



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**CARACTERIZAÇÃO PALEOCLIMÁTICA E PALEOAMBIENTAL  
DO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA EM PERNAMBUCO: UM  
SUBSÍDIO PARA A RECONSTITUIÇÃO DO SUBMÉDIO SÃO  
FRANCISCO**



**Cláudio José Cabral**

**Recife, 2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Cláudio José Cabral**

**CARACTERIZAÇÃO PALEOCLIMÁTICA E PALEOAMBIENTAL  
DO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA EM PERNAMBUCO: UM  
SUBSÍDIO PARA A RECONSTITUIÇÃO DO SUBMÉDIO SÃO  
FRANCISCO**

**Orientador: Osvaldo Girão da Silva**

Dissertação apresentada por Cláudio José Cabral ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção do título de mestre.

**Recife, 2014**

---

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Tony Bernardino de Macedo, CRB4-1567

C177c Cabral, Cláudio José.  
Caracterização paleoclimática e paleoambiental do campo de dunas de Petrolina em Pernambuco: um subsídio para a reconstituição do submédio São Francisco / Cláudio José Cabral. – Recife: O autor, 2014. 152 f. : il. ; 30cm.

Orientadora: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-graduação em Geografia, 2014.  
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Semiárido nordestino. 3. Campo de dunas. 4. Depósitos eólicos. I. Silva, Osvaldo Girão (Orientador). II. Título.

910 CDD (22.ed.)

UFPE (BCFCH2014-134)

---

**CLÁUDIO JOSÉ CABRAL**

**CARACTERIZAÇÃO PALEOCLIMÁTICA E PALEOAMBIENTAL  
DO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA EM PERNAMBUCO: UM  
SUBSÍDIO PARA A RECONSTITUIÇÃO DO SUBMÉDIO SÃO  
FRANSCISCO**

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora:

**ORIENTADOR:** \_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva – UFPE**

**1º EXAMINADOR:** \_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa - UFPE**

**2º EXAMINADOR:** \_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Demétrio da Silva Mützenberg - UFPE**

**Recife – PE  
31/07/2014**

---

*Dedico à minha família e aos meus amigos que estiveram sempre ao meu lado, me apoiando nos momentos difíceis pelos quais passei ao longo da vida.*

---

---

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro de tudo quero agradecer a Deus por me dar força nos momentos difíceis, por me dá o dom da sabedoria para saber esperar e me abençoar para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

Ao Prof. Antônio Carlos por me receber no Gequa e permitir que eu fizesse parte do laboratório, e por ter me ensinado de forma tão sábia aquilo que envolve a Geomorfologia e a Geografia Física em geral.

Ao professor Osvaldo Girão da Silva, meu orientador e mestre que me esclareceu muitas dúvidas sobre minha pesquisa, tendo dado grande contribuição para a minha formação profissional e pessoal.

À minha família, nas pessoas da minha mãe Josefa, meu pai Nelson e minha irmã Carla, por todo apoio concedido ao longo da minha vida, e minha noiva e companheira Mylena Silva por estar sempre ao meu lado, me confortando e tendo se tornado um porto seguro para mim.

Agradecer a meu inestimável amigo Daniel Lira, por ter me auxiliado, me ensinado e ter dado importante orientação para que eu pudesse concluir minha pesquisa. Sempre foi uma pessoa que me deu a mão e nunca me virou as costas. Sou grato por toda ajuda que você me deu. Respeito muito você, enquanto pessoa e profissional.

Aos meus amigos Wemerson, Flávia, Leandro, Edmário, Drielly, Jonas, Bruno, Kleython, Ana Clara, Linaldo, Antônio e Adriana pela colaboração e contribuição dada ao longo do meu curso de mestrado, pelos trabalhos de campo, por compartilhar dos ensinamentos da Geomorfologia e pelas considerações sobre o trabalho.

Aos demais amigos e colegas do Gequa pelo apoio nos dois anos de trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE por todo auxílio no decorrer do trabalho.

---

Ao CNPq que financiou parte deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direto e indiretamente para que eu tenha conseguido completar mais uma etapa da vida profissional e pessoal.

---

“Há um tal prazer nos bosques inexplorados/  
Há uma tal beleza na solitária praia/  
Há uma sociedade que ninguém invade/  
Perto do mar profundo e da música do seu bramir/  
Não que ame menos o homem/  
Mas amo mais a Natureza”.

*Lord Byron*

---

---

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> Localização geográfica da bacia de Pequenos Rios Interiores, onde está inserida a área de estudo. ....	22
<b>Figura 2:</b> Delimitação da área onde está localizado o Campo de Dunas e os Lençóis de Areia. ....	23
<b>Figura 3:</b> Divisão da Província Borborema em domínios estruturais. ....	25
<b>Figura 4:</b> Os limites do Cráton São Francisco. ....	27
<b>Figura 5:</b> Mapa geológico da porção sudoeste do município de Petrolina (Qha e TQd correspondem aos sedimentos eólicos estudados nesta pesquisa). ....	29
<b>Figura 6:</b> Inselberg isolado se destacando na paisagem pediplanizada da Depressão Sertaneja, Itaberaba (BA). ....	31
<b>Figura 7:</b> Temperaturas médias do município de Petrolina. ....	33
<b>Figura 8:</b> Médias mensais de evaporação e evapotranspiração do município de Petrolina. ....	34
<b>Figura 9:</b> Climograma de Petrolina. Fonte: UFCG, 2013. ....	34
<b>Figura 10:</b> Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na ....	35
<b>Figura 11:</b> Classes de solos do município de Petrolina. ....	37
<b>Figura 12:</b> Ambiente de Dunas Continentais. Solo dominante: Areia Quartzosa. ....	38
<b>Figura 13:</b> Rio São Francisco e ao fundo o Campo de Dunas de Petrolina. ....	41
<b>Figura 14:</b> Mapa de Localização das Pequenas Bacias Interiores – GI8. ....	43
<b>Figura 15:</b> Mapa de uso e ocupação do solo na Bacia GI-8. ....	45
<b>Figura 16:</b> Localização do Polo Petrolina-Juazeiro. ....	48
<b>Figura 17:</b> Fazenda produtora de uva, no perímetro do Campo de Dunas de Petrolina. ....	49
<b>Figura 18:</b> Classificação ecodinâmica do Campo de Dunas de Petrolina, representada por meio de um fluxograma com os principais processos atuantes no modelado da paisagem. ....	52
<b>Figura 19:</b> Meios ecodinâmicos encontrados no campo e dunas de Petrolina: 19a e 19b – meios ecodinâmicos estáveis; 19c e 19d – meios ecodinâmicos Intergrade; 19e e 19f – meios ecodinâmicos fortemente instáveis. ....	53
<b>Figura 20:</b> Uma depressão rasa de deflação no Vale São Luís, Colorado (EUA). O vento escavou a superfície e erodiu-a para um nível inferior em relação ao terreno adjacente. ....	57
<b>Figura 21:</b> Oásis no Deserto do Atacama, Cordilheira do Andes. ....	57

---

<b>Figura 22:</b> Pavimento desértico ou reg na Mauritània (África).....	58
<b>Figura 23:</b> Feiçõ produzida pelo trabalho erosivo do vento ao transportar partículas em suspensão, na Tunísia (África).....	59
<b>Figura 24:</b> <i>Blowouts</i> e morfologias associadas: a) <i>blowout</i> tipo pires; b) <i>blowout</i> tipo calha.....	60
<b>Figura 25:</b> Estrutura de dissipaçõ - <i>Blowout</i> formando uma bacia de decantaçõ, em Petrolina.....	60
<b>Figura 26:</b> Diâmetro máxmo de partículas movimentadas pelo vento, para partículas de quartzo (Peso específico = 2,65 g/cm <sup>3</sup> ).....	62
<b>Figura 27:</b> Classificaçõ granulométrica de Udden-Wentworth, os valores estõ expressos em mm, com terminologia de Wentworth.....	63
<b>Figura 28:</b> Os processos básicos de transporte e sedimentaçõ pelo vento.....	64
<b>Figura 29:</b> Componentes básicos do perfil transversal de uma duna com uma orientaçõ única na face de deslizamento.....	66
<b>Figura 30:</b> Tipos morfológicos de dunas vistos em plantas.....	68
<b>Figura 31:</b> Morfologia de dunas barcanas. Parâmetros de duna, onde “E” compreende a extensõ. “L” a largura e “h” a altura.....	69
<b>Figura 32:</b> Tipos morfológicos de dunas parabólicas: a) grampo; b) lobular; c) hemicíclica; d) digitada; e) nidiformes; f) cadeias transgressivas com dunas transversais secundárias; g) dunas em forma de “ancinho”.....	70
<b>Figura 33:</b> Dunas piramidais ou em estrela, na Califórnia (EUA).....	71
<b>Figura 34:</b> Dunas costeiras no litoral do Rio Grande do Norte.....	72
<b>Figura 35:</b> Dunas continentais no município de Petrolina – PE.....	73
<b>Figura 36:</b> Dunas móveis na paria da Balei, no município de Itapipoca, litoral do Ceará.....	74
<b>Figura 37:</b> Localizaçõ dos principais sistemas de dunas inativas ou fósseis da Terra.....	75
<b>Figura 38:</b> Dunas fixas em Ponta do Mangue – Lençóis Maranhenses (Maranhõ).....	76
<b>Figura 39:</b> Erg ou mar de areia na Namíbia.....	77
<b>Figura 40:</b> Tabela Cronoestratigráfica Internacional adaptada.....	79
<b>Figura 41:</b> As principais glaciações do Quaternário. As letras maiúsculas representam os intervalos glaciais e as minúsculas os interglaciais.....	82
<b>Figura 42:</b> Representaçõ dos ciclos de Milankovitch.....	84
<b>Figura 43:</b> Ciclo de Milankovitch.....	84
<b>Figura 44:</b> Reconstruçõ da precipitaçõ referente ao acumulado total (FMAM) em mm/ano e os eventos Bond ocorridos no Holoceno. A linha tracejada refere-se a média climatológica atual do volume de precipitaçõ (680 mm/ano) para os mesmos meses do modelo.....	87

---

<b>Figura 45:</b> As secas no nordeste do Brasil entre os anos 1500 e 2000. ....	87
<b>Figura 46:</b> As secas do nordeste do Brasil, em tempos históricos. ....	88
<b>Figura 47:</b> Distribuição Global dos Grandes Mares de Areia há 18.000 anos AP. ....	93
<b>Figura 48:</b> Campo de dunas de Petrolina: Nebkhas (48a); Dunas Parabólicas (48b); Lençol de Areia (48c). ....	93
<b>Figura 49:</b> Imagem HRC com destaque em algumas feições dunares ainda preservadas. ....	94
<b>Figura 50:</b> Esquema ilustrativo de formação de uma duna Nebka. ....	95
<b>Figura 51:</b> Esquema de uma duna Parabólica (B) com presença de Blowout (A). ....	95
<b>Figura 52:</b> Direção predominante dos ventos no Submédio São Francisco no estado de Pernambuco no presente. ....	96
<b>Figura 53:</b> Medidas de direção do eixo axial e padrão morfológico das dunas parabólicas, sobrepostas a atual direção média dos ventos na região do Médio São Francisco, no município de Floresta (PE). ....	97
<b>Figura 54:</b> Coleta de amostra com a introdução horizontal no perfil de cano de PVC de 40 mm, para a realização de datação pelo método LOE. ....	104
<b>Figura 55:</b> Ponto de coleta das amostras da feição denominada de lençol de areia, em Petrolina – PE. ....	106
<b>Figura 56:</b> Equipamento usado para a realização do peneiramento de materiais sedimentares, para a separação da amostra por frações granulométricas. ....	108
<b>Figura 57:</b> Escala quantitativa para a descrição do grau de seleção. ....	109
<b>Figura 58:</b> Escala quantitativa para descrição do Grau de Assimetria dos grãos. ....	109
<b>Figura 59:</b> Diagrama representa os diferentes graus de arredondamento e esfericidade. ....	110
<b>Figura 60:</b> Mapa das unidades geomorfológicas da bacia GI-8. ....	113
<b>Figura 61:</b> A - Iceberg apresentando encostas íngremes; B - presença de depósitos de talús na base do compartimento. ....	114
<b>Figura 63:</b> Feições eólicas dispostas à margem esquerda do rio São Francisco apresentando formas em dunas parabólicas e presença de <i>blowout</i> na porção superior direita da imagem. ....	117
<b>Figura 64:</b> Feições eólicas na margem esquerda do rio São Francisco, apresentando formas parabólicas e feições incipientes nos lençóis de areia. ....	118
<b>Figura 65:</b> Quadro com as características dos sedimentos eólicos do campo de dunas de Petrolina. ....	120
<b>Figura 66:</b> Grau de seleção das amostras do campo de dunas de Petrolina (PE). ....	121
<b>Figura 67:</b> Características físicas representativas dos Neossolos Quartzarênicos. ....	122

---

---

<b>Figura 68:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D1 do campo de dunas de Petrolina. ....	123
<b>Figura 69:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D4 do campo de dunas de Petrolina. ....	123
<b>Figura 70:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D5 do campo de dunas de Petrolina. ....	124
<b>Figura 71:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D8 do campo de dunas de Petrolina. ....	124
<b>Figura 72:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D10 do campo de dunas de Petrolina. ....	125
<b>Figura 73:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D14 do campo de dunas de Petrolina. ....	125
<b>Figura 74:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D14 do campo de dunas de Petrolina. ....	126
<b>Figura 75:</b> Distribuição das frações granulométricas da amostra D14 do campo de dunas de Petrolina. ....	126
<b>Figura 76:</b> Diagrama de Shepard para amostras do campo de dunas de Petrolina. ....	127
<b>Figura 77:</b> Distribuição da frequência acumulada da fração areia do campo de dunas de Petrolina. ....	127
<b>Figura 78:</b> Grau de assimetria dos grãos das amostras sedimentológicas do campo de dunas de Petrolina (PE). ....	128
<b>Figura 79:</b> Resultados da datação por LOE, dos depósitos eólicos das dunas de Petrolina. ....	132
<b>Figura 80:</b> Coleta de amostra para datação por LOE. ....	133
<b>Figura 81:</b> Coleta da amostra D1M para datação por LOE. ....	134
<b>Figura 82:</b> Secas no Nordeste brasileiro do século XIX. ....	135

---

---

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>OBJETIVOS</b> .....	18
<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	18
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	19
<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	19
<b>1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	22
1.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS .....	23
1.1.1 PROVÍNCIA BORBOREMA .....	24
1.1.2 CRÁTON DO SÃO FRANCISCO.....	26
1.1.3 BLOCO SOBRADINHO OU UNIDADE SOBRADINHO .....	27
1.1.4 COBERTURAS SUPERFICIAIS DE IDADE CENOZÓICA.....	28
1.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA .....	29
1.2.1 DEPRESSÃO SERTANEJA .....	30
1.2.2 SUPERFÍCIES DE EROÇÃO E FEIÇÕES LOCAIS .....	31
1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS .....	32
1.4 CONTEXTO PEDOLÓGICO .....	36
1.4.1 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS .....	38
1.4.2 LATOSSOLOS AMARELOS .....	39
1.4.3 NEOSSOLOS LITÓLICOS.....	39
1.4.4 VERTISSOLOS .....	40
1.5 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS .....	40
1.5.1 BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	41
1.5.2 GRUPO DE BACIAS DE PEQUENOS RIOS INTERIORES 8 - GI8.....	42
1.6 USO E OCUPAÇÃO NO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA.....	43
1.6.1 O DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO NO VALE DO RIO SÃO FRANCISCO.....	46
1.7 DESEQUILÍBRIO AMBIENTAL NO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA E A CLASSIFICAÇÃO ECODINÂMICA DOS MEIOS AMBIENTES.....	50
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL</b> .....	55
2.1 ATIVIDADE GEOMORFOLÓGICA DO VENTO .....	55
2.1.1 EROÇÃO EÓLICA.....	56

---

---

2.1.2 TRANSPORTE EÓLICO .....	61
2.1.3 MECANISMOS DA DEPOSIÇÃO EÓLICA .....	65
2.1.4 DUNAS: CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO .....	66
2.1.4.1 DUNAS COSTEIRAS E CONTINENTAIS .....	72
2.1.4.2 DUNAS MÓVEIS E FIXAS .....	74
2.1.5 LENÇOL DE AREIA .....	76
2.2 DINÂMICA PALEOCLIMÁTICA E PALEOAMBIENTAL QUATERNÁRIA NO NORDESTE BRASILEIRO .....	78
2.2.1 O PERÍODO QUATERNÁRIO .....	78
2.2.2 FLUTUAÇÕES CLIMÁTICAS DO PERÍODO QUATERNÁRIO .....	81
2.2.3 A INTERFERÊNCIA DO EL NIÑO NA DINÂMICA CLIMÁTICA DO NORDESTE BRASILEIRO DURANTE O QUATERNÁRIO RECENTE.....	85
2.2.4 O QUATERNÁRIO DO NORDESTE BRASILEIRO .....	89
2.2.5 REGISTROS PALEOAMBIENTAIS QUATERNÁRIOS E AS EVIDÊNCIAS DE UM PALEODESERTO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO .....	91
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, MATERIAIS E TÉCNICAS .....</b>	<b>98</b>
3.1 MÉTODOS DE DATAÇÃO PARA DEPÓSITOS EÓLICOS POR LOE E TL ..	98
3.2 ABORDAGEM MORFOESTRATIGRÁFICA .....	100
3.3 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS EÓLICOS .....	101
3.4 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO.....	101
3.5 ATIVIDADES DE CAMPO.....	103
3.6 COLETA DAS AMOSTRAS .....	104
3.7 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.....	107
3.8 CONFECÇÃO DOS MAPAS GEOMORFOLÓGICOS.....	110
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>112</b>
4.1 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA GI-8.....	112
4.2 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS EÓLICOS .....	119
4.2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	119
4.2.1.1 GRAU DE SELEÇÃO DOS GRÃOS .....	120
4.2.1.2 DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS .....	122
4.2.1.3 GRAU DE ASSIMETRIA DOS GRÃOS .....	128

---

---

4.2.1.4 ANÁLISE MORFOSCÓPICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS DO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA .....	129
4.3 DATAÇÃO DOS DEPÓSITOS EÓLICOS DE PETROLINA .....	131
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	137
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	139

---

---

## RESUMO

Períodos mais secos durante o Pleistoceno e Holoceno permitiram a exposição de grandes quantidades de sedimentos, possibilitando a ação eólica e consequente deposição de lençóis de areia à margem esquerda do rio São Francisco, dispostos a Oeste/Sudoeste do município de Petrolina-PE, a uma distância de 5,5 quilômetros da sede municipal, com extensão total de 148 km<sup>2</sup>. O objetivo desta pesquisa é de caracterizar e identificar a gênese e evolução desses depósitos eólicos através de análises físicas e geocronológicas, visando contribuir com as interpretações acerca da origem e caracterização desses materiais. Na toposequência de uma duna foram realizadas coletas para análises sedimentológicas a cada 1m. As amostras referentes à geocronologia foram coletadas no topo, meio e base da duna, onde não foi possível visualizar nenhuma distinção deposicional, e na base de outra duna próxima à primeira, em um barranco oriundo da atividade de extração de areia. Os resultados forneceram evidências sedimentológicas e geocronológicas que permitiram identificar que os grãos apresentam um bom grau de seleção, uma vez que todas as amostras apresentam frações com percentuais acima de 80% de areia muito fina a fina, com distribuição bastante assimétrica, esfericidade sub-discoidal predominante, grau de arredondamento do tipo sub-arredondado a arredondado, com brilho transparente e opaco. As idades obtidas pelo método LOE comprovam intensa dinâmica eólica na área de estudo desde 30 mil anos até 165 anos AP. Os corpos arenosos de Petrolina foram formados em períodos mais secos durante o Quaternário, apresentado estreita relação com fenômenos ligados a eventos glaciais e interglaciais de escala global e a El Niños de longa duração, em escala regional.

**Palavras-Chave:** Campo de dunas; Depósitos eólicos; Semiárido nordestino.

---

---

## ABSTRACT

Drier periods during the Pleistocene and Holocene have allowed the exposure of large amounts of sediment, allowing the wind action and consequent deposition of sand sheets on the left bank of the São Francisco river, willing to west/southwest of the city of Petrolina-PE, distant 5.5 km from the district headquarters, with a total extension of 148 km<sup>2</sup>. The objective of this research is to identify and characterize the genesis and evolution of aeolian deposits through physical and geochronological analyzes, aiming to contribute to the interpretations of the origin and characterization of these materials. Some samples for sedimentological analyzes were performed in the topsequence of a dune for every 1m. The samples regarding to the geochronology were collected at the top, middle and base of the dune, where it was not possible to see any depositional distinction, and in the base of another dune next to the first one in a ravine made by the activity of sand extraction . The results provided sedimentological and geochronological evidence that permitted identifying the grains which have a good degree of selection, since all the samples show fractions with percentages above 80% of sand very fine to fine, with very assimetric distribution, predominant sub-discoidal sphericity, and roundness from sub-rounded to rounded, with transparent and opaque sheen. The ages obtained by the LOE method prove intense wind dynamics in the study area from 30,000 years till 165 years BP. The sandy bodies of Petrolina were formed in drier periods during the Quaternary, presenting closely relations with phenomena linked to glacial and interglacial events of global scale and the “El Niños” of long duration, on a regional scale.

**Keywords:** Dunefield; Wind deposits; Northeast semi-arid.

---

---

## INTRODUÇÃO

Os depósitos sedimentares são importantes vestígios da ação incessante dos agentes geológico-geomorfológicos no geostrato terrestre, que se manifestam através da meteorização ou intemperismo, e a consequente mobilização por erosão, transporte e deposição, processos estes capazes de modelar ou esculpir o relevo.

Tais depósitos sedimentares podem ser encontrados acumulados em áreas deprimidas da crosta, delimitando o nível de base das localidades adjacentes. Os principais tipos de depósitos existentes na superfície terrestre são os marinhos, glaciais, lacustres, fluviais, coluviais e eólicos (GUERRA, 2005).

Nas regiões tropicais os depósitos sedimentares, de um modo geral, guardam importantes significados geomorfológicos, já que resultam da dinâmica contínua e intensa de erosão, transporte e sedimentação, principalmente em decorrência da ação dos tropicais úmidos ou secos, que associados com outros atributos da paisagem natural, produzem frentes de intemperismo que fornecem material suficiente para a remobilização (VITTE, 2005).

De acordo com Ribeiro *et. al.* (2012) no decorrer do tempo geológico as feições são esculpidas, elaboradas e destruídas pela erosão ou pelo material sedimentar que as recobrem e, nessa dinâmica, são guardados os registros que são capazes de elucidar como as diferentes paisagens evoluíram e quais processos foram responsáveis por essa evolução. E é neste ponto que reside à importância dada atualmente aos estudos de depósitos sedimentares, distribuídos de forma ampla na superfície do globo, já que as superfícies sedimentares recobrem cerca de 66% da superfície dos continentes (GUERRA e CUNHA, 2009).

Dada à importância dos depósitos sedimentares, serão explicitadas aspectos relativos a um significativo campo de dunas existente no município de Petrolina, localizado no Sertão do São Francisco em Pernambuco, estudado de forma preliminar pela EMBRAPA (2009).

Contudo, as apreciações realizadas por tal órgão são pautadas no caráter morfológico demonstrado por tais depósitos, não tendo qualquer implicação genética para a formação dos Neossolos Quartzarênicos da região.

Ao realizarmos observações em imagens de satélites da área verificou-se que o manto de areia em estudo apresenta algumas formas em planta bem preservadas, nitidamente feições dunares, e outras incipientes distribuídas espacialmente em uma

---

---

área de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, no sudoeste do município de Petrolina às margens do rio São Francisco, onde são identificadas três tipos de feições eólicas principais: dunas parabólicas, *nebkas* e *blowouts*.

É bastante comum nos estudos de geomorfologia encontramos referências sobre campos de dunas na costa oriental do Nordeste brasileiro. São reconhecidos internacionalmente campos de dunas costeiras nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe e Bahia, além de estarem presentes nos litorais das regiões Sudeste e Sul do Brasil. Contudo, são poucas as referências aos campos de dunas interiores encontrados e identificados por alguns pesquisadores no vale do Médio/Submédio rio São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco (BARRETO e SUGUIO, 1993; BARRETO, 1996; BARRETO *et al.*, 2002; FERREIRA *et al.*, 2013).

Foi a partir da análise e interpretação de trabalhos anteriores que surgiu a motivação de realização de um estudo sobre os depósitos eólicos encontrados em Petrolina-PE. *A priori*, é perceptível a correlação existente entre este manto de areia e outros já estudados no Nordeste: Bahia (municípios de Barra, Xique-Xique e Pilão Arcado) e Pernambuco (município de Floresta).

Diante de tais evidências, é plausível pensar que o campo de dunas de Petrolina é correlato a estas outras evidências já estudadas, tendo sua gênese ligada a instalação de um clima árido ou semiárido mais severo durante o último Máximo Glacial no Quaternário.

Sendo os sedimentos eólicos de Petrolina uma evidência de um clima árido ou semiárido severo, se faz pertinente um estudo detalhado das feições geomorfológicas associados a eles, para assim colaborar com mais informações sobre formas superficiais recentes, como as dunas e os lençóis de areia, evidência irrefutável das mudanças climáticas quaternárias ocorridas no interior nordestino.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa consiste na caracterização sedimentológica e cronológica do campo de dunas presente no município de Petrolina - Pernambuco,

---

---

assim como das dinâmicas espaciais e temporais, a fim de reconstruir a evolução geomorfológica da área de estudo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Delimitar espacialmente o campo de dunas de Petrolina com auxílio de imagens de satélites (Landsat e SRTM) e realizar mapeamento geomorfológico de detalhe para subsidiar a análise da distribuição espacial de tais depósitos sedimentares;
- Analisar do ponto de vista físico e mineralógico os sedimentos eólicos da área de estudo para se certificar de que o mesmo trata-se de um campo de dunas;
- Identificar o período geológico em que este depósito teria se formado;
- Entender a dinâmica paleoclimática das condições paleoambientais que possibilitou a gênese de tal campo de dunas;
- Identificar como as formas de uso e ocupação da terra contemporâneas estão afetando a morfodinâmica dos campos de dunas.

### **JUSTIFICATIVA**

O estudo sobre dunas continentais se torna relevante para a Geografia e ciências afins (Geologia, Biologia e Paleontologia) à medida que estas feições geomorfológicas apresentam elementos que colaboram para o desenvolvimento de pesquisas de reconstituição paleoclimática e paleoambiental. A gênese de um campo de dunas no interior de um continente, de modo geral, tem ligação com um conjunto de fatores ambientais e atributos que remetem a um cenário onde as condições climáticas devem apresentar características de um semiárido severo ou árido, e aporte sedimentar disponível e dissoluto na superfície.

Todavia, é importante salientar que a ocorrência de campos de dunas continentais só pode ser tomada como evidência de climas pretéritos mais secos quando as condições atuais do clima não mais conduzem à dinâmica eólica, mas à sua estabilização e/ou degradação.

A existência de um campo de dunas em pleno “*core*” do semiárido nordestino é visto como uma evidência irrefutável de um pulso climático bem mais seco que o atual,

---

---

uma vez que as condições climáticas vigentes no presente não seriam capazes de produzir formas de acumulação eólica, e que na verdade colaborariam para sua dissecação.

Ao longo da segunda metade do século XX, e início do século XXI, alguns estudiosos têm buscado elucidar alguns questões ligadas à existência de depósitos eólicos (dunas e lençol de areia) em áreas pontuais do Sertão nordestino, em alguns municípios da Bahia, como Barra, Pilão Arcado e Xique-Xique, e de Pernambuco, no município de Petrolândia, às margens do rio São Francisco.

Estudos pioneiros sobre a temática (WILLIANS, 1925; BARRETO e SUGUIO, 1993; BARRETO, 1996; AB'SÁBER, 2006) apresentam o campo de dunas da Bahia como o único exemplo de formações dunares de ambiente desértico quaternário no Brasil. Contudo, esta afirmação é um tanto imprópria, ao passo que a uma distância de aproximadamente 800 km do campo de dunas continentais da Bahia, se faz presente um campo de areia eólica em Petrolina, de dimensão inferior na escala de alguns milhares de km<sup>2</sup>, mas que promove maior mérito à pesquisa em questão, uma vez que estes areais não foram considerados como evidências paleoclimáticas, nem sequer estudados por outros autores.

A motivação para a realização da pesquisa se deu a partir da identificação de um manto de areia bastante espesso e relativamente extenso em Petrolina – PE. Por meio da realização de trabalho de campo com uma equipe de pós-graduandos, que levantavam dados para uma respectiva tese de doutorado, o ambiente analisado levou a indagações suscitaram a presentes pesquisa. Por meio deste campo foi possível verificar através de um perfil aberto em uma área de extração de areia que o pacote de arenoso teria uma espessura mínima de 30 metros, e que apresentava características típicas de um campo de dunas, tais como areia bem selecionada, com predominância de grãos na fração areia fina a muito fina e coloração amarelada e avermelhada.

A partir da visita da vista citada anteriormente, foi possível perceber ainda que a intensa ocupação humana, por meio da introdução e expansão de diversas atividades econômicas na área, dentre as quais se podem destacar o agronegócio (produção de frutas e hortaliças), a extração de areia, a atividade turística no balneário do rio São Francisco e avanço da urbanização, têm se tornando uma ameaça eminente para tal patrimônio natural, que pode chegar a desaparecer em poucas décadas, caso o processo de uso e ocupação do solo na área se mantenha no mesmo ritmo.

---

---

As dunas como um todo correspondem a um importante patrimônio geomorfológico, geológico e biológico, já que muitas espécies de animais e plantas são endêmicas deste tipo de cenário da geoesfera terrestre. Por isso as atividades mencionadas põem em xeque tal paisagem natural. O campo de dunas em questão se constitui em um geomorfosítio, de relevância ambiental e científica para a reconstrução paleoclimática da região, devendo ser preservado por suas características ambientais únicas e potencial para as pesquisas paleoclimáticas.

Desse modo, a pesquisa justifica-se, sobretudo em virtude da carência de estudos geomorfológicos empiricamente construídos e orientados para esclarecer os eventos desencadeados na história geológica recente do Planeta Terra, que atuaram, sobretudo, durante o Pleistoceno/Holoceno, no semiárido do Nordeste do Brasil, e em particular no Submédio rio São Francisco. Este tipo de abordagem tem a faculdade de permitir reconstruir a dinâmica dos sistemas superficiais terrestres, a modelagem de taxas e magnitudes de operação dos processos geomórficos, o que possibilita ao pesquisador realizar um prognóstico mais consistente de cenários futuros e, portanto, servindo de instrumento básico para o planejamento e a gestão ambiental.

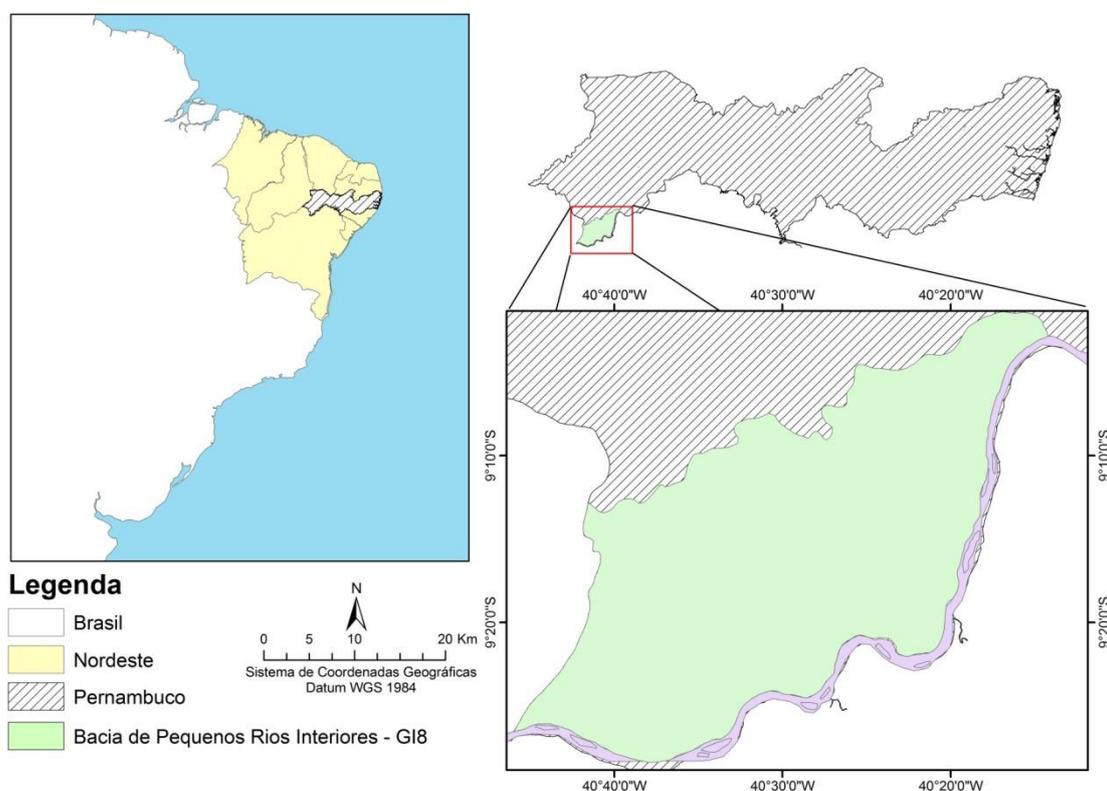
---

## 1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Petrolina apresenta uma extensão territorial de 4.558,537 km<sup>2</sup>, possuindo uma população residente, segundo dados do IBGE relativos à projeção para 2013, era de 319.893 habitantes. Está localizado na Mesorregião do São Francisco Pernambuco e Microrregião de Petrolina, no estado de Pernambuco. A sede do município apresenta como coordenadas geográficas 9° e 23′ Sul e 40° e 30′ Oeste, distando 722 km da capital Recife. O acesso à área de estudo pode ser feito pelas BR-232/110; PE-360; e BR-316/428/122.

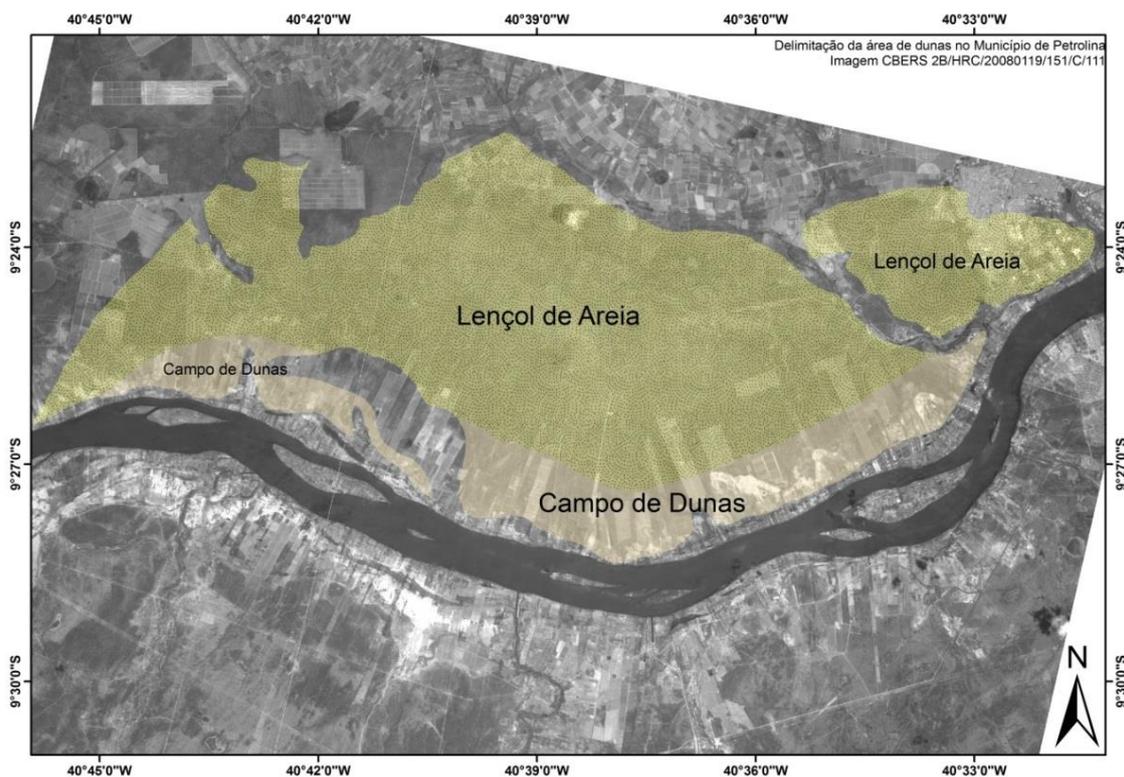
A área escolhida para a realização da pesquisa, é a margem esquerda do rio São Francisco, distando cerca de 5,5 km da sede municipal de Petrolina, onde estão dispostos extensos depósitos eólicos de idade quaternária. Tais depósitos de areia apresentam uma extensão de aproximadamente 148 km<sup>2</sup>, dispostos a Oeste/Sudoeste. A extensão dos depósitos na direção Norte/Sul tem comprimento total de 11 km, e de Leste/Oeste 23 km (ver figuras 1).

**Figura 1:** Localização geográfica da bacia de Pequenos Rios Interiores, onde está inserida a área de estudo.



A figura 2 a seguir mostra de forma mais detalhada a espacialização dos depósitos eólicos, diferenciando as áreas por onde se distribuem as morfologias dunares e o lençol de areia, na porção sul da área destacada no mapa acima, margeando o rio São Francisco, no extremo oeste do estado de Pernambuco.

**Figura 2:** Delimitação da área onde está localizado o Campo de Dunas e os Lençóis de Areia.



## 1.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

O município de Petrolina está inserido em duas províncias geológicas distintas: Província Borborema e a Província ou Cráton do São Francisco, correspondentes aos embasamentos geológicos Pré-Cambrianos, sobre os quais estão acomodadas outras unidades litoestratigráficas mais recentes, que serão detalhadas em seguida. Contudo, será dada ênfase àquelas que têm maior relevância para a compreensão dos aspectos geológico-geomorfológicos da área de estudo, e em especial às que podem ter correlação ou ter influenciado na natureza dos sedimentos quaternários.

O cenário da pesquisa em curso localiza-se em uma entidade geológica denominada Faixa de Dobramento Riacho do Pontal, que corresponde a um das zonas de dobramento Neo-Proterozóicas, em uma zona de contato ou amalgamento entre a

---

Província Borborema e o Cráton do São Francisco, onde é possível encontrar algumas estruturas originadas do Ciclo Brasileiro ainda bastante preservadas e bem visíveis, com estruturas predominantemente com direções NE/SO, mas já aparecem estruturas com direções N/S, associadas mais ao Cráton.

Litologicamente esta área se caracteriza por apresentar faixas extensas de sedimentos finos dobrados, como metassedimentos, em geral com baixo grau de metamorfismo. Esta área está sobre uma faixa de colagem ou amalgamento de unidades cratônicas.

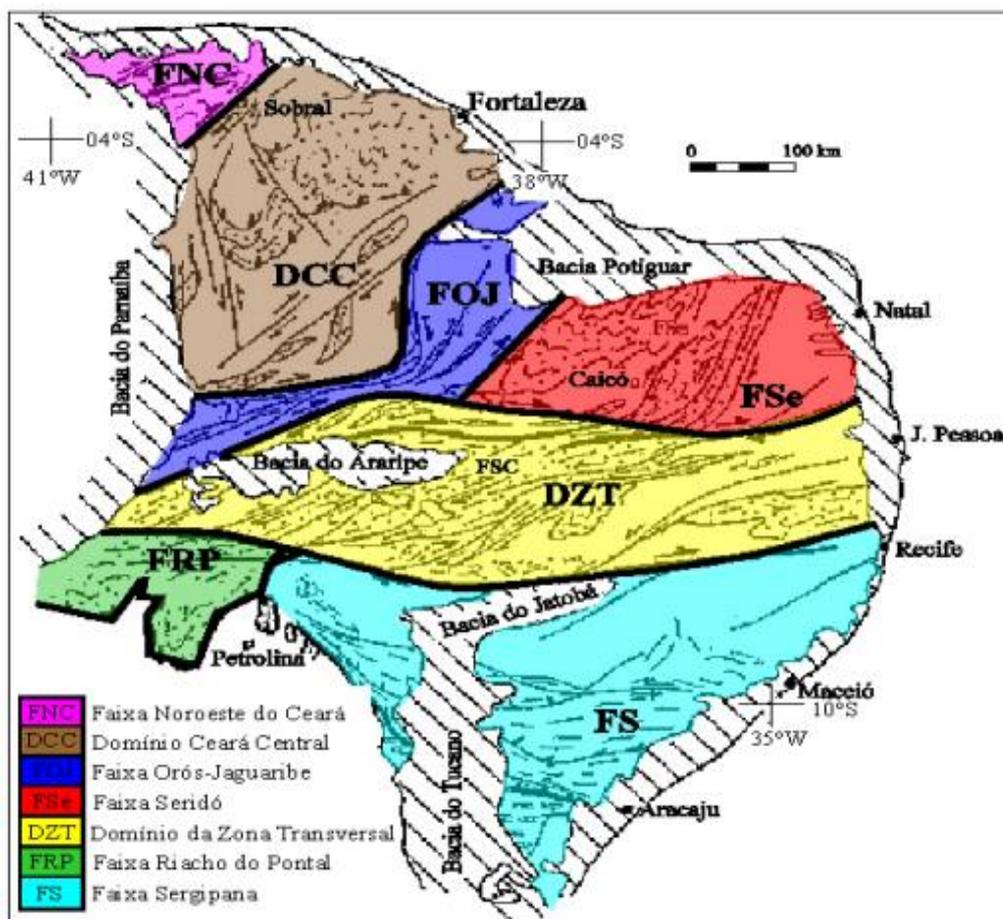
### 1.1.1 PROVÍNCIA BORBOREMA

Parte dos limites territoriais do município de Petrolina está inserida na Província Borborema (PB) que se constitui de terrenos ou faixas de dobramentos associados a eventos orogênicos do Meso e Neoproterozóico e granitogêneses correlatas, incluindo fragmentos antigos do Arqueano/Paleoproterozóico, bacias sedimentares tafrogênicas mesozóicas e, por último, coberturas superficiais recentes (ALMEIDA, 1977).

Esta província tem sido amplamente estudada, principalmente do ponto de vista geológico e de levantamentos gravimétricos e aerogeofísicos mais recentes (NOGUEIRA *et al.*, 2003), sendo atualmente seu arcabouço geológico e estrutural relativamente bem conhecido. Com base, sobretudo, em dados geocronológicos (U-Pb e Sm-Nd, coletados principalmente a partir da década de 1990), a evolução da província tem sido proposta em termos de colagens de terrenos lito-estratigráficos distintos e amalgamados durante a formação do Gondwana ocidental (BRITO NEVES *et al.*, 2000). (Figura 3).

---

Figura 3: Divisão da Província Borborema em domínios estruturais.



Fonte: Jardim de Sá (1994).

Contudo, o perímetro do município de Petrolina, alvo de investigação, fica compreendido ao Sul da Província Borborema, em outra mega-unidade geológica denominada Cráton do São Francisco, sobre a qual outras seqüências litoestratigráficas estão depositadas, a exemplo dos depósitos arenosos de origem eólica, objeto de estudo da pesquisa.

Ainda sobre a Província Borborema, localmente ela pode está representada por afloramentos que compõem uma das suas subunidades denominada de Faixa ou Sistema Riacho do Pontal, localizado na borda norte do Cráton do São Francisco (BRITO NEVES, 1975). Esta subunidade é constituída por rochas metamórficas (gnaisses, quartzitos, mica xistos, filitos cloríticos, calcíficos e mármore) e intrusivas graníticas, principalmente filíticas (SIQUEIRA FILHO, 1967).

### 1.1.2 CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

O trecho do município de Petrolina, onde estão depositados os sedimentos eólicos estudados nesta pesquisa, fica na porção noroeste do Cráton do São Francisco, no Bloco Sobradinho. Esta unidade cratônica é definida por Almeida (1977) como uma entidade de consolidação anterior ao Ciclo Brasileiro, com história evolutiva que compreende o Arqueano até o Neoproterozóico, estando representando pela sua terminação N-NE. Encontram-se na província elementos geológicos representativos de quase toda a evolução pré-cambriana, do Arqueano ao Proterozóico Superior. Ao lado de fragmentos remanescentes do Arqueano mais antigo, ocorrem em maiores áreas, regiões do Arqueano Superior.

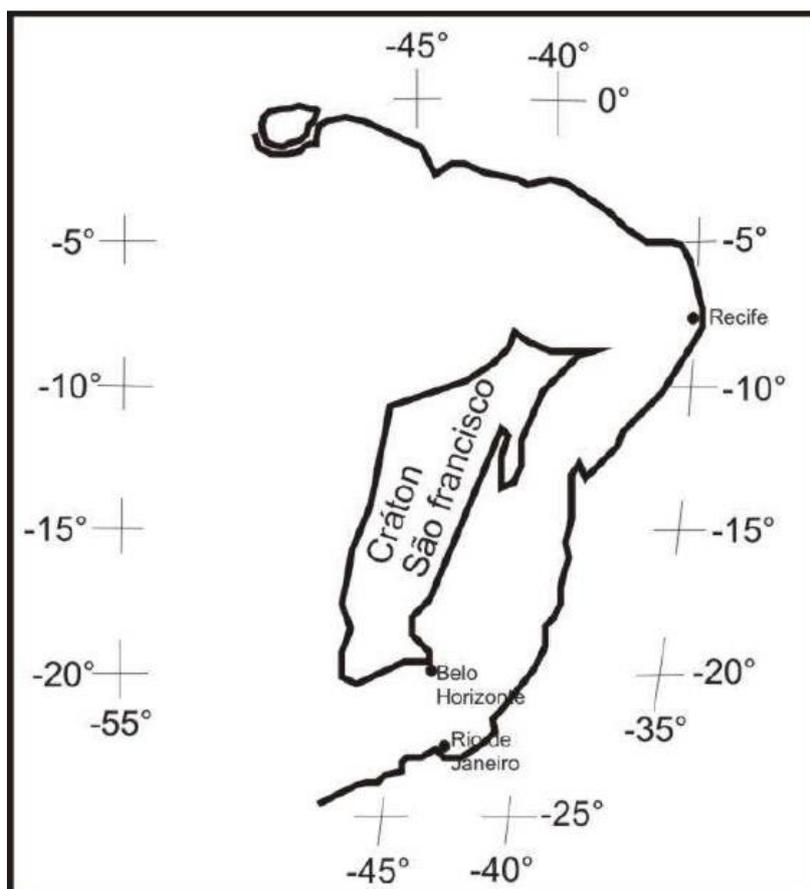
A primeira designação de Cráton São Francisco coube a Barbosa (1966), que afirma:

“Tal feição consolidou-se no Arqueano e teria se comportado como uma “plataforma estável de sedimentação no Pré-Cambriano mais recente, ou início do Paleozóico e foi, posteriormente, atingido por uma tectônica germanótipa com falhamentos generalizados e dobramentos limitados às adjacências das falhas”. (BARBOSA, 1966, p. 96-97).

Fazem parte da composição litológica desta unidade suítes metaplutônicas, seqüências metavulcano-sedimentares, greenstone belts e cinturões granulíticos de idade arqueana a paleoproterozóica. Sobre esta unidade estão acomodados discordantemente metassedimentos paleoproterozóicos e por sedimentos meso e neoproterozóicos litificados, não dobrado ou afetados por uma tectônica epidérmica (*thin-skin*), e por coberturas superficiais pelítico-psamítico-psefíticas e carbonáticas, de idades terció-quaternárias e quaternárias. A Província São Francisco se caracteriza por apresentar, no Brasil, a maior extensão de rochas arqueanas já conhecidas pelo método geocronológico Rb/Sr.

De acordo com Teixeira *et al.* (2000) o embasamento do Cráton São Francisco (Figura 4) é constituído por um complexo arranjo de terrenos metamórficos de alto grau (gnaisses, granitóides e granulitos) de idade arqueana, associações do tipo granitogreenstone e cinturões de rochas supracrustais paleoproterozóicas, assim como rochas plutônicas com grande variedade composicional.

**Figura 4:** Os limites do Cráton São Francisco.



Fonte: Barbosa (1966). Modificado de Alkmim *et al.* (1993).

O embasamento cratônico está dividido em dois segmentos crustais fundamentais, oeste e leste. O segmento oeste corresponde ao Bloco de Sobradinho (BS), no qual se insere a área de estudo, enquanto o segmento leste é constituído, de oeste para leste, pelas unidades tectônicas Fragmento de Barrinha (FB), Cinturão Saúde-Itapicuru-Jacobina (CSIJ), Cinturão Salvador-Curaçá (CSC) e Bloco de Serrinha (BS).

### 1.1.3 BLOCO SOBRADINHO OU UNIDADE SOBRADINHO

Por sua vez, o Bloco Sobradinho, também definido como Unidade Sobradinho, corresponde do ponto de vista tectônico, à margem noroeste do Cráton do São Francisco, sendo uma entidade geológica de idade Arqueano/Proterozóica, constituída por rochas intrusivas e metamórficas com alto grau de metamorfismo. Esta unidade é composta pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico de composição TTG, que encerra complexos metavulcanossedimentares e do tipo *greenstone belt*.

---

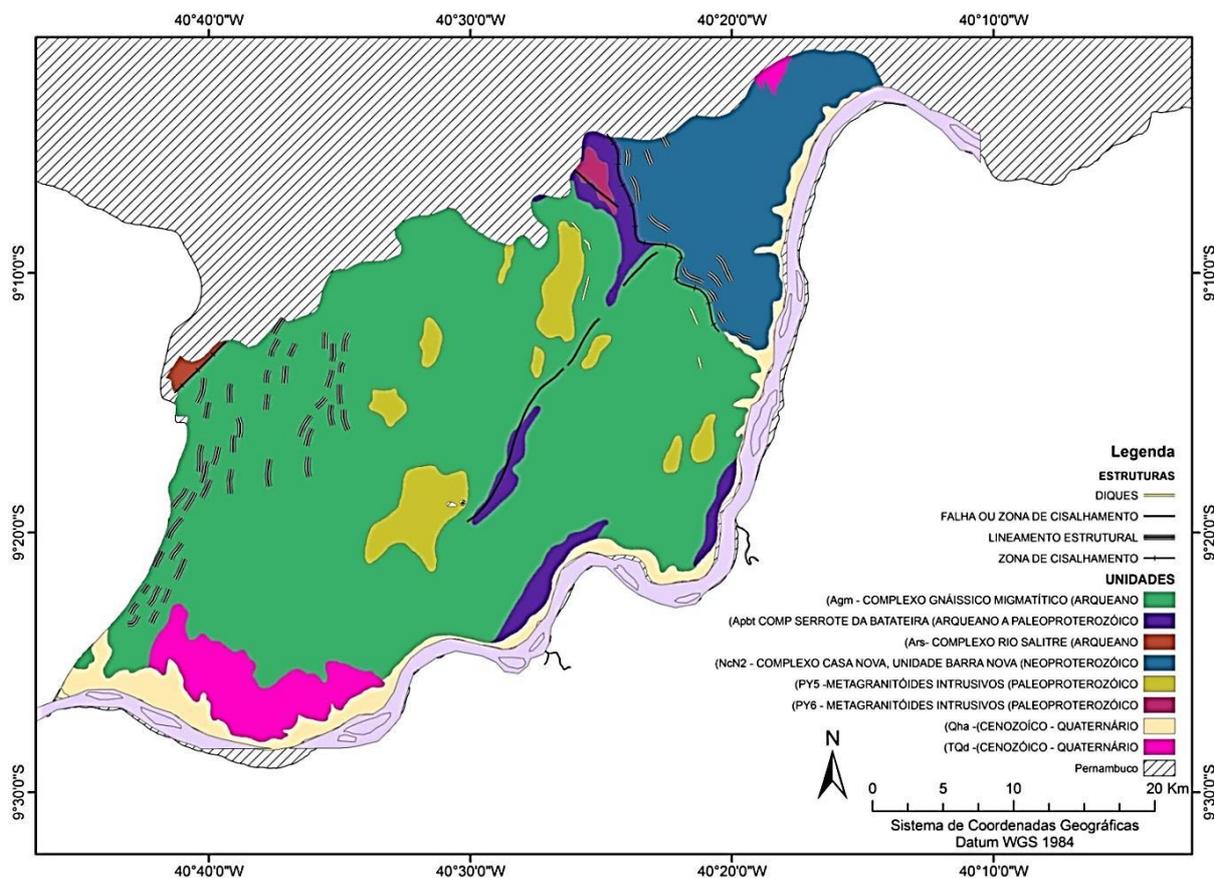
Este Bloco é composto, sobretudo por rochas meta-plutônicas bandadas, incluindo localmente enclaves correlacionados à unidade metavulcano-sedimentar de médio e alto grau do Complexo Lagoa do Alegre (ANGELIM inéd.), plutos metagraníticos correspondente à suíte tangencial arqueana e à suíte transcorrente e transamazônica e um exame de diques basáltico/ultrabásicos de direção meridional.

#### 1.1.4 COBERTURAS SUPERFICIAIS DE IDADE CENOZÓICA

Estas entidades geológicas correspondem aos sedimentos arenosos depositados na margem do rio São Francisco, na porção sudoeste do município de Petrolina. Estes fazem parte de fácies sedimentares de idade Terciário-Quaternário, e podem ser distribuídos em três grupos: depósitos detríticos areno-conglomeráticos; depósitos aluvionares (areias finas e médias com leitos de cascalhos); e depósitos de areias quartzosas (dunas e lençol de areia).

A abordagem realizada nesta pesquisa dará um enfoque nos depósitos de areias quartzosas, definidas como dunas e lençol de areia. Estes sedimentos são de origem eólica e se encontram inconsolidados, sendo bem selecionados, com coloração branca a cinza-clara, granulação fina a raramente média, grãos arredondados a subarredondados. A interpretação para a gênese destes sedimentos está associada a fluxos torrenciais em lençóis. Na Figura 5, a seguir, é possível verificar área onde os depósitos eólicos terciário-quaternários estão distribuídos. Tais depósitos são representados pelos símbolos: Qha e TQd.

**Figura 5:** Mapa geológico da porção sudoeste do município de Petrolina (Qha e TQd correspondem aos sedimentos eólicos estudados nesta pesquisa).



## 1.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

De acordo com Correa *et al.* (2010) o objeto da geomorfologia é a descrição e classificação das formas resultantes da contínua interação das forças endógenas e exógenas que se opõem e a compreensão dos mecanismos dessa interação. A partir destas considerações, o estudo dos compartimentos de relevo pode ser conduzido através de diversas escalas temporais e espaciais, abordando aspectos variados da morfogênese.

No tocante à morfogênese do relevo, pode-se afirmar que dois fatores são cruciais para configuração das paisagens geomorfológicas: os fatores estruturais e climáticos (IBGE, 1997). Analisando a correlação desses dois grupos de fatores é possível caracterizar as feições existentes em uma dada parcela do espaço, partindo sempre de uma análise macro, para tentar identificar as macro-unidades geomorfológicas ou

Domínios Morfoestruturais, que podem ser definidos como grandes conjuntos estruturais, que geram arranjos regionais de relevo, guardando relação de causa entre si, a partir do qual os fatos geomorfológicos serão classificados segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas; até alcançar uma escala de detalhe, na qual seria possível identificar o tipo de modelado do terreno, que corresponderiam a um conjunto de formas presentes na superfície com similitude na morfometria e gênese (IBGE, 2009).

No contexto geomorfológico regional, a área de estudo está na Depressão São Franciscana, entre o Médio e o Submédio São Francisco, em uma área rebaixada, onde as rochas cristalinas expostas apresentam com pouca ou nenhuma cobertura sedimentar Neógena.

Há presença de pedimentos e pediplanos bem alongados com pouca incisão de drenagens efêmeras, que em momentos de chuvas podem ou não funcionar como drenagens de fato.

Nesta seção que aborda os aspectos geomorfológicos da área de estudo será feita uma exposição das principais unidades de relevo regionais e locais, com o intuito de individualizar e caracterizar as entidades superficiais presentes.

### 1.2.1 DEPRESSÃO SERTANEJA

A área de estudo está inserida em uma grande unidade geomorfológica denominada de Depressão Sertaneja ou São Franciscana, que pode ser caracterizada como uma complexa depressão interplanáltica, limitada por relevos planálticos de serras e maciços residuais, além de comportar pedimentos funcionais ou retocados por drenagem incipiente, formada por processos de pediplanação, onde os inselbergs (figura 6) se fazem presente (CASSETI, 2005).

A paisagem geomorfológica da Depressão Sertaneja é caracterizada por uma superfície de pediplanação monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, apresentando um grau de entalhamento variado ligado às flutuações eustáticas do nível de base do Rio São Francisco durante o quaternário, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino (CPRM, 2005).

**Figura 6:** Inselberg isolado se destacando na paisagem pediplanizada da Depressão Sertaneja, Itaberaba (BA).



Fonte: Cerqueira, 2010.

A Depressão Sertaneja, de acordo com Ab'Sáber (1956), foi formada por intensos processos denudacionais em regime semiárido mais secos do que o atual quadro climático. Sobre isto, o autor afirma que durante o Terciário e também no Quaternário a semiaridez se expandiu por uma área bem superior do que a ocupada no presente. Esta condição possibilitou processos pedogenéticos mais intensos, que erodiram e transportaram a capreamento rochoso que recobria as estruturas litológicas arqueanas e proterozóicas. Estes eventos denudacionais deram origem às superficiais de aplainamentos denominadas de pedimentos, que podem estar escalonadas em dois patamares, com cotas altimétricas superiores às da Depressão, se apresentando localmente de forma bastante alongada. Os pedimentos geralmente são constituídos por rochas cristalinas de grande resistência aos processos intempéricos.

### 1.2.2 SUPERFÍCIES DE EROSÃO E FEIÇÕES LOCAIS

As áreas mais deprimidas são marcadas pela presença de depósitos e rampas de colúvio, formadas por materiais detríticos oriundos das áreas mais elevadas, reconhecidas como superficiais de aplainamentos ou pedimentação (BIGARELLA e

---

ANDRADE, 1964), onde muitas vezes são cortadas por canais intermitentes ou efêmeros, ou por cursos perenes como é o caso do rio São Francisco.

Nas margens deste canal se desenvolvem planícies de inundação e terraços, que segundo estudos preliminares podem ser expandir por centenas e até quilômetros de distância do leito do canal, que segundo análise in locu, poderia ter formado latossolos arenosos, muitas vezes aproveitados por fazendeiros para a prática de cultivo em larga escala, em geral frutas.

Tais feições geomorfológicas são constituídas por sedimentos que podem ter sido remobilizados pelo vento, dando origem ao campo de dunas e lençóis de areia verificados na margem do rio São Francisco, em alguns municípios do estado da Bahia e Pernambuco, a exemplo de Petrolina.

As dunas e os lençóis de areia são mais uma evidência de climas pretéritos bem mais secos do que os atuais, confirmando as teses de outros autores com Tricart (1974), Barreto (1996) e Ab'Saber (2006).

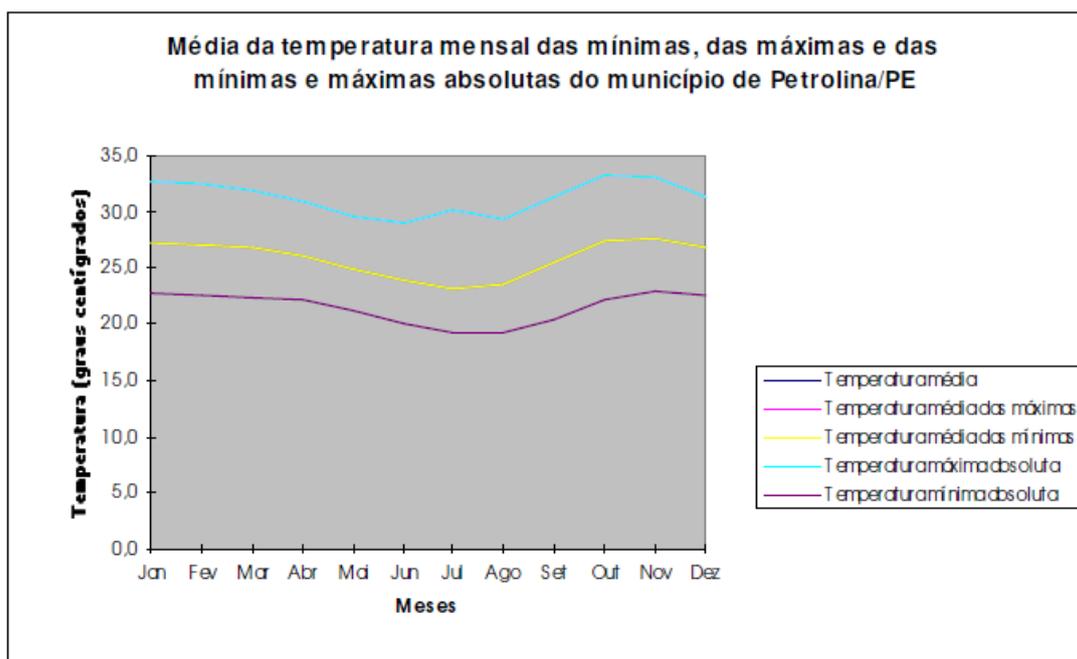
### 1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

O município de Petrolina está inserido em uma região denominada Vale do Submédio São Francisco, que se caracteriza por apresentar clima semiárido quente ou BShw, segundo a classificação de Köppen (1948), com sete a oito meses secos e regime de chuvas de outono-inverno com total anual de cerca de 550 mm concentradas, principalmente, entre os meses de novembro a março (EMBRAPA, 2009).

Tomando com base o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco (Brasil, 1973), Petrolina estaria condicionado a um clima muito quente, semiárido, com estação chuvosa, período em que a evaporação é forte em consequência das altas temperaturas (Figura 6).

---

**Figura 7:** Temperaturas médias do município de Petrolina.

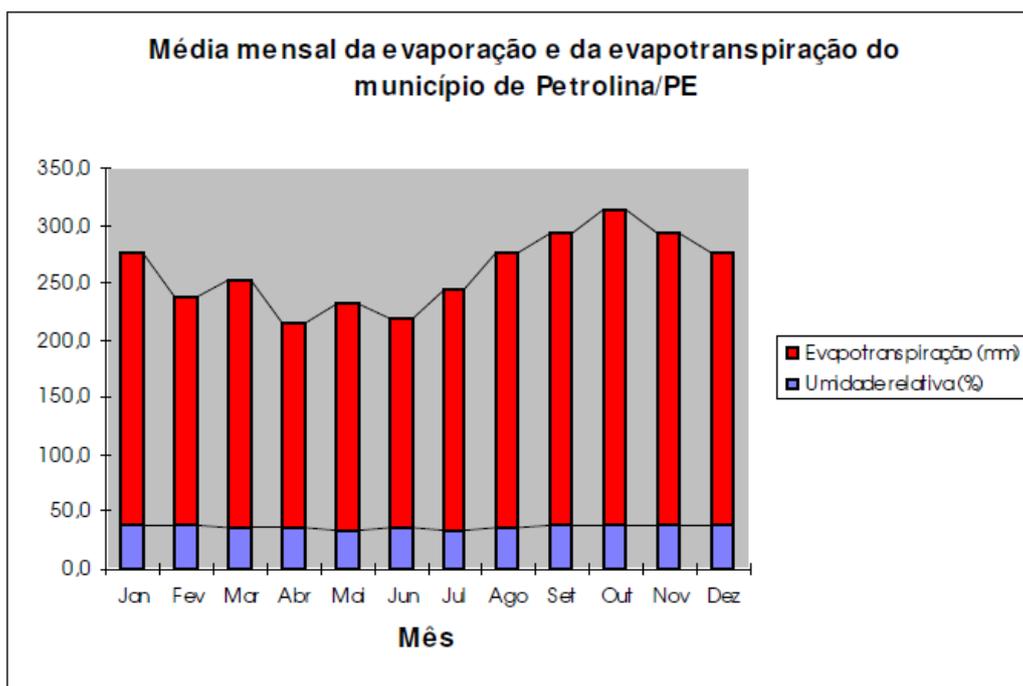


Fonte: Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco, 2009.

Ainda com base Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco, pode-se afirmar, de acordo com a classificação de Gaussen, que o clima de Petrolina é subdesértico quente de tendência tropical, índice xerotérmico entre 2000 e 300, com 9 a 10 meses secos e temperatura do mês mais frio sendo igual ou superior a 15°C. As máximas pluviais no município concentram-se no período de dezembro a março, no qual mais de 70% das precipitações são contabilizadas, dos cerca de 450 mm de chuva que caem anualmente. Considerando a estação chuvosa de novembro a abril, a concentração de chuvas é superior a 90%. No verão constata-se uma elevada evapotranspiração potencial, decorrente das altas temperaturas (Figura 7).

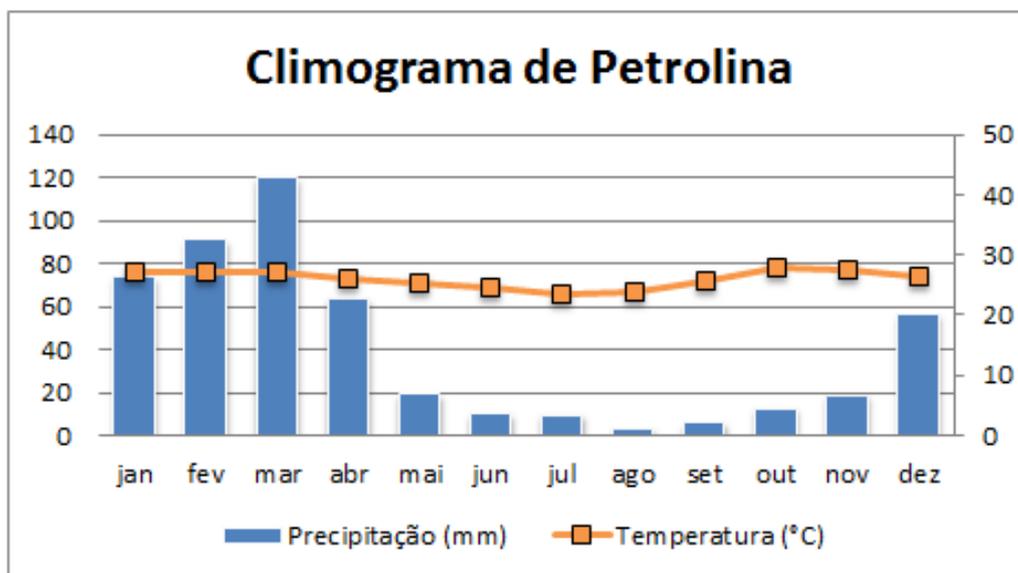
De acordo com Amorim Neto (1985), os valores médios anuais dos distintos elementos meteorológicos comportam-se da seguinte maneira: temperatura do ar 26,5°C, precipitação média de 578 mm, evaporação anual de 2600 mm, umidade relativa média anual de 61% e velocidade média anual do vento a dois metros de altura de 197 km/dia. O período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro a abril, sendo este o mês mais úmido do ano. O balanço hídrico seguindo a metodologia Thornthwaite, apresenta como característica deficiência hídrica durante todo o ano (Figura 8).

**Figura 8:** Médias mensais de evaporação e evapotranspiração do município de Petrolina.



Fonte: Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco, 2009.

**Figura 9:** Climograma de Petrolina. Fonte: UFCG, 2013.



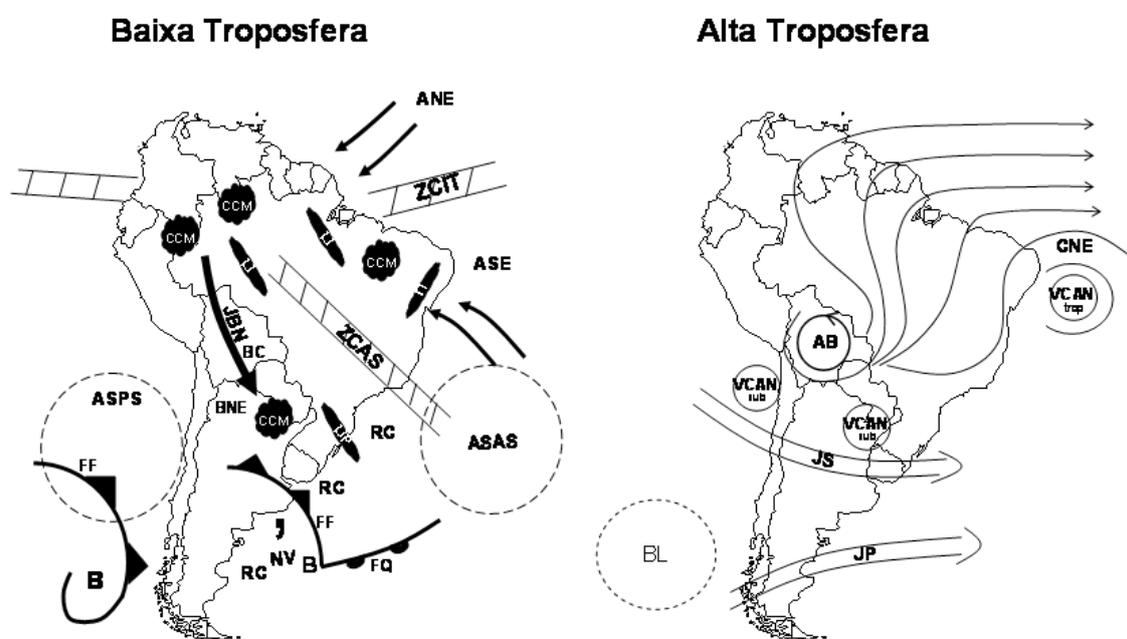
Fonte: UFCG, 2013.

A área de estudo está situada em uma região onde a dinâmica climática sofre a atuação de diferentes sistemas atmosféricos, que atuam em geral de forma bastante irregular, o que impede a ocorrência de uma melhor distribuição das chuvas ao longo do ano, e quantidades satisfatórias para atender às necessidades locais, colaborando para

que eles se concentrem em um curto período de tempo, provocando aguaceiros pesados ou chuvas torrenciais.

É sabido que o Nordeste do Brasil sofre influência de um conjunto complexo de sistemas atmosféricos, que segundo Ferreira e Melo (2005) é formado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Frente Fria, Vórtice Ciclônico de Altos Níveis, Linhas de Instabilidade, Complexos Convectivos de Mesoescala, Distúrbios Ondulatórios de Leste, Brisa Marítima e Brisa Terrestre. Todos estes sistemas são retratados a seguir (figura 10), por meio de uma representação da dinâmica de circulação atmosférica nas baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.

**Figura 10:** Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.



Em relação à baixa troposfera tem-se: ANE ventos alísios de nordeste, ASE ventos alísios de sudeste, ASAS anticiclone subtropical do Atlântico Sul, ASPS anticiclone subtropical do Pacífico Sul, B baixa pressão, BC baixa do Chaco – região de baixas térmicas, BNE região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM complexo convectivo de mesoescala, FF frente fria, FQ frente quente, JBN jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI linha de instabilidade tropical, LIP linha de instabilidade pré-frontal, NV nuvem vírgula, RC regiões ciclogênicas, ZCAS zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT zona de convergência intertropical. Já em relação à alta troposfera tem-se: AB alta da Bolívia, BL região de bloqueios atmosféricos, CNE cavado do nordeste do Brasil, JS jato subtropical, JP jato polar, VCAN sub vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, VCAN trop vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais. É importante destacar que a AB e o CNE são sistemas que se configuram no verão e desaparecem no inverno. Fonte: Robita *et al.*, 2010, adaptado de Satyamurty *et al.*, 1998; pg. 125.

Com base nas informações, verifica-se que as condições climáticas atuais da área estudada apontam para uma condição de semiaridez bastante rigorosa. Contudo,

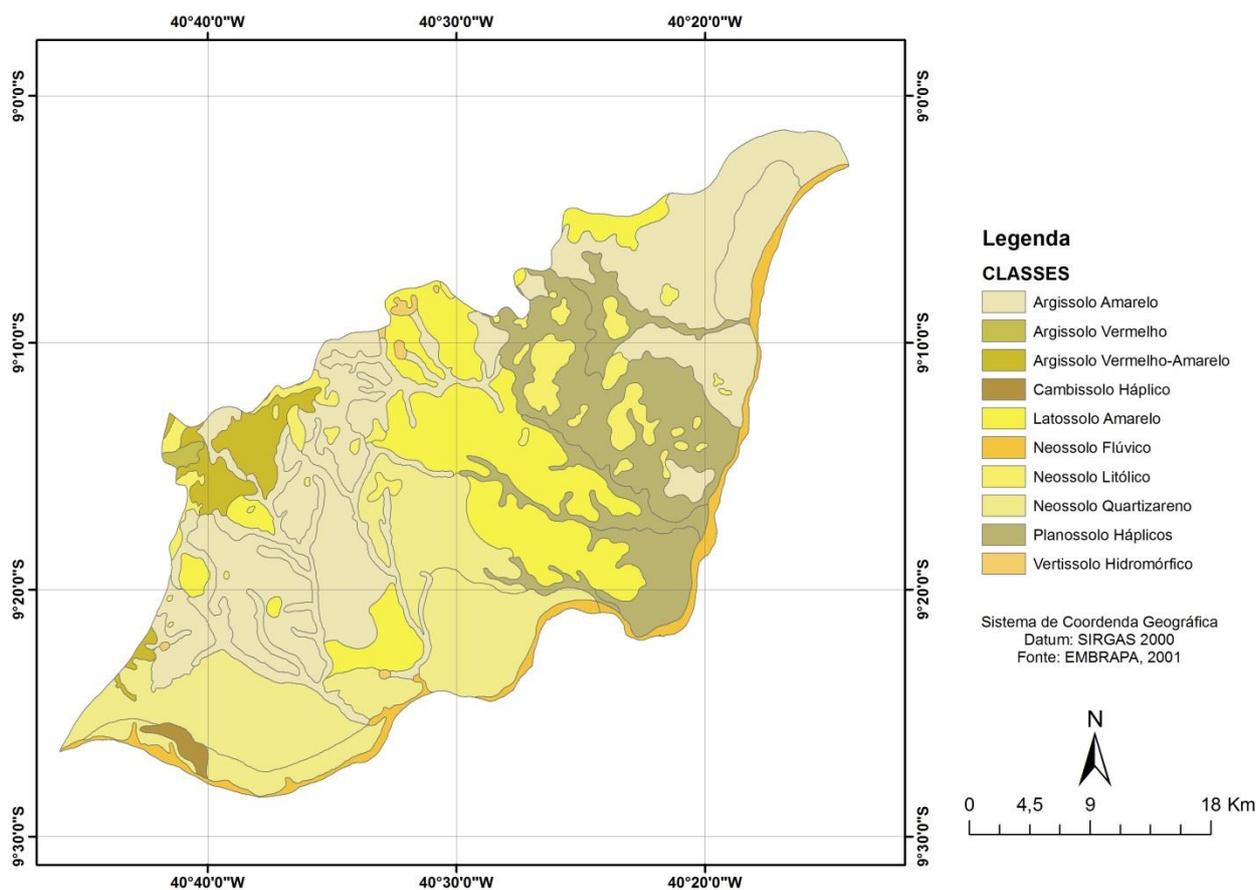
tais condições não seriam suficientemente capazes para o desenvolvimento de depósitos eólicos como os que ocorrem nas margens do rio São Francisco, em Petrolina.

Desse modo, pode-se inferir que o ritmo climático que teria favorecido a gênese das dunas e lençol de areia na área investigada teria sido bem mais xérico do que o atual. Os índices de pluviosidade, velocidade do vento e as temperaturas eram diferentes das condições vigentes atualmente, apontando para um clima seco bem mais severo, um semiárido extremo ou mesmo desértico, em um passado relativamente recente (Pleistocênicos e Holocênicos), segundo as idades obtidas pelo método TL por Barreto (1996), em campo de dunas fixas no Médio São Francisco, Bahia, e Ferreira *et al.* (2013), no município de Floresta em Pernambuco, correlatos aos depósitos eólicos encontrados no sudoeste do município de Petrolina, onde se concentrou as investigações da pesquisa em curso.

#### 1.4 CONTEXTO PEDOLÓGICO

Segundo Motta (2004) as classes de solos encontradas de forma predominantes no município de Petrolina são as seguintes: Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo; Podzólicos Amarelo e Vermelho-Amarelo; Podzólicos Pedregosos (concrecionários e não); Podzólicos Vermelhos-Amarelos (profundos e pouco profundos); Podzólicos Vermelhos (rasos e pouco profundos); Podzólicos Vermelho-escuro; Os Planossolos, Cambissolos, Vertissolos, Regossolos, Solos Aluvias, Areias Quartzosas e os Solos Litólicos, todas representados na Figura 11.

**Figura 11:** Classes de solos do município de Petrolina.



Fonte: ZAPE-EMBRAPA, 2001.

Em se tratado do perímetro que engloba especificamente a área de estudo, verifica-se a ocorrência predominantemente dos Neossolos Quartzarênicos (Figura 12), desenvolvidos nas áreas dominadas por dunas fixas, bem como tipos de terreno de sedimentos arenoquartzosos. (EMBRAPA, 2006).

Contudo vale ressaltar que esta pesquisa refuta esta ideia de que existam amplas manchas de Neossolos Quartzarênicos em prol da hipótese de que tais sedimentos arenosos correspondam na verdade a um campo de dunas fixas ou inativas (BARRETO, 2002).

Contudo, nas áreas circundantes ao campo de dunas é possível constatar a presença de outras classes de solos, tais como: latossolos arenosos ou amarelos, neossolos litólicos e vertissolos. Tais classes de solos serão caracterizados nos tópicos que se seguem.

**Figura 12:** Ambiente de Dunas Continentais. Solo dominante: Areia Quartzosa.



Fonte: EMBRAPA, 2006.

#### 1.4.1 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS

Solos com sequência de horizontes A-C, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície; essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e ausência de minerais primários menos resistentes à erosão.

De acordo com a Embrapa (2006) estes solos não apresentam contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

Ainda sobre os Neossolos Quartzarênicos, Junqueira *et al.* (2010) diz que este tipo de solo apresentam predomínio de grãos na fração areia grossa (2 mm) e baixo teor de fração fina (silte e argila). As informações trazidas por Junqueira *et al.* (2010) estão coincidindo com as de Prado (2007) que afirma que os Neossolos Quartzarênicos são constituídos basicamente por fração de areia grossa, onde em média 50% da sua composição é de areia grossa.

#### 1.4.2 LATOSSOLOS AMARELOS

Os latossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Estes solos apresentam uma textura areia franca. São solos profundos e moderadamente a bem drenados, apresentando, além de textura média, pH variando de 5,0 a 6,5, com material muito alterado e horizonte B latossólico, com evolução muito avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização ou laterização), segundo intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e mesmo secundários menos resistentes, e concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização (EMBRAPA, 2006).

#### 1.4.3 NEOSSOLOS LITÓLICOS

São solos pouco evoluídos, com ausência de horizonte B diagnóstico. Solos em via de formação, seja pela reduzida atuação de processos pedogenéticos ou por características inerentes ao material de origem. Apresentam exígua diferenciação de horizontes, com individualização do horizonte A seguido de C ou R. Predomínio de características herdadas do material originário.

Segundo a Embrapa (2006) esta classe de solo apresenta horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Os Neossolos Litólicos são bastante comuns no semiárido nordestino, contudo é perceptível que não é a única classe comum ao semiárido nordestino, como costuma-se admitir pelo senso comum e na maioria dos livros didáticos no ensino básico usados na escolas em todo Brasil.

---

#### 1.4.4 VERTISSOLOS

Solos constituídos por horizonte vértico, apresentando fendas profundas na época da seca e expansão quando úmidos. Apresentam *slickensides* em função da grande movimentação da massa do solo devido à presença de argilas expansivas. Possuem cores e profundidades variadas, textura argilosa a muito argilosa.

Os vertissolos têm grande representatividade no ambiente semiárido do Nordeste Brasileiro. Por suas características intrínsecas, destacadamente a presença de argilas expansivas, necessitam de um manejo todo especial. Por serem essencialmente argilosos, esses solos ainda apresentam produtividades razoáveis com irrigação superficial, exemplificada pela irrigação por sulcos.

Compreende solos constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de água no solo, fendas profundas na época seca, e evidências de movimentação da massa do solo, sob a forma de superfícies de fricção (*slickensides*). Podem apresentar microrrelevo tipo gilgai e estruturas do tipo cuneiforme, inclinadas e formando ângulo com a superfície horizontal. Estas características resultam da grande movimentação da massa do solo que se contrai e fendilha quando seca e se expande quando úmida. São de consistência muito plástica e muito pegajosa, devido à presença comum de argilas expansíveis ou mistura destas com outros argilominerais (EMBRAPA, 2006).

#### 1.5 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

As características hidrológicas são de extrema importância para o desenvolvimento de uma gestão e gerenciamento territorial brasileiro. Nos últimos tempos tal perspectiva tem contribuído para que os governantes locais possam elaborar formas de intervenção territorial que possam ser mais aplicáveis às realidades de cada região. Desse modo, se faz necessário um conhecimento acerca das características hidrológicas da área de investigação.

---

### 1.5.1 BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

A região está inserida na Bacia do rio São Francisco, na região do Submédio São Francisco (Figura 13). Este rio tem uma extensão de 490.772 km<sup>2</sup>, sendo um rio de planalto e caudaloso. (SILVA, 1974). A Bacia do rio São Francisco abrange terras dos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.

A nascente do São Francisco fica na Serra da Canastra, ao sul de Minas Gerais, em uma região bastante úmida, com índices pluviométricos que alcançam mais de 3.000 mm ao ano. Contudo, este canal percorre um grande trecho semiárido, ao se deslocar para o norte, onde a evaporação é bem superior às precipitações, decorrência das elevadas temperaturas observadas. Estas condições climáticas fazem com que o volume deste rio diminua consideravelmente. Os rios que desaguam neste canal de primeira ordem são intermitentes. Contudo, mesmo em condições semiáridas este canal é perene em todo seu curso. As condições úmidas no seu baixo curso favorecem que o seu volume de água venha e aumentar novamente, até sua foz entre os estados de Alagoas e Sergipe (BARRETO, 1996).

**Figura 13:** Rio São Francisco e ao fundo o Campo de Dunas de Petrolina.



---

Quanto à competência para transportar sedimentos, Barreto (1996) faz a seguinte afirmação sobre o rio São Francisco:

O rio São Francisco, ao penetrar no sertão semiárido, diminuiu o seu volume de água, e com isto reduz sua capacidade de transporte de sedimentos, depositando-os no próprio leito. Nos arredores de Remanso, a montante da área de estudo, inflete em direção ao Oceano Atlântico, após vencer obstáculos, e começa, graças à ação abrasiva do material que traz em suspensão, e ao aumento do seu gradiente, a intensificar o seu potencial erosivo, originando rápidos e a cachoeira de Paulo Afonso onde segue encaixado formando um *canyon*.(BARRETO, 1996. p. 10).

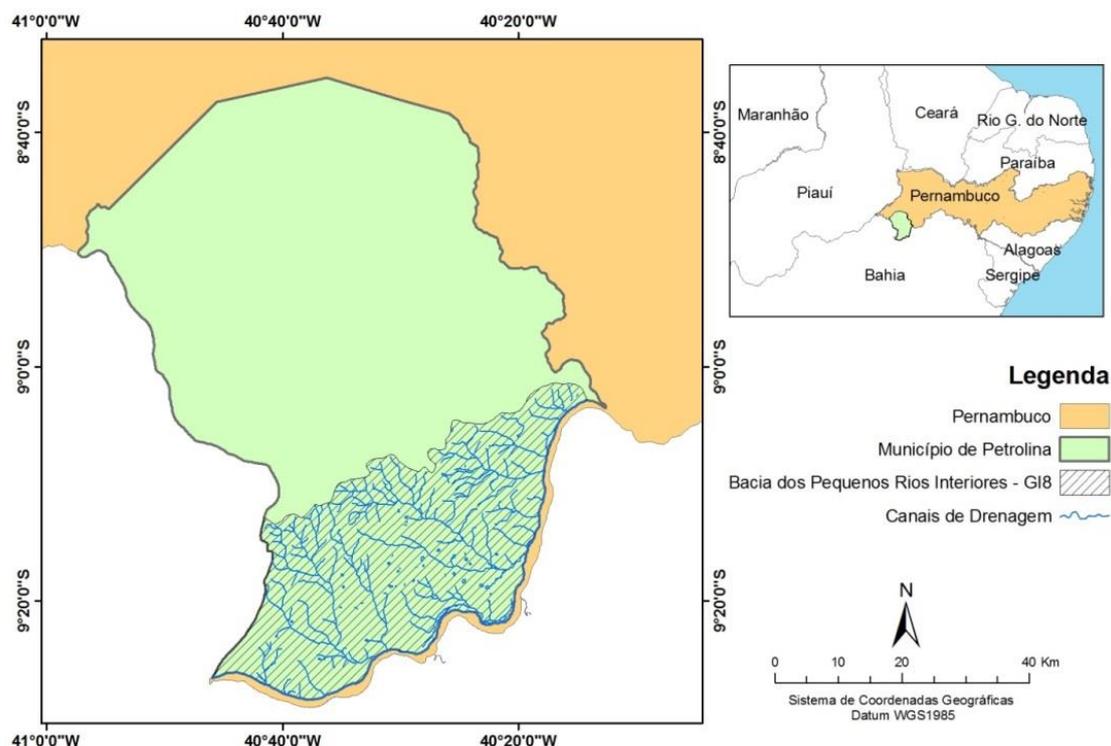
Quanto às características geomorfológicas, pode-se afirmar ainda que o rio São Francisco é um canal de 1º ordem (CHRISTOFOLETTI, 1981), já que é o exutório, ou canal principal, da área que drena. De um modo geral, o rio apresenta padrão de drenagem meandrante, porém encaixado em falhas em alguns trechos, que faz com que se apresente muitas vezes com padrão retilíneo. Suas águas, correm em direção ao Oceano Atlântico, que o caracteriza como sendo de drenagem exorréica, além de ter tendência geral de canal entrelaçado.

#### 1.5.2 GRUPO DE BACIAS DE PEQUENOS RIOS INTERIORES 8 - GI8

A área investigada, analisando numa escala de detalhe, está inserida em um grupo de bacias secundárias denominadas de Gi-8, que segundo a APAC (2013) corresponderia a um grupo de bacias formado por pequenos riachos que deságuam na margem esquerda do rio São Francisco. Destacam-se, dentre eles, os riachos Vitória, das Porteiras, Salina, Bebedouro e Imburana, que drenam a porção sul do município de Petrolina. O riacho que merece maior destaque é o riacho Iburana, que apresenta um curso de cerca de 34 km e tem como afluentes, pela margem direita, os riachos Baixa da Carnaíba e, pela margem esquerda, o riacho Baixa do Juá. (figura 14).

---

**Figura 14:** Mapa de Localização das Pequenas Bacias Interiores – GI8.



Estes pequenos riachos são de grande importância para gênese da paisagem geomorfológica atual, visto que os mesmos colaboram para os processos morfogenéticos processados no âmbito da bacia, no que tange a dinâmica erosiva, de transporte e deposição na área de estudo. Tais canais participam da exumação do relevo local, em maior ou menor grau, dependendo das condições do sistema climático reinante, já que é sabido que o semiárido nordestino tem passado por ciclos mais secos e mais pluviais durante o período Quaternário (AB`SÁBER, 1957; BARRETO, 1996; CORREA, 2001; FERREIRA, 2013; LIRA, 2014).

## 1.6 USO E OCUPAÇÃO NO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA

A vegetação predominante na área de estudo é a caatinga hiperxerófila, que se distribue sobre a unidade geoambiental da Depressão Sertaneja. Andrade Lima (1992) afirma que a vegetação presente na área de estudo é constituída por formações xerófilas, lenhosas, decíduais, normalmente espinhosas, com presença de plantas suculentas, tanto com padrão arbóreo como arbustivo, pouco densa a densa e com estrato herbáceo

---

estacional. Silva (2012) diz ainda que o estrato vegetal mais elevado do domínio fitogeográfico estudado é definido pelas braúnas (*Schinopsis brasiliensis*), que podem alcançar até 20 m de altura.

De acordo com Jacomine *et al.* (1976) o tipo de vegetação verificada na área é a caatinga, do tipo hiperxerófito (caatinga arbustiva) e hipoxerófito (caatinga arbórea), lenhosa e espinhosa, que no período seco perdem as folhas de quase a totalidade dos seus componentes. Está associada a solos arenosos, de um modo geral, pouco desenvolvidos.

Entre as espécies vegetais verificadas na área, podem ser encontradas: favelera (*Cnidoscolus philacanthus*), o pinhão bravo (*Euphorbiaceae*), a macambira (*Bromelia sp.*) e cactos quiupá (*Opuntia inamoena*).

O domínio vegetal presente na área de estudo sofre atualmente grande pressão por meio das atividades antropogênicas que tem se instalado nas últimas décadas. Sobretudo, aquelas associadas ao ramo do agronegócio.

A partir do estudo das várias formas de uso e ocupação do solo, foi possível confeccionar o mapa (figura 15) que especializa as atividades desenvolvidas no perímetro da Bacia GI-8, onde está inserido o campo de dunas de Petrolina.

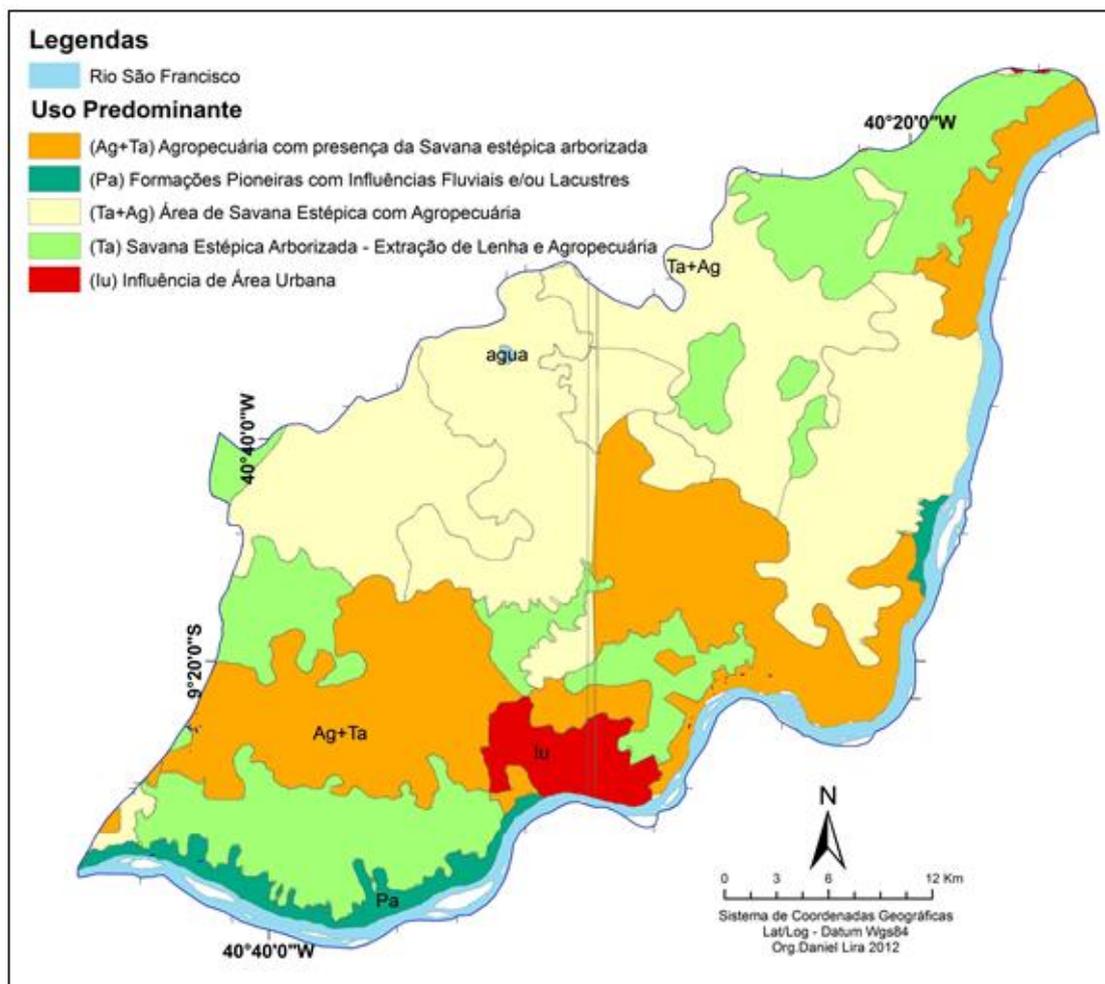
Os campos de dunas formam um tipo de paisagem natural com características bem peculiares, onde se desenvolvem mecanismos de interações entre os elementos bióticos e abióticos, sejam eles costeiros ou continentais. Determinados organismos conseguem se adaptar muito bem às condições naturais que imperam nestes ambientes.

As condições climáticas, botânicas, pedológicas, geomorfológicas e hidrológicas de um campo de areia eólica são adequadas para a fixação de determinadas espécies de animais e plantas, além de ser um ambiente propício para formar excelentes reservatórios de água (aquíferos) ou mesmo representar uma zona de recarga de um reservatório subterrâneo, em virtude da permeabilidade dos elementos dunares (VICENTE DA SILVA, 1993).

Em decorrência da grande importância ecológica, botânica e faunística que os campos de dunas de um modo geral apresentam, abre-se a partir daqui uma sessão sobre o uso e ocupação desses ambientes em virtude da grande pressão antrópica que eles vêm sofrendo ao longo das últimas décadas, em especial por serem áreas passíveis de exploração de areia, instalação do agronegócio, marcada pela associação entre modos de cultivo de produtos diversos, que fazem uso de tecnologias sofisticadas, e processamento e/ou transformação de tais bens agrícolas em bens industriais.

---

**Figura 15:** Mapa de uso e ocupação do solo na Bacia GI-8.



Em se tratando do Campo de Dunas de Petrolina, foi possível identificar uma grande pressão exercida pela ocupação humana. As diversas atividades antrópicas desenvolvidas na área têm posto em xeque a existência deste patrimônio natural no que se refere ao significado geomorfológico, sedimentológico, paleoclimático e paleoambiental.

Entre as atividades verificadas na área pode-se destacar:

- O agronegócio, que engloba o cultivo irrigado de frutas e hortaliças, com destaque para a uva, e a produção de bebidas (vinho, espumante e sucos);
- A extração de areia para ser empregada na construção civil, pontuando a enorme expansão imobiliária pela qual o município de Petrolina vem passando ao longo dos últimos 40 anos; e

- A atividade turística que tem crescido bastante ao longo da orla do rio São Francisco, que tem se tornado um balneário procurado por pessoas com alto poder aquisitivo.

No momento em que foi constatado problemas de ordens diversas relacionadas ao uso e ocupação da área de estudo, faz-se necessário abrir uma discussão sobre a rentabilidade das atividades desenvolvidas na área, suas potencialidades e os prejuízos que serão desencadeados sobre o sistema natural local.

De um modo geral, os campos de dunas podem ser entendidos como ecossistemas bastante vulneráveis, sendo necessário a tomada de medidas de conservação e/ou preservação para que seja mantido este patrimônio da geoesfera terrestre.

Em virtude da perspectiva abordada acima, será dada um ênfase nos subtópicos apresentados a seguir, mais detalhes sobre as principais formas de uso e ocupação do espaço do Campo de Dunas Petrolina e áreas que o margeiam, para dar suporte a ideia estabelecida sobre a degradação que se processa na área, em decorrência da ação antropogênica.

#### 1.6.1 O DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO NO VALE DO RIO SÃO FRANCISCO

Há muito existe um consenso de que o semiárido nordestino é uma sub-região do Nordeste que está fadada ao subdesenvolvimento. Tal ideia se baseia principalmente nas características naturais adversas que a região apresenta. A carência hídrica, as elevadas temperaturas médias, a grande evapotranspiração potencial, pouca maturidade de grande parte dos solos ali existentes, somadas a baixa fertilidade e impermeabilidade são alguns dos elementos característicos que ao longo do tempo foram encarados como um empecilho para se alcançar o desenvolvimento do Sertão nordestino, segundo uma visão puramente tradicional do Determinismo Geográfico.

As secas periódicas sempre foram tidas como um entrave para o semiárido prosperar, contudo, tal premissa começou a ser quebrada com a implantação de grandes projetos governamentais, visando melhorar as condições de vida da população local.

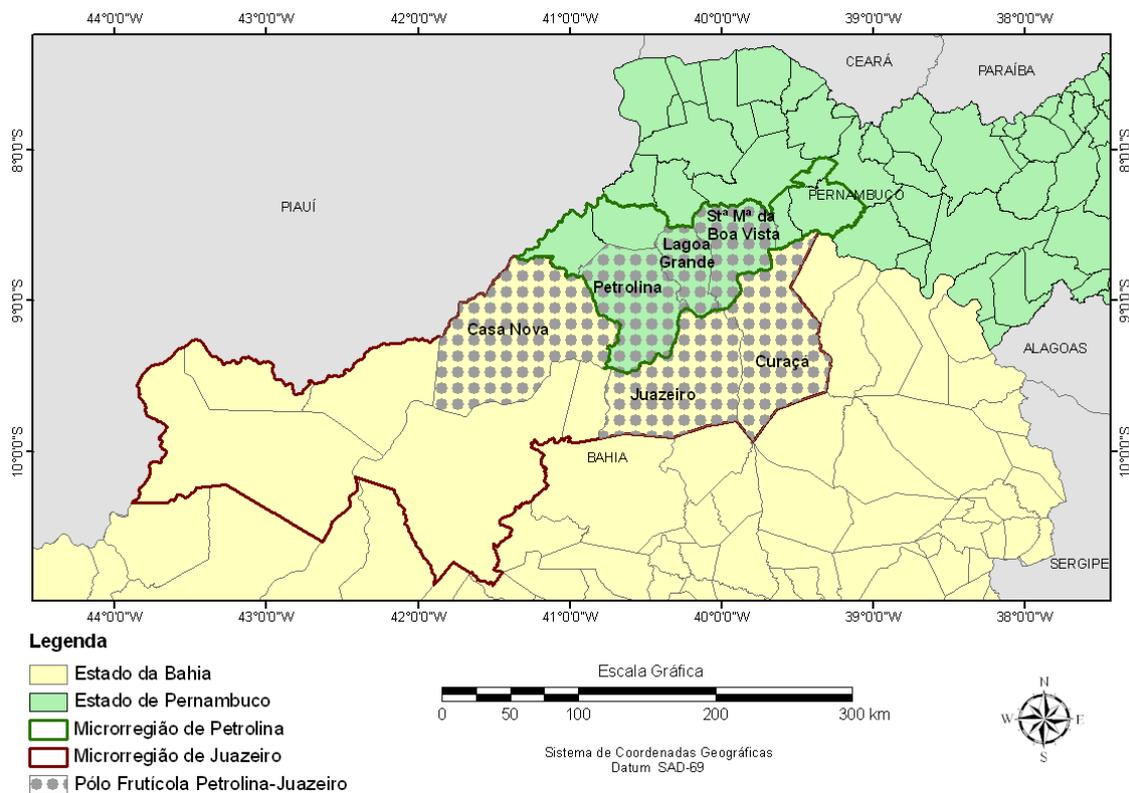
---

Entre estes projetos pode-se mencionar a criação do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), no ano de 1949. Um ano antes já havia sido estruturada a Comissão do Vale do São Francisco (CVSF), para atender em especial às necessidades da região do Submédio São Francisco, em prol do desenvolvimento. Em 1967 a CVSF foi substituída pela Superintendência do Vale do São Francisco (SUVALE), que em 1974 passou a se chamar Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco (CODEVASF). É possível constatar que historicamente que a partir da década de 1950 foi um marco na implementação de projetos que objetivavam promover o desenvolvimento da região semiárida. Tais esforços foram iniciados com a construção de açudes, para mitigar o flagelo da seca, e se baseavam no assistencialismo, deixando claro o caráter paliativo de tais iniciativas.

Em 1957, foi criado um grupo de estudo, que tinha na pessoa do economista Celso Furtado seu principal ícone. Tal grupo recebeu a denominação de Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN), que visava criar alternativas para erradicar os problemas socioeconômicos desencadeados pela seca. Este grupo de trabalho elaborou um documento que assegurava que o principal obstáculo ao desenvolvimento do semiárido era bem mais de caráter social do que natural, ou seja, que a raiz da solução dos problemas do semiárido não estava na simples elevação da oferta de alimento, como muitos acreditavam na época, mas em dar uma maior estabilidade à renda real do trabalhador, reduzindo, ao máximo, a agricultura de subsistência (SOBEL e ORTEGA, 2005).

O documento elaborado pelo GTDN apresentou como sugestão, para amortização dos problemas que assola o Sertão nordestino, a implantação de um perímetro de agricultura irrigado nas zonas em que esta atividade potencialmente pudesse ser desenvolvida. Desse modo, a partir da década de 1960, o poder executivo da União direcionou considerável investimento na criação de alguns perímetros irrigados em plena região semiárida do Nordeste brasileiro, e entre esses foi implantado um na divisa entre os estados de Pernambuco e Bahia, no Submédio/Médio rio São Francisco, denominado de Pólo Petrolina-Juazeiro, as duas maiores cidades de região (figura 16).

---

**Figura 16:** Localização do Polo Petrolina-Juazeiro.

Fonte: IBGE. Malha Municipal Digital, 2001.

De acordo com alguns autores (GRAZIANO DA SILVA, 1989; SAMPAIO e SAMPAIO, 2004; OLIVEIRA *et. al.*, 1991; LIMA e MIRANDA, 2000) o Pólo irrigado de Petrolina-Juazeiro teria alcanço grande êxito no Nordeste, sendo definido como o mais importante da região, devido ao sucesso atingido.

O Polo de irrigado de Petrolina-Juazeiro possui mais de 120.000 há cultivados, e a maioria são gerenciados pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF). As atividades do cultivo de frutas e hortaliças propiciou o desenvolvimento de uma cadeia de atividades interdependentes, que engloba o cultivo de frutas, o processamento das frutas para a produção de bebidas diversas e a comércio que visa atender o mercado interno e, principalmente, o externo, com destaque para a exportação direcionada para a América do Norte, União Europeia e Japão. O desenvolvimento de todas as atividades citadas faz do Brasil um dos três maiores produtores de frutas do mundo, ficando atrás apenas da China e Índia. Sua produção foi superior a 43 milhões de toneladas em 2008, correspondente a 5% da produção mundial (IBRAF, 2008).

A produção de frutas nos perímetros irrigados do Pólo em questão iniciou-se em meados da década de 1970, graças aos projetos desenvolvidos como já mencionado, e hoje é referência na produção e exportação de frutas diversas. Todavia, as frutas que mais se destacam entre os itens de exportação são a uva, com participação nas exportações brasileiras na ordem de 99% em 2004, e a manga correspondendo a 86% do total das exportações do Brasil em 2004 (MELO *et. al.*, 2009).

Ao mencionar a uva como sendo o principal item na pauta das exportações do Polo de Petrolina e Juazeiro, é de se esperar que o cultivo desta fruta passou a ocupar cada vez mais espaço, sendo necessário a incorporação de mais terras para o cultivo.

Desse modo, a expansão desta atividade em todo Submédio São Francisco tem avançado sobre as áreas onde estão localizadas o manto de areia denominado de Campo de Dunas de Petrolina.

Progressivamente novos empreendedores adquirem mais terras ao longo do vale do rio São Francisco, muitos vindos da região Sul do Brasil, e introduzem fazendas produtoras de uva (figura 17), no Perímetro Irrigado de Petrolina-Juazeiro.

**Figura 17:** Fazenda produtora de uva, no perímetro do Campo de Dunas de Petrolina.



Toda esta forma de uso e ocupação do solo tem gerado um desequilíbrio na paisagem local, levando a um elevado nível de instabilidade superficial, no tocante a todos os atributos constituintes do sistema do Campo de Dunas (TRICART, 1977). A

dinâmica sócio-espacial vigente leva a crer que o desenvolvimento do cultivo de frutas e, sobretudo de uva, na região em pauta irá corroborar para a descaracterização dos paleopavimentos e paleosuperfícies existentes, o que seria uma grande perda para o patrimônio geológico, geomorfológico e biológico da região semiárida, e mais especificamente de umas das áreas mais representativas deste ecossistema presente no Nordeste brasileiro.

Baseado na teoria Ecodinâmica de Tricart, desenvolvida no transcorrer da década de 1970, o cenário mais realista para a região do Campo de Dunas de Petrolina é que ele venha a se degradar até chegar a um ponto de se tornar irreversível, no tocante ao equilíbrio da paisagem.

O agronegócio continua crescendo em todo semiárido nordestino, e possivelmente as sequelas de tal crescimento alcançado tão rapidamente comecem a emergir em poucas décadas, já que tal a atividade se dá em concomitância a outras.

## 1.7 DESEQUILÍBRIO AMBIENTAL NO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA E A CLASSIFICAÇÃO ECODINÂMICA DOS MEIOS AMBIENTES

Tricart (1977) desenvolveu uma metodologia para analisar o nível de estabilidade das paisagens naturais. Tal metodologia visa identificar as forças que atuam na elaboração e modificação das paisagens, para assim classificar as paisagens de acordo com o maior ou menor grau de alteração em que elas se encontram.

Com base nesta premissa, Tricart (1977), em função da intensidade dos processos atuantes na paisagem natural, no que consiste a análise da dinâmica que determina a organização espacial, classifica as paisagens ou meios em três categorias: Estáveis, Intergrade e Fortemente Instável.

Segundo esse autor os meios *Estáveis* se encontram em áreas dotadas de uma série de condições ambientais, que podem ser traduzidas em localidades com cobertura vegetal suficientemente fechada, que pode indicar na maioria dos casos alto grau de preservação da paisagem fitogeográfica, para frear de forma eficaz o desencadeamento de processos morfogenéticos. Além disso, se verifica incipientes processos de dissecação da paisagem, sem incisão violenta das drenagens, sem sapeamento vigoroso dos rios e vertentes de lenta evolução.

---

Pode-se dizer ainda que os meios estáveis são marcados por processos pedogenéticos bem mais atuantes do que os ligados a morfogênese, onde segundo Erhart (1966 *apud* TRICART, 1977), impera a biostasia ou fitoestasia, onde os organismos vivos, e em especial, as plantas possuem efeito estabilizador pela função de anteparo aos fluxos de radiação e às gotas da chuva, e pelo efeito frenador sobre o vento. Este que por sua vez seria o principal agente morfogenéticos atuante na gênese da paisagem do Campo de Dunas de Petrolina.

Os meios classificados como *Intergrade* são por sua vez dotados de uma situação morfodinâmica na qual se constata uma passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis. A rubrica é convencional porque não existe nenhum corte, ou seja, não há predominância da pedogênese sobre a morfogênese, e vice versa. O que se verifica, na verdade, é uma ação concomitante de ambos os processos atuando sobre a paisagem.

Já os meios *Fortemente Instáveis* são marcados pela predominância da dinâmica morfogenética sobre os demais elementos que participam da gênese das paisagens. A morfogênese, neste caso, é o fator determinante do sistema natural, onde os outros elementos estão subordinados hierarquicamente. Neste tipo de meio, à degradação antrópica se acrescentam as causas naturais, particularmente eficazes nas regiões acidentadas onde o clima opõe fatores limitantes severos à vegetação. Essas condições difíceis tornam a degradação mais fácil (TRICART, 1977). Por isso, são áreas com forte presença de processos erosivos e perda de solo, com ações antrópicas bastante intensas, onde impera a resistasia (ERHART, 1966).

Tricart (1977) afirma que estes estágios de evolução das paisagens são uma das etapas desencadeadas no momento em que forças naturais interagem entre si e estas com os seres humanos, levando a paisagens a sofrer mutações, que vai gerar um desequilíbrio, na qual as paisagens ditas Estáveis irão passar por uma perturbação até chegar no estágio seguinte – o *Intergrade*. Posteriormente, se tal perturbação continuar vai conduzir a paisagem a um estágio chamado de *Instabilidade*.

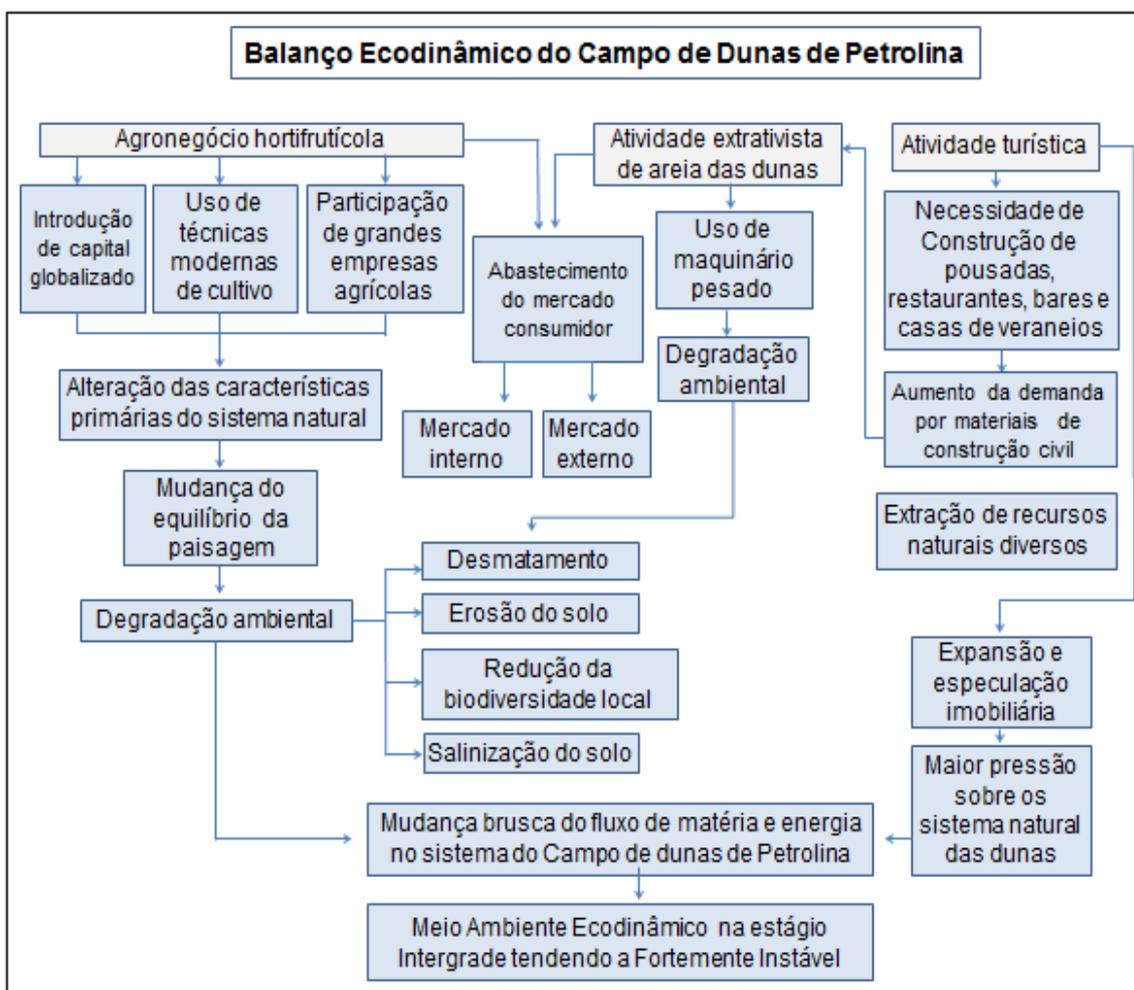
Todavia, vale ressaltar que o autor admite a possibilidade das paisagens voltarem ao seu equilíbrio, caso a mesma não seja afetada por processos que desprendam forças descomuns para o sistema novamente.

Com base no que foi evidenciado em pesquisa de campo, a região ocupada pelos depósitos eólicos em Petrolina encontra-se em um estágio de equilíbrio que está entre o *Intergrade* e *Fortemente Instável*. Para tentar explicar tal conclusão foi criado um

---

fluxograma, exposto a seguir, que simplifica o grau de equilíbrio ou desordem em que a paisagem estudada se encontra (figura 18).

**Figura 18:** Classificação ecodinâmica do Campo de Dunas de Petrolina, representada por meio de um fluxograma com os principais processos atuantes no modelado da paisagem.



Por conta de todo este desequilíbrio verificado na área de estudo, e em especial pela pressão causada pela dinâmica antropogênica, a classificação que se adequa melhor a realidade do Campo de Dunas de Petrolina é do um meio Fortemente Instável. Neste sentido, Tricart (1977) afirma que os processos Morfogenéticos são os predominantes na dinâmica natural. Uma vez que grande carga de materiais soltos pode ser erodida, transportada ou remobilizada pelos processos morfogenéticos atuantes, em especial pela ação antrópica, no contexto atual.

O estudo realizado para identificar as possíveis alterações antropogênicas, processadas na área de estudo, comprovam o grau de desequilíbrio em que tal sistema natural se encontra, com base no balanço ecodinâmico proposto por Tricart (1977), sobretudo, porque foi possível constatar *in situ* que o as condições de equilíbrio que poderia preservar ou conservar a paisagem, para que ela possa evoluir, por meio dos mecanismos naturais que imperam na área estão sendo alterados com grande velocidade, em virtude da grande ocupação e estabelecimento de tipos diversos de uso e ocupação, como mostrado anteriormente.

A figura 63 a seguir, apresenta seis imagens representativas para os três tipos de ambientes ecodinâmicos, segundo a metodologia de Tricart (1977), presentes no campo de dunas de Petrolina.

**Figura: 19:** Meios ecodinâmicos encontrados no campo e dunas de Petrolina: 19a e 19b – meios ecodinâmicos estáveis; 19c e 19d – meios ecodinâmicos Intergrade; 19e e 19f – meios ecodinâmicos fortemente instáveis.



Na figura acima as imagens 19a e 19b apresentam uma paisagem com a vegetação de caatinga esparsa até certo ponto conservada, o que proporciona uma estabilidade ao ambiente, visto que a vegetação segundo Tricart (1977) impede que os processos morfogenéticos, em especial a erosão, atuem com maior intensidade. Sendo assim, as imagens representam meios ecodinâmicos estáveis, onde predomina a bioresistasia. As imagens 19c e 19d retratam meios intergrades, onde observa-se a presença de elementos antropogênicos e a vegetação está sendo retirada, fazendo com que a paisagem passe a ser atingida mais intensamente por processos morfogenéticos, onde a resistasia vai imperar, e a paisagem começa a se transformar, sobretudo por conta da ação do homem. Nas imagens 19e e 19f verifica-se total descaracterização da paisagem natural pela ação antropogênica, o que conduz a configuração de um meio ecodinâmico fortemente instável, onde predomina a resistasia e os processos morfogenéticos atuam com muita intensidade.

---

---

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

O vento é importante agente morfodinâmico do relevo terrestre, sobretudo, nas áreas de clima seco (semiárida e árida) e ambientes costeiros. Desse modo, a seguir serão abordados algumas considerações sobre a atividade geológica-geomorfológica do vento sobre a superfície terrestre, e quais seriam os processos ligados e formas decorrentes da dinâmica eólica.

### 2.1 ATIVIDADE GEOMORFOLÓGICA DO VENTO

Embora a água seja o mais importante agente modelador da superfície terrestre, o vento tem grande relevância na morfogênese do relevo em ambientes áridos ou desertos absolutos, nos quais a água em estado líquido é escassa e as temperaturas médias são elevadas, proporcionando uma grande evaporação.

Em ambientes semiáridos, como no Sertão nordestino, a participação do vento na morfogênese atual é negligenciável, embora tenha sido mais significativa nos momentos de maior aridez, atuando em conjunto com outros agentes, tais como as chuvas torrenciais e canais de drenagem, ora causando erosão dos compartimentos de topografia mais elevadas, ora depositando sedimentos nas superfícies mais rebaixadas do terreno.

Deve-se destacar também o trabalho constante do vento nas áreas costeiras, onde são responsáveis pela mobilização e remobilização de grande massa de areia, contribuindo para a formação de feições eólicas bem peculiares em litorais de quase toda a superfície terrestre, como as dunas, mares de areia e lençóis de areia.

Wicander (2009) salienta que o vento pode desempenhar papel principal na morfogênese superficial em qualquer ambiente onde haja sedimento solto que possa ser erodido e/ou transportado, tais como ao longo de ilhas costeiras ou planícies litorâneas.

De acordo com PRESS (2006) o vento é um importante agente de erosão e deposição, movendo grandes quantidades de areia, silte e pó (argila) sobre vastas regiões de continentes e oceanos. Assim, o vento atua de forma semelhante à água em sua capacidade de erodir, transportar e depositar sedimentos.

A dinâmica dos ventos atuantes na formação das paisagens geológico-geomorfológicas recebe o nome de processo eólico, definido por Pey e Tsoar (1990)

---

como aqueles que envolvem a ação do vento, ou seja, erosão, transporte e deposição de um fluxo de ar sobre a superfície terrestre.

Desse modo, podemos distinguir dois grandes grupos de fatores atuantes na configuração das paisagens superficiais de ambientes secos: os destrutivos, representados pela erosão e transporte eólico, e os construtivos, que estão relacionados à deposição eólica.

Desse modo, será feita uma abordagem neste capítulo sobre os principais processos e produtos geológico-geomorfológicos do vento, tais como a corrosão, deflação e deposição eólica, além dos tipos de depósitos oriundos de tais processos.

### 2.1.1 EROSÃO EÓLICA

A erosão eólica é um dos processos atuantes na morfogênese do relevo dos ambientes terrestre, em especial áridos, semiáridos e costeiros. Este pode ser classificado, de acordo com Pye e Tsoar (1990) em três tipos principais:

- a) Deflação dos sedimentos soltos devido ao arraste pelo vento;
- b) Perda de sedimentos por impactos entre os grãos; e
- c) Abrasão gerada pelo impacto de partículas arrastadas pelo fluxo do vento.

Diferentemente de Pye e Tsoar (1990), Leinz (1985) e Press (2006) classificam de forma mais sucinta os processos de erosão eólica em dois tipos: deflação e corrosão (abrasão), que são os principais responsáveis pelo desgaste ou morfogênese de ambientes de extrema aridez ou semiáridos.

Na deflação, a remoção de areia, silte e argila ocorre de forma bastante seletiva, geralmente culminando com a geração de depressões denominadas de bacias de deflação (figura 20).

**Figura 20:** Uma depressão rasa de deflação no Vale São Luís, Colorado (EUA). O vento escavou a superfície e erodiu-a para um nível inferior em relação ao terreno adjacente.



Fonte: PRESS et al, 2006.

Estas feições podem atingir níveis mais baixos do que o nível médio dos oceanos, que em determinadas situações, ocasionam o rebaixamento da superfície de tal modo que pode chegar a atingir a zona de subsaturação ou saturada em água, formando, por meio desse mecanismo, os oásis (Figura 21).

**Figura 21:** Oásis no Deserto do Atacama, Cordilheira do Andes.



Fonte: Teixeira et al, 2009.

Também são produtos da deflação eólica determinados pavimentos detríticos cascalhosos e substratos rochosos, conhecidos como *reg* (Figura 22) exposto pela remoção dos sedimentos finos (TEIXEIRA *et. al.*, 2009). Tais processos podem ser retardados pelo estabelecimento de vegetação, que impede a retirada de sedimentos pelo vento, ou pela abundância de umidade em certos ambientes, que acabam por restringir a disponibilidade de sedimentos e retardam os processos de transporte eólicos (SHERMAN e LYONS, 1994; JACKSON e NORDSTROM, 1998; MCKENNA-NEUMAN e MALJAARS SCOTT, 1998).

**Figura 22:** Pavimento desértico ou *reg* na Mauritânia (África).



Fonte: [http://es.wikipedia.org/wiki/Pavimento\\_des%C3%A9rtico](http://es.wikipedia.org/wiki/Pavimento_des%C3%A9rtico). Acesso em maio de 2013.

Outro importante fenômeno ligado à erosão eólica é a corrosão ou abrasão, que é produzido pelo impacto das partículas de areia transportadas pelos ventos contra a superfície das rochas, polindo-as (POPP, 1998), podendo produzir feições que são verdadeiras obras-primas da natureza (Figura 23).

Quanto a isso Teixeira *et. al.* (2009) afirma:

Os constantes impactos de diferentes partículas em movimento (areia fina, média ou mesmo grossa) entre si e com materiais estacionados, geralmente maiores (seixos, blocos etc.), promovem intenso processo de desgaste e polimento de todos os materiais, denominado abrasão eólica (TEIXEIRA *et al.*, 2009, p.252).

**Figura 23:** Feição produzida pelo trabalho erosivo do vento ao transportar partículas em suspensão, na Tunísia (África).



Fonte: Environments, autores: Pavlopoulos *et al.*, 2009.

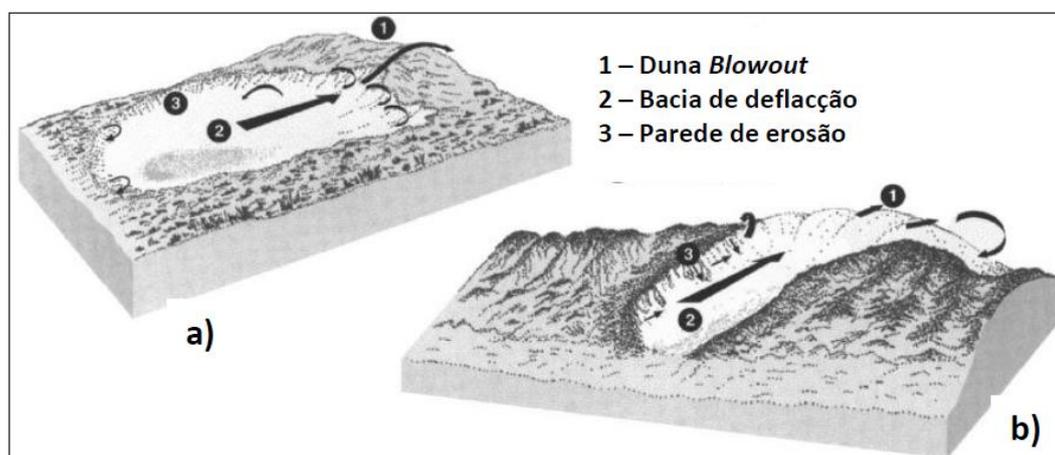
Sobre a abrasão eólica, é necessário deixar claro que o vento, isoladamente, não é capaz de produzir qualquer efeito abrasivo sobre materiais rochosos. Ele só é capaz de promover polimento quando transporta areia e poeira através dos seus vários mecanismos de transportes que pode ser: suspensão, saltação, rolamento, arrastamento ou tração (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Quanto a isso, Press (2006) afirma que o vento pouco é capaz de fazer para erodir grandes massas de rocha dura expostas na superfície terrestre. Somente quando a rocha sofre a ação do intemperismo e produz detritos soltos é que o vento consegue

captar as partículas, quando estas estão secas, já que em ambientes úmidos os fragmentos umedecidos tendem a ficar coesos pela umidade.

Outro tipo de feição associada à erosão eólica são os *Blowouts*, interpretados por Hesp (2000) como sendo feições (erosiva-deposicionais), formadas pela erosão eólica de depósitos arenosos pré-existentes seguida de redeposição local a sotavento. Sua morfologia consiste em uma bacia de deflação delimitada por paredes erosivas subparalelas que se fecham, rumo sotavento, em lobos deposicionais com formato em U (Figuras 24 e 25).

**Figura 24:** *Blowouts* e morfologias associadas: a) *blowout* tipo pires; b) *blowout* tipo calha.



Fonte: Adaptado de HESP (2002a).

**Figura 25:** Estrutura de dissipação - *Blowout* formando uma bacia de decantação, em Petrolina.



Fonte: Lira, 2014.

Quanto aos processos de erosão e deposição eólica mencionados, é possível constatar de forma preliminar que a remoção de areia pelo vento é um processo atuante na área de estudo, ao longo das margens do São Francisco, onde neste caso em especial se materializa com a formação de feições denominadas de *Blowouts* ou bacias de deflação eólica.

### 2.1.2 TRANSPORTE EÓLICO

Os registros sedimentares produzidos pelo vento só são possíveis de existir sobre a superfície terrestre porque antes foram movidos pela ação eólica.

O vento é capaz de transportar enormes cargas de sedimentos por milhares de quilômetros, mas para tanto são necessárias algumas condições básicas, tais como a velocidade do fluxo aéreo, o tamanho das partículas a serem mobilizadas (Figura 26), e os obstáculos existentes no ambiente, como a presença de vegetação e a umidade do ar. Se conseqüentemente, todas estas variáveis forem adequadas o transporte eólico será desencadeado de forma plena.

Sobre isto Lancaster (1993) afirma que a ação efetiva do vento em remover e transportar sedimentos sobre o substrato arenoso inconsolidado é facilitada em virtude da escassa cobertura vegetal. Desse modo, ambientes secos com vegetação esparsa ou incipiente/inexistente, seria condição favorável para o desenvolvimento de tais processos.

Quanto ao tamanho dos grãos que podem vir a ser transportados pelo vento, Vintem *et. al.* (2003) afirma que o vento tem que ter competência para movimentar partículas de areia para que ele seja transportado e depositado, dando início à formação de feições geomorfológicas superficiais. Deste modo, conhecer o regime de ventos e as características texturais dos sedimentos disponível, é fundamental para analisar processos de migração de ambientes deposicionais eólicos.

**Figura 26:** Diâmetro máximo de partículas movimentadas pelo vento, para partículas de quartzo (Peso específico = 2,65 g/cm<sup>3</sup>).

<b>Velocidade do vento (km/h)</b>	<b>Diâmetro máximo movimentado (mm)</b>
1,8	0,04
11	0,25
32	0,75
47	1,0
furacão	10

Fonte: TEIXEIRA *et al.* 2009.

Leinz (1985) afirma que o efeito transportador do vento depende da sua velocidade e do tamanho das partículas e enfatiza que o transporte pode ser efetuado de diversas maneiras: por suspensão, rolamento ou saltos ao longo do percurso.

A análise granulométrica é uma etapa fundamental no campo de estudo da sedimentologia, daí a sua importância imprescindível na tentativa de buscar o entendimento acerca da natureza e caracterização dos depósitos eólicos terrestres. A investigação acerca da granulometria consiste em fornecer dados relacionados ao modo de transporte e deposição dos sedimentos a partir do seu tamanho, forma, cor e brilho (ALMEIDA, 2002).

Teixeira *et al.* (2009) menciona que cada fração sedimentar vai ser transportado de uma forma específica. Quanto isso, o autor individualiza que as partículas nas frações silte e argila, denominadas por ele como poeira, também denominadas de finos, em geral são transportadas em suspensão, já que o vento com velocidade superior a 10 km/h é capaz de suspender facilmente as frações citadas. Segundo a tabela granulométrica de Wentworth (Figura 27), para se deslocar via suspensão, os sedimentos devem ter diâmetro igual ou inferior a 0,125 mm.

**Figura 27:** Classificação granulométrica de Udden-Wentworth, os valores estão expressos em mm, com terminologia de Wentworth.

Intervalo granulométrico (mm)			Classificação nominal	
Proposições originais (inglês)			Tradução usual (português)	
> 256	<i>Gravel</i>	<i>Boulder</i>	Cascalho (ou balastro em Portugal)	Matacão
256-64		<i>Cobble</i>		Bloco ou calhau
64-4,0		<i>Pebble</i>		Seixo
4,0-2,0		<i>Granule</i>		Grânulo
2,0-1,0	<i>Sand</i>	<i>Very coarse sand</i>	Areia	Areia muito grossa
1,0-0,50		<i>Coarse sand</i>		Areia grossa
0,50-0,250		<i>Médium sand</i>		Areia média
0,250-0,125		<i>Fine sand</i>		Areia fina
0,125-0,062		<i>Very fine sand</i>		Areia muito fina
0,062-0,031	<i>Silt</i>	<i>Coarse</i>	Silte	Silte grosso
0,031-0,016		<i>Médium silt</i>		Silte médio
0,016-0,008		<i>Fine silt</i>		Silte fino
0,008-0,008		<i>Very fine silt</i>		Silte muito fino
< 0,004	<i>Clay</i>	<i>Clay</i>	Argila	Argila

Fonte: SUGUIO (1973).

As partículas de areia, com diâmetro entre 0,125 mm e 2 mm (TEIXEIRA *et. al.*, 2009), em geral vão ser transportadas em pequenos saltos. O movimento da areia por esse processo denomina-se saltação.

De acordo com Pethick (1984) quando a pressão de cisalhamento exercida pelo vento sobre um manto de areia ultrapassa um ponto crítico, ou seja, quando tem energia suficiente para suspender um grão de areia por até 1 metro de altura da superfície, alguns grãos começam a se mover para frente, chocando-se com outros grãos que estavam imóveis. O impacto gerado propicia que alguns grãos sejam arremessados para cima, o que desencadeia o transporte por saltação. Como resultado deste efeito multiplicador, logo toda a superfície arenosa entra em movimento, descrevendo verdadeiras “nuvens” de grãos em saltação.

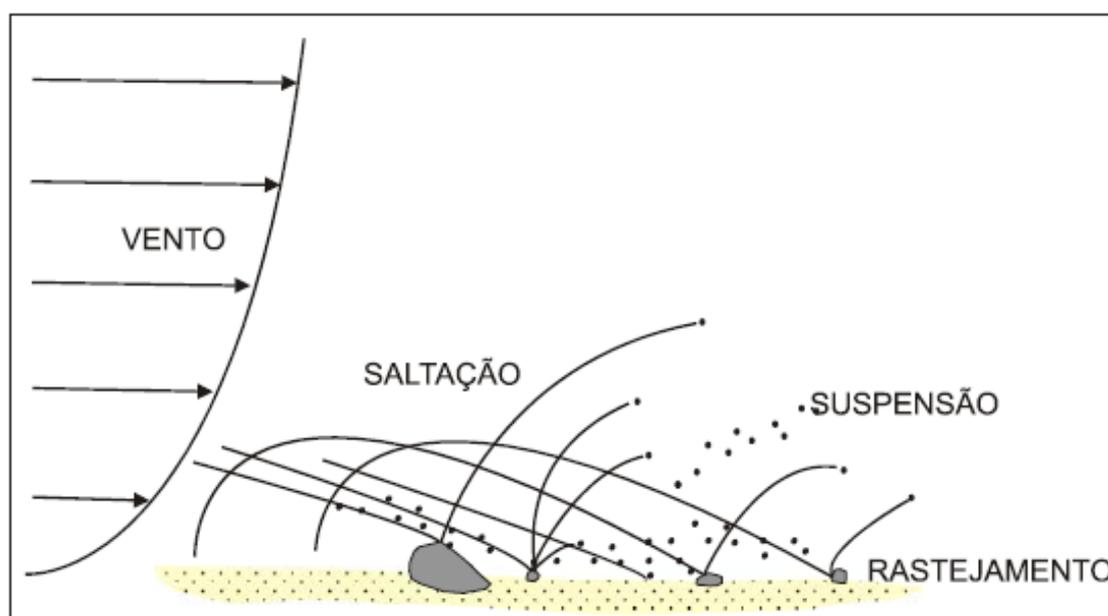
Por outro lado, as partículas com maior diâmetro, superior a 0,5 mm (areia grossa, areia muito grossa, grânulos e seixos), segundo Teixeira *et al.* (2009) em geral são transportadas por arraste ou rastejamento. Isto ocorre quando um grão que se encontra em saltação cai sobre o manto sedimentar e se choca contra um grão bem maior. Este por sua vez responde com uma movimentação para frente por meio de rolamento, caracterizando a dinâmica deste tipo de transporte. Segundo estudos de Bagnold (1941) *apud* Tomazelli (1990), cerca de  $\frac{1}{4}$  do total da areia movida pelo o vento se desloca por meio do rastejo. O restante move-se, basicamente, por saltação.

Ainda no que diz respeito à granulometria dos sedimentos eólicos e seu mecanismo de transporte, as areias grossas com 0,5 mm de diâmetro situam-se ao nível do solo e as areias finas com 0,18 mm de diâmetro a 15 cm de altura (CLAUDINO-SALES, 2002).

De acordo com Maia (1998), para a velocidade crítica de transporte de 5,0 m/s, 94 % do transporte eólico ocorre nos 10 primeiros centímetros acima da superfície. A areia grossa, por sua vez, seria transportada até 0,5 cm acima da superfície, sobretudo por rolamentos, e a areia fina, entre 0,18 e 15 cm de altura, seria carregada por saltação.

Observa-se, na Figura 28, de forma simplificada, os mecanismos principais de transporte eólico, proposta por Greeley e Inversen (1985), *apud* Tomazelli (1990):

**Figura 28:** Os processos básicos de transporte e sedimentação pelo vento.



Fonte: Greeley e Inversen, 1985, *apud* Tomazelli, 1990.

### 2.1.3 MECANISMOS DA DEPOSIÇÃO EÓLICA

A deposição ou sedimentação é definida por Guerra (2005) como processo pelo qual se verifica o acúmulo de sedimentos ou de substâncias que poderão vir a ser mineralizadas. A deposição ocorre quando o agente transportador (vento, água, gelo etc.) não tem mais competência para transportar uma determinada carga de sedimentos.

Os locais onde são deixados, ou seja, depositados os sedimentos de origem inorgânica ou orgânica, são denominados ambientes de sedimentação, definidos por Suguio (2003), como porções da superfície terrestre com propriedades físicas, químicas e biológicas bem definidas e diferentes das apresentadas pelas áreas circundantes.

Em se tratando das dunas e lençóis de areias presentes no município de Petrolina, o ambiente de deposição característico para a formação de tais registros sedimentares é típico de um ambiente desértico, que teria existido entre o Terciário e Quaternário, segundo estudos realizados por diversos estudiosos do semiárido nordestino (WILLIAMS, 1925; DOMINGUES, TRICAR, 1974; GOUDIE, 1983; BARRETO, 1996; AB'SABER, 2006).

Segundo Suguio (2003), os ambientes desérticos são representados por regiões desprovidas de vegetação ou com vegetação muito rarefeita e pobre, que impede a fixação de qualquer fauna mais importante. Nestes ambientes a taxa de evaporação potencial excede a taxa de precipitação pluvial e, conseqüentemente, o vento constitui uma dos agentes geomorfológicos mais efetivos nos processos de sedimentação.

A acumulação eólica refere-se à deposição do total de sedimentos através do tempo, gerando um corpo tridimensional de estratos que podem ser incorporados ao registro geológico (KOCUREK e HAVHOLM, 1993 *apud* TOMAZELLI, 1996).

Quanto aos depósitos eólicos de areias, Pye (2009) afirma que eles cobrem cerca de 6% da área superficial do globo terrestre, dos quais 97% ocorrem em grandes mares de areia de zonas áridas. O mesmo autor afirma ainda que cerca de 20% das zonas áridas do planeta Terra são cobertas por sedimentos eólicos, que possuem uma distribuição irregular entre os continentes, apresentando registros sedimentares na América do Norte (apenas 2%), pouco mais que 30% na Austrália e cerca de 45% na Ásia Central.

Os processos deposicionais desencadeados pelo vento podem ser classificados em três tipos, segundo Hunter, 1977; Fryberger e Schenk, 1981; Kocurek e Dott Jr., 1981 (*apud* Tomazelli, 1990): Deposição por queda livre de grãos; Deposição por

avalanche de grãos (deslizamento e fluxo de grãos); Deposição associada a migração e cavalgamento de marcas onduladas.

De acordo com Suguio (2003) Os depósitos eólicos de areias mais importantes são as dunas e os lençóis de areia. Estes tipos de depósitos são muito comuns em áreas desérticas, embora não seja exclusividade de tais ambientes.

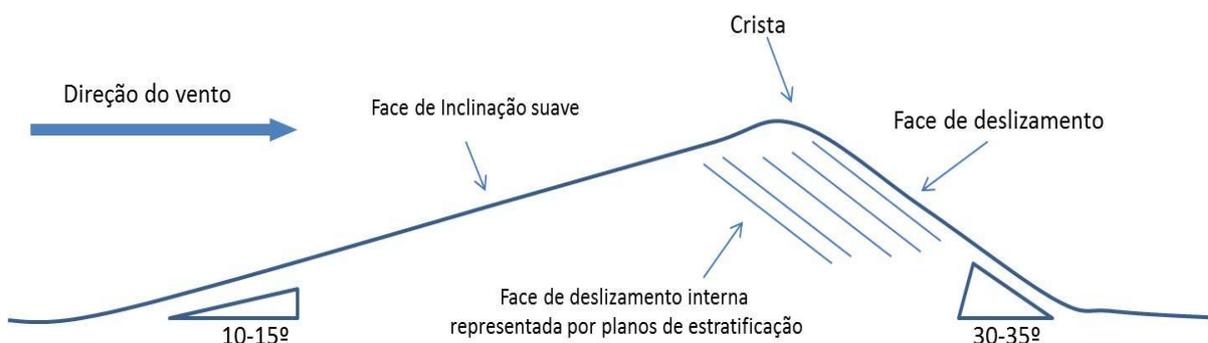
A partir do exposto, as dunas e os lençóis de areia são os mais importantes registros eólicos encontrados na superfície. Por isso, será abordado a seguir os mecanismos de formação e características de tais feições deposicionais.

#### 2.1.4 DUNAS: CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO

As dunas correspondem às colinas de areia originárias a partir da ação da vento (SUGUIO, 1998). Elas são as feições mais conspícuas entre os depósitos arenosos, apresentando em geral grãos bem selecionados, já que o vento é capaz de transportar partículas com diâmetro equivale à areia fina, silte e argila, ou seja, clastos de pequena granulometria.

Pye e Tsoar (1990), de forma mais sucinta, definem as dunas como simples acumulações de areia empilhadas pelo vento, que apresentam uma face suave denominada de barlavento, com ângulo de inclinação entre 5 e 15°, e outra face mais inclinada, o de sotavento, com inclinação que pode variar de 20 a 35° (figura 29). Segundo Lancaster (2007), as dunas cobrem aproximadamente 1/3 das regiões áridas da Terra.

**Figura 29:** Componentes básicos do perfil transversal de uma duna com uma orientação única na face de deslizamento.



Fonte: Adaptado de Summerfield (1994).

Ainda segundo Pye e Tsoar (2009), as dunas eólicas são compostas por grãos de areias na faixa de tamanhos entre 0,063 mm e 2,00 mm, definido de acordo com a escala de Udden-Wentworth, o que torna mais coeso a afirmação de que estas acumulações eólicas apresentam um caráter granulométrico bem selecionado.

Quanto à composição mineralógica, Lancaster (1995) afirma que as dunas são constituídas, principalmente, por grãos de quartzo e feldspato, por serem minerais resistentes ao intemperismo. Contudo, o tipo de mineral que compõe as dunas depende da distância em relação à área fonte. Desse modo, dunas podem apresentar materiais diversos, inclusive vulcanoclásticos, quando a área fonte está próxima ao receptáculo sedimentar.

Sherman (1995) afirma que as dunas arenosas ou sistema de dunas representam a integração de uma suíte de processos geomórficos e respostas sedimentares sobre uma extensão particular de tempo e espaço, sendo, portanto, extremamente dinâmico e estando constantemente em processo de mudança.

Para Barreto *et. al.* (1996) o termo duna serve para designar acumulações ou depósitos de areia de origem eólica. Em sua maioria estes depósitos estão distribuídos em desertos quentes como o Saara (África), Atacama (América do Sul) e regiões costeiras, como no litoral do Ceará (Brasil).

Tais depósitos quando encontrados no continente são uma evidência de clima árido, o que pode ser tomado como subsídio para reconstituição paleoambiental e paleoclimática, pois para que tais depósitos se formem são necessárias algumas condições propícias, tais como: a taxa de evaporação potencial deve exceder a taxa de precipitação pluvial, o que caracterizaria o déficit hídrico, e, conseqüentemente, o vento constitui um dos agentes geológicos mais efetivos nos processos de erosão e sedimentação. Tais características são comuns em ambientes áridos. A eficácia do vento, tipo de suprimento de areia e natureza e densidade da cobertura vegetal, para alguns autores determinariam o tipo de duna a se formar (MELTON, 1940; MCKEE, 1966 E COOPER, 1967).

Quanto à estrutura interna, Reineck e Sing (1980) distinguem as dunas por terem três tipos de estratificações principais:

- a) Estratificações de baixo ângulo (*horizontal bedding*), formadas por camadas de areia quase horizontais, com mergulhos variando de 3 a 10°, constituídas de grãos bem selecionados, às vezes alternadas por laminações compostas de minerais pesados;

- b) Estratificações cruzadas (*cross-bedding*), com ângulos de mergulho entre  $25^\circ$  e  $34^\circ$ , decorrentes do processo de migração da duna por fluxo de grãos e queda de grãos;
- c) Superfícies limitantes (*lower bounding surfaces*), que podem ser geradas pela variação do lençol freático, que controla o nível de erosão da duna ou ainda pelo cavalgamento ou superimposição de dunas.

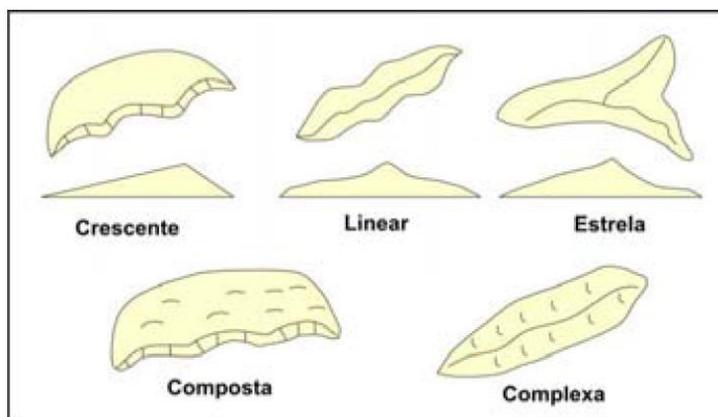
Ao longo do século XX os estudos sobre as dunas, evoluíram devido à importância dada a elas nos estudos paleoambientais e paleoclimáticos, já que estes depósitos são tratados como importantes fontes terrestres de evidências de climas pretéritos.

De acordo com Suguio (1998) as dunas podem ser subdivididas segundo a forma, orientação em relação ao vento e em relação à posição geográfica (desérticas, costeiras e continentais).

As dunas podem ser classificadas por sua dinâmica deposicional e/ou erosional, sendo reconhecidos os seguintes tipos: dunas estacionárias e dunas migratórias (GLENNIE, 1970; REINECK e SING, 1980).

McKee (1979) propõem uma classificação com base na morfologia das dunas em planta. Com base nesta classificação as dunas podem ser de dois tipos básicos: crescentes e lineares. O primeiro tipo segundo o autor inclui dunas assimétricas com linha de crista bastante sinuosa. São exemplos de dunas crescentes as barcanas e as cadeias barcanóides. Já o segundo tipo agrupa dunas simétricas, podendo apresentar ou não linha de crista reta (figura 30).

**Figura 30:** Tipos morfológicos de dunas vistos em plantas.



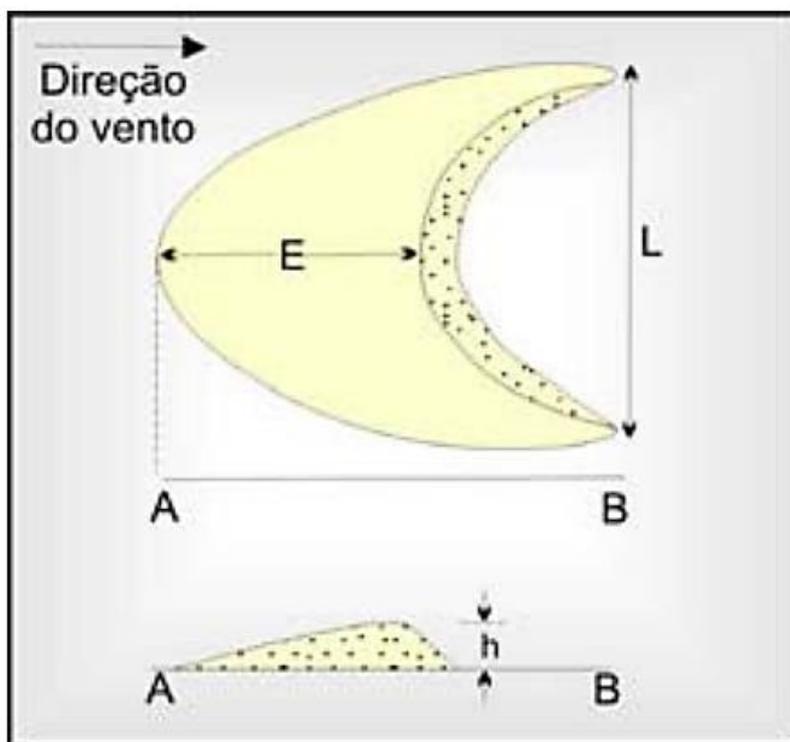
Fonte: McKee (1979).

Hunter *et. al.* (1983) propõe um esquema de classificação para as dunas com base na orientação apresentada pelas cristas que resultado da ação do vetor médios dos ventos. De acordo com esta proposta, as dunas podem ser: longitudinais, transversais e oblíquas.

Em outro momento, Mckee (1999) apresenta uma outra classificação na qual as dunas podem ser agrupadas nos seguintes tipos: *Barcanas*, *Transversais*, *Parabólicas*, *Seif*, *Estreladas*, *Dômicas* e *Reversas*.

As dunas *Barcanas* (Figura 31) são as que se desenvolvem em ambientes onde o vento é moderado e o fornecimento de areia é limitado. Desse modo, estas dunas assumem forma de meia-lua com suas extremidades voltadas no mesmo sentido do vento (TEIXEIRA, *et. al.*, 2000).

**Figura 31:** Morfologia de dunas barcanas. Parâmetros de duna, onde “E” compreende a extensão. “L” a largura e “h” a altura.



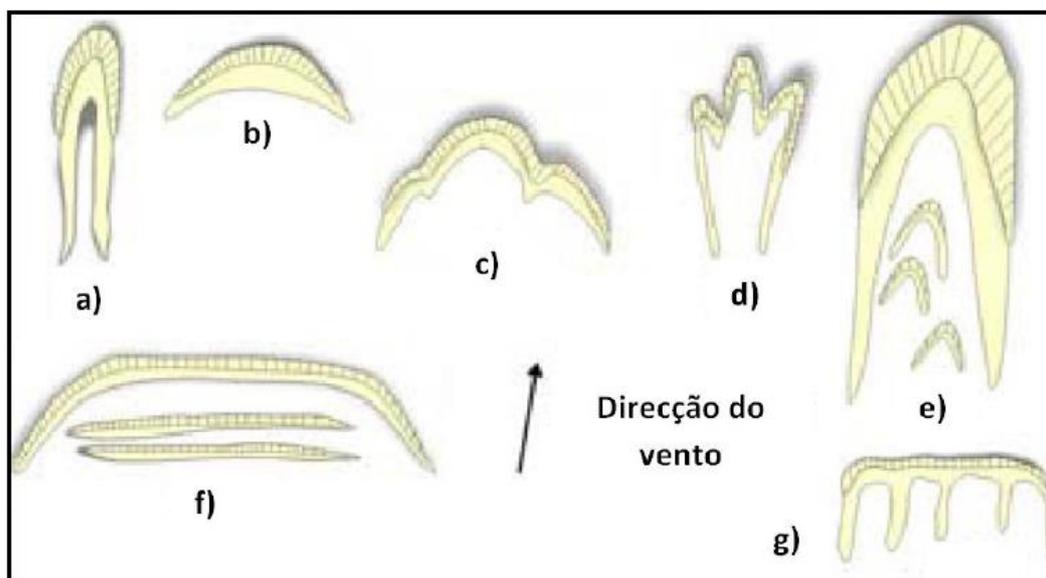
Fonte: Pye e Tsoar, 1990.

Por sua vez, as dunas *Transversais* são representadas por corpos arenosos de cristas retas ou ligeiramente curvas, alinhadas perpendicularmente à direção dominante do vento. Apresentam uma forma simples decorrente de um regime de vento

unidirecional, possuindo uma única face de deslizamento, a qual é direcionada para sotavento (BRANCO *et. al.*, 2003).

As dunas *Parabólicas* se assemelham às dunas Barcanas, contudo se diferenciam destas pela curvatura das extremidades, que é bastante fechada o que lembra a letra U, com suas extremidades voltadas no sentido contrário do vento (figura 32). Estas dunas se formam em ambientes com ventos fortes e constantes com suprimento de areia superior ao das áreas de Barcanas (TEIXEIRA *et. al.*, 2000).

**Figura 32:** Tipos morfológicos de dunas parabólicas: a) grampo; b) lobular; c) hemicíclica; d) digitada; e) nidiformes; f) cadeias transgressivas com dunas transversais secundárias; g) dunas em forma de “ancinho”.



Fonte: Adaptado de Pye e Tsoar (2009).

Outro tipo de duna presente na classificação proposta por McKee é a *Seif*, que é uma nomenclatura herdada da língua árabe que significa *dunas longitudinais* (GUERRA, 2005). As dunas longitudinais são caracterizadas por cristas alongadas e retilíneas, alinhadas paralelamente com a direção dominante do vento, podendo apresentar vegetação ou não (BRANCO *et al.*, 2003).

As dunas *Estreladas* (figuras 33) por sua vez são formadas a partir de atuação de ventos constantes, quanto à velocidade e intensidade, mas que estão sujeitas a mudança frequente de sentido e direção. Como resultado a dunas Estrela apresentam cristas que lembram raios de uma estrela.

**Figura 33:** Dunas piramidais ou em estrela, na Califórnia (EUA).



Fonte: Bridge e Demicco, 2008

Por sua vez, as dunas *Dômicas*, ou em domo, não apresentam face de avalanche, sendo semicirculares ou elípticas em planta. Caracterizam-se por acumulações de areia de pequeno porte, que migram sobre as superfícies das dunas de maiores dimensões. A ausência da face de avalanche é atribuída a ventos fortes e unidireccionais que impedem o crescimento vertical da duna (BRANCO *et al.*, 2003; MCKEE e BIGARELLA, 1979 *apud* ARAÚJO, 2006).

E por último temos as dunas *Reversas*, que são dunas com crista transversal aos ventos dominantes, caracterizadas pelo desenvolvimento de faces de deslizamento que mergulham em sentidos opostos, devido à ação alternada de ventos provenientes de rumos opostos (MCKEE, 1979).

Levando-se em consideração a dinâmica deposicional e/ou erosional, as dunas podem ser classificadas em: estacionárias e migratórias (GLENNIE, 1970; REINECK & SING, 1980). Esta classificação é mais simples quando diz respeito às classes, contudo é bem complexa na aplicação, pois se baseia na estrutura interna das dunas, se existe ou não a presença de estratificação cruzada, por exemplo, o que remete à sua dinâmica de formação.

#### 2.1.4.1 DUNAS COSTEIRAS E CONTINENTAIS

Outra forma muito particular de classificar as dunas é quanto à sua posição em relação às massas oceânicas. Em geral, são muito comuns dunas em ambientes costeiros, a exemplo dos campos que ocorrem ao longo do litoral brasileiro (Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe, Alagoas, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio grande do Sul), mas por vezes tais feições eólicas podem ocorrer no interior dos continentes, a exemplo dos extensos campos de dunas existentes na porção norte e sudoeste da África (Saara e Namíbia), na Ásia (deserto de Gobi, Thar e Mongólia). A similaridade entre estes mantos de areais interiores reside no fato de todos eles estarem estabelecidos em ambientes desertos.

De forma sucinta, os campos de dunas eólicas podem ser costeiros ou interiores. Estas últimas podem ser denominadas também de continentais ou fluviais, já que a fonte de sedimento é um rio (SUGUIO, 1998). Esta classificação se baseia na localização e distribuição da massa de areia na superfície terrestre.

As dunas costeiras se formam em ambientes onde o suprimento areia é grande e os ventos são constantes. O clima, em especial os totais pluviométricos, neste caso teria menor importância na gênese de tais formas, embora seja um fator que favoreça seu desenvolvimento. Uma importante característica deste tipo de duna é sua dimensão, pois de um modo geral, as feições eólicas costeiras alcança comprimento e altura bem superiores às dunas continentais, exceto quando se tratam de dunas de ambientes desérticos, onde se desenvolvem as *draas* megadunas (figura 34).

**Figura 34:** Dunas costeiras no litoral do Rio Grande do Norte.



Fonte: Fotos de Helenice Vital - 2002.

De maneira distinta, as dunas continentais ou interiores (SUGUIO, 1998) estão associadas a uma dinâmica climática distinta da vigente no presente, o que conduz a uma interpretação de que sua existência foi condicionada pela instalação de um clima mais seco, que possibilite ao vento atuar no transporte de sedimentos, que pode ser um canal de drenagem ou um lago, que diminua de volume por interferência do clima, e deixe expostos sedimentos que por sua vez podem ser retrabalhados pela erosão, transporte e deposição. Tais formas se fazem presentes na porção central do sertão nordestino, margeando o rio São Francisco, estendendo-se desde o estado da Bahia até Pernambuco (figura 35).

Contudo, é importante acrescentar que este tipo de duna só é evidência de paleoclima em áreas onde as mesmas não estejam ativas contemporaneamente. Deste modo, aquelas encontradas no interior dos continentes africano e asiático, mesmo sendo de grande relevância na configuração geomorfológica das regiões desérticas, não vão ser entendidas como evidências de climas passados, uma vez que são compatíveis com as condições do sistema climático atual.

**Figura 35:** Dunas continentais no município de Petrolina – PE.



Fonte: Próprio autor, 2013.

Conclui-se que as dunas tem uma relação direta com diversos fatores naturais, mas sobressai-se o binômio ventos constantes e intensos em comunhão com a disponibilidade de areia, embora as condições climáticas tenham uma relevância irrefutável, principalmente para a origem das dunas continentais.

#### 2.1.4.2 DUNAS MÓVEIS E FIXAS

Os depósitos eólicos que formam campos de dunas na superfície terrestre podem apresentar feições que podem ser classificadas pela sua dinâmica atual ou pela ausência de dinâmica, ou seja, existem dunas que estão pleno deslocamento, onde percebe remobilização dos grãos, e há aquelas que foram afixadas e que, por conseguinte, não apresentam deslocamento algum. Desse modo, as dunas que se deslocam são denominadas de *Móveis* e as que não se denominam *Fixas*. Estas podem ser chamadas também de mortas ou paleodunas.

As dunas móveis (figura 36), também denominadas de migratórias, são feições comuns em ambientes onde há uma grande disponibilidade de areia solta, ventos intensos e carência umidade. Este último parâmetro não é adotado para regiões costeiras ou litorâneas. Os trabalhos de deflação e acumulação eólicas na zona costeira são responsáveis, por exemplo, pelo desenvolvimento de extensos e contínuos cordões de dunas ao longo de todo o litoral cearense, assim como em outros estados da região nordeste do Brasil (SOUZA, 1988).

**Figura 36:** Dunas móveis na praia da Balei, no município de Itapipoca, litoral do Ceará.



Fonte: Pinheiro *et al.* 2013.

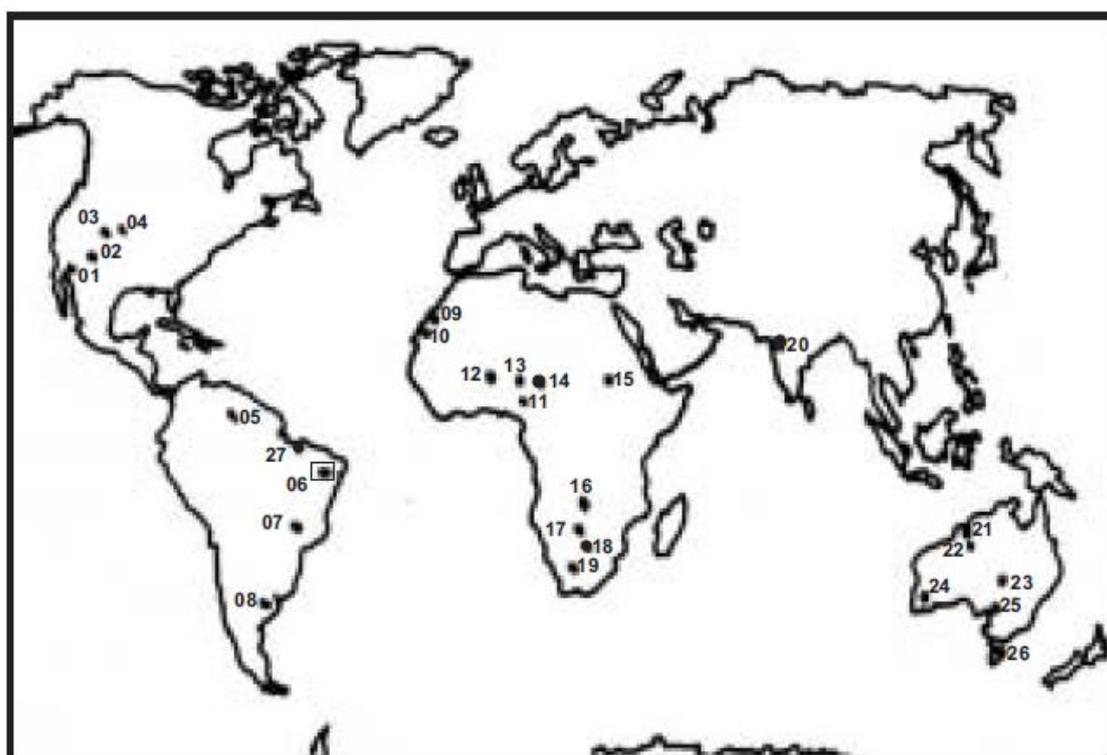
A maior parte dos campos de dunas móveis existentes na geoesfera, assim como os mais extensos, está compreendida em ambientes desérticos. Contudo é comum

encontrar em áreas costeiras como a exemplo dos campos de dunas móveis encontrados na costa brasileira, como já mencionado nesta pesquisa.

Nas áreas costeiras o desenvolvimento de dunas ocorre naturalmente em margens afastadas da praia, sendo necessário um suficiente fornecimento de areias sempre secas, com ventos atuando sempre acima da velocidade mínima necessária para remobilizar sedimentos (HESP, 2000).

As dunas fixas podem receber diversas denominações: estabilizadas, estacionárias, morta, inativa (SUGUIO, 1998) ou fósseis (BARRETO, 1996 e SÍGOLO, 2009), podendo ser encontradas em vários estados brasileiros: São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia e Pernambuco; e em diversas regiões espalhadas pelo mundo, associadas em geral às áreas periféricas de desertos quentes (figura 37).

**Figura 37:** Localização dos principais sistemas de dunas inativas ou fósseis da Terra.



América do Norte: 1. Deserto de Mojave, 2. Arizona, 3. Colorado, 4. Nebraska; América do Sul: 5. Lhanos (Venezuela e Colômbia), 6. São Francisco (Nordeste do Brasil), 27. Maranhão (Brasil), 8. Pampas (Argentina); África: 9. Mauritânia, 10. Senegal, 11. Hausaland (Nigéria), 14. Bacia do Chad, 15. Kordofan (Sudão), 16. Zaire, 17. Zâmbia-Angola, 18. Zimbábue, 19. Kalahari; Ásia: 20. Deserto de Thar; Oceania: 21. Noroeste da Austrália, 22. Deserto de Gt. Sandy, 23. Deserto de Simpson-Malle-Strezelecki, 24. Oeste da Austrália, 25. Sula da Austrália, 26. Tasmânia. Fonte: Barreto *et al.*, 2002, Modificado de Thomas & Shaw, 1991.

Estas dunas apresentam-se, freqüentemente, cobertas por vegetação (figura 38) e têm a forma original parcialmente modificada por processos erosivos e/ou pedogenéticos atuantes posteriormente à sua sedimentação. São comumente relacionadas a climas pretéritos, provavelmente mais secos que o atual, conforme observado por Thomas e Shaw (1991), corroborado por Barreto (1996) e Giannini et al. (2005), como também as variações do nível do mar ocorridas ao longo do Quaternário.

Ainda de acordo com Suguio (1998) as dunas fixas se estabelecem como tal, ou seja, com pouca ou nenhuma dinâmica, pelo povoamento de uma cobertura vegetal estabelecida, na maioria das vezes, por uma melhoria climática natural ou por meio artificial, quando há interferência antrópica.

**Figura 38:** Dunas fixas em Ponta do Mangue – Lençóis Maranhenses (Maranhão).



Fonte: Souza (2006).

### 2.1.5 LENÇOL DE AREIA

Os lençóis de areia formam extensos depósitos arenosos de superfícies mais ou menos planas que, segundo Bagnold (1954) e Glennie (1970), sendo resultantes da sedimentação por ventos de alta velocidade, transportando areia de tamanhos diversos, ou seja, mal selecionados. Lençóis de areia eólica são típicos de sistemas deposicionais desérticos, caracterizados por morfologias planas e levemente onduladas e ausência de

dunas com faces de avalanche (BAGNOLD, 1941). Tais depósitos se desenvolvem, no presente, em áreas marginais de *erg* (FRYBERGER *et. al.*, 1979; KOCUREK e NIELSON, 1986; LANCASTER, 1994), de leques aluviais (NIELSON e KOCUREK, 1986), de *playa* (BREED *et. al.*, 1987), em áreas costeiras (HUMMEL E KOCUREK, 1984; EL-BAZ *et. al.*, 2000) e regiões periglaciais (KOSTER, 1988; MOUNTNEY e RUSSEL, 2004).

Estes depósitos eólicos cobrem áreas inferiores a 125 km<sup>2</sup>, já que os depósitos com extensão superior a 125 km<sup>2</sup> são comumente designados de *Erg* ou mar de areia (figura 39) (FRYBERGER E AHLBRANDT, 1977; THOMAS, 1989b).

**Figura 39:** Erg ou mar de areia na Namíbia.



Fonte: Lancaster, 1995.

Sobre os *Erg's* Wilson (1973) afirma que estes registros sedimentares podem ser identificados no momento em que um manto de areia cobre pelo menos 20% do terreno onde está acomodado, e que é suficientemente grande para conter *draas*, ou seja, dunas gigantes ou megadunas, que segundo kocurek, 1981 podem apresentar comprimento de onda entre 300 e 5500 m e alturas de até 400 m.

Quanto à sua espessura, os lençóis de areia podem variar de poucos centímetros a algumas dezenas de metros, como os que são encontrados em campos de dunas no Colorado (EUA), que apresentam metros de espessura. Quanto às características texturais, os lençóis de areia apresentam sedimentos que variam de areia fina até areia

grossa pobremente selecionada (FRYBERGER, *et. al.*, 1979). As características texturais dos lençóis de areia funcionam como uma barreira para a formação de campos de dunas, já que estas, por sua vez, apresentam sedimentos bem selecionados, o que pode ser entendido como um bom amadurecimento textural do depósito sedimentar. Desse modo, via de regra, campos de dunas e lençóis de areia dificilmente vão ocorrer concomitantemente.

## 2.2 DINÂMICA PALEOCLIMÁTICA E PALEOAMBIENTAL QUATERNÁRIA NO NORDESTE BRASILEIRO

Sendo os depósitos eólicos (dunas e lençol de areia) de origem Quaternária, faz-se necessário uma abordagem introdutória sobre o que vem a ser este período e seu significado para os estudos de reconstituição paleoclimática e paleoambiental.

É importante situar ou delimitar no tempo as pesquisas científicas produzidas pelas ciências da Terra, por isso este capítulo torna-se imprescindível para compreensão dos fatos de uma forma cartesiana, além de facilitar possíveis correlações com outros fenômenos similares de ocorrência local, regional ou global.

### 2.2.1 O PERÍODO QUATERNÁRIO

*“Quaternário era uma unidade cronoestratigráfica informal”*

O termo Quaternário foi empregado pela primeira vez em 1829 por J. Desnoyers para se referir aos depósitos de origem marinha superpostos aos sedimentos terciários na Bacia de Paris. Coube a H. Rebolou oficializar o termo em 1833, referindo-se aos depósitos sedimentares com associação de restos de animais e vegetais viventes nos dias atuais (SUGUIO, 2010).

Desse modo, fica a comprovação de que a expressão Quaternário tem sua origem vinculada a busca por uma nomenclatura que serviu para definir uma unidade Cronoestratigráfica ainda em construção.

O período Quaternário corresponde a um pequeno intervalo de tempo ou uma pequena seção da Era Cenozóica, ou seja, faixa de tempo que vai de 1,8 milhões de anos até os dias de hoje, de acordo com a *International Commission of Stratigraphy* ou Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS, 1983) e Salgado-Labouriau (1994).

Todavia, recentemente esta mesma Comissão fez uma atualização da tabela geológica do tempo, interpretando o Quaternário como um intervalo maior, estabelecido desde 2,588 milhões Antes do Presente (AP) até os dias atuais (Figura 40).

**Figura 40:** Tabela Cronoestratigráfica Internacional adaptada.

Era	Período	Série / Época	Andar / Idade	GSSP	Idade (Ma) atualidade
Cenozoico	Quaternário	Holocénico		▲	0.0117
		Pleistocénico	<i>Superior</i>		0.126
			<i>Médio</i>		0.781
			Calabriano	▲	1.806
			Gelasiano	▲	2.588
	Neogénico	Pliocénico	Piacenziano	▲	3.600
			Zancleano	▲	5.333
		Miocénico	Messiniano	▲	7.246
			Tortoniano	▲	11.62
			Serravalliano	▲	13.82
			Langhiano		15.97
			Burdigaliano		20.44
			Aquitânico	▲	23.03

Fonte: Comissão Internacional de Estratigrafia, 2013.

O Quaternário tem sido amplamente estudado pelas ciências da Terra nas últimas décadas, já que inúmeras evidências paleontológicas, geológicas e geomorfológicas, deixadas na superfície terrestre, foram datadas com correspondência no Quaternário.

A Geomorfologia, ou Ciência do Relevo (AB'SABER, 1969), há muito tem se interessado pelo estudo do Quaternário, já que a quase totalidade das feições geomorfológicas atuais terem sido esculpidas durante este período da história geológica do nosso planeta. Datações de turfeiras, carvão mineral, colúvios, sedimentos fluviais, marinhos, lacustres, eólicos e vestígios da presença humana (resto de fogueiras, cerâmicas, esqueletos, etc.), são alguns dos vários elementos deixados na paisagem que

---

têm servido como parâmetros para os estudos dos últimos 2,5 milhões de anos AP da história evolutiva do nosso planeta.

As feições geomorfológicas sofrem ação dos agentes climáticos, que condiciona uma nova configuração ao modelado ao terrestre. Ao passo que um novo modelado é construído, a entrada e saída de energia em um sistema geomorfológico vai permitir que se processem erosão, transporte e sedimentação de detritos na superfície.

De modo simplificado, existem áreas em que se processa erosão (área fonte), onde se formaram feições geomorfológicas erosivas, e outras em que a sedimentação vai tratar de construir formas deposicionais (bacias). Tais feições erosivas e deposicionais têm uma clara relação de processo/resposta, o que permite conhecer por meio de investigação a gênese do relevo de uma determinada localidade da superfície terrestre, a partir do estudo das feições erosivas (topos de relevos positivos, encostas, escarpas, etc.) e feições deposicionais (colúvios, dunas, leques, barras fluviais, morainas, etc.), já que elas guardam entre si um elo inquestionável.

Para Gibbard *et. al.*, (2010) o Quaternário teria se iniciado há 2,58 milhões de anos AP, sendo dividido em duas épocas: Pleistoceno e Holoceno. Esta última correspondendo a um momento mais recente da história geológica da Terra, abrangendo os últimos 11 mil anos (SALGADO – LABOURIAU, 2007).

Os termos Pleistoceno e Holoceno foram introduzidos na literatura geológica por C. Lyell, em 1839, como critério paleontológico. O primeiro serviria como referência para designar depósitos sedimentares com estratos marcados pela existência de pelo menos 70% dos fósseis de moluscos de espécies viventes, e o segundo para se referir aos depósitos que abrigavam fósseis apenas de espécies viventes (SUGUIO, 2010).

Devido à riqueza de informações do passado geológico recente que o Quaternário tem fornecido para os estudiosos, o mesmo tem sido tomado como período impar para entendimento da dinâmica natural da Terra, das fases geológicas que antecederam ao surgimento dos primeiros hominídeos e aquelas que antecederam.

Com base na teoria do Uniformitarismo “*o presente é a chave para o passado*”, anunciada por James Hutton no século XVIII, a investigação sobre hiatos geológico-geomorfológicos têm se tornado cada vez mais pertinentes para os estudiosos que se dedicam à pesquisa dos vestígios sedimentológicos deixados no substrato terrestre. Tomando como referência este pressuposto, entende-se que as forças naturais e fenômenos que se processam hoje sempre atuaram na configuração das paisagens naturais, com maior ou menor intensidade. Desse modo, procura-se compreender como

---

os fenômenos e processos ocorrem hoje para servir como parâmetro para compreender a natureza de certos elementos e paisagens produzidas no passado.

Suguio (1999) entende que as transformações na natureza se processam em diferentes escalas de tempo. Desse modo, para compreender o presente faz-se necessário desvendar os acontecimentos e mudanças ocorridas ao longo do tempo geológico, as quais se tornam fundamentais no entendimento do presente. E quanto a isso, vale ressaltar a importância que os depósitos antigos assumem, como sendo significados únicos capazes de estabelecer um elo entre os acontecimentos do passado geológico recente e o presente, e tentar estabelecer quadros ou prognósticos futuros.

Quando se estabelece um elo entre o passado recente e o presente, torna-se fundamental conceber as mudanças processadas no passado geológico que deixaram registros, encontrados em fósseis e depósitos sedimentares, de natureza Quaternária, pois tais registros, de um modo generalizado, resguardam informações de mudanças climáticas (FERREIRA, 2009).

Vale a ressalva de que nem sempre é possível encontrar depósitos quaternários preservados suficientemente para serem usados nos estudos de reconstituição das paisagens naturais. Isso porque muitas vezes estes se encontram alterados total ou parcialmente pela dinâmica natural e/ou antrópica vigente. O intemperismo, erosão, transporte e ação antropogênica acabam reafeiçoando os depósitos sedimentares recentes, o que torna difícil tomá-los como um indicador seguro para pontuar algum acontecimento relevante no quadro evolutivo das paisagens terrestres, e em particular aqueles que dizem respeito ao quadro geológico-geomorfológico e climático (MELO *et al.*, 2005).

### 2.2.2 FLUTUAÇÕES CLIMÁTICAS DO PERÍODO QUATERNÁRIO

O período Quaternário tem importância para os estudos paleoclimáticos em escala global pelo fato de este período ter sido marcado pela ocorrência de pelo menos quatro períodos glaciais intercalados pelos interglaciais (Figura 41). Salgado-Labouriau (1994), vai mais além afirmando que durante o Quaternário os registros indicam a ocorrência de pelo menos dezesseis glaciações, com duração média de 100.000 anos, intercaladas com épocas interglaciais, com duração de cerca de 20.000 anos. Tais intervalos estão possivelmente ligados diretamente os ciclos de Milankovitch (SOUZA, 2005).

**Figura 41:** As principais glaciações do Quaternário. As letras maiúsculas representam os intervalos glaciais e as minúsculas os interglaciais.

<b>Alpes e no Reno Pleistoceno</b>	<b>Ilhas Britânicas</b>	<b>Norte da Europa</b>	<b>América do Norte</b>	<b>Posição</b>
<i>Flandriano</i>	<i>Flandriano</i>		<i>Flandriano</i>	
WÜRM Superior		NEWER DRIFT	WEICHSEL	WISCONSIN
<i>Riss-Würm</i>	<i>Ipswichian</i>	<i>Eemian</i>	<i>Sangamon</i>	Superior
RISS	GRIPPING	SAALE	ILLINOIAN	Superior
<i>Mindel-Riss</i>	<i>Hoxnian</i>	<i>Holstein</i>	<i>Yarmouth</i>	Médio
MINDEL	LOWESTOFT	ELSTER	KANSAN	Médio
<i>Günz-Mindel</i>	<i>Cromerian</i>	<i>Cromerian</i>	<i>Aftonian</i>	Médio
GÜNZ	NEBRASKAN			Inferior
<i>Donau-Günz</i>				Inferior
DANÚBIO				Inferior

Fonte: Salgado-Laboriau, 1994.

Os períodos glaciais, ou eras do gelo, são evidenciados por processarem mudanças significativas nas paisagens naturais em todo mundo. Tais mudanças estão registradas em diversos elementos do quadro natural, em especial em rochas e suas estruturas (estrias produzidas pelo efeito abrasivo do gelo, por exemplo), nos depósitos terrígenos (eólicos, fluviais, glaciais, lacustres, etc.) e ligados à presença do Homem na Terra, quando estes se deslocavam na superfície em busca de locais propícios à ocupação.

Quanto às questões astronômicas que podem ser as causadoras das glaciações, Bigarella (1975) diz:

“O clima do passado geológico não foi uniforme, tendo sofrido mudanças profundas de natureza cíclica, provavelmente comandadas pelas variações seculares das taxas de radiação recebidas em função da mecânica celeste. A órbita da Terra ao redor do Sol, bem como a orientação do seu eixo de rotação, sofrem variações espaciais seculares em relação a um plano de referência fixo. Essas variações são devidas a perturbações gravitacionais inerentes ao próprio sistema planetário”. (BIGARELLA, 1975, p. 85).

---

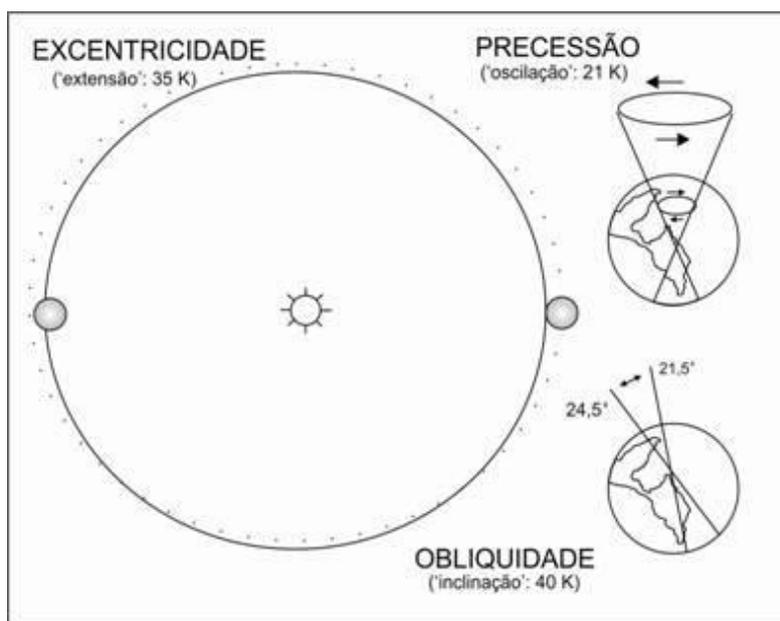
Tal explicação para os eventos glaciais se baseiam em estudos realizados por Milutin Milankovitch, que propões uma teoria em 1930 que ficou conhecida como Ciclo de Milankovitch ou Ciclo das Glaciações. Tal teoria afirma que as mudanças climáticas decorriam de alterações na órbita da Terra em torno do Sol e que essas alterações produziriam oscilações na incidência dos raios de Sol sobre a superfície terrestre, independentemente da zona térmica, e em várias e seguidas estações do ano (SALGADO e LABORIAU, 1996).

Milankovitch desenvolveu um modelo matemático, com base em estudos da dinâmica celeste, força de atração dos astros e o movimento orbital da Terra em torno do Sol, que explica as eras glaciais. Este modelo matemático se baseia na análise que três parâmetros ou variáveis astronômicas: a excentricidade da órbita, longitude do periélio e obliquidade da eclíptica (BIGARELLA, 1975). O ritmo oscilatório seguido pelas variáveis citadas anteriormente, embora muitas vezes pequeno, causaram importantes modificações do clima durante o Quaternário (BERNARD, 1967).

Ainda com base nas ideias de Milankovitch, a relação de variação entre os três parâmetros citadas anteriormente provocariam alterações na quantidade de energia que chega até cada ponto da superfície terrestre, assim a conjuntura destes parâmetros definiriam a temperatura em cada local do planeta variando ciclicamente. Milankovitch calculou as relações entre estes três parâmetros e as consequências que acarretaram, e fez a hipótese de que quando a redução de energia chegasse ao mínimo a Terra entraria em uma Idade do Gelo. Em oposição, um interglacial teria lugar quando a soma das três variáveis resultasse em um máximo de energia recebida (SALGADO e LABOURIAU, 1996). As Figuras 42 e 43 demonstram o padrão oscilatório das variáveis astronômicas estudadas por Milankovitch, em um trabalho cujo título é: Matemática e teoria astronômicas do clima mudanças climáticas, publicado em 1930:

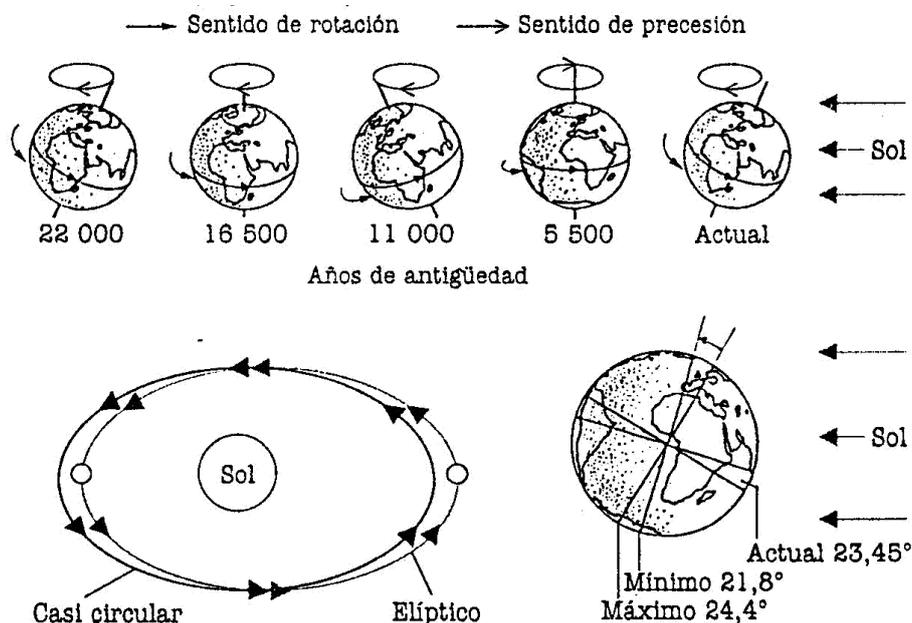
---

**Figura 42:** Representação dos ciclos de Milankovitch.



Fonte: SZILAGYI (2004).

**Figura 43:** Ciclo de Milankovitch.



Fonte: [www.perso.wanadoo.es/biologiacolon/temas](http://www.perso.wanadoo.es/biologiacolon/temas).

Bigarella (1975) interpretou as variações dos parâmetros astronômicos sugeridos por Milankovitch e chegou a algumas conclusões acerca das condições climáticas decorrentes de tais Ciclos:

- Em momentos em que a órbita da Terra em relação ao Sol aproxima-se de uma forma circular as condições climáticas globais tendem a convergir para condições de maior pluviosidade, já em épocas de maior excentricidade as condições climáticas tendem para momentos de maior aridez;
- O ângulo de obliquidade da eclíptica, ou seja, a inclinação do plano eclíptica com a linha do Equador varia ao longo do tempo geológico, no qual pode alcançar um valor mínimo de  $21^{\circ}$  e  $39'$  até o máximo de  $24^{\circ}$  e  $36'$ , onde o máximo de inclinação seria representado por um evento climático de maior unidade ou pluvial e o mínimo de inclinação corresponderiam a momentos interpluviais ou secos.

O que pode-se concluir com base nos estudos proposto por Milankovitch que os padrões orbitais e excentricidade da Terra, comprovadamente sofrem mudanças ao longo do tempo, e que tais mudanças coincidem com os eventos glaciais e interglaciais, pelos quais o nosso planeta tem sido submetido desde de sua formação. Contudo, há muito a comunidade científica se preocupa bem mais com as consequências destes eventos sobre as paisagens naturais e os seus atributos ou registros geológicos do que com os mecanismos que teriam causado os mesmos, embora não seja algo que vá ser esquecido, até porque é dever da ciência buscar sempre explicação dos os fenômenos naturais.

### 2.2.3 A INTERFERÊNCIA DO EL NIÑO NA DINÂMICA CLIMÁTICA DO NORDESTE BRASILEIRO DURANTE O QUATERNÁRIO RECENTE

Nas últimas décadas alguns estudiosos têm postulado que secas severas e intensificação da semiaridez no Nordeste do Brasil podem estar correlacionado à eventos de El Niño de grande duração, visto que alguns dados apontam que em períodos em que foram registradas secas no semiárido as águas do Oceano Pacífico estavam aquecidas (CORRÊA, 2001; CAVIEDES, 2001; BARRETO, 2002).

De acordo com Castro et al. (data) o fenômeno do El Niño é o aquecimento das águas superficiais do setor centro-oeste do Oceano Pacífico predominantemente na

---

região equatorial. As principais anomalias climáticas observadas no Brasil na presença do El Niño são:

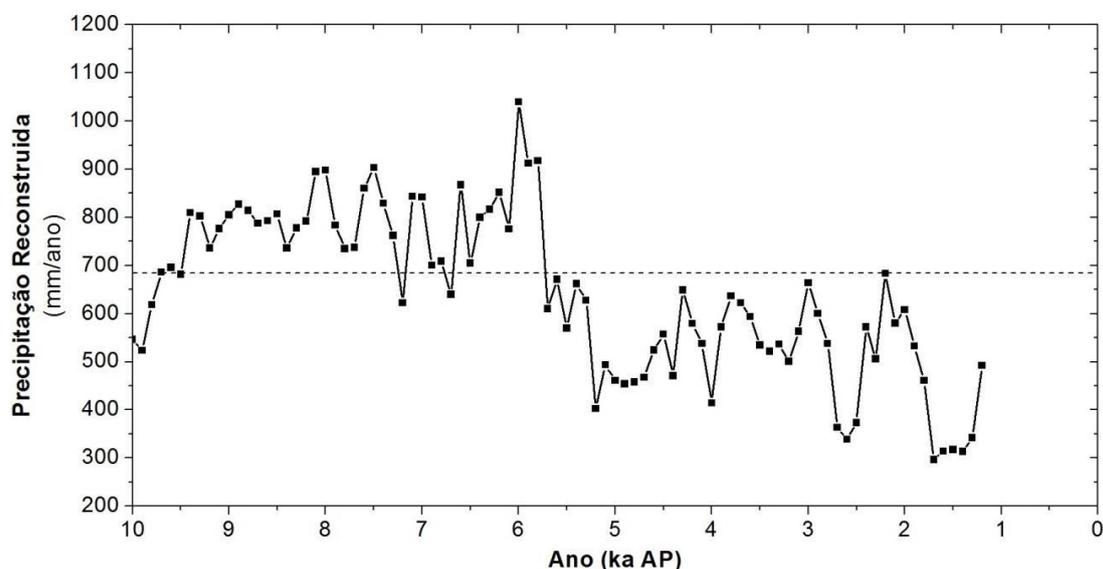
- Áreas com chuvas superiores a média na região sul e sudeste do Brasil (especialmente durante o período de verão e outono, de dezembro a março), por exemplo, os anos de 1996 e 1997, estas características se devem a uma permanência maior das frentes frias, que migram do extremo sul do continente para latitudes tropicais;
- Secas ou estiagens durante o quadrimestre de fevereiro a maio no setor norte do nordeste (Estado do Ceará, centro-oeste dos Estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, norte da Bahia e extremo nordeste de Alagoas e Sergipe).

Com base nas consequências do El Niño para a região Nordeste, no que tange os aspectos climáticos, por meio de levantamento histórico dos registros de secas e consequências socioespaciais relatadas em tais documentos foi possível montar um inventário que demonstra as estreitas relações entre tais fenômenos. Seguindo a princípio do Uniformitarismo, pode-se concluir que eventos que os processos que atuam no presente na dinâmica natural da terra atuaram também no passado, contudo tal ação pode ter mudando de intensidade. Dessa maneira, os estudos recentes sobre apresentam resultados satisfatórios para afirmar que os eventos de aquecimento das águas do Pacífico equatorial é uma das causas ou impulsiona a ocorrência de um sistema climático mais seco no Sertão nordestino, sobretudo no Holoceno Superior, como é possível notar em épocas mais recentes da história humana (figura 44).

Os valores apresentados na reconstrução da precipitação sobre o NEB parecem ser consistentes com o comportamento do GIH e do ENOS durante todo o Holoceno principalmente no que tange ao HM (Holoceno Médio), com uma predominância de um GIH negativo, o enfraquecimento das condições de tipo El Niño e uma maior prevalência de eventos tipo La Niña, todos favorecendo o aumento da precipitação, fato esse que se verifica na reconstrução da Figura 44, com valor máximo de aproximadamente 1100 mm precisamente há 6 ka (PIMENTEL, 2013).

---

**Figura 44:** Reconstrução da precipitação referente ao acumulado total (FMAM) em mm/ano e os eventos Bond ocorridos no Holoceno. A linha tracejada refere-se a média climatológica atual do volume de precipitação (680 mm/ano) para os mesmos meses do modelo.



Fonte: PIMENTEL (2013).

Ainda com base, na premissa apresentada anteriormente, a figura 45 a seguir apresenta uma tabela com datas de ocorrência de secas no Nordeste, correlacionadas com períodos de El Niño.

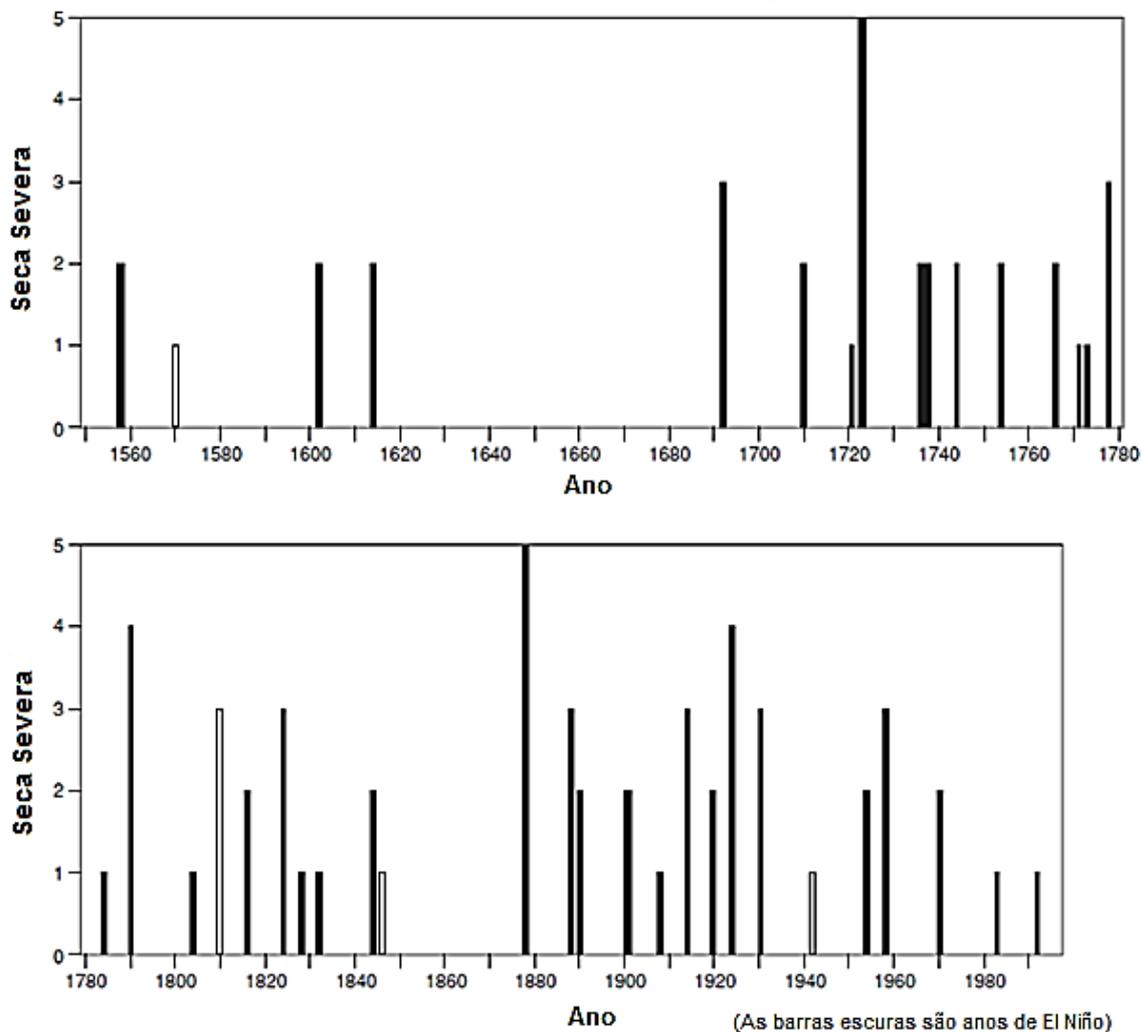
**Figura 45:** As secas no nordeste do Brasil entre os anos 1500 e 2000.

1557–1558*	1804	1951
1574*	1809–1810	1953
1583*	1816	1957–1958
1587*	1824–1825	1971
1603	1827	1983
1614	1830	1992
1692	1833	
1710–1711	1844–1845	
1721	1877–1879	
1723–1727	1888–1889	
1736–1737	1891	
1744–1745	1893	
1754	1900	
1760	1902	
1772	1904	
1774	1907	
1777–1778	1915	
1784	1919	
1790–1793	1931	

Fonte: Caviedes, 2001.

Para mostrar a relação existente entre as secas e o El Niño a seguir a figura 46 apresenta um gráfico com períodos em que houve aquecimento anormal das águas do Pacífico na altura do Equador, para embasar tal hipótese.

**Figura 46:** As secas do nordeste do Brasil, em tempos históricos.



Fonte: Caviedes, 2001.

Por meio das análises das informações é possível perceber que as secas e/ou a intensificação da semiaridez no Nordeste têm uma relação com a dinâmica atmosférica que impera sobre a América do Sul, e que têm, por conseguinte, repercussão em escala planetária. Mostrando o quanto é complexo compreender as mudanças climáticas em escala regional e global, onde um conjunto de vários estão envolvidas, em maior ou menor grau.

## 2.2.4 O QUATERNÁRIO DO NORDESTE BRASILEIRO

Os acontecimentos que ocorreram no Quaternário, ligados à dinâmica natural da Terra, foram fundamentais para a compreensão dos eventos que contribuíram para a gênese do Campo de Dunas de Petrolina, visto que os depósitos eólicos estudados se localizam em um ambiente no qual os processos geomorfológicos ocorridos neste período da escala geológica estão expressos no relevo sob a forma de modelados deposicionais de composição litoestratigráfica de diferentes gerações (SILVA, 2012).

É notória a relação existente entre as mudanças climáticas globais e sua repercussão na dinâmica que desencadeia eventos erosivos e deposicionais que vão arquitetar o modelado terrestre.

Em todo o território brasileiro existem marcas na paisagem das mudanças climática ocorridas no clima durante o Quaternário. Autores como Tricart (1959), Bigarella e Ab'Saber (1964), Bigarella e Andrade (1965), Bjornberg e Landim (1966), Penteado (1969) e Fulfaro e Suguio (1974) realizaram estudos em diversos ramos (biogeografia, paleoclimatologia, paleontologia, sedimentologia e geomorfologia) que comprovam pulsações climáticas diversas na história recente da Terra, relacionadas a instalação de períodos frios (glacias) e períodos quentes (interglaciais). Tais pulsações estão registradas ao longo do território brasileiro em depósitos sedimentares marinhos e continentais.

É sabido que durante as fases frias e quentes pela qual a Terra passou durante Quaternário, ora as geleiras avançaram sobre as superfícies continentais, ora recuaram, já que intercorreram “melhorias climáticas” (SUGUIO, 2010).

Sobre a superfície oceânica, as mudanças climáticas têm estreita associação com a variação do nível médio da linha de praia, ou seja, recuo e avanço do nível do mar. Tais oscilações, definidas como glacioeustáticas, são conhecidas como regressão e transgressão marinha, respectivamente.

As regressões e transgressões marinhas são estudadas há muito tempo como uma prova irrefutável das pulsações climáticas pelas quais a Terra teria passado. Nos momentos em que se processam as regressões marinhas estudos apontam que o nosso Planeta estaria passado por fases mais frias, nas quais a água em estado sólido teria ficado retida, em sua maior parte, no continente. Já as transgressões marinhas demarcam períodos mais quentes, o que causaria o derretimento das massas de água sólida, culminando com o aumento do nível dos oceanos.

Contudo, é necessário destacar que no Brasil as fases glaciais e interglaciais não foram pontuadas pela ação de maior ou menor grau dos glaciais, já que o nosso território, salve algumas poucas exceções (DE MARTONE, 1943; MODONESI, 1992), não apresenta vestígios tão significativos da ação glacial sobre a morfogênese do relevo.

Por isso é preciso tornar explícito que as glaciações não interessam somente às terras cobertas pelo gelo e suas proximidades, mas, também, às regiões afastadas, que nestas épocas têm regime meteorológico muito diferente. Desse modo, há muito se pensava que durante as fases frias da Terra, o Brasil teria passado por um ótimo climático bastante pluvial (DANSEREAU, 1949), contudo, hoje há uma corrente de pesquisadores que afirmam exatamente o contrário, pois existem evidências de que nos períodos glaciais o clima em boa parte do território brasileiro teria se tornado bem mais seco, sobretudo na região semiárida no Nordeste do Brasil (AB'SABER, 1957).

No que tange a evolução das paisagens geomorfológicas na região Nordeste são pioneiros os estudos desenvolvidos por King (1956), Andrade (1958, 1968) e Bigarrela *et al.* (1994) que certificam a grande participação do sistema climático na morfogênese do relevo regional. Pontuando a importância que as mudanças climáticas apresentam para a configuração da paisagem geomorfológica local. É importante destacar também estudos mais recentes realizadas por Correa (2001) sobre a gênese e evolução do relevo nordestino, fazendo uso de técnicas mais precisas ao que tange a correlação existente entre os depósitos correlativos, o sistema climático a morfogênese do relevo.

Ab'Sáber (1967) destaca que no Nordeste do Brasil, assim como em algumas áreas do vale do rio São Francisco, houve mudanças de relevância impar para o Brasil, visto que tais mudanças provocaram oscilações climáticas nos ambientes, que tenderam apresentar em determinados momentos maior umidade e em outros, certa aridez. O que teria ocasionado mudanças profundas na estrutura do relevo, hidrografia e biota regional. O mesmo autor afirma ainda que o Nordeste é sem dúvida, a área onde são encontrados as maiores evidências de flutuações climáticas intertropicais, já que os fatos geomorfológicos estão bem conservados nos compartimentos interioranos.

É possível verificar no Nordeste, e em especial no médio vale do rio São Francisco, “documentos” seguros das flutuações climáticas responsáveis pela elaboração geral do relevo, que evidenciam a existência de ciclos mais úmidos alternados com fases áridas ou semiáridas.

Os resquícios são diversos sobre as excepcionais variações climáticas ocorridas no Brasil. Muitos campos científicos podem se beneficiar e contribuir para a elucidação

acerca da problemática que cerca a formação do relevo do semiárido do Nordeste brasileiro. Entretanto, há muitas lacunas a serem preenchidas no que tange as flutuações climáticas Quaternárias nesta porção do território brasileiro, que pode ser um apêndice para uma compreensão mais apurada e formulação de um modelo evolutivo mais compatível com a realidade local.

#### 2.2.5 REGISTROS PALEOAMBIENTAIS QUATERNÁRIOS E AS EVIDÊNCIAS DE UM PALEODESERTO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Para se chegar ao entendimento de que os depósitos e feições de areias eólicas presente em Petrolina se tratava mesmo de um campo de dunas, foi necessário recorrer uma revisão de trabalhos realizados no Nordeste. Desse modo, avaliamos trabalhos clássicos, bem como mais recentes, que foram produzidos ao longo do século passado e início do atual.

De acordo com Ferreira *et. al.* (2013) a busca pelo entendimento da evolução geomorfológica do Nordeste do Brasil não é recente, ela remonta ao início do século XX, quando pesquisadores de várias regiões do mundo realizaram expedições exploratórias pelo interior do Brasil e produziram estudos clássicos sobre o semiárido brasileiro. Estes estudos têm grande relevância, mas precisam ser revisados com bases em técnicas de pesquisas modernas e mais sofisticadas, que estão disponíveis da ciência geográfica.

O mesmo autor ressalta que a região do vale do rio São Francisco ganhou destaque pela identificação de depósitos de areias eólicas de dimensões variadas ao longo das margens do rio, tanto do lado baiano como pernambucano. Esses pacotes sedimentares foram estudados ao longo do século XX por vários pesquisadores, dos quais se destacam Williams (1925), precursor de tais investigações, King (1956), Tricart (1974), Goudie (1983), Barreto (1993, 1996) e Ab'Sáber (2006).

Alguns pesquisadores como Ab'Sáber (2006), admitem que a ocorrência de um campo de dunas no interior do Nordeste, nas margens do rio São Francisco tem associação direta com existência de uma clima mais seco em época pretérita do Quaternário. Este estudioso publicou um trabalho sobre as dunas no município de Xique-Xique na Bahia, no qual ele utiliza a expressão de *Paleodeserto de Xique-Xique*,

---

para teorizar que houve em um passado, não tão distante do presente, a ocorrência de um clima árido em pleno o Sertão Nordestino.

Este mesmo autor relata que teve a oportunidade de conhecer este campo de dunas ainda em 1958, em excursão com outros dois estudiosos: Alvanir Figueiredo e Bernardo Issler, onde de imediato identificaram a presença de grandes dunas fixas e sua aparente grandeza espacial.

Contudo, os primeiros estudos sobre campos de dunas no Submédio São Francisco foram realizados por Williams (1925), que chamou tal campo de duna de “*pequeno Saara ao longo do São Francisco*”. Recentemente Barreto (1993; 1996) realizou estudos mais aprofundados sobre o campo de dunas interiores no estado da Bahia, a margem do rio São Francisco, nos quais afirmou que o suprimento de areia que deu origem a tais dunas, definidas por ela como fósseis ou inativas, vem das margens do rio São Francisco, das planícies de inundação e terraços fluviais.

Ainda segundo Barreto (1993, 1996), tais dunas teriam se formando em momentos de flutuações climáticas, entre o Terciário-Quaternário, o que evidencia um tempo maior da existência de tais feições, diferentemente do que pensava outros pesquisadores como Ab’Sáber e Tricart, por exemplo, ao realizar estudos sobre tais depósitos.

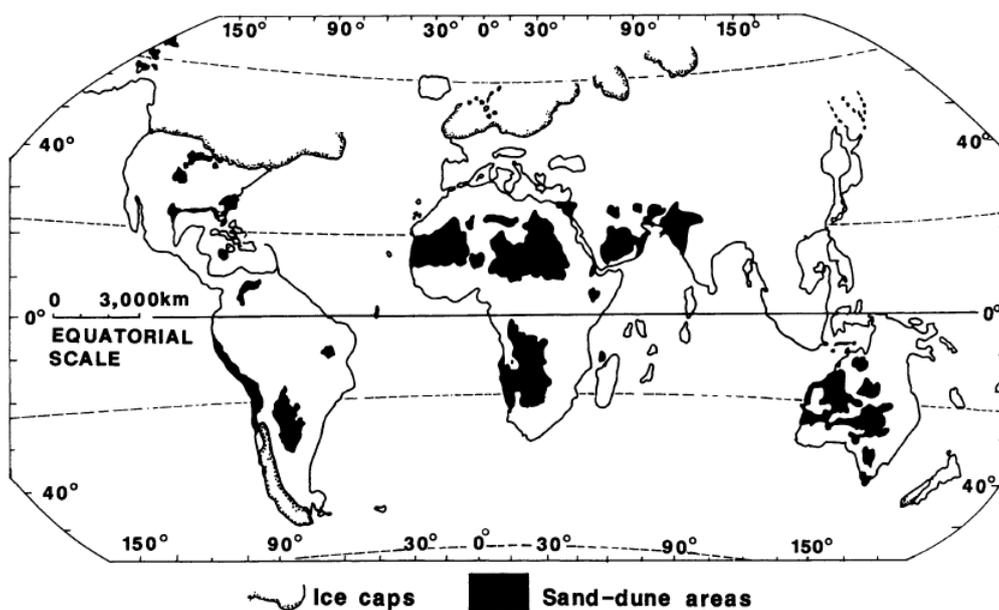
As dunas encontradas no estado da Bahia são sem dúvida uma evidência de paleoclima desértico, da mesma forma que as dunas ainda pouco estudadas no estado de Pernambuco, no município de Petrolina e entorno. O campo de dunas identificados em tal município apresentam características muito similares às já estudadas na Bahia, sugerindo que se trate, na verdade, da continuidade de tal depósito de areia.

Souza (2005) expõe que o sistema de dunas inativas do médio rio São Francisco representa importante registro de variações paleoclimáticas no Quaternário do Nordeste brasileiro. Correspondendo à acumulação de areias supridas pelo rio São Francisco e transportadas pelos ventos de SE e E. O que comprovaria o que muitos estudiosos já suspeitavam sobre ocorrência de climas mais secos no semiárido do Nordeste.

Pye e Tsoar (2009) apresenta um mapa da distribuição dos mares de areias ativos no mundo (figura 47), há 18.000 anos AP, onde incluiu o Nordeste do Brasil como uma das áreas de ocorrência de acumulações eólicas, o que dá suporte para a tese de que os depósitos encontrados às margens do rio São Francisco nos estados da Bahia e Pernambuco são resquícios de um manto bem mais espesso formado durante o Último Máximo Glacial, quando o Nordeste teria passado por um momento de maior aridez.

---

**Figura 47:** Distribuição Global dos Grandes Mares de Areia há 18.000 anos AP.



Fonte: Modificado de Sarnthein (1978) e Goudie (1983b).

Segundo estudos preliminares, através da observação de imagens de satélites e visita a campo, o campo de dunas de Petrolina apresenta formas dunares descaracterizadas, incipientes e algumas ainda preservadas, entre as quais se destacam: dunas *nebkhas*, parabólicas, *blowouts* e lençol de areia (figura 48).

**Figura 48:** Campo de dunas de Petrolina: Nebkhas (48a); Dunas Parabólicas (48b); Lençol de Areia (48c).



Na imagem de satélite (Figura 49), do tipo HRC disponibilizada pelo INPE, é possível afirmar em planta que as dunas classificadas como parabólicas, na figura 48b acima, apresentam de tal morfologia, estando uma vez que os ventos na área estudada sopram preferencialmente no sentido SE/NO, como é proposto por Ferreira *et al.* (2013) na figura 53, ao estudar as dunas no município de Floresta (PE), no Médio São Francisco.

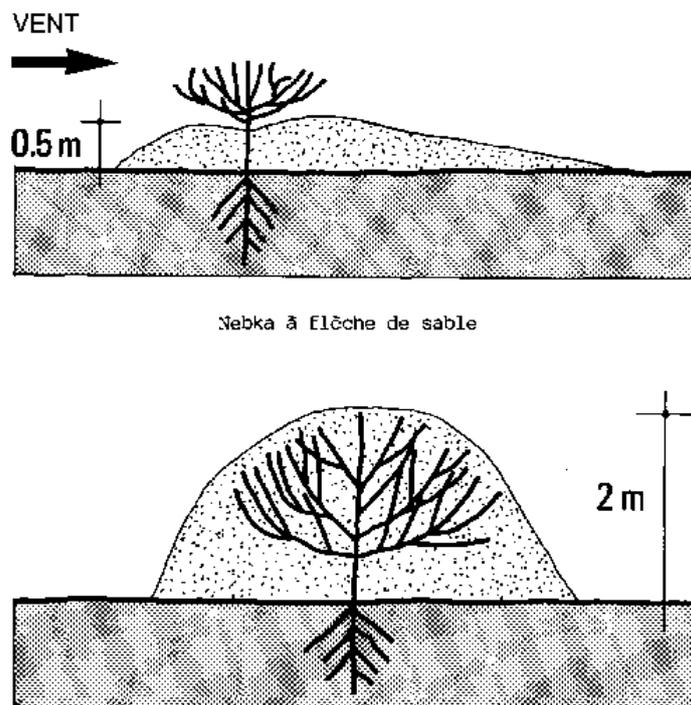
**Figura 49:** Imagem HRC com destaque em algumas feições dunares ainda preservadas.



Fonte: INPE, 2011.

As *nebkas* (termo de origem árabe) correspondem a um tipo de feição arenosa superficial formada pela existência de uma obstrução (vegetação, pedra etc.) no caminho de partículas de areia em movimento (figura 50). As *nebkas* apresentam, em geral, caráter circular sem faces de avalanche e com rampa a sotavento tênue e lisa. Podem possuir caudas alongadas no sentido do vento. Nesse caso, em especial, as *nebkhas* podem ser denominadas de dunas de sombra (shadow dunes) (GONÇALVES *et al*, 2003).

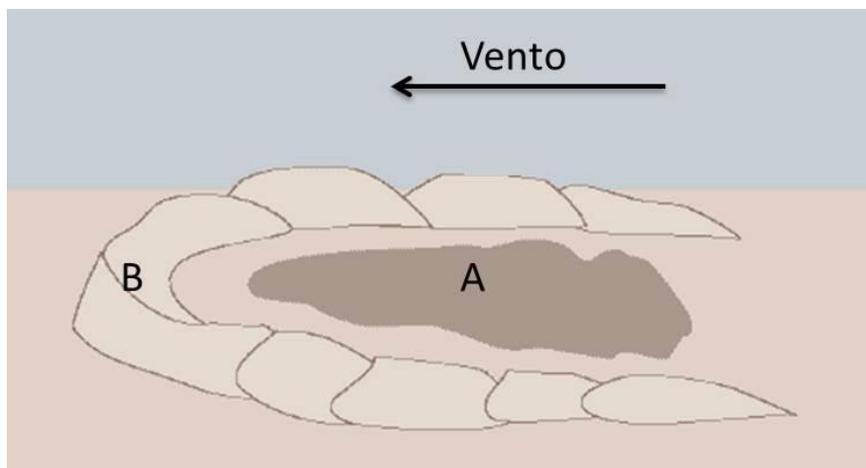
**Figura 50:** Esquema ilustrativo de formação de uma duna Nebka.



Fonte: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012.

Os blowouts, interpretados por Hesp (2000) como feições (erosiva-depositivas), formadas pela erosão eólica de depósitos arenosos pré-existentes seguida de redeposição local a sotavento, podendo estar associadas ao processo de desgaste que podem afetar dunas parabólicas (figura 51). Sua morfologia consiste em uma bacia de deflação delimitada por paredes erosivas subparalelas que se fecham rumo sotavento, em lobos deposicionais com forma de U.

**Figura 51:** Esquema de uma duna Parabólica (B) com presença de Blowout (A).

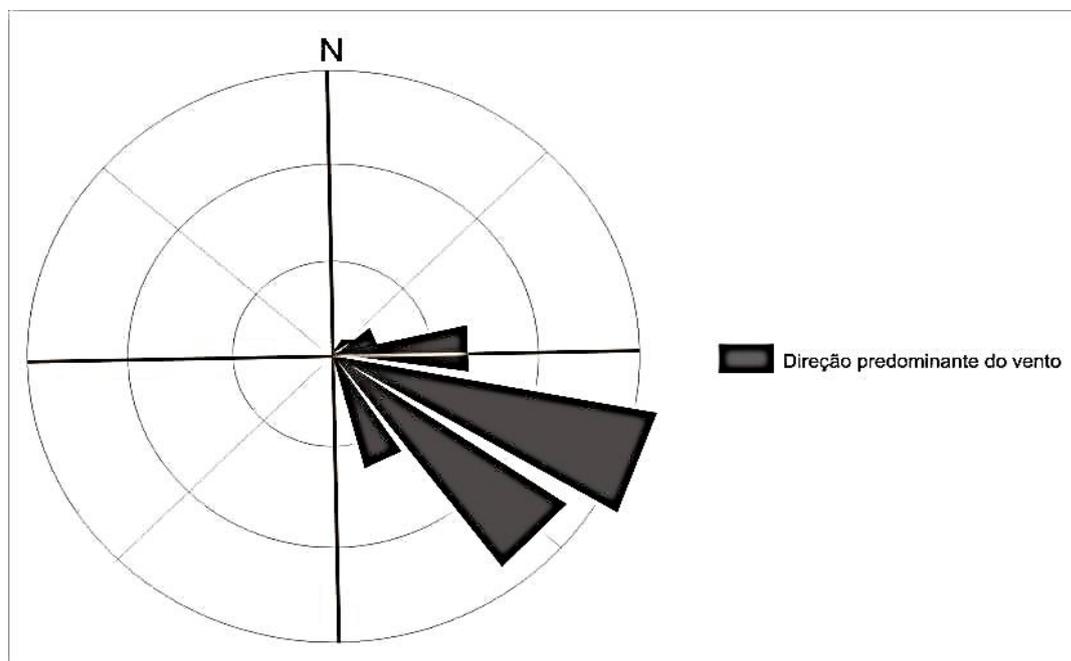


Fonte: adaptado de McKee, (1979).

Os depósitos eólicos e feições associadas ao Campo de Dunas de Petrolina, em pleno Submédio rio São Francisco é uma prova concreta da uma intensa dinâmica dos ventos, atundo com competência para transportar areia, em quantidade suficiente, e regência de um sistema climático árido ou semiárido severo, vigente no Quaternário (Pleistoceno e Holoceno) (BARRETO, 1996; AB'SÁBER, 2006; FERREIRA *et al*, 2013).

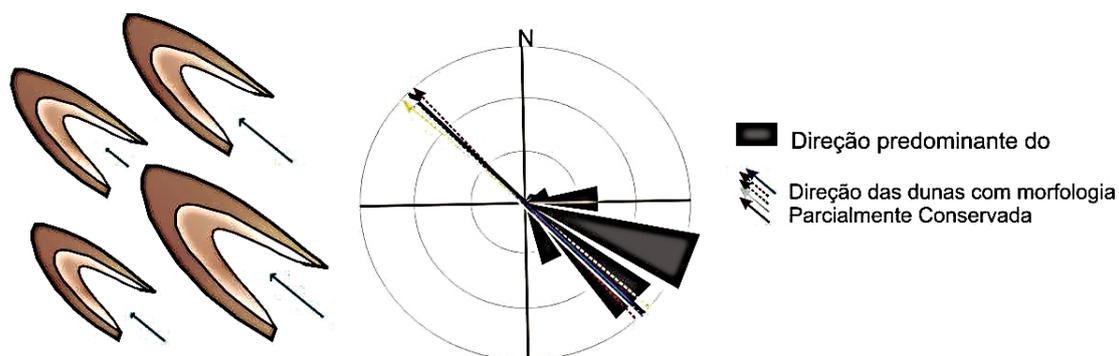
Os autores mencionados acima, por meio de datação pelo método LOE, puderam constatar que os mantos de areia encontrados às margens do rio São Francisco teriam se originado entre 57.000 até 900 anos AP. Outra constatação feita pelos autores foi a de que os ventos que atuaram na formação dos depósitos eólicos no Sertão do São Francisco, durante o Pleistoceno/Holoceno, sopravam em uma direção preferencial de SE, similar à direção dos ventos atuais (figuras 52 e 53). Os dados sobre a direção dos ventos vigente no passado foram obtidos com base nas medidas de direção do eixo axial e padrão morfológico de dunas parabólicas, na Bahia e Pernambuco.

**Figura 52:** Direção predominante dos ventos no Submédio São Francisco no estado de Pernambuco no presente.



Fonte: Eletrobrás, 2008.

**Figura 53:** Medidas de direção do eixo axial e padrão morfológico das dunas parabólicas, sobrepostas a atual direção média dos ventos na região do Médio São Francisco, no município de Floresta (PE).



Fonte: Ferreira *et. al.*, 2013.

Com base na análise da morfologia das dunas existentes no município de Floresta-PE, foi possível constatar que os ventos não tiveram mudanças relevantes na direção nem sentido. O que se pode inferir é que a sua intensidade tenha sido reduzida com as mudanças climáticas verificadas ao longo dos últimos milhares de anos. Possivelmente tais mudanças foram para um acréscimo de umidade em todo semiárido nordestino, conduzindo a uma estabilidade dos mantos de areias desenvolvidos em todo perímetro do campo de “*Paleodeserto do Submédio Nordeste*”.

---

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, MATERIAIS E TÉCNICAS

Nos tópicos a seguir serão apresentados os principais procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa, sobretudo no que tange a aplicação destes métodos em campo, seus usos por diferentes pesquisadores, como eles evoluíram ao longo do tempo e como colaboraram para evolução do conhecimento geográfico, em especial aqueles ligados à geografia física.

#### 3.1 MÉTODOS DE DATAÇÃO PARA DEPÓSITOS EÓLICOS POR LOE E TL

As vantagens do método da LOE sobre os demais procedimentos de datação de sedimentos recentes, como o  $C^{14}$ , por exemplo, advém do fato deste explorar uma propriedade física – a luminescência – inerente aos sólidos cristalinos (minerais) encontrados no próprio depósito, prioritariamente o quartzo e os feldspatos. Assim sendo, a LOE se converte em método de datação absoluta de eventos deposicionais. Sua abrangência temporal vai desde cerca de 100 anos ap. até 1Ma, dependendo dos níveis de saturação do material analisado (AITKEN, 1998 e WAGNER, 1998), portanto o método da LOE se presta para a datação de eventos deposicionais ocorridos ao longo do Quaternário; desde eventos climáticos regionais de grande magnitude (mudanças nos padrões de circulação regional), eventos tectônicos que afetaram a rede de drenagem (inversões e capturas por soerguimento das cabeceiras), até episódios erosivos recentes desencadeados por alterações nos padrões de uso do solo.

Os métodos de datação por luminescência abrangem uma gama de técnicas baseadas no acúmulo de cargas radioativas produzidas por uma população de elétrons aprisionados em minerais cristalinos. Estes métodos são capazes de estabelecer o período de tempo transcorrido desde que a população aprisionada de elétrons foi liberada pela última vez. O evento de liberação da carga acumulada para os materiais sedimentares é o instante em que este material foi exposto à luz diurna pela última vez, antes de ser recoberto por novo episódio deposicional. A técnica se impôs a partir da década de 1980 e das contribuições de Huntley *et al.* (1985; 1988). A descoberta mais significativa foi, sem dúvida, a da possibilidade de medir o sinal de luminescência diretamente relacionado à carga da população de elétrons aprisionada no cristal, mediante estímulo luminoso, assim definindo o próprio método da LOE (Luminescência Opticamente Estimulada).

Segundo Stokes (1999) a abordagem teórica da LOE é mais coerente do que a da TL (Termoluminescência), muito utilizada até o surgimento do novo método, principalmente ao ser aplicado a depósitos sedimentares de ambientes aquosos, pois o mecanismo de liberação das

---

cargas aprisionadas por foto-estímulo é mais próximo do natural, decorrente da iluminação solar, do que o térmico utilizado pela TL.

A família dos métodos de datação baseados na luminescência tem o seu mecanismo de operação assentado sobre o decaimento radioativo. Eles medem um sinal que se relaciona com a transferência de elétrons, a partir de defeitos inerentes aos materiais cristalinos semicondutores (STOKES, 1999), sobretudo o quartzo e o feldspato. Os defeitos são próprios à estrutura cristalográfica dos minerais.

Os elétrons são liberados do seu estado estável por uma adição de energia ao sistema, como quando são expostos à radiação ionizante proveniente do decaimento radioativo. Uma vez aprisionados, uma parte da população de elétrons pode-se fixar em áreas defeituosas, tornando-se estáveis, até que uma nova adição de energia seja introduzida por via óptica ou térmica. Esta energia adicional supera um patamar de ativação e permite que os elétrons se combinem a “vazios” nos centros de recombinação. Os elétrons, então, retornam ao seu estado de base e, se o centro de recombinação for do tipo luminescente, a energia é emitida em forma de fótons. Uma emissão de luminescência que se segue ao estímulo ótico é chamada de LOE; se admitem duas subdivisões deste método, de acordo com o comprimento de onda da fonte luminescente: LEIF – Luminescência do Infravermelho, para o feldspato potássico e LLV – Luminescência de Luz Verde para o quartzo.

O método da LOE presume que qualquer carga pretérita de elétrons contida em um sedimento é substancialmente reduzida, ou completamente removida, durante os processos de erosão, transporte e sedimentação, restando apenas uma pequena carga residual não removível. Geoffrey-Smith *et al* (1988) demonstraram que no caso do quartzo e do feldspato, a redução do sinal por estímulo óptico chega a níveis muito baixos, obtendo-se valores residuais inferiores a 5% da carga inicial após uma exposição à luz do sol por um minuto.

Rendell *et al.* (1994) também demonstraram a eficácia do esvaziamento do sinal de luminescência óptica no quartzo e no feldspato, após uma exposição a três horas de luz, a uma profundidade de 12 metros sob a água, apesar de o espectro solar ser substancialmente atenuado a esta profundidade. Estes experimentos confirmaram a melhor adequação do método da LOE para a datação de sedimentos de encosta e fluviais, depositados em condições sub-aquosas.

A luminescência opticamente estimulada (LOE) pode ser utilizada para estimar o tempo transcorrido desde que os clastos componentes de um sedimento foram expostos pela última vez à luz do sol; portanto, a técnica fornece a idade da última estabilização do depósito. Considerando-se que a luminescência nos minerais naturais é uma função da exposição à radiação ambiental, e que pode ser esvaziada por exposição à luz durante o transporte e a deposição.

### 3.2 ABORDAGEM MORFOESTRATIGRÁFICA

Os estudos em geomorfologia nas últimas décadas têm buscado subsídios em análises dos corpos sedimentares dispostos nas paisagens naturais.

A abordagem morfoestratigráfica, assim como utilizada por Moura e Meis (1986), Mello *et al.* (1991), Mello *et al.* (1995) e por Camargo Filho & Bigarella (1998) para os setores planálticos do Sudeste e Sul do Brasil respectivamente, busca associar as diversas formas de relevo com as formações superficiais que as estruturam. Desta forma, unidades deposicionais e perfis de alteração *in situ* passam a integrar a estrutura epidérmica da paisagem, e não apenas os arcabouços litológicos constituintes dos diversos embasamentos regionais. Esta abordagem, a morfoestratigrafia consorciada ao mapeamento geomorfológico de detalhe, busca identificar um corpo litológico primordialmente pela sua feição superficial, que pode ser diferenciada ou não das unidades que lhe são contíguas, e transgredir limites temporais ao longo de sua extensão (FRYE & WILMAN, 1962). De acordo com esta linha metodológica, as unidades deposicionais e coberturas superficiais diversas mantêm uma estreita relação com a morfologia superficial contemporânea. A importância deste enfoque teórico reside na sua ênfase morfogenética, uma vez que cada unidade morfoestratigráfica está alicerçada sobre materiais que resgatam a história erosiva/deposicional da área.

A análise morfoestratigráfica conduzir-se-á com base nas propriedades sedimentológicas e pedológicas identificadas durante o mapeamento das unidades morfoestruturais. As análises sedimentológicas buscarão descrever as diversas unidades deposicionais. A descrição das fácies e a análise das seções verticais seguirão o esquema proposto por Miall (1996), utilizando-se da metodologia de análise da aloestratigrafia, onde cada unidade aloestratigráfica definida registra um episódio de sedimentação, separada de outra unidade por episódios de erosão ou de pedogênese.

A semelhança na gênese dos sedimentos terrígenos (fluxos de detritos e corridas de lama) que formam as coberturas superficiais acarreta a necessidade de adicionar técnicas pedológicas que visem à compreensão da evolução pós-deposicional dos depósitos, permitindo traçar ligações entre as unidades com características semelhantes. Neste caso, busca-se na técnica de análise micromorfológica de solos conforme o proposto por Fitzpatrick (1993) e assinatura geoquímica por fluorescência de raios-x proposto por Cruz (2006) a compreensão de tais particularidades. Para as demais análises como o grau de maturidade mineralógica dos mantos colúviais, realizar-se-á a

análise dos minerais de argila por difratometria do raios-X; o grau de rugosidade dos depósitos e tipos de transporte sofrido pelo material será identificado pela microscopia eletrônica de varredura dos grãos de quartzo, metodologia descrita por Trewin (1995) e Goudie (1984).

### 3.3 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS EÓLICOS

Para realização da análise sedimentológica dos detritos de origem eólicos foi necessário coletar amostras com base na metodologia de Paisini (2004), que consiste em caracterizar diferentes fácies deposicionais e descontinuidades, em um dado pacote sedimentar. De acordo com este método as coletas devem ser realizadas em cada uma das fácies ou descontinuidades de um perfil estratigráfico, e o material obtido deve ser posteriormente levado para análise laboratorial. A partir daí tenta-se identificar no perfil sedimentar camadas com características distintas, que por consequência teria um significado deposicional diferente, quanto a origem e processos deposicionais atuantes.

Contudo, como não foi possível identificar em campo pacotes sedimentares com distinção deposicional visível, a procedimento de coleta obedeceu uma lógica que se baseou nas diferentes morfologias apresentadas pelos depósitos eólicos encontrados.

### 3.4 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

O mapeamento geomorfológico é uma das etapas dos estudos de identificação da gênese e evolução do relevo terrestre. De acordo com Duarte (1991) a produção de um mapa síntese que identificar as formas superficiais, suas idades, gênese, litologia e processos atuantes deve seguir alguns passos: planejamento (envolve as medidas e ações a serem tomadas quanto aos aspectos técnicos, administrativos e financeiros), levantamento de informações (diretas ou indiretas), composição (tratamentos dos dados), execução (confecção das matrizes gráficas produzidas) e a impressão do mapa.

O estudo dos compartimentos de relevo pode ser conduzido através de diversas escalas temporais e espaciais, abordando aspectos variados da morfogênese. O relevo sendo um complexo da geoesfera, que se encontra na interface da litosfera, atmosfera e biosfera, é um dos componentes mais importantes da paisagem natural. Este vai ter sua

---

origem vinculada a fatores internos e externos, agindo incessantemente ao longo do tempo.

Por ser um componente da paisagem natural, que tem sua gênese ligada à ação de vários outros componentes do sistema terrestre, o relevo tem sido tomado como elemento síntese de diversas paisagens em escala regional e planetária. O que torna necessário mapeá-lo de forma sistemática, se possível em nível de detalhe, para que assim possa ser gerido de forma mais sustentável o ambiente natural, onde estão localizados os grupos humanos.

Apesar da importância do mapeamento geomorfológico tanto cientificamente como aplicado ao planejamento territorial, à complexidade do objeto analisado torna difícil a tarefa de ser representado em documentos. Ademais, não existe um método unificado internacionalmente para a representação do relevo, o que se verifica é a adoção de diferentes critérios nas escolas geomorfológicas do mundo, entre eles o estrutural, o climático, o têmporo-espacial e o genético (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Desse modo, vem sendo criado ao longo do tempo diversas técnicas de mapeamento geomorfológico. As mais conhecidas se baseiam em identificar as macro-unidades geomorfológicas ou Domínios Morfoestruturais, que podem ser definidos como grandes conjuntos estruturais, que geram arranjos regionais de relevo, guardando relação de causa entre si, a partir do qual os fatos geomorfológicos serão classificados segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas; até alcançar uma escala de detalhe, na qual seria possível identificar o tipo de modelado do terreno, que corresponderiam a um conjunto de formas presentes na superfície com similitude na morfometria e gênese (Manual Técnico do IBGE, 2009).

Sendo assim, se faz necessária realização do mapeamento geomorfológico da área de estudo, para delimitar e analisar a distribuição das formas dunares encontradas em Petrolina, além das áreas onde tais feições apresentam dinâmica atual e aquelas que já estão fixas na paisagem.

O mapeamento das formas de relevo da área será apresentado em escala de detalhe, confeccionado segundo a metodologia de Demeck (1972) *apud* Corrêa (1997). Tal metodologia segue as normas estabelecidas pela UGI (União Geográfica Internacional).

Para a realização do mapeamento foram utilizadas imagens de satélites de 1:250.000 disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por

---

---

meio do Projeto TOPODATA. Estas imagens são produtos advindos de uma revisão e/ou derivação das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponíveis para todo território nacional, desde novembro de 2011.

A partir da obtenção das imagens de satélites junto ao *site*, as mesmas foram digitalizadas e processadas com a utilização do software ArcGis 9.3, por meio de uma licença junto ao Departamento de Ciências Geográficas da UFPE.

### 3.5 ATIVIDADES DE CAMPO

As visitas à área de estudo foram realizadas ao longo dos anos de 2011 e 2013. As incursões ao campo de trabalho tiveram suporte técnico de equipamentos de localização e orientação geográfica (bússola e GPS), além de automóvel disponibilizado pelo Laboratório de Geomorfologia do Quaternário (GEQUA) da UFPE.

A primeira visita feita ao ambiente de estudo teve o cunho exploratório, e o objetivo principal foi fazer o reconhecimento da paisagem local e regional, no interior do campo de dunas do município de Petrolina, no extremo oeste do estado de Pernambuco, e seu entorno, afim de identificar as áreas fontes dos sedimentos eólicos que deram origem às dunas e pontos onde possivelmente seriam coletadas amostras para posteriores análises sedimentológicas. Nesta identificação preliminar a equipe técnica composta por quatro integrantes, tentou identificar também as áreas de acúmulo sedimentar que poderiam dar uma ideia de temporalidade quanto a deposição, para que assim fosse estabelecido uma sequência lógica no contexto de coleta das amostras, cronologicamente estabelecida.

Entre os dias 10 e 15 de outubro de 2011 foi realizado o primeiro trabalho de campo na área de estudo, onde estiveram presentes 4 pessoas, compondo a equipe técnica. Neste campo foram visitados vários pontos que poderiam ser de importância para o desenvolvimento da pesquisa, em especial aqueles que teriam relação direta com o depósito de areia estudado. Durante cinco dias a equipe fez visita as possíveis áreas fontes dos sedimentos eólicos das dunas, que seriam às margens do rio São Francisco, onde fez-se uma análise preliminar dos sedimentos existentes na planície fluvial e terraços do canal, para tentar identificar possíveis relações com os sedimentos das dunas. A atividade de campo ocorreu, ainda, dentro da área de domínio das dunas, para identificar os diferentes tipos de feições eólicas que poderiam vir a existir na área.

---

A partir das visitas à campo foi determinado onde seriam realizadas as coletas para a realização de análise laboratorial e área a ser mapeada, além de serem fotografadas as paisagens e feições mais representativas compreendidas no campo de dunas e no seu entorno.

### 3.6 COLETA DAS AMOSTRAS

Os pontos de coleta foram tomados usando como base as morfologias eólicas encontradas na área de estudo e também da área fonte, que a que tudo indica, seria o terraço fluvial da margem esquerda do rio São Francisco

Em campo foram coletadas amostras de sedimentos das dunas, sedimentos do lençol de areia, de alguns pontos do terraço fluvial do rio São Francisco e da planície fluvial, que seriam utilizados para a realização dos procedimentos laboratoriais de granulometria, morfoscopia e datação pelo método LOE. As coletas foram realizadas em locais que tem relação direta com gênese das dunas e também aqueles locais que pudessem representar as várias gerações de dunas existentes na área (figura 54).

**Figura 54:** Coleta de amostra com a introdução horizontal no perfil de cano de PVC de 40 mm, para a realização de datação pelo método LOE.



Deve ser mencionado também, que para tentar identificar possíveis alterações no padrão granulométrico das dunas, foi selecionada uma duna, dentro do campo de dunas de Petrolina, onde a coleta foi feita a partir do seu topo até a base, com equidistância de

2 m. Tal metodologia visa identificar diferenciações nos padrões de deposição quanto ao tamanho do grão, onde pode-se verificar uma sucessão granulométrica ascendente ou descendente.

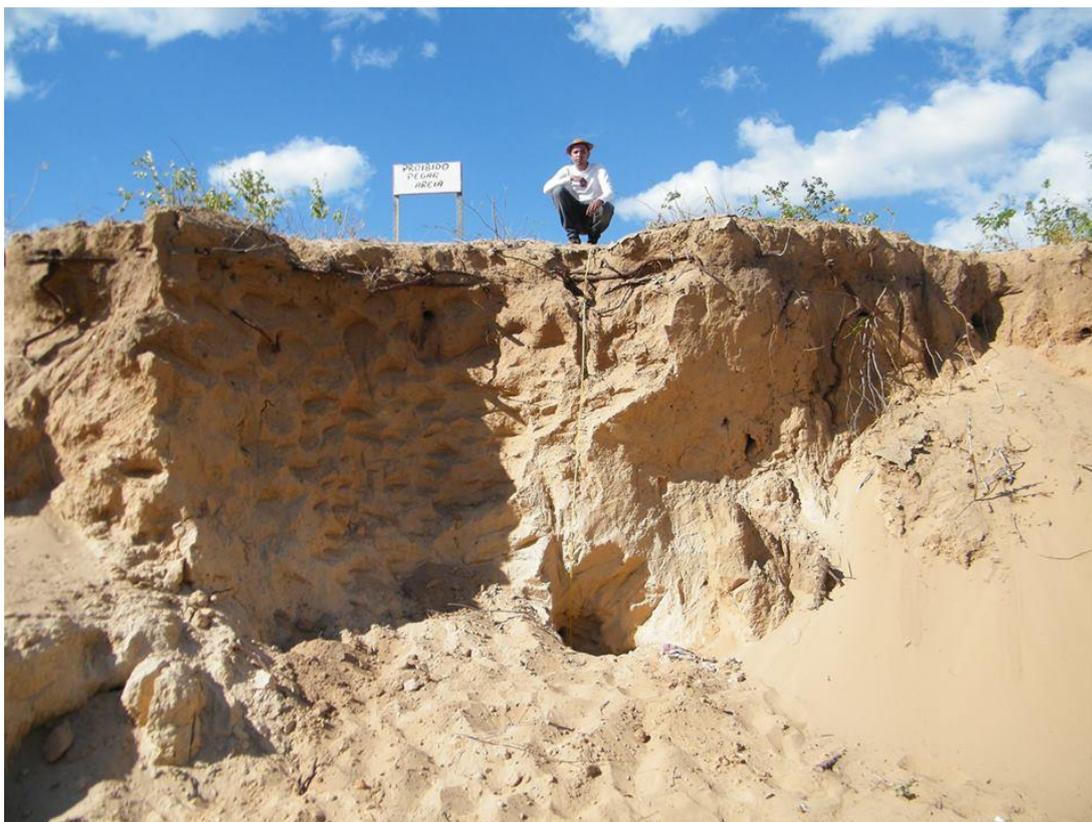
Tal procedimento de análise sedimentológica, iniciado pela coleta das amostras, segue a metodologia desenvolvida por Suguio (1973), que consiste em primeiro lugar no reconhecimento das áreas de acúmulo ou deposição sedimentar por meio do trabalho de campo. A partir daí, tenta-se identificar as áreas mais representativas para a realização da coleta, por meio das características expostas nos sedimentos, tais como estruturas sedimentares, cor das camadas de sedimentos e textura.

A coleta das amostras seguiu a metodologia já utilizada com êxito (CORRÊA, 2001; SILVA, 2007; AZAMBUJA, 2007).

O procedimento adotado para a coleta para análise sedimentológica (granulometria e morfoscopia) seguiu as seguintes etapas:

- Foi feita a coleta 21 amostras em uma duna com cerca de 10 m de altura, do topo da duna até sua base, mais uma coleta em outra duna próxima da primeira, duas coletas em um ponto representativo do lençol de areia (figura 55) e outra no terraço fluvial. Tal procedimento colabora para identificar mudanças na granulometria, cor e textura do sedimento, além do formato e brilho do grão, além da correlação que pode existir entre os sedimentos de cada uma das morfologias;
- A coleta foi realizada também no lençol de areia, que no caso optou-se pela realização de duas coletas: uma no topo e uma na base de um afloramento do depósito eólico;
- As amostras foram coletadas em sacos plásticos, em quantidades de cerca de 400 g;
- Esta forma de coleta em uma duna em especial é eficaz quando tenta identificar diferentes gerações de dunas, que pode ser comprovado por métodos laboratoriais e datação.

**Figura 55:** Ponto de coleta das amostras da feição denominada de lençol de areia, em Petrolina – PE.



Fonte: O autor, 2012.

A coleta das amostras para a realização da datação por LOE seguiu a seguinte metodologia:

- Foram escolhidos alguns perfis já existentes na área de estudo, tanto das dunas como do lençol de areia, onde foi realizada a limpeza dos mesmos com o uso de pás;
- As coletas dos perfis das dunas foram feitas a uma altura de 1 m do topo (figura 48). Já para o lençol de areia foi coletado uma amostra a 1 m e outra a 3,70 m do topo do perfil, que tinha um total de 4,5 m. Tal procedimento foi realizado com o manuseio de canos de pvc de 40 mm de diâmetro, de cor opaca;
- As coletas para datação foram feitas no topo, no meio e na base da duna selecionada e em outra duna distante cerca de 200 m da primeira. Também foi coletada 2 amostras do lençol de areia um no topo e uma na base do perfil selecionado.

- A necessidade quanto ao uso de cano de PVC de cor opaca é para evitar a exposição do sedimento com a luz solar, o que tornaria inválido a datação pelo método LOE.

Ao total foram coletadas 25 amostras para análise sedimentológica e 4 amostras para datação pelo método LOE, no perímetro do Campo de Dunas de Petrolina. A datação foi realizada junto à empresa de Datação, Comércio e Prestação de Serviços LTDA.

### 3.7 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

Os procedimentos laboratoriais para tratamento das amostras se dividiram nas seguintes etapas básicas:

1. Separação e pesagem de 100 g de cada amostra, que foi levada a um recipiente (bequer) e misturado a 15 g de hexanofosfato. Depois adicionou-se 500 ml de água no recipiente, que foi condicionado a um procedimento de mistura em um rotape por 10 minutos, até que amostra ficasse completamente misturada e até alcançar o ponto monofásico;
2. Em uma segunda etapa a amostra foi deixada em processo de decantação por 24 horas, até o material se precipitar por completo. O objetivo de misturas a amostras com hexanofosfato é a complexação de argilominerais que por ventura venham estar presente ao sedimento. Neste caso, não há interesse pelos argilominerais, uma vez que a preocupação é caracterizar, sobretudo, os sedimentos arenosos, típicos das dunas;
3. Depois da amostra ter passado 24 horas em repouso (decantando) é necessário lavar a amostra em uma peneira fina (0,38 mm), em água corrente até que água sai transparente. A partir daí a amostra é colocada em um outro recipiente, que pode ser uma bandeja, por exemplo, e deixada em uma estufa a uma temperatura de 50°C até seca completamente;
4. Depois de seca a amostra é pesada novamente e depois peneirada (figura 56) por 10 minutos para separar as frações granulométricas;
5. Depois de peneirada as amostras são separadas por fração, para depois seguir para a etapa de análise morfoscóptica por meio de uma lupa eletrônica, onde os

grãos vão ser submetidos a uma meticulosa análise para a identificação de suas características físicas (arredondamento, tipo de fratura, cor e brilho).

6. Com base nas metodologias de Folk e Ward (1957), classificação textural de Shepard (1954) e frações granulométricas segundo a terminologia de Wentworth traduzida por Suguio (1973) as amostras foram caracterizadas estatisticamente, sendo processadas no programa Sysgran 3.0.

**Figura 56:** Equipamento usado para a realização do peneiramento de materiais sedimentares, para a separação da amostra por frações granulométricas.



Fonte: [www.intercity.empresacity.com.br](http://www.intercity.empresacity.com.br). Acesso em 2013.

Depois de processadas seguindo as etapas citadas acima, as amostras foram posteriormente caracterizadas de acordo com suas propriedades físicas e texturais, de acordo com alguns parâmetros a seguir:

- Foi realizada uma análise dos grãos seguindo a metodologia de Folk e Ward (1957), para a determinação dos percentuais das classes granulométricas (figura 57), com o intuito de identificar o grau de seleção dos sedimentos, porcentagem das classes granulométricas (pelitos, areia e cascalho) e classificação textural das amostras de acordo com Shepard (1954). As amostras foram processadas no programa Sysgram 3.0.
- Tomando como parâmetro a figura 57, que traz a classificação quantitativa dos grãos proposta por Folk e Ward (1957), foram realizadas as análises sobre o grau de seleção das amostras do campo de dunas de Petrolina.

**Figura 57:** Escala quantitativa para a descrição do grau de seleção.

<b>Grau de Seleção</b>	<b>Valor</b>
<b>Muito bem selecionado</b>	< 0,35
<b>Bem selecionado</b>	0,35 a 0,50
<b>Moderadamente selecionado</b>	0,50 a 1,00
<b>Pobremente selecionado</b>	1,00 a 2,00
<b>Muito pobremente selecionado</b>	2,00 a 4,00
<b>Extremamente mal selecionado</b>	> 4,00

Fonte: Folk e Ward (1957).

- Foi feita uma análise descritiva da assimetria dos grãos das amostras coletados na área de estudo, levando em consideração a metodologia proposta por Folk e Ward (1957), apresentada na figura 58 a seguir.

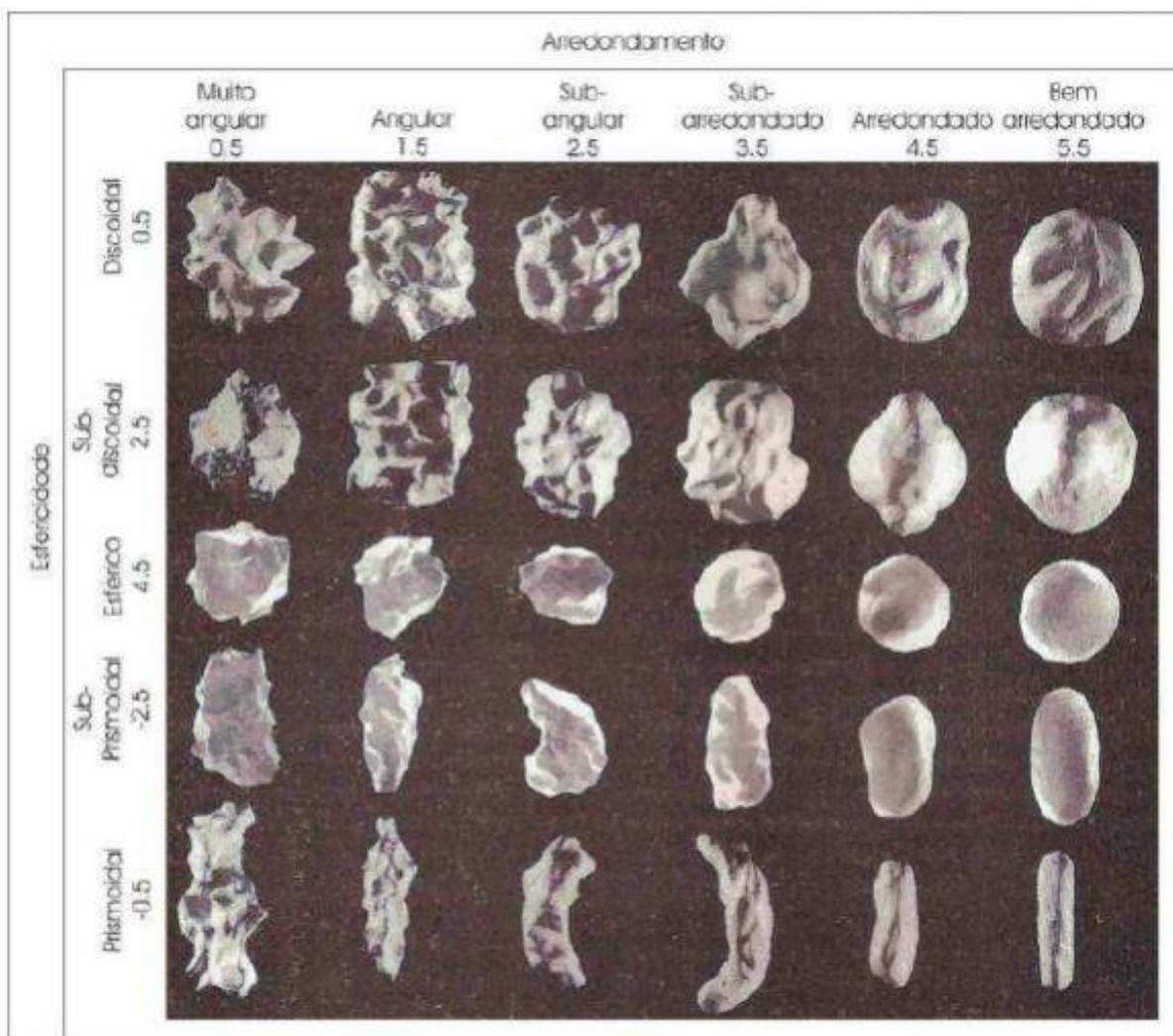
**Figura 58:** Escala quantitativa para descrição do Grau de Assimetria dos grãos.

<b>Assimetria</b>	<b>Valor</b>
<b>Assimetria muito negativa</b>	- 1,00 a - 3,0
<b>Assimetria negativa</b>	- 3,0 a - 0,10
<b>Aproximadamente simétrica</b>	- 0,10 a 0,10
<b>Assimetria positiva</b>	0,10 a 0,30
<b>Assimetria muito positiva</b>	0,30 a 1,00

Fonte: Folk e Ward (1957).

- Análise morfooscópica dos sedimentos eólicos de Petrolina, seguindo o método visual dos grãos, baseado na comparação entre a projeção máxima do contorno da partícula e um conjunto de imagens cujo arredondamento foi previamente calculado de acordo com o método descrito por Tucker (1995), tomando como parâmetro o diagrama presente na figura 59 a seguir.

**Figura 59:** Diagrama representa os diferentes graus de arredondamento e esfericidade.



Fonte: Tucker,1995.

### 3.8 CONFEÇÃO DOS MAPAS GEOMORFOLÓGICOS

Para uma maior compreensão e caracterização do Campo de Dunas de Petrolina, foi realizado dois mapeamento na área de estudo: foi confeccionado um mapa das unidades de relevo locais na escala 1:100.000 e um mapa morfodinâmica, o que

convencionou-se denominar de mapa geomorfológico de detalhe, onde é possível identificar as morfologias ou formas eólicas e os processos. Os procedimentos adotados para a confecção dos mapas das unidades de relevo da área de estudo estão de acordo com as recomendações das UGI (União Geográfica Internacional), utilizando os seguintes níveis de abordagens: a morfometria, a morfologia, a gênese e a cronologia relativa (DEMEK, 1972; CORRÊA, 2001).

A confecção dos mapas seguiu as seguintes etapas:

- Levantamento do material cartográfico e de imagens de satélites (Google Earth, Landsat, SRTM);
  - Processamento das imagens foi realizado no software ArgGis 9.3, para a confecção dos mapas temáticos.
-

---

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA GI-8

A partir de um mapeamento das unidades geomorfológicas em escala regional da bacia GI-8 foi possível identificar as unidades geomorfológicas apresentadas no mapa a seguir (figura 60).

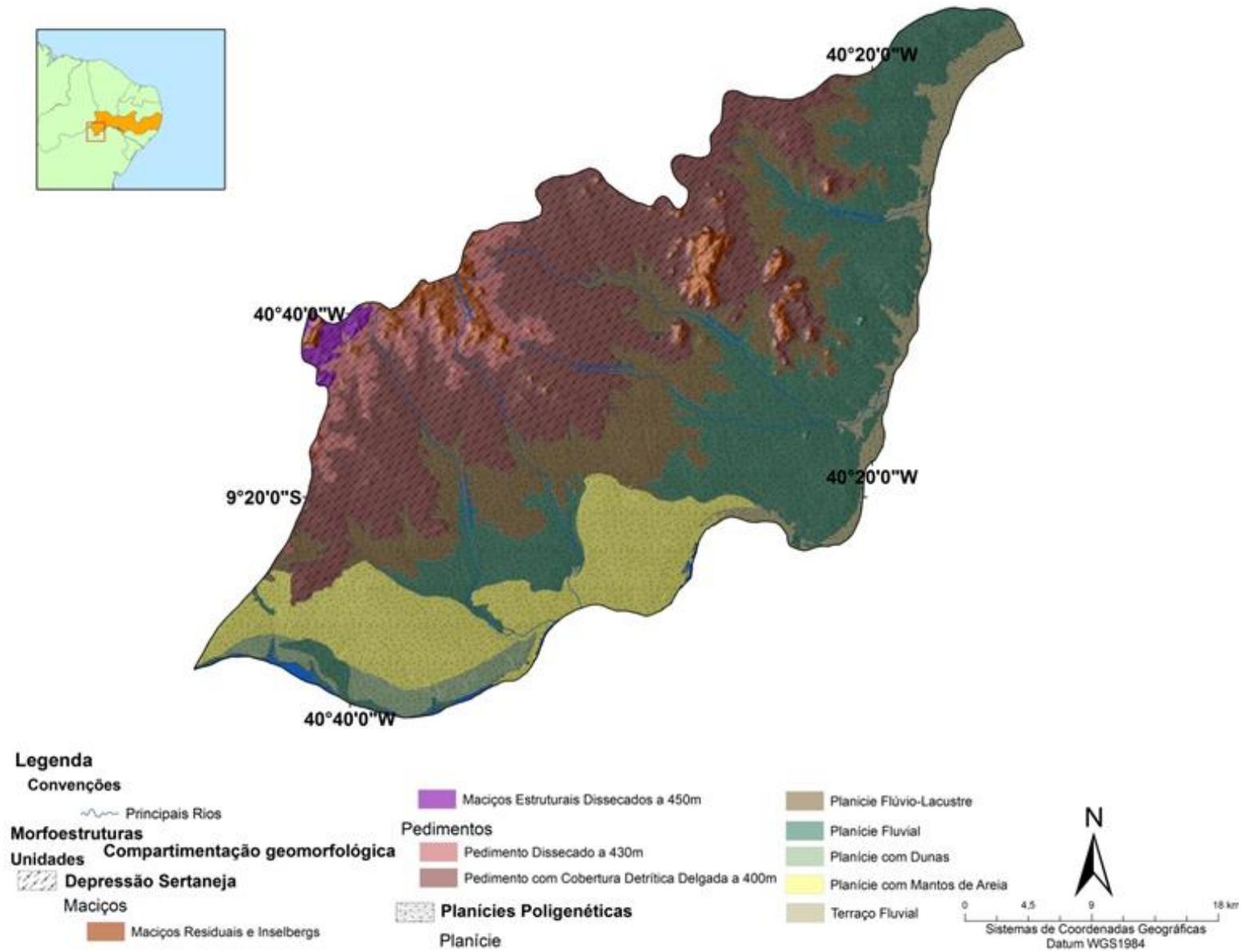
Numa escala macro de análise, é possível identificar, com base no mapa, que as feições geomorfológicas podem ser agrupadas em duas grandes unidades morfoestruturais: Depressão Sertaneja e Planícies Poligenéticas.

A Depressão Sertaneja por sua vez se subdivide em 4 unidades de relevo: Maciços Residuais e Inselbergs, Maciços Estruturais Dissecados a 450m, Pedimento Dissecado a 430m e Pedimento com Cobertura Detrítica Delgada a 400m. As Planícies Poligenéticas, por sua vez, se subdividem em 5 unidades de relevo: Planície Flúvio-Lacustre, Planície Fluvial, Planície com Dunas, Planície com Mantos de Areia e Terraço Fluvial.

Nas páginas que se seguem ao mapa, será feita uma abordagem tratando das definições e caracterização das formas identificadas na bacia GI-8, além da correlação que venha existir entre as unidades existentes.

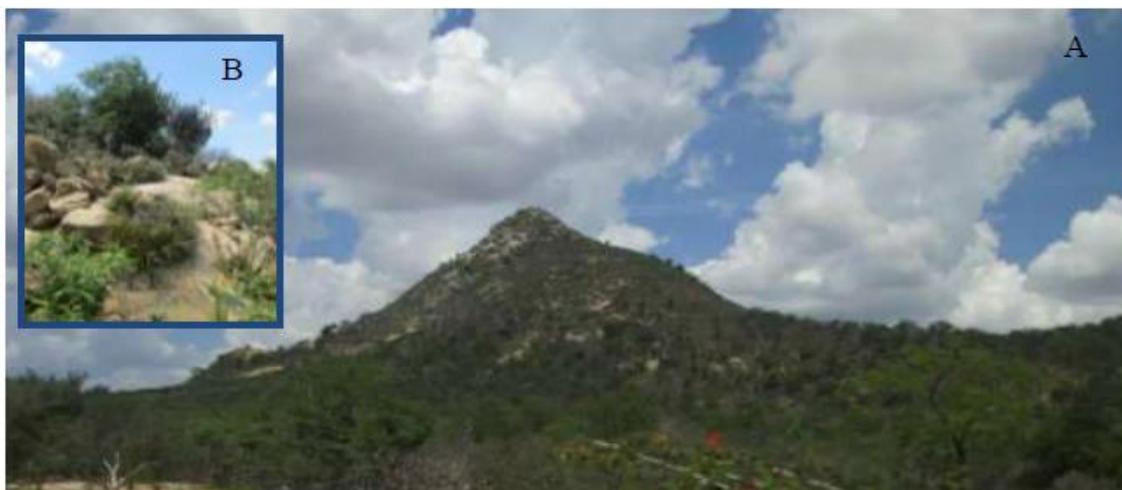
---

Figura 60: Mapa das unidades geomorfológicas da bacia GI-8.



**Maçiços Residuais e Inselbergs** correspondem às paisagens dissecadas dos maciços estruturais com a presença de corpos rochosos intrusivos dispostos de forma isolada. Seus limites são estabelecidos por encostas íngremes que sofrem influência da meteorização mecânica ou física. Em decorrência do elevado grau de declividade das encostas, encontram-se submetidos a processos gravitacionais, que em algumas situações, podem dar origem a depósitos de talús em sua base (figura 61A). A presença de inselbergs (figura 61B) é comum na paisagem local, evidenciados por sobre quase todas as superfícies (LIRA, 2014).

**Figura 61:** A - Iceberg apresentando encostas íngremes; B - presença de depósitos de talús na base do compartimento.



Fonte: Lira, 2014.

**Maçiços Residuais Dissecados a 450 metros** são feições estruturais representadas por degraus de dissecação da unidade dos Maciços Estruturais Conservados em Crista, já descrita acima (LIRA, 2014).

**Pedimento Dissecado a 430 metros** Esse modelado caracteriza-se por apresentar uma zona de contato embasamento cristalino-sedimento marcado por um nível de caimento. Segundo Lira (2014) afirma estas unidades são áreas moderadamente planas com baixa declividade circundadas por maciços residuais formando áreas de retirada de sedimentos, estruturados pelo embasamento cristalino apresentando um caráter rochoso e marcado por níveis pedimentares pouco dissecados, sem cobertura sedimentar que transitam lateralmente para os maciços estruturais.

**Pedimento com Cobertura Detrítica Delgada a 400 metros** aparecem no perímetro da bacia GI-8 em forma de leques ou lençol de detritos nas saídas das unidades de topografia mais acentuadas. O IBGE (2009) define pedimento como uma superfície de aplanamento, de inclinação suave, capeada por material detrítico descontínuo sobre a rocha, não apresentando dissecação marcada ou deposição excessiva. Lira (2014) admite que na área de estudo tais feições correspondem a níveis onde desenvolvem-se pavimentos detríticos pela retirada das fácies pelíticas por meio dos processos de erosão laminar.

**Planície Flúvio-Lacustre** corresponde a uma área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e lacustre, podendo comportar canais anastomosados, paleomeandros e diques marginais. Ocorre em setores sob o regime de processos combinados de acumulação fluvial e lacustre, sujeitos a inundações periódicas com barramentos, formando lagos (IBGE, 2009). Guerra (2005) complementa que estas feições podem ser denominadas planície de inundação, compreendendo uma superfície pouco elevada acima do nível freático médio das águas, sendo frequentemente inundada por ocasião de cheias. Quanto a esta feição Lira (2014) afirma que as mesmas tiveram sua gênese relacionada ao aumento do volume das águas do rio São Francisco, com ocorrência de enchentes que romperam o dique marginal, preenchendo áreas deprimidas e formando lagos, onde se acumularam sedimentos finos e bem selecionados.

**Planície Fluvial** é uma área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. Ocorre nos vales com preenchimento aluvial (IBGE, 2009). A planície fluvial que se desenvolve ao longo do rio São Francisco, no trecho estudado, é representada por áreas baixas e planas, com relevo suave, formada pela deposição de sedimentos arenosos, predominantemente. Lira (2014), ao realizar pesquisa na área identificou nesta unidade cascalheiras clastos suportados o que poderia indicar a presença de um paleocanal com padrão de drenagem anastomosado.

**Planície com Dunas** é uma feição de relevo das Planícies Poligenéticas onde ocorrem dunas ativas próximas às margens do Rio São Francisco sobrepondo os terraços fluviais, dunas do tipo Parabólicas; Nebkas e estruturas de dissipação do tipo

---

*Blowout* (LIRA, 2014). Esta área está sujeita a dinâmica dos ventos atuais que sopram com sentido preferencial SE/NO, mas a ação fluvial exerce maior controle sobre a gênese do relevo atual.

**Planície com Manto de Areias** é uma unidade localizada posterior às áreas das dunas ativas, constituídas por depósitos eólicos menos desenvolvidos, uma vez que sofreu ação da erosão, sendo retrabalhado por sucessivos ciclos, o que fez com que tal feição perdesse suas características primárias. As formas referentes à ação eólica nesta área apresentam-se incipientes, destituídas de face de deslizamento, com cobertura vegetal rarefeita e pequena estabelecida provavelmente por uma melhoria climática natural. É importante salientar que esta área sofre com o processo de ocupação humana desordenada na atualidade, uma vez que é mais plana (LIRA, 2014) (Figura 62).

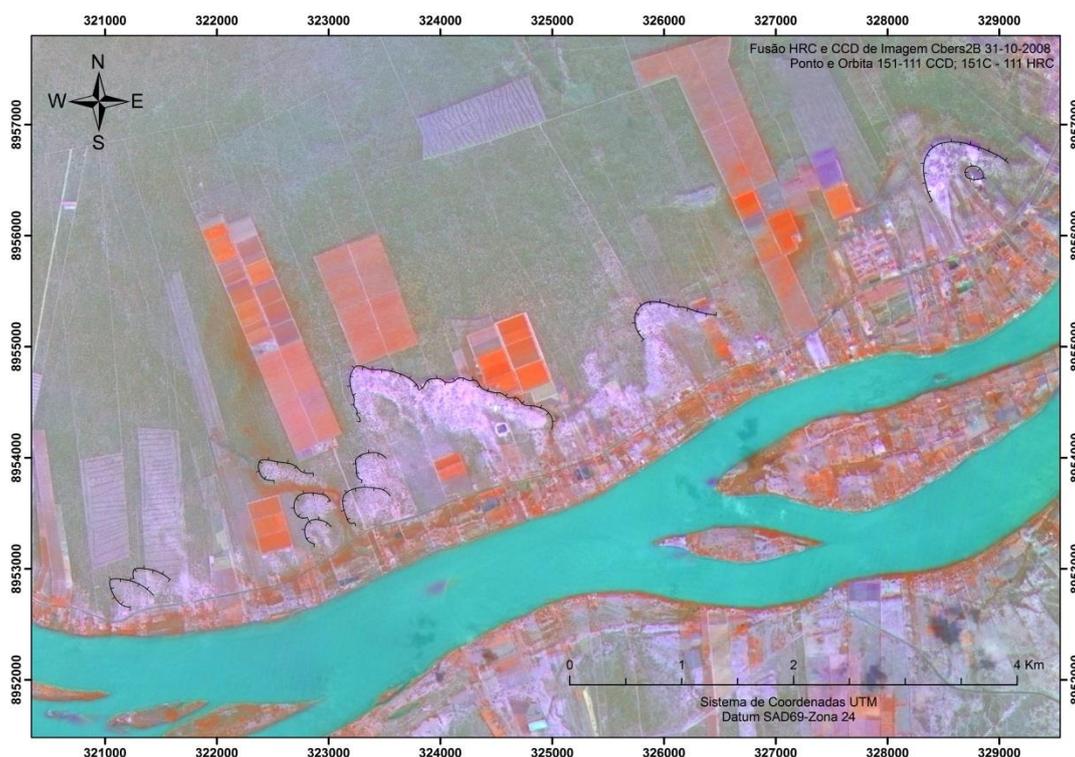
**Figura 62:** A) duna vegetada; B) área do manto de areia com ocupações irregulares.



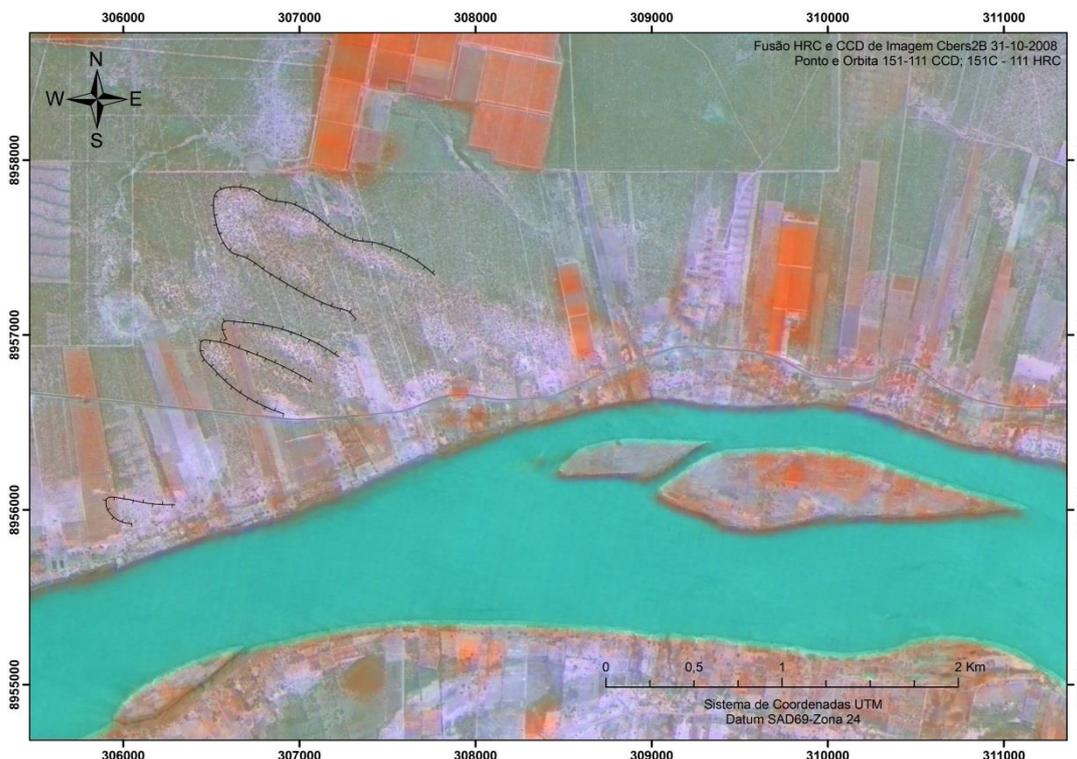
Fonte: Lira, 2014.

As Planícies com Duna e Manto de Areia compreendem de fato a área de investigação, estando inseridas no que Lira (2014) denominou de Planícies Poligénicas do Submédio rio São Francisco, onde se encontram as unidades de acumulação associadas à dinâmica fluvial e eólica. Essa área da Planície Poligénica apresenta dunas ativas próximas às margens do Rio São Francisco sobrepondo os terraços fluviais, dunas do tipo Parabólicas (figuras 63 e 64); Nebkas e estruturas de dissipação do tipo *Blowout*. Também são identificados os mantos de areia ou lençol de areia constituído por depósitos eólicos menos desenvolvidos. As formas referentes à ação eólica nesta área apresentam-se incipientes, destituídas de face de deslizamento, com cobertura vegetal rarefeita e pequena estabelecida provavelmente por uma melhoria climática natural. Por se tratar de uma área mais plana, esta é também ocupada de forma indevida pela população.

**Figura 63:** Feições eólicas dispostas à margem esquerda do rio São Francisco apresentando formas em dunas parabólicas e presença de *blowout* na porção superior direita da imagem.



**Figura 64:** Feições eólicas na margem esquerda do rio São Francisco, apresentando formas parabólicas e feições incipientes nos lençóis de areia.



As dunas parabólicas e *blowout* indicadas nas figuras 80 e 81 acima representam feições eólicas formadas a partir da dinâmica eólica, a partir de ventos que sopraram no sentido preferencial de SE/NO, originando dunas desde pelo de 30.000 anos até 165 anos AP. Esta última idade marca o período em que teria cessado o último grande momento de intensa atividade eólica na área investigada, segundo as idades obtidas por LOE. As dunas do tipo *nebkas* também se fazem presente na área, geralmente localizadas dentro do campo de dunas em meio às dunas parabólicas. Estas podem medir de uma ponta a outra aproximadamente 2 km, já as *nebkhas* são feições pequenas, alcançando alguns metros, o que torna impossível sua visualização nas figuras.

**Terraço Fluvial** é uma unidade oriunda da acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior, entalhada devido às mudanças de condições de escoamento e consequente retomada de erosão. Ocorre nos vales contendo aluviões finas a grosseiras, pleistocênicas e holocênicas. Lira (2014) admite que esta feição compreendem uma estreita faixa que margeia o canal fluvial, esta unidade é resultado

direto do processo erosivo de aprofundamento do leito do rio, apresentando uma borda escarpada na direção do canal fluvial, em algumas áreas essa unidade encontra-se recoberta por sedimentos eólicos.

## 4.2 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS EÓLICOS

Para melhor compreender a dinâmica processual que atuou sobre o campo de dunas de Petrolina, no que diz respeito a sua gênese, foi realizada a análise sedimentológica dos depósitos dunares e lençol de areia na área de estudo.

Tal análise consiste em realizar uma caracterização qualitativa e quantitativa dos sedimentos, a partir da verificação da distribuição do tamanho das partículas e como elas foram depositadas, visando o reconhecimento da área-fonte e dos processos operantes no ambiente deposicional. Neste tipo de análise também coube a realização de estudos morfoscópicos dos sedimentos, que visa compreender as propriedades texturais dos grãos, tais como a esfericidade, grau de arredondamento e textura superficial. Tais características forneceram informações importantes para elucidação sobre o meio e a distância percorrida pelos sedimentos a partir do processo de transporte (BARRETO, 1996).

### 4.2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Com a finalidade de tentar estabelecer o tamanho das partículas em sedimentos detríticos, a análise sedimentológica se torna um parâmetro primordial na análise das propriedades físicas dos sedimentos e é empregada, segundo Suguio (2003) na classificação de sedimentos detríticos em rudáceos, arenáceos e lutáceos.

De acordo com Suguio (2003) os sedimentos são considerados rudáceos quando apresentam minerais fragmentados maiores do que grânulos, em geral seixos e calhau, independente de sua composição mineralógica. Os sedimentos arenáceos são aqueles agregados inconsolidados de partículas clásticas na fração areia. E os sedimentos lutáceos, por sua vez, são aqueles formados por partículas clásticas muito pequenas, isto é, na fração silte e argila.

---

Deste modo, serão apresentados na figura 65 a seguir, os resultados referentes a alguns parâmetros granulométricos dos sedimentos eólicos encontrados no campo de dunas de Petrolina.

**Figura 65:** Quadro com as características dos sedimentos eólicos do campo de dunas de Petrolina.

Amostras	Média	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
D1	2,809	2,723	0,5969	0,2189	0,8477	0	100	0	0
D2	2,727	2,647	0,623	0,1631	1,083	0,02506	99,97	0	0
D3	2,641	2,587	0,6091	0,1128	1,258	0	100	0	0
D4	2,547	2,529	0,6103	0,03233	1,33	0	100	0	0
D5	2,368	2,433	0,6941	-0,07241	1,243	0	100	0	0
D6	2,586	2,543	0,7203	0,04098	1,229	0	100	0	0
D7	2,57	2,566	0,5072	0,1084	1,194	0	100	0	0
D8	2,345	2,406	0,6248	-0,1134	1,253	0	100	0	0
D9	2,242	2,322	0,6836	-0,1008	1,019	0,003019	100	0	0
D10	2,178	2,244	0,6832	-0,07703	0,8983	0	100	0	0
D11	2,553	2,553	0,4467	0,1613	1,089	0	100	0	0
D12	2,476	2,476	0,5752	-0,01116	1,345	0	100	0	0
D13	2,411	2,448	0,6235	-0,0672	1,321	0	100	0	0
D14	2,242	2,317	0,7155	-0,06718	1,01	0	100	0	0
D15	2,287	2,366	0,6836	-0,09913	1,137	0,01908	99,98	0	0
D16	2,268	2,349	0,638	-0,151	1,081	0,006023	99,99	0	0
D17	2,221	2,308	0,5896	-0,2352	0,9024	0	100	0	0
D18	2,215	2,293	0,6847	-0,09768	0,9644	0,01908	99,98	0	0
D19	2,294	2,37	0,6352	-0,1405	1,182	0	100	0	0
D20	2,367	2,433	0,7007	-0,07257	1,237	0	100	0	0
D21	2,246	2,328	0,7086	-0,08958	1,036	0	100	0	0

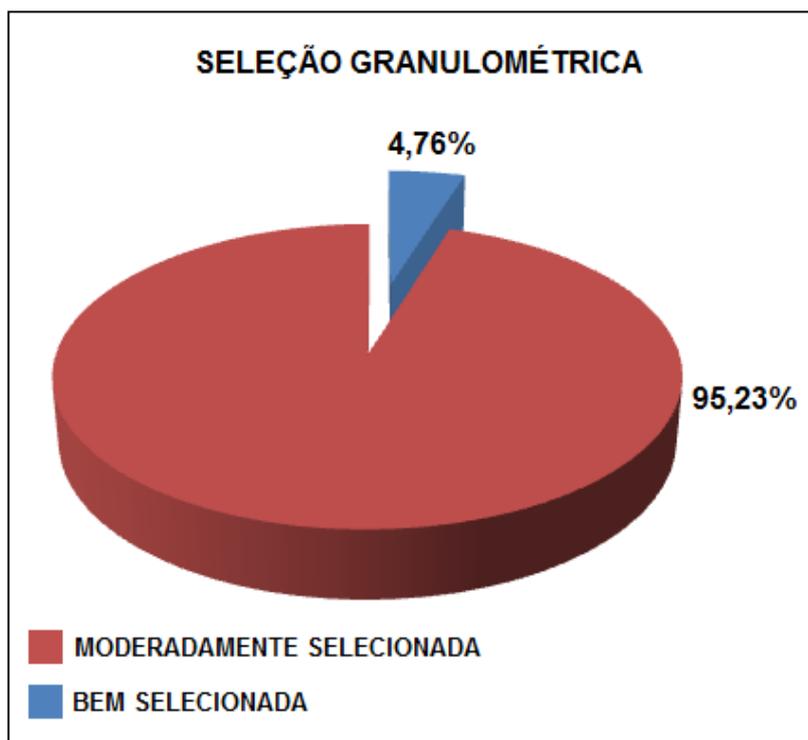
Fonte: O autor.

A figura acima traz uma síntese das propriedades texturais dos sedimentos coletados no campo de dunas de Petrolina e serão analisados de forma detalhada nos tópicos a seguir, com base em alguns parâmetros citados anteriormente.

#### 4.2.1.1 GRAU DE SELEÇÃO DOS GRÃOS

Os resultados obtidos para as amostras, quanto o grau de seleção são apresentados na figura 66 a seguir:

**Figura 66:** Grau de seleção das amostras do campo de dunas de Petrolina (PE).



A figura acima revela que as amostras de sedimentos do campo de dunas de Petrolina apresentam um predomínio de grãos moderadamente selecionados (95,23%) e apenas 4,76% dos grãos são bem selecionados.

Tais dados coincidem com os obtidos por Barreto (1996), no campo de dunas fixas no Médio São Francisco no estado da Bahia, nas proximidades do lago de Sobradinho, e por Ferreira *et al.* (2013), em estudo realizado no município de Floresta (PE), nas margens do Lago de Itaparica. O que comprova as hipóteses iniciais desta pesquisa que os depósitos eólicos encontrados em Petrolina compreendem um campo de dunas e não simplesmente um Neossolo Quartzarênico, como afirma a EMBRAPA.

Esta afirmação pode ser embasa quando analisamos algumas propriedades dos Neossolos Quartzarênicos sugerida pela EMBRAPA (2006) que afirma que esta classe de solo, em geral, apresenta características provenientes do material de origem. Contudo, constatou-se que os sedimentos eólicos das dunas apresentam características compatíveis com aquelas observadas na área fonte.

Junqueira *et al.*, afirma ainda que os Neossolos Quartzarêncos apresentam textura com predomínio de grãos na fração areia grossa (2mm), diferente dos sedimentos encontrados no campo de dunas, onde predomina fração de areia muito fina

e fina, como será mostrado no tópico a seguir. Para reforçar tal afirmação Prado (2007) apresenta uma tabela (figura 67) onde constam os valores percentuais das frações granulométricas que constituem os Neossolos Quartzarênicos, o que dá suporte para que seja refutada a ideia da EMBRAPA em relação aos sedimentos investigados em Petrolina.

**Figura 67:** Características físicas representativas dos Neossolos Quartzarênicos.

PROFUNDIDADE (CM)	HORIZONTE	ARGILA %	SILTE %	AREIA %	
				FINA	GROSSA
0-16	Ap1	9	1	33	57
16-25	Ap2	11	0	39	50
25-48	C1	11	1	38	50
48-70	C2	14	1	37	48
70-150	C3	14	2	29	55
150-200	C4	14	1	35	50

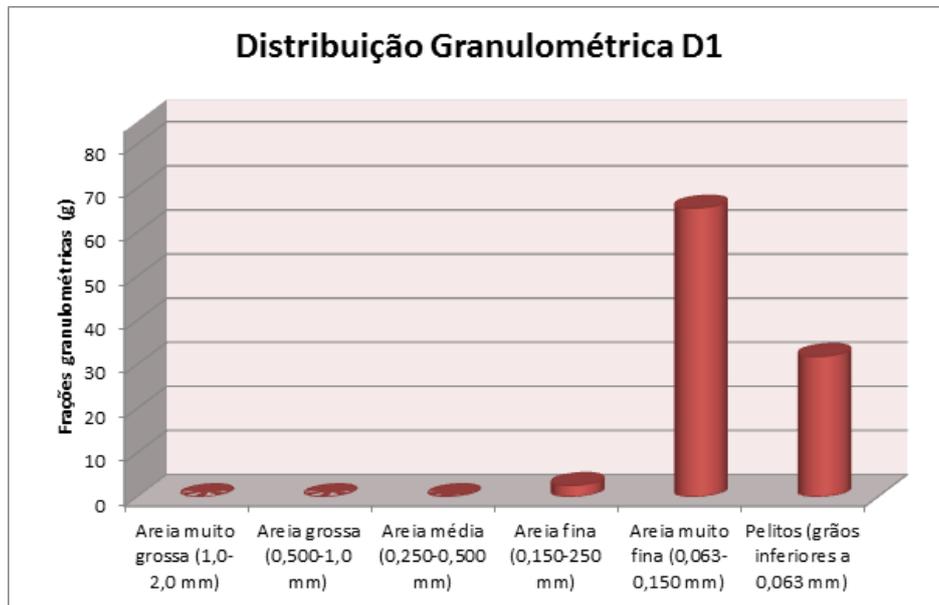
Fonte: Prado (2007).

#### 4.2.1.2 DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS

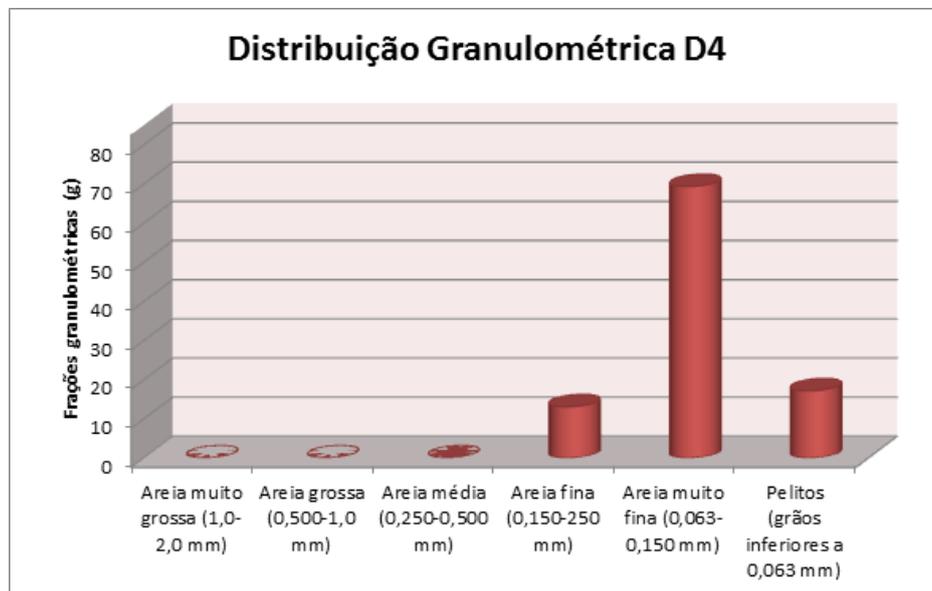
A análise da distribuição granulométrica dos sedimentos eólicos do campo de dunas de Petrolina revelou que das 21 amostras analisadas 100% delas apresentam um predomínio da fração areia muito fina. A segunda fração predominante seria areia fina, e em terceiro lugar os pelitos, entendidos nesta pesquisa como o conjunto formado por silte e argila.

Desse modo, a seguir serão apresentadas as figuras 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74 e 75, que representam a distribuição das frações granulométricas das amostras coletadas no campo de dunas de Petrolina, já que em todas as amostras há uma repetição do predomínio da fração areia muito fina.

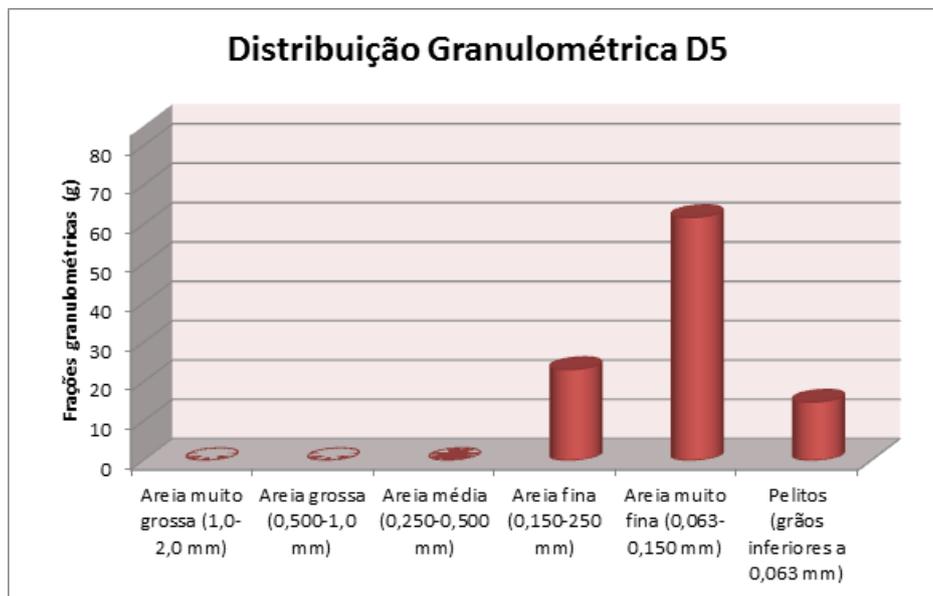
**Figura 68:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D1 do campo de dunas de Petrolina.



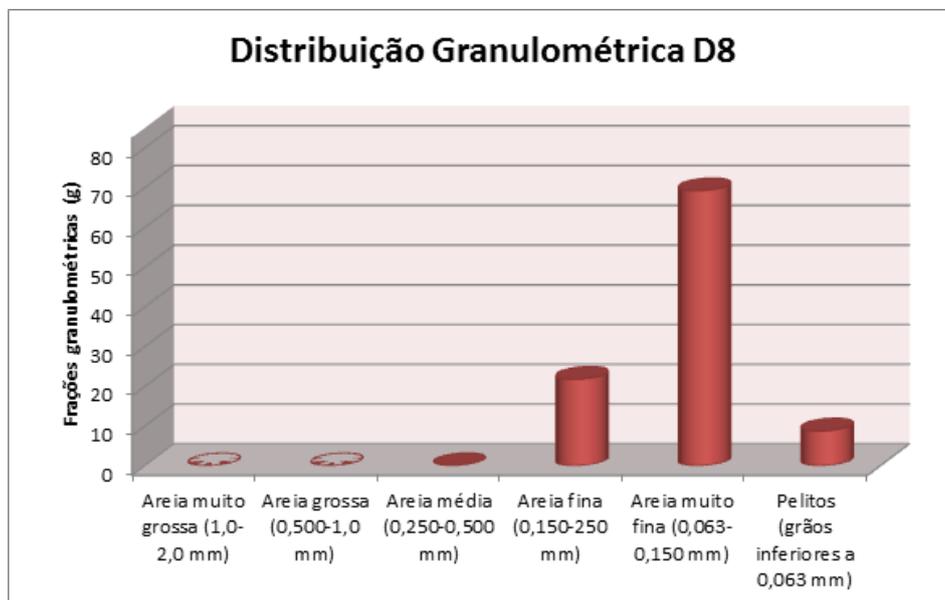
**Figura 69:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D4 do campo de dunas de Petrolina.



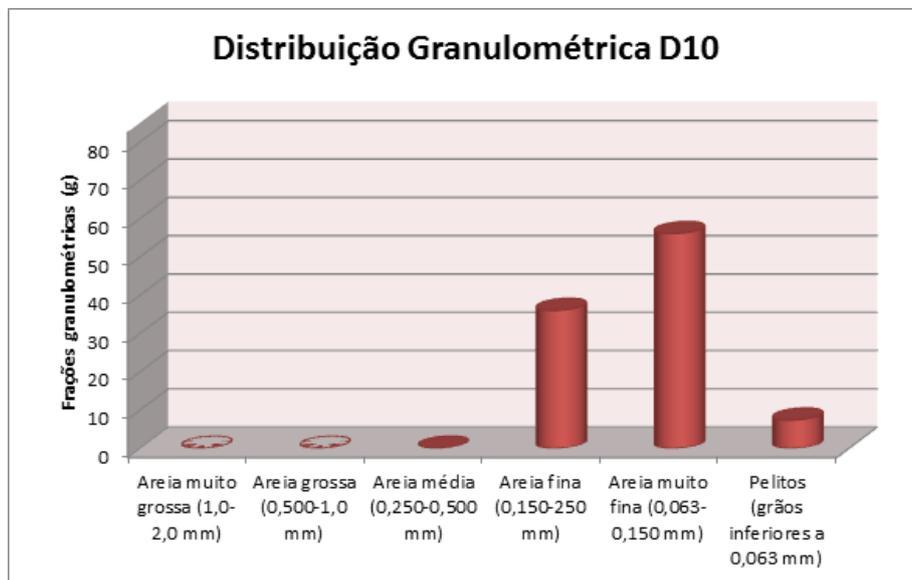
**Figura 70:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D5 do campo de dunas de Petrolina.



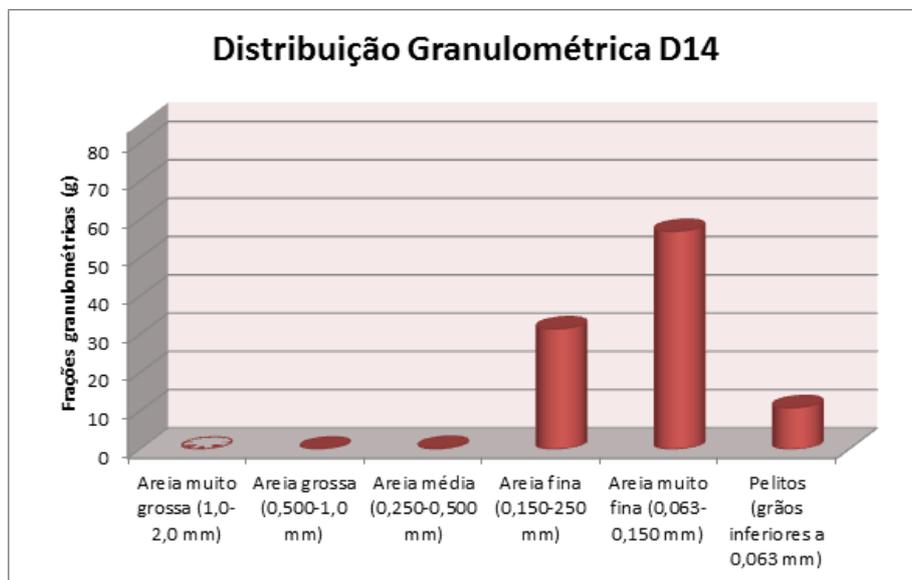
**Figura 71:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D8 do campo de dunas de Petrolina.



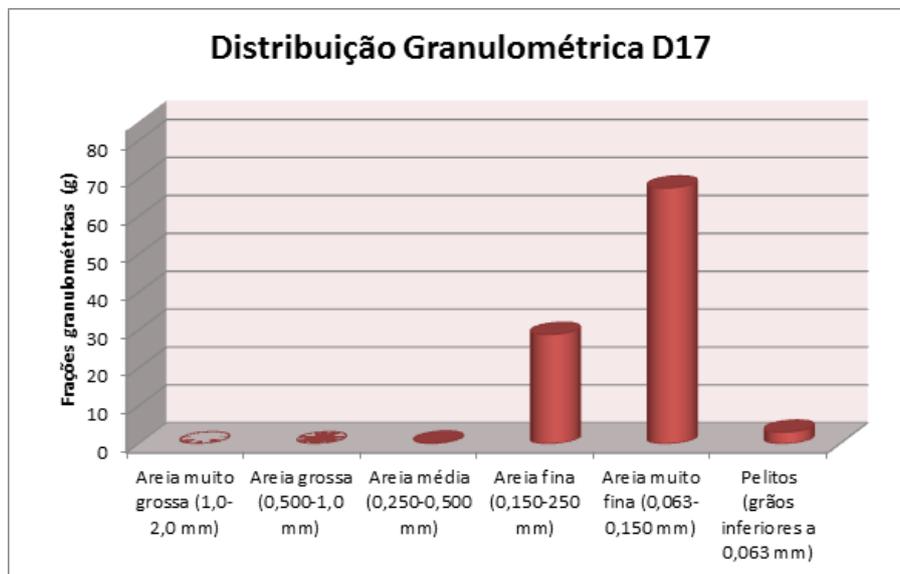
**Figura 72:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D10 do campo de dunas de Petrolina.



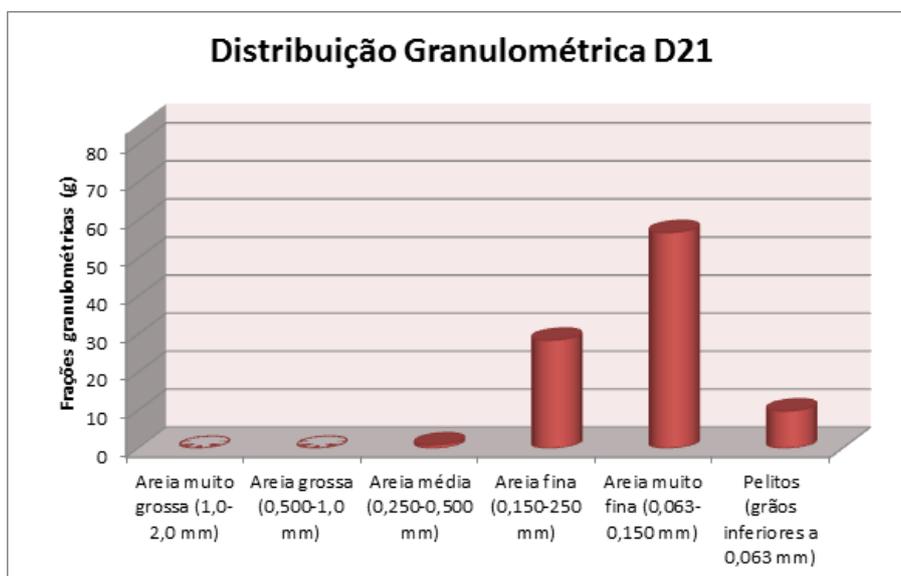
**Figura 73:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D14 do campo de dunas de Petrolina.



**Figura 74:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D14 do campo de dunas de Petrolina.



**Figura 75:** Distribuição das frações granulométricas da amostra D14 do campo de dunas de Petrolina.

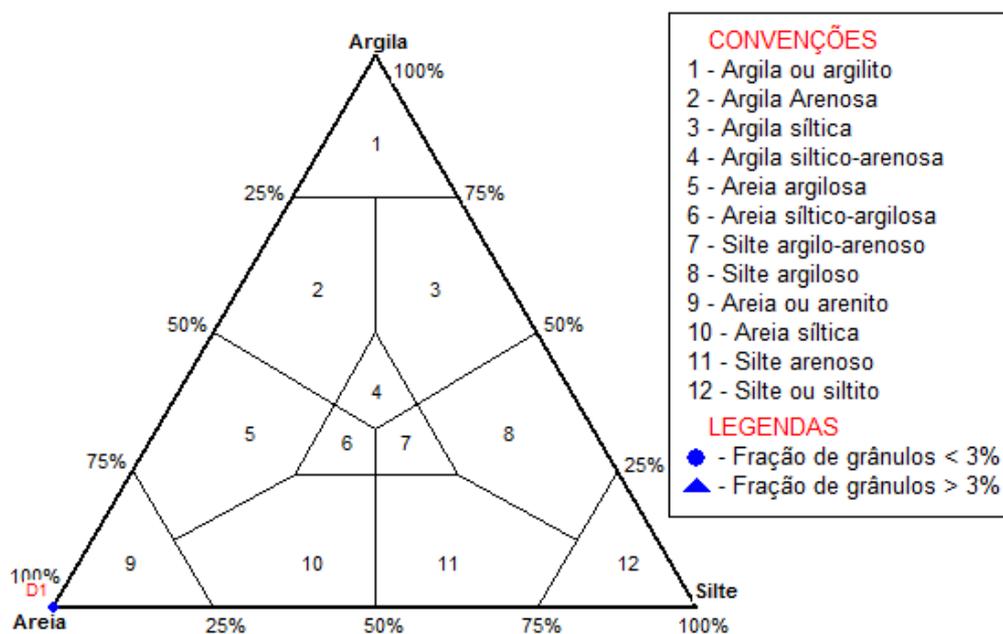


Os dados obtidos sobre as frações granulométricas do campo de dunas de Petrolina não coincidem exatamente com os obtidos por Barreto (1996) e Ferreira *et. al.* (2013), visto que as amostras por eles analisadas, em campos de dunas semelhantes ao encontrado em Petrolina, revelam que a frações predominantes são areias finas,

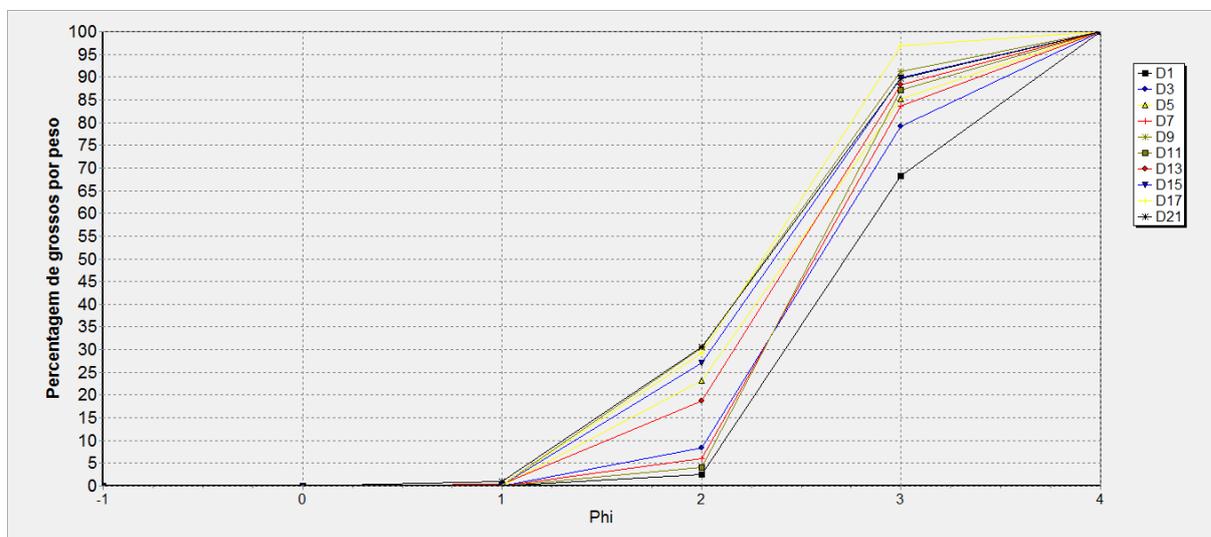
enquanto que em Petrolina predomina a fração de areia muito fina sendo a segunda fração predominante a areia fina.

Ainda com relação às propriedades granulométricas, quando os dados da distribuição das classes modais foram plotados no diagrama de Shepard (1954), mostram que os sedimentos eólicos de Petrolina são compostos basicamente por areia fina, com uma concentração dos grossos e uma calda de finos, segundo o que mostram as figuras 76 e 77 a seguir.

**Figura 76:** Diagrama de Shepard para amostras do campo de dunas de Petrolina.



**Figura 77:** Distribuição da frequência acumulada da fração areia do campo de dunas de Petrolina.



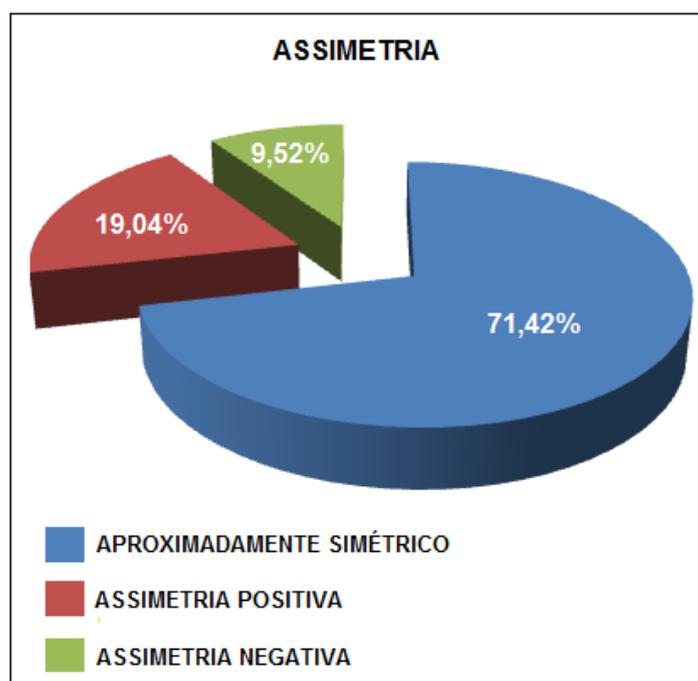
Esta constatação pode ser explicada pela competência em transportar partículas dos ventos predominante na área de estudo, que neste caso apresentaria uma menor competência para o transporte de sedimentos com maior diâmetro. A menor intensidade dos ventos em Petrolina, no período em que os depósitos eólicos se formaram teria possibilitado o transporte de frações mais finas, do que aquelas transportadas no campo de dunas na Bahia e de Floresta (PE), estudados por Barreto (1996) e Ferreira *et. al.* (2013), respectivamente, onde os ventos teriam sido mais intensos por sua vez.

#### 4.2.1.3 GRAU DE ASSIMETRIA DOS GRÃOS

Os resultados obtidos para o grau de assimetria dos grãos das amostras do campo de dunas revelou que 71,42% das amostras podem ser classificadas como Aproximadamente Simétricas, 19,04% apresentam Assimetria Positiva e 9,52% apresentam Assimetria Negativa, segundo o exposto na Figura 78.

Os dados obtidos para as amostras do campo de dunas de Petrolina coincidem com aqueles obtidos por Barreto (1996) e Ferreira (2013), onde predominam a distribuição Aproximadamente Simétrica para as amostras dos campos de dunas da Bahia e Floresta (PE).

**Figura 78:** Grau de assimetria dos grãos das amostras sedimentológicas do campo de dunas de Petrolina (PE).



De um modo geral os sedimentos estudados apresentam pequena variação granulométrica e de grau de seleção, revelando que os processos sedimentares que atuaram sobre os mesmos seguiram um padrão homogêneo. Os sedimentos apresentam curvas de distribuição granulométrica aproximadamente simétrica, o que sugere os maiores percentuais de areia muito fina, areia fina e frações pelíticas. De forma simplificada, pode-se afirmar que os sedimentos eólicos do campo de dunas de Petrolina apresentam poucas variações dos parâmetros granulométricos, definidos por Folk e Ward (1957).

Os resultados obtidos dos valores de assimetria dos grãos são muito variáveis, já que a área-fonte dos depósitos são os depósitos sedimentares encontrados no sistema fluvial (terraços, planícies e barras arenosas) do rio São Francisco, o que permite concluir que as características granulométricas refletem a assimetria do transporte fluvial e não da deposição eólica. Tal dado pode ser correlacionado com os obtidos por Ferreira *et. al.* (2013), em análise dos depósitos eólicos do município de Floresta, no Sub-Médio São Francisco em Pernambuco.

As características apresentadas pelos grãos sugerem ainda que possivelmente os paleoventos que atuaram sobre a área de estudo, que possibilitaram a gênese do depósito eólico em Petrolina, retrabalharam continuamente as areias que constituem o campo de dunas, o que conduziu assim a um aumento no grau de seleção granulométrica gradativa ao longo do tempo, que segundo os dados geocronológicos tratados nos tópicos posteriores, desde 30.000 anos A.P. até cerca de 400 anos atrás, com intervalos de maior ou menor intensidade seguindo a lógica das mudanças climáticas que se sucederam sobre o sistema climático da área de estudo.

#### 4.2.1.4 ANÁLISE MORFOSCÓPICA E MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS DO CAMPO DE DUNAS DE PETROLINA

A partir da análise morfoscóptica dos sedimentos eólicos de Petrolina foram obtidos os seguintes resultados:

- 100% das amostras apresentam uma distribuição por tamanho do tipo Heterogênea;
  - Quanto à esfericidade dos grãos 95,23% das amostras são do tipo Sub-discoidal e 4,76% do tipo Discoidal;
-

- No que diz respeito ao grau de arredondamento dos grãos cerca de 57% das amostras foram classificadas como Sub-arredondadas e cerca de 43% como Arredondadas. É importante salientar ainda que excluindo as classes predominantes, aparece uma terceira com relativo destaque, que é a Sub-angular, presente em todas as amostras;
- Quanto à textura superficial dos grãos foi possível constatar que as amostras são do tipo Brilhante a Polida, onde em 100% das amostras o tipo brilhante foi predominante;
- Referente à Opacidade dos grãos 100% das amostras analisadas apresentam grãos que em sua maioria são do tipo Transparente;
- No tocante às classes minerais que constituem os depósitos eólicos de Petrolina foram encontrados predominantemente quartzo e algumas variações (quartzo branco transparente, quartzo leitoso, quartzo fumado), concreções ferruginosas e em menor quantidade a ilmenita, o rutilo, micaxisto, zircão e actinolita.

As características sedimentológicas com base na morfoscopia relevam algo bastante intrigante sobre a origem e transporte dos sedimentos do campo de dunas de Petrolina, em especial no que diz ao grau de arredondamento e textura superficial dos grãos.

Em se tratando do grau de arredondamento, esperava-se que os sedimentos eólicos de Petrolina apresentassem um caráter mais angular, já que os grãos poderiam ter sofrido um tipo de transporte por saltação, meio mais comum pelo qual os sedimentos eólicos de dunas são transportados. Este tipo de transporte faz com que os grãos apresentem em geral um caráter mais angular, visto que a saltação provoca o choque entre as partículas sedimentares, o que provoca a ocorrência de arestas e facetas mais proeminentes, decorrentes de faturamento dos grãos.

Contudo, os sedimentos do campo de dunas de Petrolina são predominantemente do tipo Sub-arredondado tendendo a Arredondados. Tal característica dos grãos é muito comum aos sedimentos fluviais, o que possibilita afirmar que os sedimentos que constituem os depósitos eólicos de Petrolina, de fato, foram trazidos no sistema fluvial do rio São Francisco, e pelo fato de tais depósitos estarem próximos da área-fonte, os grãos não se apresentam tão fraturados como a maioria dos sedimentos que constituem a maior parte campos de dunas distribuídos pela superfície terrestre.

---

No que tange a textura superficial dos grãos esperava-se que os sedimentos coletados no campo de dunas de Petrolina fossem do tipo fosco, comum aos depósitos eólicos espalhados pela superfície do globo. Todavia, em todas as amostras analisadas constatou-se que os grãos apresentam textura brilhante, típica dos sedimentos transportados em meio aquoso. Os dados referentes à textura vão ao encontro daqueles referentes ao grau de arredondamento que apontam para o fato de que os sedimentos eólicos aqui estudados foram trazidos de uma localidade próxima de onde eles foram se acumulando, que neste caso seria os depósitos fluviais do rio São Francisco (terraços, planícies e barras arenosas), tratando-se de sedimentos fluviais retrabalhados pela ação eólica.

É importante mencionar ainda que quanto ao grau de esfericidade os depósitos eólicos de Petrolina apresentam as mesmas características daqueles estudados por Ferreira *et. al.* (2013), em Floresta-PE, dispostos às margens do Lago de Itaparica, sendo classificados predominantemente como Sub-discoidal, relevando que foram rolados por longas distâncias dentro da bacia do rio São Francisco.

Já no que diz respeito ao grau de arredondamento, os sedimentos eólicos de Petrolina apresentam uma ligeira variação aos sedimentos estudados por Barreto (1996), na Bahia, uma vez que os depósitos aqui estudados apresentam grãos predominantemente dos tipos sub-arredondados e arredondados, enquanto Barreto (1996) verificou a existência de grãos sub-angulosos/sub-arredondados e arredondados.

#### 4.3 DATAÇÃO DOS DEPÓSITOS EÓLICOS DE PETROLINA

A datação dos sedimentos eólicos de Petrolina é imprescindível para a realização de uma análise geocronológica e, por conseguinte, paleoambiental na área de estudo. No que diz respeito a este aspecto, serão apresentadas a seguir na tabela (figura 79) os resultados referentes à datação de 4 amostras coletadas no campo de dunas de Petrolina:

**Figura 79:** Resultados da datação por LOE, dos depósitos eólicos das dunas de Petrolina.

<b>Amostra</b>	<b>Dose Anual (<math>\mu\text{Gy}/\text{ano}</math>)</b>	<b>Dose Acumulada LOE (Gy)</b>	<b>Idade (anos)</b>
DBE01	$725 \pm 50$	22,0	$30.400 \pm 3.520$
D1B	$650 \pm 50$	7,4	$11.450 \pm 1.470$
D1M	$620 \pm 90$	0,25	$410 \pm 80$
D1T	$610 \pm 60$	0,10	$165 \pm 25$

Os resultados apresentados na tabela acima expressam informações importantes sobre as condições paleoambientais do Sub-Médio São Francisco desde 30.000 anos AP, no Pleistoceno Tardio, até 165 anos AP no Holoceno.

Os dados revelaram que ocorreu intensa atividade eólica com formação de dunas em períodos intercalados na escala de tempo geológica e humana, nos últimos 30.000 anos, desde o Último Máximo Glacial até o Holoceno Inferior, no Sub-Médio São Francisco. Esta constatação permite concluir que as condições climáticas da porção central do Nordeste eram bem mais secas do que a atual, o que teria impulsionado a remobilização de areia pelo vento, por meio da instalação de um clima árido ou semiárido severo.

Tal condição climática favoreceu para que os sedimentos do sistema fluvial do rio São Francisco pudessem ser remobilizados pela ação eólica, para que assim originassem feições dunares neste período. A amostra DBE01 datada de 30.000 anos AP foi coletada no município de Petrolina, em uma duna que mede cerca de 20 m de altura, localizada na fazenda Areia Vitoria do Vale. O material usado para a análise por LOE foi extraído a, aproximadamente 1m da base da duna (figura 80).

Outro importante momento de intensa atividade eólica no Sub-Médio São Francisco ocorreu durante o Younger Dryas, que corresponde a um momento mais frio ao final do Pleistoceno (GOLLEDGE, 2010) há cerca de 11.450 anos AP. Tal constatação se baseia nas datações por LOE da amostra D1B, coletada na base de uma duna também localizada na fazenda Areia Vitoria do Vale, que mede cerca de 15 m. O Younger Dryas marca o final do Pleistoceno e início do Holoceno, no qual segundo Broecker (2003) ocorreu diminuição da umidade e aumento da intensidade e velocidade dos ventos, nas regiões tropicais, não afetadas pela ação das geleiras.

**Figura 80:** Coleta de amostra para datação por LOE.



Tal condição climática possibilitou mais uma vez a remobilização dos sedimentos arenosos pela ação eólica, dando condição para a formação de uma segunda geração de dunas no município de Petrolina, distribuídas sobre a margem esquerda do rio São Francisco. A idade obtida nesta amostra é compatível com a obtida por Lira (2014), em um manto de areia eólica em Petrolina, com idade de 12.750 AP.

A amostra DIM, coletada entre o meio e o topo da duna de 15 m, citada anteriormente (figura 81), forneceu uma idade de 410 AP, aponta para a ocorrência de atividade eólica durante o Holoceno superior, com possível redução da umidade na região do Sub-médio São Francisco. Esta constatação sugere dois cenários bem peculiares para este período:

- 1° - Em meados do século XVII marca o período conhecido como um segundo momento da Pequena Idade do Gelo, que se estendeu de 1550 até 1890 (SUGUIO, 1992). Este evento de ordem climática é caracterizado pela vigência de condições térmicas mais baixas ocasionadas pelos sucessivos períodos de baixa atividade solar (atividade de manchas solares) que antecedeu intensa semiaridez, durante o período que ficou conhecido como Anomalia Climática Medieval (GRAHAM *et al.*, 2007). Neste período as condições climáticas convergiam para uma menor temperatura, bem evidenciadas nas latitudes médias a altas do Hemisfério Norte (McDermott

*et al.*, 2001; Trouet *et al.*, 2009), que no Brasil representa um momento de expansão de uma semiaridez severa, sobretudo para o semiárido nordestino (OLIVEIRA *et al.*, 1999);

- 2° - Ocorreu intensa seca no semiárido do Nordeste (CAVIEDES, 2011), que coincidem com anos de ocorrência de um fenômeno El Niño. Tal conclusão é defendida por Meggers (1994), Corrêa (2001) e Barreto *et al.* (2002).

**Figura 81:** Coleta da amostra DIM para datação por LOE.



A amostra D1T foi coletada no topo da duna de 15 m, onde também foram coletadas as amostras D1M e D1B. A datação por LOE chegou a uma idade 165 anos atrás, que ainda marca a terceira fase da Pequena Idade do Gelo, que vai de 1800 até 1890 (SUGUIO, 1992). Esta época semelhante às anteriores caracteriza-se pela ocorrência de atividade eólica capaz de mover/remobilizar os sedimentos, que possivelmente já estavam estabilizadas pela vegetação e por condições de umidade maiores. Pode-se estabelecer também uma correlação com fenômenos de paleo-ENOS causando secas extremas no Nordeste, e, sobretudo, no estado de Pernambuco, durante o século XIX (figura 82).

**Figura 82:** Secas no Nordeste brasileiro do século XIX.

CEARÁ	RIO GRANDE DO NORTE	PARAÍBA	PERNAMBUCO
1804	1808	1803-1804	-
1810	1814	-	1819-1820
1824-1825	1825	1824-1825	1824-1825
1844-1845	1833	-	1833-1835
1877-1879	1845	1845-1846	1845-1846
1888-1889	1877-1879	1877-1879	1877-1879
1898	1888-1889	1888-1889	1888-1889
1900	1898	1898	1898
-	1900	-	1900

Fonte: Joaquim Alves, 2003.

Os resultados das datações por LOE dos sedimentos do campo de dunas de Petrolina, expressos nas seções acima, fazem com que sejam levantadas algumas discussões importantes sobre o cenário paleogeográfico do Sub-Médio São Francisco.

A idade de 30.000 anos AP pode ser correlacionada com as obtidas por Barreto (1993; 1996) e Barreto *et al.* (2002) em um campo de dunas fixas entre os municípios de Pilão Arcado e Barra, nas margens no Lago de Sobradinho, no Estado da Bahia, onde foi coletadas e datadas mais de 40 amostras pelo método TL (Termoluminescência) e conseguiu-se idades variando desde 28.000 anos até 900 anos AP. Neste caso pode-se estabelecer uma correlação temporal, para um mesmo processo de escala regional, que possibilitou a remobilização de grande carga de areia das margens do São Francisco (terraços e planícies) e barras arenosas, que se formaram dentro do canal, em períodos mais secos que se sucederam desde de o Último Máximo Glacial até o final do Holoceno.

As idades mais recentes obtidas com as amostras D1T e D1M deixam evidente que a atividade eólica no Sub-médio São Francisco mais especificamente no estado de Pernambuco não teria cessado como afirma Ferreira *et al.* (2013) quando propõe que na transição do Pleistoceno/Holoceno, uma condição de maior umidade se acentuou sobre a região, possibilitando um adensamento da cobertura vegetal e fixação das dunas em Pernambuco, em torno do lago Itaparica, no município de Floresta-PE.

Contudo, as idades de 410 anos e 165 anos AP, deixam claro que esta atividade eólica se estenderam, deixando transparecer que pode ser reativada em períodos futuros, com possíveis oscilações climáticas em escala de tempo reduzidas, em especial associadas à dinâmica atmosférica da América do Sul, por meio dos fenômenos El Niños. As idades de 410 e 165 anos AP, obtidas nos depósitos eólicos inativos de Petrolina, são correlatas a períodos de El Niños (CAVIEDES, 2011), comprovando a relação destes fenômenos climáticos com a intensificação da semiaridez e ação eólica no Submédio São Francisco.

Estas oscilações fazem parte dos processos dinâmicos da natureza, que podem ser retroalimentados pela entrada ou saída de energia no sistema, por meio de processos climáticos (tempo geológica) e/ou antrópico (tempo histórico) responsáveis para elaboração da paisagem local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre a evolução das paisagens geomorfológicas em regiões semiáridas nos últimos anos têm evoluído em virtude das novas técnicas de pesquisas empregadas, sobretudo aquelas relacionadas com a identificação e caracterização de áreas-tipo de acumulação sedimentar, e especialmente as áreas de acumulação oriundas do Quaternário.

Os depósitos eólicos são de primordial importância nas pesquisas de paleogeografia, sobretudo as que buscam identificar oscilações na fisionomia das paisagens naturais organizada em um passado geológico recente, pois, dunas e lençóis de areia continentais são bons parâmetros para a investigação das mudanças paleoclimáticas e paleoambientais pelas quais a Terra sempre foi submetida.

No interior do Nordeste brasileiro as condições climáticas que condicionaram a gênese de depósitos eólicos continentais apontam para um sistema climático árido ou semiárido severo, bem mais rigoroso do que o vigente no presente.

A identificação de extensos depósitos eólicos interiores, ou continentais, deve ser tomada como evidência da ocorrência de um período seco, decorrente de flutuações climáticas, sobretudo, durante o Pleistoceno e Holoceno, haja vista que estes períodos da história da Terra foram marcados por Glaciações e Interglaciações. Em períodos geológicos frios as regiões tropicais conviveram com condições xéricas e nos períodos quentes a umidade e pluviosidade se tornaram mais acentuadas.

Outra causa identificada na pesquisa para a intensificação da semiaridez no Submédio São Francisco foi a ocorrência de El Niños prolongados, que regionalmente colaboraram para a instalação de um sistema climático mais seco, já que este fenômeno climático é inibidor das precipitações que atingem o semiárido do Brasil, que normalmente já são escassas.

As secas mais extremas, ocasionadas pelos fatores citados acima, contribuíram para a redução do volume de água do rio São Francisco, o que possibilitou a exposição de mantos de areia no sistema fluvial. Tal exposição deu condições para que o vento retrabalhasse estes sedimentos aluviais que aos poucos foram transportados e depositados para além das margens do canal. A deposição eólica, por sua vez, foi responsável pela formação de feições dunares, que foram retrabalhadas a cada reativação de períodos mais prolongados de seca, desde 30.000 anos até 165 anos AP, como comprovam os dados geocronológicos obtidos pelo método LOE.

---

Após a realização das análises sedimentológicas e geocronológicas dos depósitos eólicos de Petrolina foi possível constatar que as mudanças paleoclimáticas, em escala global e regional, deixaram evidências na paisagem natural de um momento climático mais seco na história evolutiva da região do Submédio rio São Francisco.

Os depósitos eólicos encontrados na superfície da Terra, assim como os que foram investigados em Petrolina, representam importantes subsídios para os estudos de reconstituição dos paleoambientes, já que funcionam como geoarquivos ambientais das paisagens existentes no passado, necessitando de um tratamento morfoestratigráfico e sedimentológico, que evidencie sua natureza e auxiliem na compreensão da dinâmica climática morfológica. As condições climáticas da área de estudo, atualmente, apontam para uma semiaridez severa, todavia com um regime menos rigorosa do que a vigente durante o período em que os depósitos eólicos se formaram.

As pesquisas sobre depósitos eólicos interiores no semiárido nordestino e, sobretudo, ao longo da bacia do rio São Francisco, vêm sendo desenvolvidas desde o início do século XX. Todavia, tais pesquisas ainda precisam avançar, haja vista a existência de lacunas ainda sem uma compreensão de caráter mais global sobre o passado geológico do Nordeste brasileiro. Em especial no que tange as condições climáticas, biogeográficas e geomorfológicas.

Já é sabido que as condições climáticas na região do vale do rio São Francisco, na Bahia e em Pernambuco, foram favoráveis para a formação de campos de dunas interiores.

Com os avanços alcançados pela ciência geográfica nas últimas décadas, que propiciaram o emprego de novas tecnologias e métodos de pesquisa, é possível prever condições futuras para o desenvolvimento de pesquisas que possam vir a colaborar com a produção de um banco de dado abrangente sobre a evolução das paisagens semiáridas durante o Quaternário no interior do Nordeste brasileiro.

---

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Depressões periféricas e depressões semi-áridas no Nordeste brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 22, p. 3-18, 1956.
- AB'SÁBER, A. N. Conhecimentos sobre flutuações do Quaternário no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 6, n. 6, p. 41-48, 1957.
- AB'SÁBER, A.N. 1967. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil**. Orientação, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo 3:45-48.
- AB'SÁBER, A.N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Geomorfologia, n.18, 1969
- AB'SÁBER, Aziz. **O Paleodeserto de Xique-Xique, in Boletim de Estudos Avançados** 20 (56), 2006, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AITKEN, M. J. **An Introduction to Optical Dating: the dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 267p.
- ALKMIM, F.F.; BRITO NEVES, B.B. & CASTRO ALVES, J.A.C. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco: uma revisão. *In*: A., MISI e J.M.L., DOMINGUES (eds), **O Cráton do São Francisco**, Salvador, SBG, 45-62.
- ALMEIDA, M.T. **Mapeamento Geológico da Região Costeira entre as Praias de Morro Branco e Barra Nova – CE**. Relatório de Graduação, Fortaleza, 2002.
- ALMEIDA, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7:349-364.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. - 1977 – Províncias Estruturais Brasileiras - **Atas VIII Simpósio de Geologia do Nordeste**, Campina Grande, 363-391.
- ALVES, Joaquim. **História das Secas**. (séculos XVII a XIX). Ed. fac. símile. – Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 2003.
- AMORIM NETO, M. da S. **Informação meteorológica dos Campos Experimentais de Bebedouro e Mandacaru**. Petróitna-PE, EMBRAPA CPATSA,1985. No prelo.
- ANDRADE, G. O. **A superfície de aplainamento pliocênica do Nordeste do Brasil**. Universidade do Recife, Diretoria Acad. Da Faculdade de Filosofia, 1958, 44 p.
- ANDRADE, G. O. Gênese do relevo nordestino: estado atual dos conhecimentos. **Revista de Estudos Sedimentológicos**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 1968.
- ANDRADE-LIMA, D. 1981. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica** 4: 149-153.
-

ARAÚJO, V. D. (2006). **Caracterização Geológica Tridimensional e Monitoramento de Dunas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte**. Dissertação de Mestrado em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 96 p.

AZAMBUJA, Renata Nunes. **Análise Geomorfológica em Áreas de Expansão Urbana no Município de Garanhuns** – PE. Universidade Federal de Pernambuco. 2007. (Dissertação de mestrado).

BAGNOLD, R.A., 1941. **The Physics of Blown Sand and Desert Dunes**. Chapman & Hall, London, 265 pp.

BAGNOLD, R. A. 1954. **The Physics of Blown Sand and Desert Dunes**. Chapman & Hall, London.

BARBOSA, A.L.M., 1966. **Síntese da Evolução Geológica da América do Sul**. Bol. Inst. Geol. Esc. Minas Ouro Preto, 1: 91-111.

BARBOSA J.S.F. & DOMINGUEZ J.M.L. 1996. **Mapa Geológico do Estado da Bahia, Texto Explicativo**. SGM – UFBA, Salvador, 188 p.

BARRETO, A.M. F.; SUGUIO, K. 1993. **Considerações sobre a idade e a paleogeografia das paleodunas do médio Rio São Francisco, Bahia**. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, IV, São Paulo. Resumos Expandidos, p. 11.

BARRETO, A. M. F. 1996. **Interpretação paleoambiental do sistema de dunas fixadas do médio Rio São Francisco, Bahia**. Inst. De Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 174 p.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P. E. de. ; TATUMI, S. H. **Campo de dunas inativas do médio rio São Francisco, BA**: marcante registro de ambiente desértico do Quaternário brasileiro. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos- SIGEP 56. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil: Editores Carlos Schobbenhaus... [et al.] - Brasília: DNPM, p. 223-231. 2002.

BIGARELLA, J. J & AB'SABER, A. N. **Paleogeographische und Paleoklimatische aspekte des Kaenozoikums in Suedbrazilien**, Z. Geomorfö., Berlin, v. 8, p. 286-312, 1964.

BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. **Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos Cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras)**. Instituto de Ciências da Terra, Universidade do Recife: Recife, 1964.

BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. Contribution to the study of the brasilian Quaternary. In: International studies of Quaternary. **Geol. Soc. Amer. Special Papers**, v. 84, 1965.

---

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC, v.1, 1994, 425p.

BJORNBERG, A.J.S. & LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenozóico). São Paulo: **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 15, n. 4, p. 43-68, 1966.

BRANCO, M., LEHUGEUR, L., CAMPOS, J. (2003). **Proposta de Classificação para as Feições Eólicas do Setor Leste da Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará – Brasil**. UNESP. São Paulo. *Geociências*. 22(2): 163-174.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: Sudene, 1972. v.2, 354p. (MA. DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 26; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 141).

BREED, C.S., MCCAULEY, J.F., DAVIS, P.A. 1987. **Sand sheets of the Sahara and ripple blankets on Mars**. In: **Deserts sediments: ancient and modern**, L.E. Frostick and I. Reid (eds.), 337-359. Geol. Soc. Spec. Publ. 35, Oxford: Blackwell.

BRITO NEVES, B. B. de. 1975. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Livre Docência 198p.

BRITO NEVES, B.B. 1975. **Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordeste**. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 198 pp.

BRITO NEVES, B.B., Santos, E.J., SCHMUS, W.R.V. 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In: Umberto Cordani; Edson José Milani; Antonio Thomaz Filho; Diogenes de Almeida Campos. (Org.). **Tectonic Evolution of south america**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, v. unico, p. 151-182.

BROECKER, W.S. **Dos the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the atmosphere?** In Science, New York: AAAS. v. 3000. p. 1519-1522. 2003.

CAMARGO FILHO, M. & BIGARELLA, J. J. **Correlação de parâmetros estatísticos de sedimentos de vertentes, rampas de colúvio-alúvio e terraço de várzea da bacia do Bananas – Guarapuava – PR**. Geosul, v. 14, p. 438 – 442 1998.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.com.br>>. Acesso em março de 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed., 1980, 188p.

---

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CLAUDINO SALES, V. (2002). **Les littoraux de l'Etat du Ceará**. Du long terme au court terme. Thèse de Doctorat, Université Paris Sorbonne, 523p.

COOPER, R.V. (1967). **Coastal Sand Dunes of California**. Geological Society of America (Memorandum)104-131.

CORRÊA, A. C. B. **Mapeamento geomorfológico de detalhe do maciço da Serra da Baixa Verde, Pernambuco: estudo da relação entre a compartimentação geomorfológica e a distribuição dos sistemas geoambientais**. Recife, PE. 1997. 183f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, 1997.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; Cavalcanti, L. C. S.; LIRA, D. R.. **Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema**. Revista do Instituto Geológico, v. 31, p. 35-52, 2010.

CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. Rio Claro, 2001. 386p. Tese de Doutorado – IGCE, UNESP.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Serra Talhada. Folha SB.24-Z-C. Estado de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. Escala 1:250.000. Geologia e Metalogênese. CPRM: Recife, 2005. CD ROM.

CAVIEDES, C. N. (2001) **El Niño in history: storming through the ages**. University Press of Florida, Gainesville.

CRUZ, L. O. M. **Assinatura geoquímica de unidades colúviais da bacia do córrego do Rio Grande – Depressão de Gouveia/MG**. Belo Horizonte, MG. 2006. 152f. Dissertação de Mestrado em Geografia - Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

DANSEREAU, P. **Introdução à biogeografia**. Separata de: Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Conselho Nacional de Geografia, n. 1, ano 11, 1949.

DEMARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, 4: 523-550. 1943.

DEMEK, J. (Ed) **Manual of detailed geomorphological mapping**. Praga: Comm. Goomorph. Surv. Mapping. IGU, 1972. 368p.

---

DOMINGUES, A. J. P. 1948. Contribuição à geologia do sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia**, 10:255-289.

DOMINGUEZ, J.M.L. & MISI, A.(ed), **SBG - Núcleo BA/SE**: 45-62.1980.

DUARTE, Paulo Araújo. **Cartografia temática**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 2º ed., 2009, 306p.

ERHART, H. **A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos**. Notícia geomorfológica, Ano VI, n. 11, Campinas-SP, Junho de 1966. p. 51-58.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região**. Revista Brasileira de Climatologia. Presidente Prudente, v. 1, nº 1. p. 15-27. 2005.

FERREIRA, S.S.M.G. **Estratigrafia de Depósitos Quaternários em Cabeceira de Vale (Cerro do Touro, Campo Alegre – SC): Aplicação da Análise Textural e Micromorfológica**. Florianópolis/SC, 2009. 244p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

FERREIRA, B., CORREA, A.C.B., BARRETO, A.M.F. **Depósitos eólicos inativos do Sub-Médio São Francisco, evidências de atividades eólica durante o Pleistoceno, Pernambuco, Nordeste do Brasil**. Soc. & Nat., Uberlândia, 25 (2), p.363-378, 2013.

FITZPATRICK, E. A. **Soil Microscopy and Micromorphology**. New York: Wiley, 1993.

FOLK, R. L. & WARD, W. Bazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, p.3-26, 1957.

FRYE, J. C. & WILLMAN, H. B. **Morphostratigraphic units in Pleistocene stratigraphy**. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v.46, p.112-113, 1962.

FRYBERGER, S.G., 1979. Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), **A Study of Global Sand Seas**. Geological Survey Professional Paper, vol. 1052. Geological Survey, Washington, D.C., United States, pp. 137–169.

FRYBERGER, S.G., AHLBRANDT, T.S., ANDREWS, S., 1979. Origin, sedimentary features, and significance of low-angle eolian “sand sheet” deposits, Great Sand Dunes National Monument and vicinity, Colorado. **Journal of Sedimentary Petrology** 49 (3), 733–746.

FRYBERGER, S.G. e SCHENK, C. 1981. Wind sedimentation tunnel experiments on the origins of eolian strata. **Sedimentology**, 8, 805-821.

FULFARO, V.J. & SUGUIO, K. 1974. O Cenozóico paulista: gênese e idade. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 28., 1974, Porto Alegre. Anais ... Porto Alegre: SBG, v.3, p.91-101.

GEOFREY-SMITH, D. I. et al. Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts. **Quaternary Science Reviews**, v.7, p.373–380, 1988.

Gibbard, P.L., Head, M.J., Walker, M.J.C. and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy. 2010. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. **Journal of Quaternary Science**, 25:96-102.

GLENNIE, K. W. 1970. **Desert Sedimentary Environments**. Developments in Sedimentology 14, Elsevier, Amsterdam.

GRAZIANO DA SILVA, J. (coord.). **A irrigação e a problemática fundiária do Nordeste**. Campinas, SP: Instituto de Economia da Unicamp/PRONI. 1989.

GREELEY, R., and J. D. IVERSEN (1985), **Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus, and Titan**, Cambridge Univ. Press, New York.

GOLLEDGE, N.R. **Glaciation of Scotland during de Younger Dryas stadial: a review**. In: **Journal of Quaternary Science**, Amsterdam: John Wiley & Sons. v. 25. n.4, p. 550-566. 2010.

GONÇALVES, R.A., LEHUGEUR, L.G. de O., CASTRO, J.W. de A., PEDROTO, A.E.S. **Classificação das feições eólicas dos Lençóis Maranhenses - Maranhão – Brasil**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 02, número 03, 2003.

GOUDIE, A. 1983. **Environmental Change**. 2 ed. Oxford, Clarendon. 258 p.

GOUDIE, A. Slope process change and colluvium deposition in Swaziland: an SEM analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.9, p. 289-299, 1984.

GRAHAM, L.P., ANDRÉASSON, J., CARLSSON, B. (2007) **Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River Basin**. *Clim Change*, doi:10.1007/s10584-006-9215-2 (this issue).

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 648 p.

GUERRA, Antônio Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 472p.

HESP, P., MCLACHLAN, A., 2000. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens* nabkha dunes. **Journal of Arid Environments** 44, 155–172.

- HESP, P.A. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, 48: 245-268.
- HUMMEL, G., KOCUREK, G., 1984. Interdune areas of the Back-Island dune field, North Padre-Island, Texas. **Sedimentary Geology** 39, 1-26.
- HUNTER, R.E., 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. **Sedimentology** 24, 361–387.
- HUNTER, R.E., RICHMOND, B.M., ALPHA, T.R., 1983. **Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast**: Geological Society of America Bulletin, v. 94, p. 1450-1465.
- HUNTLEY, D. J. et al. Optical dating of sediments. **Nature**, v. 313, p. 105-107, 1985.
- HUNTLEY, D. J. et al. Thermoluminescence spectra of some mineral samples relevant to thermoluminescence dating. **Journal of Luminescence**, v. 39, p. 123 –136, 1988.
- IBGE. **Malha municipal digital do Brasil – 2001**. Rio de Janeiro: DGC/DECAR, 2001. CD-ROM.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598 ; n. 5).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acessado em: 15/02/2013 às 19:00h35min.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em junho de 2013.
- IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://www.censo2000.ibge.gov.br>.
- IBRAF 2008. **Instituto Brasileiro de Frutas**. Supermaracujá. Disponível em: <[http://www.ibraf.org.br/x\\_files/revista10.pdf](http://www.ibraf.org.br/x_files/revista10.pdf)>. Acesso em: 23/01/2010.
- JACKSON, N.L., NORDSTROM, K.F., 1998. Aeolian transport of sediment on a beach during and after rainfall, Wildwood, NJ, USA. **Geomorphology** 22, 151–157.
- JACOMINE, P. K. T. et al. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife: Embrapa- Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos/Sudene- Divisão de Recursos Renováveis, 1976. 404 p. (Boletim Técnico, 38).
- KING, L. C. (1956). **A Geomorfologia do Brasil Oriental**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, ano XVIII, n. 2, p. 3-121.
- KOCUREK, G. 1981. Significance of interdune deposits and bounding surfaces in eolian dune sands. **Sedimentology**, 28, 753–780.
-

KOCUREK, G. and DOTT, Jr., R. H., 1981. Distinctions and uses of stratification type in the interpretation of eolian sand. **Journal of Sedimentary Petrology**. Tulsa, Orla., 51 (2): 0579-0595.

KOCUREK, G., NIELSON, J. 1986. Conditions favorable for the formation of warm-climate eolian sand sheets, **Sedimentology**, 33: 795-816.

KOCUREK, G. & HAVHOLM, K.G. 1993. Eolian sequence stratigraphy – A Conceptual Framework. In: WEIMER, P. & POSAMENTIER, H. (Eds). 1993. **Siliciclastic Sequence Stratigraphy: Recent Developments and Applications**. *AAPG Memoir*, 58: 393-409.

KÖPPEN, Wladimir (1948) - **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica.

KOSTER, E.A., 1988. Ancient and modern cold-climate aeolian sand deposition: a review. **Journal of Quaternary Science** 3, 69-83.

LANCASTER, N. (1993) Development of Kelso Dunes, Mojave Desert, California. **National Geographic Res. Explor.**, 9 , 444-459.

LANCASTER, N., 1994. **Dune morphology and dynamics**. In: Abrahams, Parsons \_Eds., Geomorphology of Desert Environments. Chapman & Hall, London, pp. 474–505.

LANCASTER, N., 1995. **Geomorphology of Desert Dunes**. Routledge, London.

LANCASTER, N., 2007. **Dune fields: low-latitudes**. In: Elias, S.A. (Ed.), The Encyclopedia of Quaternary Sciences. Elsevier, Amsterdam, pp. 607e626.

LEINZ, V.B. & AMARAL, S.E. – **Geologia Geral** – Ed. Nacional, SP. 397p. 1985.

LIMA, J. P. L. & MIRANDA, E. A. **Fruticultura irrigada: os casos das regiões de Petrolina-Juazeiro e norte de Minas Gerais**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2000.

LIRA, D. R. de. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do Riacho do Pontal e GI-8 no Sub-médio São Francisco**. Recife, Universidade Federal de Pernambuco [Tese de Doutorado em Geografia]. 234p. 2014.

MAIA, L.P. (1998). **Processos costeros y balance sedimentario ao largo de Fortaleza (NE-Brasil)**. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 269p.

MELO, R. B. et al. **Análise da produção e da exportação de manga no pólo Petrolina/PE-Juazeiro/BA**. Disponível: [www.ifpi.edu.br/eventos/.../6dd6f664d10c768ef6e27d10608c878c](http://www.ifpi.edu.br/eventos/.../6dd6f664d10c768ef6e27d10608c878c). pdf. Acesso em: 15. dez. 2009.

MELTON, F.A. (1940). A tentative classification of sand dunes and its application to dune history in the southern High Plains. **Journal of Geology**, 48: 113-173.

MCKEE, Edwin. **An introduction to the study of global sand seas**. In *A Study of Global Sand Seas*, E. McKee, ed., pp. 1- 20. Washington, U. S. Geological Survey Paper 1979.

MCKEE, E.E., BIGARELLA, J.J. 1979. Sedimentary structures in dunes. In: **A study of global sand seas**, E.D. McKee (ed.), 83-134. Prof. Pap. US Geol. Survey, 1052.

MCKENNA-NEUMAN, C., MALJAARS SCOTT, M., 1998. **Awind tunnel study of the influence of porewater on aeolian sediment transport**. *J. Arid Environ.* 39, 403–419.

MICKEE, E. D. (1996). Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and a comparison with structures of dunes from other selected areas). *Sedimentology*. Amsterdam, 7(1): 3-69, Spec.

McDermott, K. B., & Watson, J. M. (2001). The rise and fall of false recall: The impact of presentation duration. **Journal of Memory & Language**, 45, 160-176.

MELLO, C. L. et al. **Estudo faciológico dos depósitos sedimentares holocênicos com base na estrutura deposicional – médio vale do Paraíba do Sul**. In: SBJ/RJ, Simpósio de Geologia do Sudeste, 2. São Paulo, Anais, 19 – 26, 1991.

MELLO, M.S. *et al.* **Processos e Produtos Morfogenéticos Continentais**. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.; DE OLIVEIRA, P.E. (eds.) *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, Ed. Hols. p. 258-275, 2005.

MEGGERS, B.J. 1994. **Archeological evidence for the impact of mega-niño events on Amazonia during the past two millenia**. *Climatic Change*, 28: 321-338. Amazonia during the Past Two Millennia.” *Climatic Change* 28 (1994a): 321–28.

MIALL, A. D. **The geology of fluvial deposits Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. Berlin: Springer-Verlag, 582p., 1996.

MODONESI, M.C. 1992. Depósitos de vertente e evolução quaternária do Planalto do Itatiaia. São Paulo: **Revista do Instituto Geológico**, 13 (1): 31-46.

MOTTA, Eduarda de Queiroz. **Solos do Município de Petrolina; Cartas de Sustentabilidade de Expansão e Colapso; Cartas de Prováveis Jazidas para Barragens e Estradas**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2004.

MOURA, J. R. S. & MEIS, M. R. M. **Contribuição à estratigrafia do Quaternário Superior no médio vale do rio Paraíba do sul, Bananal (SP)**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 58, p. 89 – 102, 1986.

MOUNTNEY, N.P., RUSSELL, A.J., 2004. **Sedimentology of cold-climate aeolian sandsheet deposits in the Askja region of northeast Iceland**. *Sediment. Geol.* 166, 223–244.

- NIELSON, J. & KOCUREK, G., 1986. **Climbing zibars of the Algodones.** *Sedimentary Geology* 48, 1-15.
- NOGUEIRA, M.S., LEMOS, V.B., TERRA, G.J.S. 2003. **As “Coquinas” do membro Morro do Chaves, cretáceo inferior da Bacia de Alagoas, e seu potencial para reservatório de petróleo.** In: ABPG, Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2, Rio de Janeiro. Anais, v.1.
- OLIVEIRA, A. C.; SOUZA, H. R.; VERGOLINO, J. R.; GALVÃO, O. A.; ALMEIDA, J. & MELO, A. **Impactos Econômicos da Irrigação Sobre o Pólo Petrolina/Juazeiro.** Ed. Universitária, PIMES-UFPE, 1991.
- OLIVEIRA, P.E., BARRETO, A.M.F. & SUGUIO, K. 1999. **Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian Caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River.** *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 152: 319-337.
- SOBEL, T. Farias; ORTEGA, A. César. **Estratégias de Desenvolvimento Territorial: o caso do pólo Petrolina – Juazeiro.** 2005. Disponível em [www.souber.org.br](http://www.souber.org.br). Acesso em 25 de outubro de 2011.
- PARIZZI, M.G. 1993. **Dinâmica da Lagoa Santa com base em estudos palinológicos, geomorfológicos e geológicos de sua bacia.** Belo Horizonte. 60p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- PENTEADO, M. M. Novas informações a respeito dos pavimentos detríticos (stone lines). **Notícias Geomorfológicas, Campinas**, v.19, n.17, p.15-41, 1969.
- PENTEADO, Margarida Maria. **Fundamentos de geomorfologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 180 p.
- PETHICK, J. 1984. **An introduction to coastal geomorphology.** Edward Arnold. 260p.
- PIMENTEL, F. V. **Reconstrução da precipitação sobre o Nordeste brasileiro em função das temperaturas da superfície do mar durante o Holoceno.** Fortaleza. 95p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 2013.
- POPP, José Henrique. **Geologia Geral.** 4 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998.
- PRADO, Hélio do. **Pedologia Fácil: Aplicações na Agricultura.** Piracicaba: Esalq/usp, 2007. 105 p.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
-

PYE, K., TSOAR, H., 1990. **Aeolian Sand and Sand Dunes**. Unwin Hyman, London, 396 pp.

PYE, K., TSOAR, H., 2009. **Aeolian Sand and Sand Dunes**. Springer, Berlin, 458 pp.

PYE, K., TSOAR, H.: **Aeolian Sand and Sand Dunes**. Chapter 1 - The Nature and Importance of Aeolian Sand Research - Springer 2009.

REINECK, H.E. and SINGH, I.B. (1980). **Depositional sedimentary environments**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 551 pp.

RIBEIRO, S. C., LIMA, F. J. de, CORREA, A. C. de B. Depósitos de encostas em regiões tropicais: uma abordagem sobre a formação de colúvios. **Revista Geonorte, Edição Especial**, V.2, N.4, p.334 – 342, 2012.

RENDELL, H. M. et al. 1994. **Underwater bleaching of signals from sediment grains: new experimental data**. Quaternary Science Reviews, v. 13, p. 433 – 435.

ROBITA, S. M.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. (2005). Alguns aspectos sobre a Paleoeologia dos Cerrados. In: Scariot, A. et al. (Org.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **História Ecológica da Terra**. São Paulo: Edgar Blücher, 1994, 370p.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. (2007) **Crítérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Edgar Blücher 387 pp.

SAMPAIO E. V. S. B. & SAMPAIO Y. (org.). **Ensaio sobre a economia da fruticultura irrigada**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004.

SARNTHEIN, M., 1978, Sand deserts during the glacial maximum and climatic optimum: **Nature**, 272, pp. 43-46.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand – silt – clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.24, p.151-158, 1954.

SHERMAN, D.J., LYONS, W., 1994. **Beach-state controls on aeolian sand delivery to coastal dunes**. Phys. Geogr. 15, 381–395.

SILVA, A.B. da. 1974. **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste**. Folha 23 São Francisco SE. SUDENE, Série Hidrogeologia, Bol. nº 50, 160 p.

---

SILVA, D. G. **Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco**. Recife, PE. 155f. 2007. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

SILVA, M. T.; Silva, V. P. R.; Sousa, E. P.; Oliveira, S. D. **Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE**. Revista Brasileira de Geografia Física 03 (2012).

SIQUEIRA FILHO, J. de. **Geologia da folha Jutai - Pernambuco**. Recife: SUDENE, 1967. 58 p. 1 mapa (SUDENE. Geologia Regional, 7).

SHERMAN, D. J., 1995. Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology*, 124, 339-349.

SOUZA, M.J.N. 1988. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do estado do Ceará. **Revista de Geologia (I)**: 73-91, UFC.

SOUZA, C.R. de G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A.M.S., De OLIVEIRA, P.E., 2005. **Quaternário no Brasil**. Ed. Ribeirão preto. 378p. Ribeirão Preto.

STOKES, S. Luminescence dating applications in geomorphological research. **Geomorphology**, v. 29, p. 153 – 171, 1999.

SUGUIO, K., 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP, 317 p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo: TA Queiroz, 1992. 172 p.

SUGUIO K. 1998. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1222p.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Editora Edgar Blücher LTDA. São Paulo, 2003.

SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; DE OLIVEIRA, P.E. (eds). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto, Ed. Hols. p 258-275, 2005.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. 2d. São Paulo, Oficina de Textos, 408p. 2010.

SUMMERFIELD, M.A. (1991). **Global Geomorphology: an introduction of the study of landforms**. Essex, Longman Scientific & Technical. 537p.

SZILAGYI, G. **Abordagens sobre o Processo de Desertificação e uma revisão conceitual para o fenômeno investigado**. 95 f. Monografia. UFRN – Departamento de Geografia, Natal, 2004.

TEIXEIRA, W., SABATÉ, P., BARBOSA, J., NOCE, C.M., CARNEIRO, M.A. 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton. In: U.G.

Cordani, E.J., MILANI, A., THOMAZ-FILHO, D.A., CAMPOS, D.A. (eds.) *Tectonic Evolutino of South America*. Rio de Janeiro, p. 101-138.

TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, Maria Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas Rich; TAIOLI, Fabio (Org.). **Decifrando a terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 p.

THOMAS, M.F. 1989. **The role of etch processes in landform development II: etching and the formation of relief**. *Z. Geomorph.*, 33, 257–274.

THOMAS, D.S.G.1989 (ed.) **Arid Zone Geomorphology**, Bellhaven/Halsted Press, London, 372 pp.

THOMAS, D.S.G.; SHAW, P.A. 1991 “Relict” desert systems: interpretations and problems. **Jounal of Arid Environments**, 20:1-14.

TOMAZELLI, L.J. 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais Holecênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico**. Porto Alegre. 210p. Curso de pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Tese de Doutorado.

TREWIN, N. H. Use of the scanning electron microscope in sedimentology. In: TUCKER, M. **Techniques in Sedimentology**. London: Blackwell, 1995, p. 229 -273.

TRICART, J. **As zonas morfoclimáticas do Nordeste brasileiro**. *Notícia Geomorfológica*, v. 6/7, p. 17-25, 1959.

TRICART, J. 1974. Existence de périodes seches au Quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines. **Revue Geomorphologie Dynamique**, 4:145-158.

TROUET, V.; ESPER, J.; GRAHAM, N.E.; BAKER, A.; SCOURSE, J.D.; FRANK, D.C. Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode Dominated the Medieval Climate Anomaly. **Science**, v. 324, p. 78, 2009. doi: 10.1126/science. 1166349.

TUCKER, M. **Techniques in sedimentology**. London: Blackwell, 1995.

VICENTE DA SILVA, E. **Dinâmica da Paisagem: estudo integrado de ecossistemas litorâneos em Huelva (Espanha) e Ceará (Brasil)**. São Paulo: UNESP, 1993.

VITTE, A. C. **Relações entre a estratigrafia de rampas de colúvios e a evolução das vertentes na bacia do Ribeirão Juncal, município de Salto de Piraporá, SP**. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, 20-26 de março de 2005, USP - São Paulo. p. 16356 a 16363.

VITTE, A.C. **A Concepção de Geografia Física em Immanuel Kant**. 10 Seminário de História da Ciência e da Tecnologia. Belo Horizonte, CD-ROOM, 2005.

VINTÉM, C., SOBREIRO S., HENRIQUES, P., FALÉ, P., SAÚDE, J., LUÍS, G., MIDÕES, C., ANTUNES, C., BONITO, N., DILL, A. C. & CARVALHO, J.M.F., 2003. **Cartografia Temática do Anticlinal como Instrumento de Ordenamento do Território e Apoio à Indústria Extractiva**. Relatório interno do Instituto Geológico e Mineiro e Cevalor para AIZM – “Acção Integrada da Zona dos Mármore” (FEDER) do Eixo Prioritário 2 Programa Operacional Regional do Alentejo 2000-2006, Vol. 2 – Fase A, 99 p.

WAGNER, G. A. **Age Determination of Young Rocks and Artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology**. Springer, New York: Springer, 1998, 466p.

WICANDER, R. & MONROE, J.S.2009. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo, Cengage Learning, 508p.

WILLIAMS, H. E. 1925. **Notas geológicas e econômicas sobre o vale do Rio São Francisco**. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico, nº 12, 56 p.

WILSON, I.G. 1973 ‘Ergs’. **Sedimentary Geology**, 10, 77–106.

---