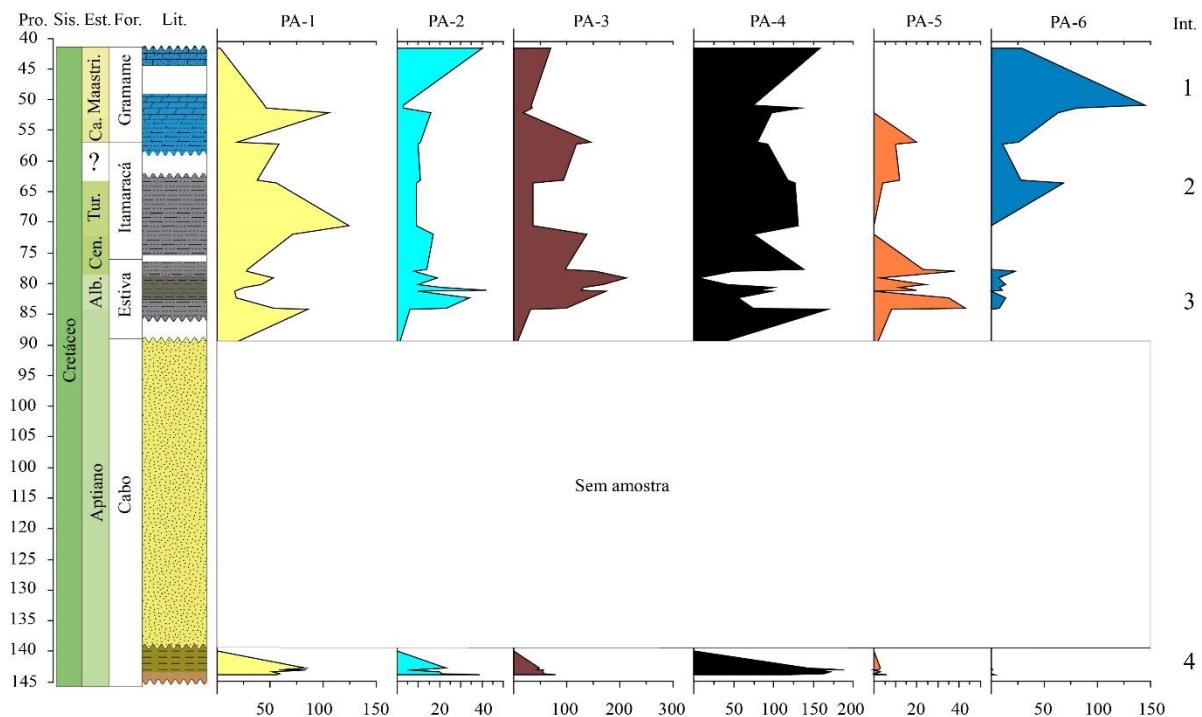
As partículas foram agrupadas tendo-se como base suas afinidades biológicas, estado de preservação e origens ecológicas. Desta forma, seis palinofácies foram identificadas: MOA, Degradadas, Terrígenas, Opacas, Esporomorfos e Marinhos (Fig. 8). As palinofácies diferem nas proporções dos grupos e subgrupos do querogênio ao longo do testemunho (Tabela 3 e 4).

Tabela 3 - Contagem das partículas agrupadas nos grupos de matéria orgânica.

| Prof. | Fm.       | MOA | Degradados | Terrígenos | Opacos | Esporomorfos | Marinho |
|-------|-----------|-----|------------|------------|--------|--------------|---------|
| 41,6  | Gramame   | 3   | 40         | 70         | 158    | 0            | 29      |
| 50,9  |           | 45  | 3          | 33         | 74     | 0            | 145     |
| 51,3  |           | 46  | 3          | 35         | 135    | 0            | 81      |
| 52,1  |           | 105 | 16         | 18         | 98     | 0            | 63      |
| 56,9  | Itamaracá | 19  | 11         | 145        | 79     | 20           | 26      |
| 57,2  |           | 58  | 10         | 118        | 93     | 10           | 11      |
| 63,1  |           | 38  | 11         | 93         | 118    | 12           | 28      |
| 63,5  |           | 56  | 9          | 36         | 127    | 4            | 68      |
| 70,5  |           | 124 | 9          | 36         | 131    | 0            | 0       |
| 71,9  |           | 71  | 17         | 138        | 74     | 0            | 0       |
| 77,7  |           | 29  | 14         | 96         | 138    | 23           | 0       |
| 78,1  | Estiva    | 28  | 8          | 154        | 49     | 38           | 23      |
| 79,1  |           | 53  | 19         | 212        | 6      | 3            | 7       |
| 80,1  |           | 42  | 10         | 168        | 42     | 24           | 14      |
| 80,6  |           | 26  | 21         | 132        | 101    | 12           | 8       |
| 81,1  |           | 19  | 42         | 127        | 81     | 20           | 11      |
| 81,3  |           | 17  | 10         | 174        | 99     | 0            | 0       |
| 82,4  |           | 18  | 34         | 144        | 55     | 35           | 14      |
| 84    |           | 54  | 23         | 98         | 74     | 43           | 8       |
| 84,2  |           | 86  | 6          | 32         | 168    | 8            | 0       |
| 142,8 | Cabo      | 83  | 23         | 48         | 143    | 3            | 0       |
| 143   |           | 58  | 7          | 43         | 188    | 2            | 2       |
| 143,1 |           | 84  | 5          | 55         | 156    | 0            | 0       |
| 143,3 |           | 52  | 20         | 54         | 171    | 3            | 0       |
| 143,6 |           | 59  | 21         | 57         | 163    | 0            | 0       |
| 143,8 |           | 56  | 39         | 79         | 117    | 6            | 3       |

Fonte: o autor.

Figura 8 - Intervalos definidos pelos resultados da abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies do Poço Iate 1 LABIO-PE3. Pro. Profundidade; Sis. Sistema; Est. Estágio; For. Formação; Lit. Litologia. PA-1 Palinofácies MOA; PA-2 Palinofácies Degrada; PA-3 Palinofácies Terrígenas; PA-4 Palinofácies Opacas; PA-5 Palinofácies Esporomorfos; PA-6 Palinofácies Marinha; Int. Intervalo.



Fonte: o autor.

Tabela 4 - Média ( $\bar{\alpha}$ ) das palinofácies do furo estudado. Em negrito, as associações de palinofácies mais significativas.

| Testemunho/<br>Formação | Palinofácies<br>MOA | Palinofácies<br>Degrados | Palinofácies<br>Terrígenos | Palinofácies<br>Opacos | Palinofácies<br>Eporomorfos | Palinofácies<br>Marinho |
|-------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Gramame                 | 50                  | 16                       | 39                         | 116                    | 0                           | <b>80</b>               |
| Itamaracá               | 61                  | 11                       | 94                         | 104                    | 8                           | 22                      |
| Estiva                  | 37                  | 19                       | <b>134</b>                 | 81                     | <b>21</b>                   | 9                       |
| Cabo                    | <b>65</b>           | 19                       | 56                         | <b>156</b>             | 2                           | 1                       |
| Média geral             | 51                  | 17                       | 92                         | 109                    | 10                          | 21                      |

Fonte: o autor.

### 3. Descrição das Palinofácies

#### 3.1 Palinofácies Opacos

Composta exclusivamente por fitoclastos opacos (Equidimensional e alongado), é a mais abundante das associações, com uma média geral de 109 do total do querogênio encontrado. É melhor representada na Formação Cabo, onde alcança média de 156 (Tabela

4). Sua menor abundância ocorre na Formação Estiva com uma média 81. Os fitoclastos opacos desta associação são geralmente de forma equidimensional e mais arredondados.

### **3.2 Palinofácies Terrígenos**

Essa associação é composta de cutículas, resinas e fitoclastos não opacos, não bioestruturados e bioestruturados. Sua maior abundância é registrada nos fitoclastos não opacos não bioestruturados seguida de bioestruturados. Partículas como resinas, cutículas e hifas de fungos são registradas em menor abundância.

A Palinofácies Terrígenos é a segunda associação mais abundante com uma média geral de 92. No Intervalo Estiva alcança uma média de 134 (Tabela 4). Sua curva de distribuição apresenta picos que são coincidentes com picos da Palinofácies Esporomorfos (Fig. 8). Sua menor abundância é marcada por uma média de 39 localizada no intervalo Gramame.

### **3.3 Palinofácies Degradado**

A Palinofácies Degradado é composta de pseudoamorfa, cutícula degradada e fitoclasto não opaco degradado. A abundância de cutícula degradada domina junto com fitoclasto degradado, estas com um contorno irregular. Em menor proporção estão as partículas pseudomorfas.

A palinofácies mostra baixa abundância, com média geral de 17 (Tabela 4). Esta é mais abundante na parte inferior do testemunho, abrangendo Cabo e Estiva I com uma média de 19, sua menor abundância é registrada no intervalo Itamaracá.

### **3.4 Palinofácies Esporomorfos**

Esta palinofácies é a menos abundante com uma média geral de 10 do total do querogênio (Tabela 4). É composta por grãos de pólen, esporos e esporos de fungos. Essa associação não é encontrada no topo do testemunho e sua maior abundância é registrada na parte média (Estiva), com uma média de 21. Nesta, apresentam-se espécies de grãos como *Gnetaceaepollenites* sp., *Psilatricolporites* sp., *Brenneripollis* sp., *Equisetosporites* sp., *Retimonocolpites* sp., *Sergipea* sp., *Ephedripites* sp., e *Deltoidospora hallei*. São dominantes espécies como *Ephedripites* sp., *Equisetosporites* sp., e *Gnetaceaepollenites* sp., estes de

distribuição palaeoequatorial sendo indicativo de um clima quente árido a semi-árido (Dino, 1992; Schrank & Nesterova, 1993; Atta-Peters e Achaegakw, 2016).

A abundância de esporomorfos é inversamente proporcional às das palinofácies opacos e MOA refletindo a redução destas.

### **3.5 Palinofácies Marinho**

Esta palinofácies é dominada por palinomorfos marinhos, principalmente por Cistos de Dinoflagelados e Palinoforaminíferos, além de um tipo de alga prasinófita do gênero *Pterospermella*. Gêneros de dinocistos como *Spiniferites* sp., *Dinogymnium acuminatum*, *Dinogymnium* sp., *Dapsilidinium* sp., *Systematophora* sp., *Palaeocystodinium* sp., *Cerodinium* sp., foram registrados nesta. Destaca-se a abundância do gênero *Globigerinelloides*, foraminífero planctônico.

A associação atinge média geral de 21 do total do querogênio e ocorre predominantemente na Formação Gramame com uma média de 80. Sua menor abundância é registrada na Formação Cabo (Tabela 4).

A abundância da Palinofácies Marinhos é inversamente proporcional às das palinofácies Terrígenos e Esporomorfos.

### **3.6 Palinofácies MOA**

A Palinofácies MOA é usada aqui para representar partículas orgânicas amorfas. Estas são frequentemente heterogêneas com um contorno nítido e distinto quando examinado na luz branca transmitida de cor amarelo claro e com inclusões de fitoclastos.

Está palinofácies, registrada em todo o testemunho, representa uma média geral de 51 do total encontrado (Tabela 4). É mais abundante na Formação Cabo com uma média de 65 das amostras. Sua menor abundância foi registrada no intervalo Estiva.

## **4 Distribuição estratigráfica das Palinofácies**

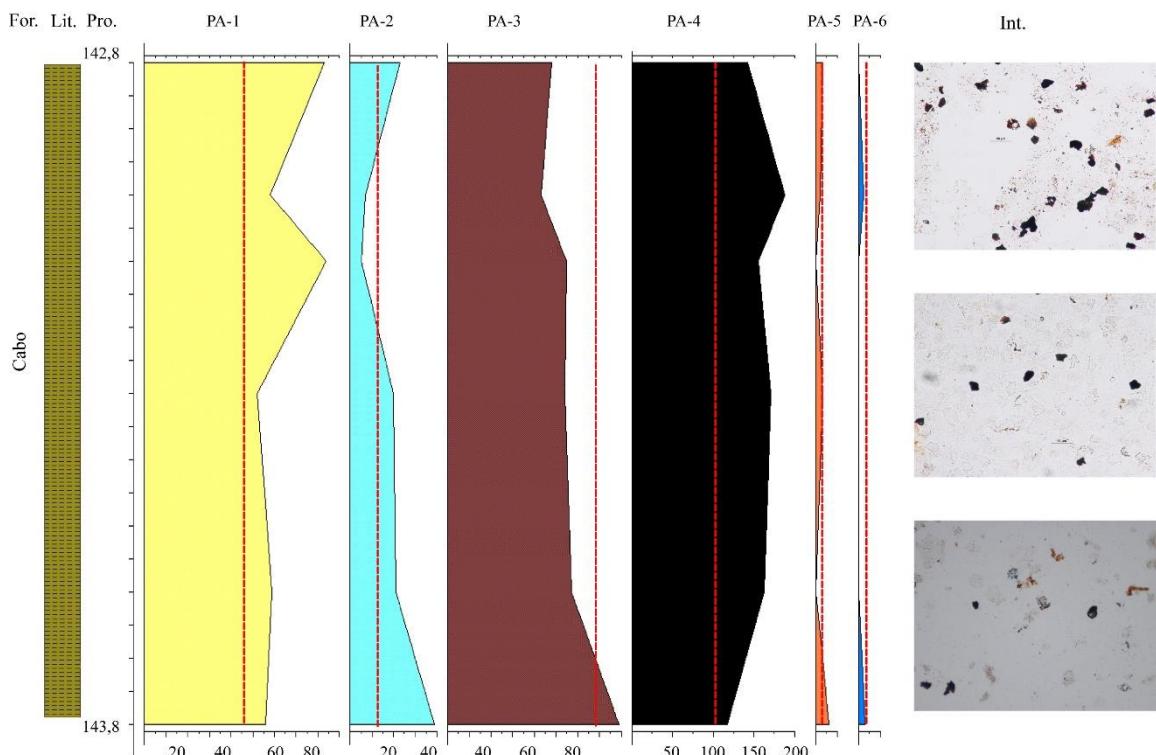
As formações definidas com base nas variações de abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies apresentam características típicas quanto à sedimentologia e à matéria orgânica palinológica. Cada formação possui uma ou mais palinofácies com

percentual de abundância elevado e, portanto, representa e determina o tipo de ambiente deposicional no qual se desenvolveram as fácies.

#### 4.1 Formação Cabo

Esta unidade é constituída de argilito maciço, de coloração marrom, com finas intercalações de siltito. Este argilito está localizado entre as profundidades 143,8m a 142,8m. Caracteriza-se, principalmente, pela abundância de fitoclastos opacos (Palinofácies Opacos) com predomínio do equidimensional, seguido de partículas sem estrutura (Palinofácies MOA). A Palinofácies Degradada mostra um incremento na base da coluna (Fig. 9). Este aumento é acompanhado pela diminuição de Palinofácies Opacos. As partículas opacas ocorrem devido a oxidação de material lenhoso translúcido, próximo de áreas fontes terrestres, ou redeposição de matéria orgânica particulada terrestre, de fontes fluvio-deltaicas (Tyson, 1989). A alta abundância de partículas opacas associadas aos elementos marinhos (abundância muito baixa) geralmente está associada à fonte fluvial-deltaica ou mesmo à exposição subárea em ambiente marinho proximal.

Figura 9 - Formação Cabo, intervalo definido pelo resultado da abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies do poço Iate 1 LABIO-PE3. Linha pontilhada = valor médio. For. Formação; Lit. Litologia. Pro. Profundidade. PA-1 Palinofácies MOA; PA-2 Palinofácies Degradada; PA-3 Palinofácies Terrígenas; PA-4 Palinofácies Opacas; PA-5 Palinofácies Esporomorfos; PA-6 Palinofácies Marinha, Int. Intervalo.

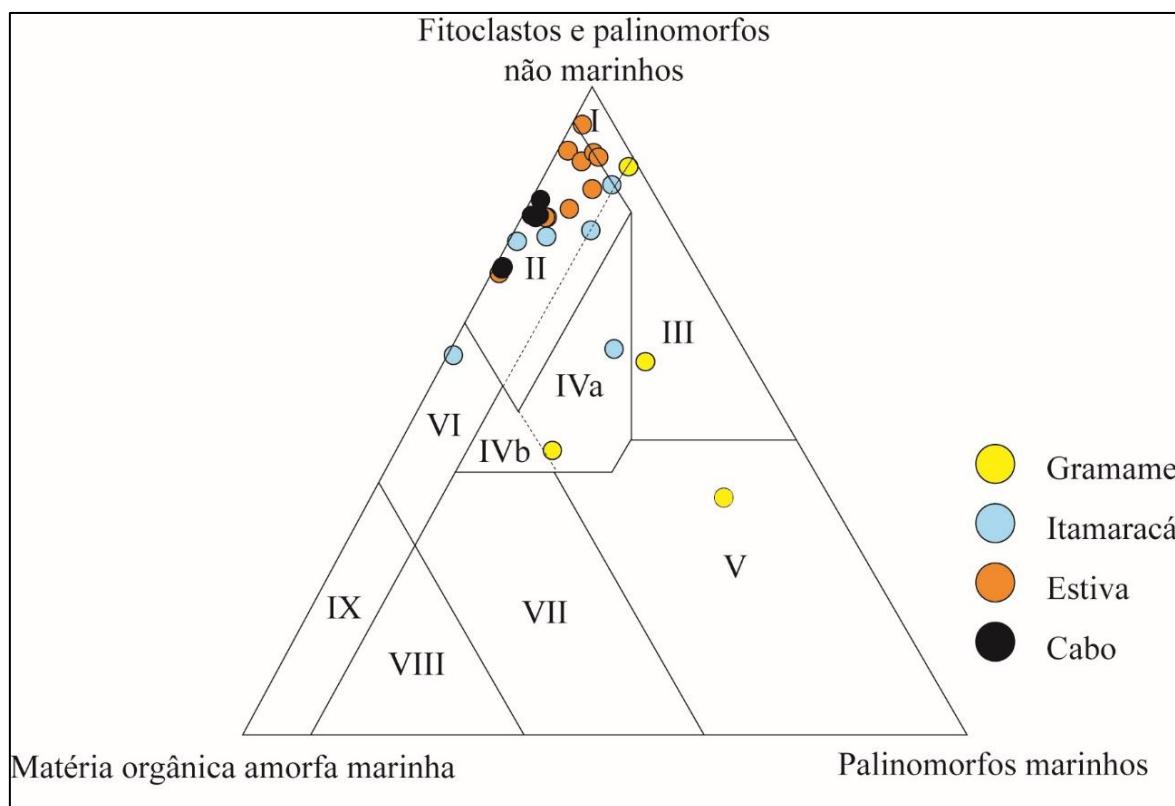


Fonte: o autor.

Neste intervalo, as partículas opacas são principalmente de forma equidimensional e ocorrem em diversos tamanhos como resultado da alteração pós-depositacionais (Tyson, 1993; 1995). Segundo Kholeif & Ibrahim (2010), a abundância de tais partículas pode sugerir proximidade de uma fonte flúvio-deltaica.

O diagrama ternário mostra que todos os pontos são plotados no campo II de palinofácies, o que representa uma condição marginal disóxica-anóxica da bacia (Tyson, 1995), com entradas de fitoclastos (Fig. 10).

Figura 10 - Diagrama ternário com a distribuição das amostras nos campos de palinofácies: I – Bacia ou plataforma altamente proximal. II – Bacia marginal disóxica–anóxica. III –Plataforma óxica heterolítica (plataforma proximal). IV – Transição plataforma–bacia. V – Plataforma óxica dominada por lama (“plataforma” distal). VI – Plataforma proximal subóxica–anóxica. VII –Plataforma” distal disóxica–anóxica. VIII – Plataforma distal disóxica–anóxica. IX – Bacia distal subóxica–anóxica / Plataforma carbonática/Marinho restrito.



Fonte: Modificado de Zobaa et al. (2015).

#### 4.2 Formação Estiva

Situada entre 84,23 a 77 metros de profundidade (Fig. 11). Este intervalo é composto por arenito fino com intercalações de níveis argilosos (folhelho). Nele, domina a

média elevada da Palinofácies Terrígenos (Resina, Fitoclastos Bioestruturados, Cutícula, Hifa de fungo), seguida da Palinofácies Esporomorfos (Pólen, Esporos e Esporos fungos).

Nas Palinofácies Terrígenos, as partículas mais abundantes são os fitoclastos bioestruturados, principalmente estriados e bandados. Sua alta porcentagem está relacionada às condições de deposição proximal. Segundo Carvalho et al. (2006), grande quantidade de fitoclastos são depositados pelos rios em estuários e ambientes deltaicos.

Nas profundidades desse intervalo foram encontrados palinomorfos como *Gnetaceaepollenites* sp., *Equisetosporites* sp., *Psilatricolporites* sp., *Brenneripollis* sp., *Tricolpites* sp., *Ephedripites* sp., *Laevigatoporites* sp. e *Deltoidospora hallii*, os quais são típicos de uma associação palinoflorística constituída, em maior parte, por espécies típicas do Albiano-Cenomaniano (Lima & Pedrão 1987; 1989). A ocorrência de esporos pode ser devido à proximidade da vegetação continental ligada à sistema leques aluviais ou flúvio-deltaico.

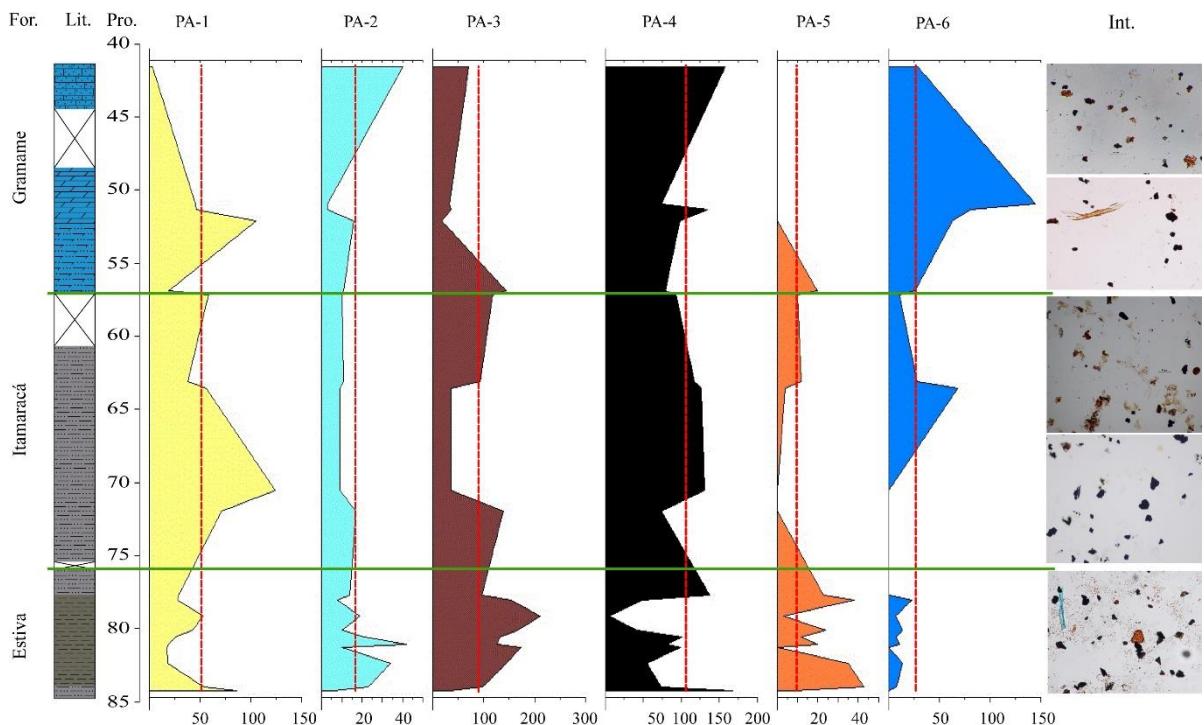
As características desse intervalo podem ser interpretadas como um ambiente flúvio-deltaico, depositado na proximidade da fonte de vegetação, sob condições dióxicas. Estas interpretações paleoambientais são sustentadas pelo diagrama ternário, que reflete um ambiente em que os pontos são plotados no campo de palinofácies I (bacia ou plataforma altamente proximal) e II (bacia marginal disóxica-anóxica) (Fig. 10 e 11).

#### **4.3 Formação Itamaracá**

Situada entre 71,94 - 56,88 metros de profundidade, é constituída por arenito silicificado, com intercalações de calcarenito e finas camadas de argilito. Neste intervalo observa-se o predomínio da Palinofácies Opacos, acompanhado da Palinofácies Terrígenos (Resina, Fitoclastos Bioestruturado, Cutícula, hifa de Fungo), seguido pela alta proporção de MOA e elementos marinhos. Além disso ocorrem partículas em menor proporção, como degradados e esporomorfos.

Palinofácies Terrígenos refere-se a todos os fragmentos estruturados de material vegetal. Este intervalo apresenta abundância de palinoforaminíferos e dinoflagelados, cujas características podem ser interpretadas como um ambiente transicional a marinho, com aporte continental, o qual foi depositado em um ambiente marinho raso baixo, em condições flúvio-deltaicas. De acordo com Tyson (1993), a predominância de microplâncton marinho pode estar relacionada com a distância de fontes flúvio-deltaicas, ou condições mais *offshore* ("longe da costa"). No entanto, a presença em abundância de partículas terrígenas sugere relativa proximidade à fonte flúvio-deltaica.

Figura 11 - Formações definidas pelos resultados da abundância e distribuição estratigráfica das palinofácies do poço Iate 1 LABIO-PE3. Linha pontilhada = valor médio. For. Formação; Lit. Litologia; Pro. Profundidade. PA-1 Palinofácies MOA; PA-2 Palinofácies Degradada; PA-3 Palinofácies Terrígenas; PA-4 Palinofácies Opacas; PA-5 Palinofácies Esporomorfos; PA-6 Palinofácies Marinha; Int. Intervalo.



Fonte: o autor.

Nesse intervalo, as interpretações paleoambientais são também refletidas no diagrama ternário (Fig.10), onde os pontos estão plotados e distribuídos ao longo dos campos I (Bacia ou plataforma altamente proximal), II (Bacia marginal dióxica – anóxica), IV (Transição plataforma – bacia) e VI (Plataforma proximal subóxica – anóxica).

A variação observada nas abundâncias das partículas e nos campos de palinofácies em que são plotadas as amostras reflete o caráter transicional deste intervalo.

#### 4.4 Formação Gramame

Situado entre 52,1–41,5 metros de profundidade (Fig. 11), este intervalo é composto por fácies calcárias formadas por calcarenito e camadas de calcário dolomítico, a qual é dominada pela elevada média de Palinofácies Marinhas e Palinofácies Opacas, sendo

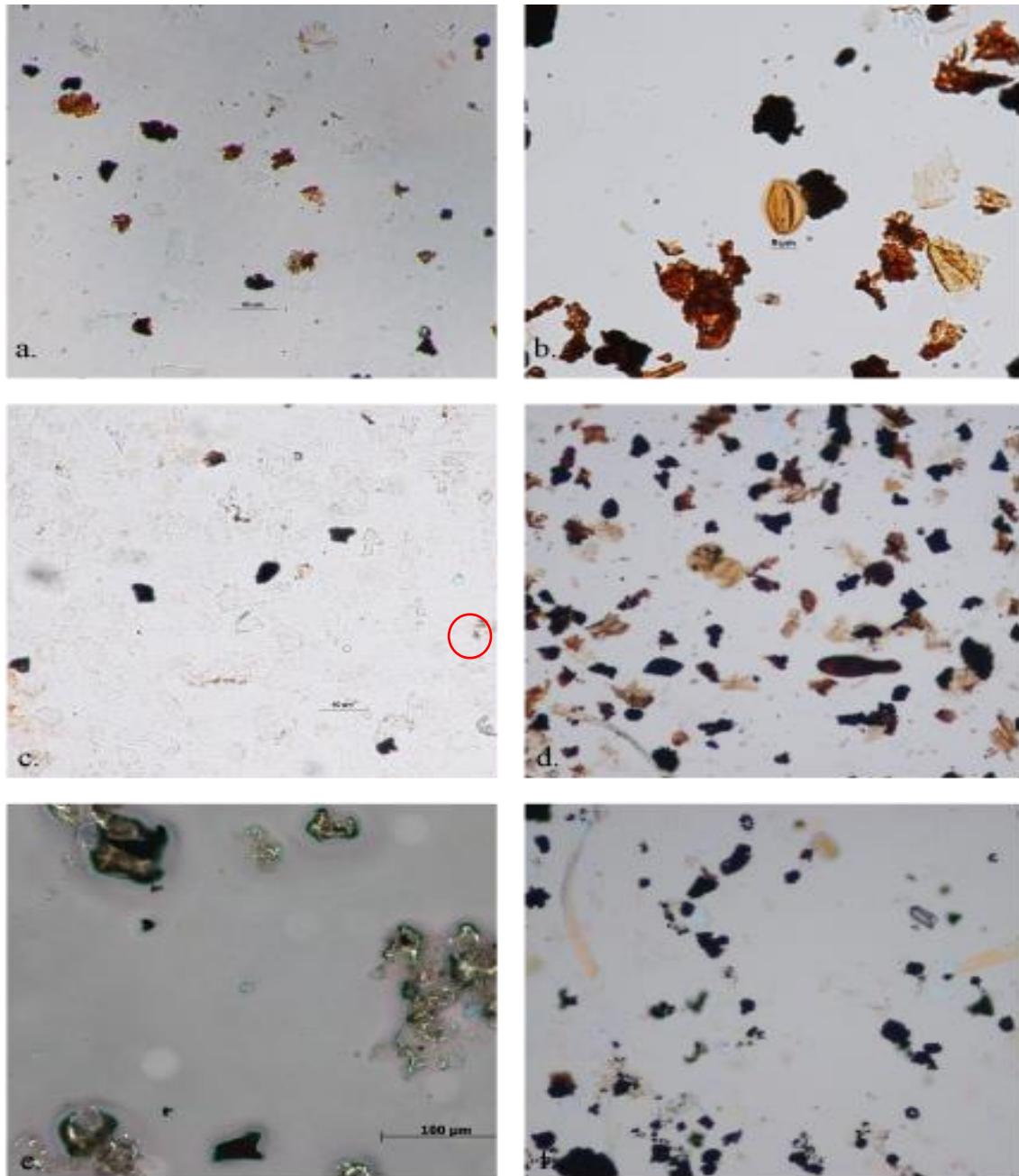
representada por fitoclastos principalmente equidimensional, seguida pela abundância de Palinofácies sem estrutura MOA.

Nesta formação, dominam os palinomorfos marinhos foraminíferos e dinoflagelados, partículas opacas e matéria orgânica amorfa, com uma redução das Palinofácies Terrígenas e Degradadas. Nenhum esporomorfo foi observado nesse intervalo. No entanto, os palinomorfos marinhos são representados em abundância. Seu pico mais alto é registrado pelo foraminífero planctônico, atribuído ao gênero *Globigerinelloides* e cistos de dinoflagelados como *Dinogymnium* que resultou da incursão de águas oceânicas do hemisfério norte, do mar Tethys (Londeix et al., 1996; Verga e Silva, 2003; Arai, 2014).

As interpretações paleoambientais revelam um ambiente deposicional de plataforma carbonática rasa para esse intervalo. Esta interpretação é sustentada pelo diagrama ternário, que mostra que os pontos foram plotados nos campos de Palinofácies III (Plataforma óxica heterolítica), IV – Transição plataforma–bacia e V (Plataforma óxica dominada por lama “plataforma distal”) (Fig. 10).

Os diferentes tipos de fácies e as Formações Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame, mostram variações quanto ao tipo de matéria orgânica e tipo de rocha, registrada alongo do testemunho (Fig. 12).

Figura 12 - Palinofácies variando quanto aos tipos de matéria orgânica particulada. Fotos 20X (a) (56,88 m) Fácies de calcarenito, contendo Fitoclastos opacos, equidimensionais, opacos e não opacos com matéria orgânica amorfã. (b) (78,06 m) Fácies constituídos principalmente arenito argilito e finas camadas de folhelhos apresentando grãos de pólen, fitoclastos opacos e não opacos de cor marrom. (c) (142,8 m) Fácies de argilito de cor marrom com fitoclastos opacos equidimensionais. (d) Fácies folhelho com fitoclastos opacos equidimensionais, fitoclastos não opacos, grãos de pólen, hifas de fungo, partes de cutículas e matéria orgânica amorfã. (e) (51,31 m) Facie de calcário dolomito com abundância de dinoflagelados (*Dinogymnium*). (f) abundância de fitoclastos opacos equidimenisonais.



Fonte: o autor.

## 5.Discussão

O testemunho analisado corresponde às formações Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame (Aptiano-Maastrichtiano), apresentando grande variação lateral de fácies causada pela dinâmica produzida em ambientes fluviais (Alburquerque, 2004), representada pela deposição de sedimentos que correspondem a ambientes transicionais e marinhos, recebendo uma sedimentação sincrônica devido aumento eustático, que foi responsável pela primeira ocorrência de dinoflagelados para ambientes marinhos do Mesozoico nas bacias marginais brasileiras (Arai, 2014).

Estes paleoambientes foram inferidos com base na análise sedimentológica e de palinofácies, as quais refletem as primeiras ingressões marinhas e instalação do Oceano Atlântico Sul, devido à separação dos continentes América do Sul e África.

A distribuição das chuvas, controlada pelo regime direcional do vento (*paleowind*) e paleotopografia, na margem norte da depressão afro-brasileira, desempenhou um papel importante em termos de distribuição biótica do Cretáceo Inferior (Garcia et al., 2005). As variações verticais na distribuição dos componentes orgânicos estão diretamente relacionadas às mudanças nas condições paleoambientais da Bacia Pernambuco, principalmente controladas por feições de riftes intracontinentais, semigrabens ou por falhas e altos do embasamento (Lima Filho, 1998; Tomé et al., 2006).

As características físicas e biológicas da matéria orgânica revelam frequentes alterações, no que se refere ao aporte sedimentar das formações Cabo e Estiva, que apresentam uma deposição marinho-transicional num sistema flúvio-deltaico.

Tais características podem-se referir a um ambiente deposicional em que sugere uma proximidade de uma área fonte flúvio-deltaica, já que foi interpretada como uma bacia marginal dióxica-anóxica, com uma área de captação sedimentar de origem flúvio-lacustre, com sedimentação composta tipicamente por sedimentos oxidados.

A Formação Cabo, com sedimentação siliciclástica, é constituída principalmente por argilitos e siltitos. Apresenta um conteúdo de matéria orgânica palinológica dominada principalmente por fitoclastos opacos, derivados principalmente da oxidação de material lenhoso translúcido, indicando proximidade da superfície terrestre ou redeposição de matéria orgânica particulada de superfícies flúvio-deltaicas (Tyson, 1989).

Esta formação é comparável com a palinofácie 1, a qual apresenta percentagens moderadas de fitoclastos e dominância de opacos (Zobaa et al., 2013), sendo essa fácie identificada como querogênio tipo III, com base na percentagem elevada de fitoclastos e dominância de opacos. Em termos geoquímicos, o querogênio do tipo III apresenta elevadas razões O/C e baixas razões H/C, possuindo potencial para geração de gás (Durand, 1980).

Para a Formação Estiva, onde domina a palinofácie terrígena, as partículas mais abundantes são os fitoclastos bioestruturados, principalmente estriados e bandados. Segundo Carvalho et al. (2006), grande quantidade de fitoclastos são depositados pelos rios em estuários e ambiente deltaico. Seu ambiente deposicional pode ser interpretado, de acordo Atta-Peters (2016), como uma deposição na proximidade da fonte flúvio-deltaica, próximo à vegetação, devido à presença dos palinomorfos continentais. Sua forte influência dos grãos de pólen e esporos indica forte influxo de terrígenos com baixas condições dióxicas.

Sobrepondo Estiva, ocorre a Formação Itamaracá (parte superior), apresentando diferenças litológicas entre esses dois, onde Itamaracá representa um ambiente transicional a marinho, com apporte continental, o qual foi depositado em um ambiente marinho raso, em baixas condições flúvio-deltaicas.

A Formação Itamaracá é caracterizada por uma tendência transgressiva a longo prazo indicada por um aumento de MOA e microplâncton marinho. Essa tendência é indicada melhor por um aumento ascendente progressivo na abundância de palinomorfos marinhos, especialmente dos dinoflagelados sobrepostos na Formação Itamaracá.

A Formação Gramame apresenta deposição de carbonatos, refletindo um ambiente marinho típico de plataformas rasas. Sobrepondo esses carbonatos, encontra-se uma sedimentação siliciclástica, indicando um aporte constante com maior velocidade e volume de sedimentos, evidenciando a transição plataforma e continente.

## **5.1 Interpretação paleoambiental**

As abundâncias relativas dos grupos da matéria orgânica particulada não só refletem a origem biológica da matéria orgânica, mas também o paleoambiente da sucessão sedimentar. Os dados de palinofácie apresentados neste estudo foram plotados no diagrama ternário

proposto por Zobaa et al. (2015) (Fig. 10) para elucidar os diferentes ambientes de deposição da matéria orgânica.

O diagrama ternário Fitoclastos e palinomorfos não marinhos-Matéria orgânica amorfa marinha-Palinomorfos marinhos (Fig. 10) mostra que as amostras do poço caem nos campos I; II; III; IVa, b V e VI, isto é, bacia ou plataforma altamente proximal, bacia marginal disóxica-anóxica, plataforma óxica heterolítica (plataforma proximal), transição plataforma-bacia, plataforma óxica dominada por lama (“plataforma” distal) e plataforma proximal subóxica-anóxica, respectivamente.

O deslocamento do topo para a base do diagrama ternário representa a transição do proximal para o distal. A transição da esquerda para a direita do diagrama reflete uma mudança de redução da oxidação (Zobaa et al. 2015) (Fig. 10).

As amostras que refletem o intervalo Cabo estão localizadas no campo II (Fig. 10) que é interpretado como sendo indicativo de bacia marginal disóxica-anóxica. Este Intervalo é dominado por fitoclastos e diferentes detritos vegetais, sugerindo uma deposição fluvio-deltaica que, de acordo com Tyson (1989), é influenciada por condições terrestres apresentando condições de oxidação, o qual foi transportado sobre um período de tempo prolongado. Carvalho et al. (2006) indica que grande quantidade de partículas de fitoclasto são depositados pelos rios em estuários e ambientes do delta, ambos perto de linhas costeiras.

O intervalo Cabo da Bacia Pernambuco (Aptiano-Albiano) apresenta duas discordâncias (Araújo, 2014), sendo caracterizado por uma fase evolutiva rifte e outra drifte de margem atlântica (Barbosa et al., 2009) relacionada à separação da África da América do Sul.

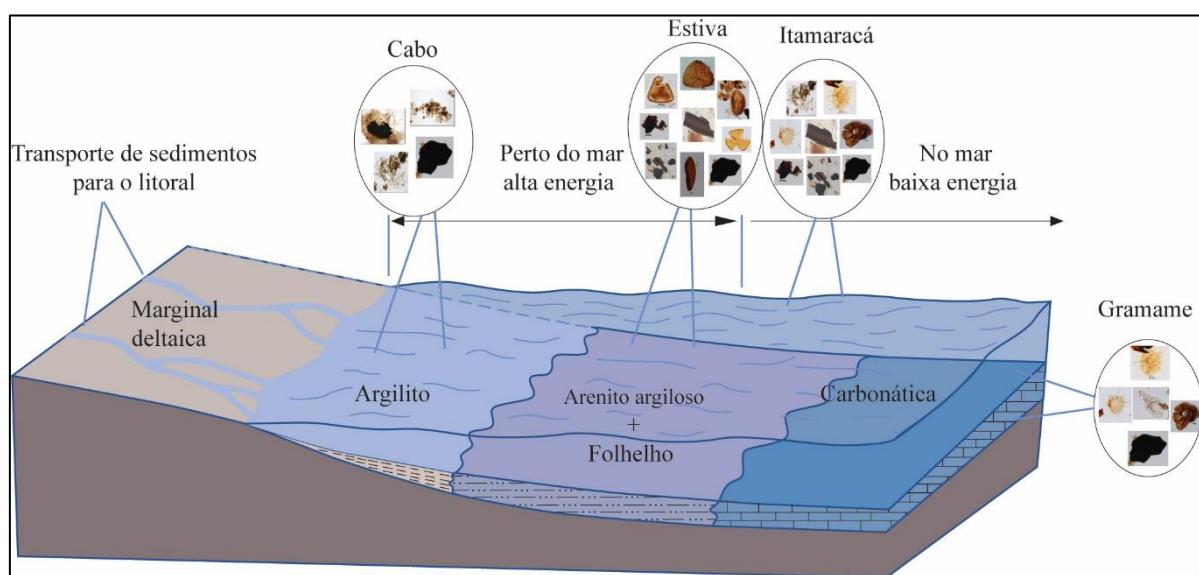
Fitoclastos e palinomorfos não marinhos no intervalo Estiva I mostram que as amostras no gráfico ternário (Fig.10) estão localizadas dentro dos campos de plataforma altamente proximal e bacia marginal disóxica-anóxica. Esta mudança corresponde a uma mudança para condições mais proximais, próximas à fonte de vegetação (Tyson, 1993), mesmo que partículas terrígenos e opacos sejam relativamente codominantes. Ainda de acordo com Tyson (1993, 1995), os terrígenos, sendo dominantes, correspondem a uma mudança ambiental para uma condição de deposição mais proximal, próxima à fonte da vegetação. A alta proporção de fitoclastos de acordo com Tyson (1995), Batten (1996) e Alaug (2011) indica deposição por rios em ambientes estuarinos e deltaicos.

Através do diagrama ternário observou-se que as amostras da Formação Itamaracá se agruparam em diferentes campos (Fig.10). Este comportamento é comparável aos dados apresentados por Carvalho et al. (2005). Dois tipos de ambientes sedimentares são indicados pelos componentes da matéria orgânica para Estiva: transicional plataforma-bacia e plataforma distal. Após a primeira grande transgressão, foram estabelecidas condições totalmente marinhas na área. Esta transgressão é colocada em cima de Estiva. O ambiente deposicional desta sequência coincide com o sugerido por Carvalho et al. (2006a) no membro Angico (GTP-17-SE) e Membro Taquari (GTP-24-SE) da Bacia Sergipe.

O diagrama ternário mostra que o ambiente era relativamente subóxico-anóxico (IV), refletindo uma transição para uma plataforma mais distal correspondendo à Formação Gramame. Esse momento se reflete num aumento da abundância de palinomorfos marinhos, destacando-se *Dynogymnium*. Conforme May (1977), isto indica flutuações rápidas e extremas de salinidade que ocorreram no paleoambiente estuarino. A abundância e concentrações de palinomorfos marinhos indicam uma fase transgressiva.

As diferentes fácies sedimentares associadas aos vários subambientes da bacia (estavam compostas por quatro associações de fácies principais: 1) marginal deltaica; 2) argilosa; 3) mista, encontrando-se arenito, argilito e finas camadas de folhelho e 4) carbonática (Fig.13).

Figura 13 - Representação esquemática do paleoambiente da Bacia Pernambuco.



Fonte: o autor.

O tipo de sedimento depositado na bacia depende do ambiente de deposição. Na Formação de Gramame, o mar é mais aberto sendo de águas rasas. Esta é composta por calcarenitos e calcário dolomítico é caracterizada por sua baixa energia, sendo essencialmente cultivada através de recifes de corais. Nesta se apresentam alta porcentagem de elementos marinhos como testas de foraminíferos e cistos dinoflagelados.

## CAPÍTULO V: CONCLUSÃO

A sucessão estudada no poço Iate 1 LABIO-PE3 produziu uma assembleia de matéria orgânica sedimentar diversa, representada principalmente por fitoclastos, estes conspicuamente dominados por partículas opacas na base da secção indicando uma exposição subaérea ou, pelo menos, condições extremamente superficiais. Além disso foram registrados palinomorfos marinhos mostrando abundâncias elevadas na parte superior do poço.

Com base na distribuição das palinofácies, um influxo terrestre contínuo é indicado durante toda a sucessão com alta abundância de fitoclastos. A palinofácie marinha, especialmente na parte superior das formações Estiva e Gramame, mostra moderada a alta abundância indicando uma transgressão.

A integração de palinofácies e análise sedimentológicas permitiu a delinearção dos paleoambientes ao longo do intervalo analisado, iniciando num ambiente flúvio-deltaico (Formação Cabo), seguido por uma transição de plataforma altamente proximal, próxima à fonte da vegetação, para uma plataforma distal (Formação Estiva I, II), finalizando em um ambiente marinho aberto raso (Formação Gramame).

As características desta fácie e seu conteúdo de matéria orgânica sedimentar sugerem um paleoambiente do tipo fluvial-deltaico, com influência marinha.

A abundância de palinomorfos marinhos é mais elevada na Formação Gramame. Palinomorfos continentais encontram-se na Formação Estiva, a qual foi classificada em dois intervalos e seu maior pico foi no intervalo I, sendo caracterizado por uma predominância dos palinomorfos terrestres sobre o marinho.

O tipo de querogênio caracterizado nesta pesquisa é de tipo III, gerado perto das áreas de drenagem continental (plantas terrestres) e com potencial de produção principalmente de gás natural.

## Referências

- Alaug, A.S. 2011. Hydrocarbon potential of the Upper Cretaceous succession at well 16/U-1, offshore Qamar Basin, Eastern Yemen. *Journal of Petroleum Geology* 34 (1), 87 –108.
- Albertão, G.B., Regali, S.P., Koutsoukos, A.M., Martins, Jr., Paulo. 1994. O registro micropaleontológico, com base em foraminíferos e palinomorfos, no limite cretáceo-terciário (K-T), bacia de Pernambuco / Paraíba (PER / PB), nordeste do Brasil – Inferencias paleoambientais. 39 (1) :131-145.
- Albuquerque, F. M. 2004. Formação Cabo, Afloramento da praia de Guadalupe: Caracterização de um potencial reservatório para hidrocarboneto. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 98f.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R. A. 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Rev.* 17: 1–29.
- Almeida, C.B., Cruz, L.B., Jardim De Sá, E.F., Vasconcelos, P.M., Medeiros, W.E. 2005. Tectônica e relações estratigráficas na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: contribuição ao conhecimento do Rift Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, (13)2: 167-180.
- Alves, E.C., Costa, M.P. 1986. Interpretação sismo-estratigráfica da porção norte do platô de Pernambuco e suas possíveis correlações com a Bacia de Pernambuco-Paraíba. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Goiânia, Atas, v. 1, 286-297.
- Arai, M. 2014. Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. *Brazilian Journal of Geology*. vol: 44 (2) pp: 339-350.
- Arai, M., Neto, J.B., Lana, C.C., Pedrão, E. 2000. Cretaceous dinoflagellate provincialism in Brazilian marginal basins. *Cretaceous Research* (2000) 21, 351–366.
- Araújo, I.G. 2014. Evolução Estratigráfica da Bacia de Pernambuco, Baseado em Análise Geoquímica do Furo Iate (1-LABIO-PE3). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 74f.

- Atta-Peters, D., Achaegakwo, C. 2016. Palynofacies and palaeoenvironmental significance of the Albian e Cenomanian succession of the Epunsa-1 well, onshore Tano Basin, western Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 14 (2016) 1-12
- Barbosa, J.A., Souza, E.M., Lima Filho, M.F., Neumann, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, Recife, 13: 89-108.
- Barbosa, J.A. 2004. Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 230f.
- Barbosa, J.A., Lima Filho, M.F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. *Bol. Geociências Petrobras* 14 (2), 287-306.
- Barbosa, J.A., Neumann, V.H., Lima Filho, M.F., Souza, E.M., Moraes, M.A. 2007. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia Paraíba e plataforma de Natal), NE Brasil. *Estudos Geológicos*. V.17(2):2-30
- Barbosa, J.A., Pereira, F.P.J., Lima Filho, M. 2008. Dente de um picnodontiforme (Actinopterygii, Neopterygii) da Formação Estiva, Cenomaniano-Turoniano da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil. *Journal of Geoscience*. 4(2):43-48
- Barbosa, J.A., Lima Filho, M., Neto, J.C., Neumann, V.H., Ribeiro, F. S., Batista. A.P. 2009. Depósitos Albianos da faixa costeira da Bacia de Pernambuco: Proposição de uma nova unidade estratigráfica, a formação Suape.
- Batten, D.J., 1996. Palynofacies and paleoenvironmental interpretation. In: Jansonius J, McGregor DC (eds.), *Palynology: Principles and applications*; American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation 3, 1011-1064.
- Batten, D.J., Stead, D.T. 2005. Palynofacies analysis and its stratigraphic application, In: Koutsoukos, E. A. M. (Ed.), *Applied Stratigraphy*, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 203-226.
- Beurlen, K. 1961. O Turoniano marinho do Nordeste do Brasil. *Bol. Soc. Bras. Geol.* 10(2): 39-52.
- Beurlen, K. 1967. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim Geológico São Pablo*. 16(1): 73-79.

- Buarque, B.V., Barbosa, J.A., Magalhães, J.R., Cruz Oliveira, O., Correia Filho, O.J. 2016. Post-rift volcanic structures of the Pernambuco Plateau, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 70 (2016) 251-267.
- Carvalho, M.A. 2001. Paleoenvironmental reconstruction based on palynological and palynofacies analyses of the Aptian-Albian succession in the Sergipe Basin, northeastern Brazil. Doctoral thesis, 150f.
- Carvalho, M.A., Oliveira, D.C., Machado, L.G., Mendonça Filho, J.G. 2005. Sedimentação Albo-Aptiana de partículas vegetais (Fitoclastos) em rochas do Membro Taquari, Formação Riachuelo, Bacia de Sergipe, Brasil. Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, v.63, n.3, p. 411-424
- Carvalho, M.A., Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R. 2006a. Paleoenvironmental reconstruction based on palynofacies analysis of the Aptian–Albian succession of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. *Marine Micropaleontology* 59 (2006) 56–81.
- Carvalho, M.A., Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R. 2006b. Palynofacies and sequence stratigraphy of the Aptian–Albian of the Sergipe Basin, Brazil. *Sedimentary Geology* 192 (2006) 57–74.
- Carvalho, M.A., Ramos, R.C., Crud, M.B., Witovisk, L., Kellner, A.W., Silva, H.P., Grillo, O.N., Riff, D., Romano, P.S. 2013. Palynofacies as indicators of paleoenvironmental changes in a Cretaceous succession from the Larsen Basin, James Ross Island, Antarctica. *Sedimentary Geology* 295 (2013) 53–66.
- Coelho, A.C., Antonioli, L., Dino, R., Portela, H.A. 2014. Avaliação do potencial gerador de petróleo da seção Aptiana-Albiana da Bacia de Sergipe, integrando análises palinofaciológicas e dados de geoquímica orgânica. *Brazilian Journal of Geology*, 44(4): 579-595.
- Combaz. A., 1964. Les Palynofacies. *Revue de Micropaleontologie*, 7:205-218.
- Córdoba, V.C., Jardim De Sá, E.F., Sousa, D.C. 2007. Boletim de geociências da Petrobras, cartas estratigráficas. Bacia de Pernambuco-Paraíba.
- Cruz, L.R., Lima Filho, M.F., Neumann, V.H.M., Jardim De Sá, E.F., Silva, F.C.A., Frutuoso Jr., L.J., Nascimento, M.A., Guedes, I.M., Antunes, A.F., Almeida, C.B., Melo, K.J. 2003. As unidades siliciclásticas da sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica. In: II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Rio de Janeiro. p. 50-50

- Dino, R. 1992. Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia da Formação Alagamar Cretáceo da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado 300f.
- Durand, B. 1980. Sedimentary organic matter and kerogen. Definition and quantitative importance of kerogen. In: Durand, B. (ed) Kerogen: Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks, Editions technip, Paris.
- Evitt, N.R 1963. A discussion and proposals concerning fóssil dinoflagellates, hystricospheres and acritarchs I, II. Proceeding United States of Natural Academic Sciences, 49:158-164
- Ferreira, J.A. 2009. Variação organofaciológica da sequência Cenomaniana-Turoniana da Bacia de Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 230f.
- Furrier, M., Vital, S.R.O. 2011. A Formação de Dolinas em Áreas Urbanas: O, Caso do Bairro de Cruz das Armas em João Pessoa-PB. Revista Brasileira de Geografia Física, América do Norte, 01:161-173.
- Garcia, A.J.V., Rosa, A.S., Goldberg, K. 2005. Paleoenvironmental and paleoclimatic control on early diagenetic processes and fossil record in Cretaceous continental sandstones of Brazil. Journal of South American Earth Sciences 19 (2005) 243–258.
- Kegel, W. 1955. Geologia do fosfato de Pernambuco. B. Div. Geol. Mineral. Rio de Janeiro, 157,54p.
- Kholeif, S.H., Ibrahim, M.I. 2010. Palynofacies Analysis of Inner Continental Shelf and Middle Slope Sediments offshore Egypt, South-eastern Mediterranean. Geobios 43 (2010) 333–347.
- Leal E Sá, L.T. 1998. Levantamento geológico-geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no trecho compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB. 1998. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado,127f.
- Lima Filho, M.F. 1998. Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco. Instituto de Geociências – USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 139f.
- Lima Filho, M.F. 1998. The main tectonic-magmatic events in Pernambuco Basin (NE Brazil). In: 3rd Annual Conference of IGCP Project 381 (South Atlantic Mesozoic Correlations), Abstracts, Comodoro Rivadavia-Ushuaia: 18.

- Lima Filho, M.F., Silva, S. Pablo Roberto. 2001. Biocronoestratigrafia da Bacia Pernambuco – Implicações Ambientais e Paleogeográficas Rev. bras. Paleontol. (2) Ju/Dez 2001
- Lima Filho, M.F., Barbosa, J.A., Neumann, V.H., Souza, E.M. 2005. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos - SNET, 5, Curitiba. Boletim de Resumos Expandidos, 45-47.
- Lima Filho, M.F., Barbosa, J.A., Souza, E.M. 2006. Eventos tectônicos e sedimentares nas bacias de Pernambuco e de Paraíba: Implicações no quebramento do Gondwana e correlação com a Bacia do rio Muni. Bol. Geociências, v. 25, 117-126.
- Lima, M.R., Pedrão, E. 1987. Analise palinológica de sedimentos da bacia Cabo, Cretáceo do Estado de Pernambuco. In: Cong. Bras. Paleont. X. Resumos. Soc. Bras. Paleont., Rio de Janeiro.
- Lima, M.R., Pedrão, E. 1989. Análise palinológica de sedimentos da Bacia Cabo, Cretáceo do Estado de Pernambuco, Brasil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 61(1): 73-84.
- Londeix, L., Pourtoy, D., Fenton, J. 1996. The presence of *Dinogymnium* (Dinophyceae) in Lower Cretaceous sediments from the northwest Tethys (southeast France and western Switzerland) and Gulf of Mexico areas: stratigraphic and systematic consequences. Review of Palaeobotany and Palynology 1996 vol: 92 (367)
- May, F.E. 1977. Functional Morphology, Paleoecology, and Systematics of *Dinogymnium* Tests. American Association of Stratigraphic Palynologists. Palynology, Vol. 1 Proceedings of the Eighth Annual Meeting, (1977), pp. 103-121.
- Mendonça Filho, J.G. 1999. Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozoico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 338f.
- Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O. 2011. Organic Composition (Palynofacies Analysis) (Chapter 5). In: ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter, pp. 33-81.
- Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., De Oliveira, A.D., Silva, T.F., Rondon, N.F., Silva, F.S. 2012. Organic Facies: Palynofacies and Organic Geochemistry Approaches, Geochemistry - Earth's System Processes, e ed. Patras: In Tech, p. 211-245

- Menezes, T.R., Mendonça Filho, J.G., Araujo, C.V., De Souza, I.V., Mendonça, J. 2008. Fácies orgânica: conceitos, métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. Rev. bras. geociênc. 2008, vol.38, n.2,
- Meyer, K., Mendonça Filho, J.G., Ashraf A.R., Souza P.A., Reichhart, K. 2005. Análise de palinofácies em sedimentos holocénicos da Lagoa dos Quadros, Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia 8(1): 57-72.
- Muniz, G.C. 1993. Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Departamento de Geologia – UFPE. Publicação Especial N° 1, 202 p.
- Nascimento, M.A.L., Souza, Z.S., Lima Filho, M.F., Sá, E.F.J., Cruz, L.R., Júnior, L. J.F., Almeida, C.B., Antunes, A.F., Silva, F.C.A., Guedes, I.M. G. 2004. Relações estratigráficas da província magmática do Cabo, bacia de Pernambuco, nordeste do Brasil. Estudos Geológicos v.14:3-19
- Nóbrega, V.A., Alheiros, M.M. 1991. Petrografia do arenito Beberibe, Bacia Pernambuco-Paraíba. 14º Simpósio de Geologia do Nordeste, 14 Recife. Atas. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 12) p. 75-77p.
- Nóbrega, V.A., Lima Filho, M.F. 2003. Estudo diagenético da sucessão de rochas siliciclásticas do poço 2CP-1PE: uma contribuição aos reservatórios da formação cabo. Estudos Geológicos V. 13
- Nobrega, V.A. 1995. Características petrologias e evolução digenética da formação Cabo no Graben do Cupe-Bacia do Cabo-PE, Nordeste do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 160f.
- Oliveira, M.M.F. 1978. Estudo Faciológico da Formação Maria Farinha. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 113f.
- Peron-Pinvidic, G., Manatschal, G., Osmundsen, P.T. 2013. Structural comparison of archetypal Atlantic rifted margins: a review of observations and concepts. Mar. Pet. Geol. 43, 21-47.
- Ponte, F.C. 1992. Origem e evolução das pequenas bacias cretácicas do interior do nordeste do Brasil. 2do. Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras UNESP-Campus de Rio Claro/SP.

- Rand, H.M., Mabesoone, J.M. 1982. Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 38 (1982), 163-183.
- Sá, E.F., Silva, F.C., Lima Filho, M.F., Antunes, A.F., Cruz, L.R., Almeida, C.B. 2002. As relações de borda da sequência rifte na Sub-Bacia de Pernambuco, NE do Brasil. In: II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2, 2002, Rio de Janeiro. Anais.... Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo (ANP), 2002, CD-ROM.
- Salamuni, R., Bigarella, J.J. 1967. The Pre-Gondwana Basement. Problems in Brazilian Gondwana Geology 1967
- Santos, A.S., Helenes, J., Carvalho, M.A. 2013. Palynofacies evidence of dysoxia and upwelling in the Turonian of the Sergipe Basin, Brazil. *Cretaceous Research* 46 (2013) 151-165.
- Souza, E.M. 2006. Estratigrafia da sequência clástica inferior (Andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Tese de Doutorado, 350f.
- Souza-Lima, W. Albertão, G.A., Lima, F.O. 2003. Bacias sedimentares brasileiras. Bacia de Pernambuco-Paraíba. Phoenix ISSN 1517-7351.
- Schrank, E., Nesterova, E.V. 1993. Palynofloristic changes and Cretaceous climates in northern Gondwana (NE Africa) and southern Laurasia. In: Thorweih, Schandelmeier (Eds.), *Geoscientific Research in Northeast Africa*, pp. 381-390.
- Spigolon, A.L. 2003. Palinofácies e faciologia orgânica da formação alagamar (Aptiano da Bacia Potiguar, Brasil): Paleoambiente e maturação térmica. Universidade de Brasília, Dissertação de mestrado, 104f.
- Tomé, M.E., Lima Filho, M.F., Neumann, V.H. 2006. Análise estratigráfica do Albiano-Turoniano da bacia de Pernambuco: considerações sobre a paleogeografia e geração de hidrocarbonetos. *Rev. Geoc.*, 25(1):49-58
- Traverse, A. 2007. Provides complete coverage of all aspects of the study of all of the kinds of fossil palynomorphs as yet studied. *Paleopalynology*. Second Edition, 480p.
- Tschudy, R.H. 1969. Relationship of palynomorphs to sedimentation. In: Tschudy, R.H. & Scott, R.A. (eds) *Aspects of palinology*, wiley, New York, 79-96.

- Tyson, R.V. 1989. Late Jurassic palynofacies trends, piper and Kimmeridge Oay formations, UK onshore and offshore. In: Batter, D.J., Keen, M.C. (Eds.), North-west European Micropalaeontology and Palynology, British Micro-palaeontological Society Series. Ellis Horwood, Chichester, pp. 135-172.
- Tyson, R.V. 1993. Palynofacies analysis. In: Jenkins, D.J. (Ed.), Applied Micro-palaeontology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 153-191.
- Tyson, R.V. 1995. Sedimentary Organicmatter: Organic Fácies and Palynofacies. Chapman & Hall, Londres, Chap & Hall, 615p.
- Van Schmus, W.R., Oliveira, E.P., Da Silva Filho, A.F., Toteu, S.F., Penaye, J., Guimara, I.P. 2015. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. Geological Society Special Publication, 294:69-99.
- Verga, D., Silva, I.P. 2003. Early Cretaceous planktonic foraminifera from the Tethys: The large, many-chambered representatives of the genus *Globigerinelloides*. Cretaceous Research 24 (2003) 661-690.
- Zobaa, M.K., Beialy, S.Y., El-Sheikh, H.A., El Beshtawy, M.K. 2013. Jurassic–Cretaceous palynomorphs, palynofacies, and petroleum potential of the Sharib-1X and Ghoroud-1X wells, north Western Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences 78 (2013) 51–65.
- Zobaa, M.K., El Beialy, S.Y., Taha, A.A., Oboh-Ikuenobe, F.E. 2015. Improved Graphical Representation of Sedimentary Organic Matter as Paleoenvironmental Parameters

## APÊNDICE

Tabela 5 – Resultados das partículas total da Matéria Orgânica Sedimentar.

| Prof. | Pseudoamorfa | MOA | Resina | Op-Al | Op-Eq | Nop-Bio | Nop-Nbio | Nop-Nbio degr | Cutícula | Cutícula degradada | Hifas de Fungo | Esporo | Esporos Fungos | Grão Pólen | Prasinófita | Dinoflagelados | Foraminífero | Total | For.      |
|-------|--------------|-----|--------|-------|-------|---------|----------|---------------|----------|--------------------|----------------|--------|----------------|------------|-------------|----------------|--------------|-------|-----------|
| 41,55 | 7            | 86  | 6      | 4     | 152   | 7       | 8        | 4             | 2        | 2                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 22             | 0            | 300   | Gramame   |
| 50,93 | 0            | 45  | 6      | 0     | 74    | 0       | 26       | 3             | 1        | 0                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 11             | 134          | 300   |           |
| 51,31 | 1            | 46  | 3      | 4     | 131   | 9       | 23       | 0             | 0        | 2                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 13             | 68           | 300   |           |
| 52,1  | 7            | 105 | 0      | 0     | 98    | 1       | 13       | 0             | 4        | 9                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 0              | 63           | 300   |           |
| 56,88 | 3            | 19  | 7      | 0     | 79    | 10      | 128      | 0             | 0        | 8                  | 0              | 8      | 0              | 12         | 0           | 10             | 16           | 300   |           |
| 57,18 | 2            | 58  | 8      | 0     | 93    | 28      | 76       | 0             | 6        | 8                  | 0              | 2      | 0              | 8          | 0           | 3              | 8            | 300   |           |
| 63,09 | 1            | 38  | 6      | 2     | 116   | 16      | 69       | 9             | 2        | 1                  | 0              | 4      | 0              | 8          | 0           | 2              | 26           | 300   |           |
| 63,52 | 4            | 56  | 2      | 2     | 125   | 6       | 24       | 2             | 4        | 3                  | 0              | 0      | 0              | 4          | 3           | 14             | 51           | 300   |           |
| 70,5  | 1            | 124 | 0      | 1     | 130   | 2       | 32       | 0             | 2        | 8                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 300   | Itamaracá |
| 71,94 | 11           | 71  | 3      | 2     | 72    | 11      | 122      | 0             | 2        | 6                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 0     |           |
| 77,7  | 3            | 29  | 12     | 0     | 138   | 30      | 52       | 1             | 2        | 10                 | 0              | 6      | 0              | 17         | 0           | 0              | 0            | 300   |           |
| 78,06 | 1            | 28  | 3      | 2     | 47    | 50      | 99       | 2             | 2        | 5                  | 0              | 12     | 0              | 26         | 4           | 9              | 10           | 300   |           |
| 79,13 | 0            | 53  | 0      | 1     | 5     | 34      | 165      | 6             | 11       | 13                 | 2              | 0      | 0              | 3          | 0           | 5              | 2            | 300   |           |
| 80,12 | 1            | 42  | 3      | 0     | 42    | 47      | 117      | 0             | 1        | 9                  | 0              | 7      | 0              | 17         | 0           | 10             | 4            | 300   |           |
| 80,58 | 3            | 26  | 0      | 3     | 98    | 22      | 106      | 16            | 4        | 2                  | 0              | 3      | 0              | 9          | 0           | 6              | 2            | 300   |           |
| 81,09 | 2            | 19  | 1      | 2     | 79    | 37      | 83       | 28            | 6        | 12                 | 0              | 3      | 0              | 17         | 0           | 4              | 7            | 300   |           |
| 81,26 | 5            | 17  | 6      | 3     | 96    | 20      | 147      | 1             | 1        | 4                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 300   | Estiva    |
| 82,37 | 2            | 18  | 4      | 0     | 55    | 56      | 72       | 9             | 12       | 23                 | 0              | 9      | 0              | 26         | 0           | 6              | 8            | 300   |           |
| 84    | 0            | 54  | 3      | 8     | 66    | 37      | 49       | 4             | 9        | 19                 | 0              | 11     | 3              | 29         | 2           | 3              | 3            | 300   |           |
| 84,23 | 2            | 86  | 6      | 0     | 168   | 12      | 14       | 2             | 0        | 2                  | 0              | 6      | 0              | 2          | 0           | 0              | 0            | 300   |           |
| 142,8 | 6            | 83  | 3      | 0     | 143   | 5       | 38       | 11            | 2        | 6                  | 0              | 3      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 300   |           |
| 143   | 3            | 58  | 3      | 1     | 187   | 30      | 9        | 1             | 1        | 3                  | 0              | 2      | 0              | 0          | 0           | 0              | 2            | 300   |           |
| 143,1 | 0            | 84  | 5      | 0     | 156   | 1       | 49       | 3             | 0        | 2                  | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 300   |           |
| 143,3 | 5            | 52  | 8      | 3     | 168   | 4       | 42       | 9             | 0        | 6                  | 0              | 3      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 300   |           |
| 143,6 | 3            | 59  | 5      | 0     | 163   | 24      | 23       | 7             | 5        | 11                 | 0              | 0      | 0              | 0          | 0           | 0              | 0            | 300   | Cabo      |
| 143,8 | 8            | 56  | 7      | 0     | 117   | 14      | 56       | 19            | 2        | 12                 | 0              | 6      | 0              | 0          | 0           | 0              | 3            | 300   |           |