



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

Débora Albuquerque Meira Coelho Ramos

**CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DE FITÓLITOS PARA A RECONSTRUÇÃO
PALEOAMBIENTAL NA LAGOA DO URI, SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Recife

2019

Débora Albuquerque Meira Coelho Ramos

**CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DE FITÓLITOS PARA A RECONSTRUÇÃO
PALEOAMBIENTAL NA LAGOA DO URI, SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Regionalização e Análise regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves Silva, CRB4-1260

R175c Ramos, Débora Albuquerque Meira Coelho.
Contribuição da análise de fitólitos para a reconstrução paleoambiental na Lagoa do Uri, semiárido de Pernambuco/ Débora Albuquerque Meira Coelho Ramos. – 2019.
124 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa.
Tese (doutorado)- Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2019.
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Corpos minúsculos – Partículas opalas microscópicas. 3. Biominerais de Sílica. 4. Formações geológicas. 5. Semiárido Nordeste. .I. Corrêa, Antonio Carlos de Barros. II. Título.

910 CDD (22. ed.)

(BCFCH2020-122)

DÉBORA ALBUQUERQUE MEIRA COELHO RAMOS

**CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DE FITÓLITOS PARA A RECONSTRUÇÃO
PALEOAMBIENTAL NA LAGOA DO URI, SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Aprovada em: 30/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa (Orientador – Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Demétrio da Silva Mutzenberg (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Kleython de Araújo Monteiro (Examinador Externo)
Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Bruno de Azevêdo Cavalcanti Tavares (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

A todos aqueles que passaram pelo meu caminho e contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO

A análise da morfologia das assembleias de fitólitos de solo e/ou sedimentos é um importante método para os estudos que tratam da reconstrução das condições paleoclimáticas. Os fitólitos são partículas de opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) microscópicas (<60-100 μm) que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e nas células de diversas plantas vivas, que se agregam ao solo após a morte da planta. O estudo destas partículas permite identificar características da vegetação pretérita auxiliando o estabelecimento de relações com o paleoambiente e agregando valor às demais técnicas utilizadas para fins paleoclimáticos. A Lagoa Uri de Cima é um sítio arqueológico a céu aberto, classificada como uma mega marmita de dissolução situada no semiárido de Pernambuco, com preenchimento sedimentar datado de 34 a aproximadamente 4 mil anos AP. A partir da constituição das assembleias de fitólitos da vegetação de gramíneas e de sedimentos (microfósseis) foram definidos índices entre a proporção dos morfotipos de Poaceae e dicotiledôneas, e entre os morfotipos de subfamílias de Poaceae. Além dos índices, outros gráficos foram criados para representar a distribuição por níveis estratigráficos dos fitólitos e de outros biominerais de sílica encontrados nas amostras analisadas. É fato que na área sempre existiu água, visto que as análises apontam para a alternância entre solos encharcados e secos em função das alternâncias entre as mudanças no ambiente. Quanto à vegetação, a maior representatividade de elementos encontrados é de gramíneas e palmeiras vinculados ao entorno da área deposicional, fato que corrobora o poder de arraste das precipitações torrenciais sob condições semiáridas. Independente da semiaridez atual e de suas condições edáficas, a área da lagoa encontrou-se vegetada permanentemente, o que explica a recorrência de fitólitos encontrados nos diferentes níveis amostrados. Os elementos identificados sugerem mudanças ambientais ocorridas entre os níveis amostrados, corroborando os dados relativos à sua cronologia por LOE e análises sedimentológicas.

Palavras-chave: Fitólitos. Biominerais de Sílica. Reconstrução Paleoambiental. Morfoestratigrafia. Semiárido Nordeste.

ABSTRACT

The morphological analysis of assemblages of soil phytoliths and / or sediments is an important method for studies that deal with the reconstruction of paleoclimatic conditions. Phytoliths are microscopic (<60-100 μm) opal particles ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) that form by precipitating amorphous silica between and in the cells of various living plants, which aggregate with the soil after plant death. The study of these particles allows the identification of past vegetation characteristics, helping to establish relationships with the paleoenvironment and adding value to other techniques used for paleoclimatic purposes. Uri de Cima Lagoon is an open-air archaeological site, classified as a dissolving mega-lunch box located in the semi-arid Pernambuco, with sedimentary fill dating from 34 to approximately 4,000 years AP. From the constitution of the assemblages of grass and sediment vegetation (microfossils) phytoliths were defined indices between the proportion of the Poaceae and dicotyledonous morphotypes, and between the morphologies of Poaceae subfamilies. In addition to the indexes, other graphs were created to represent the stratigraphic distribution of phytoliths and other silica biominerals found in the analyzed samples. It is a fact that there has always been water in the area, since the analyzes point to the alternation between soaked and dry soils as a function of the alternations between changes in the environment. As for vegetation, the largest representativeness of elements found is grasses and palm trees linked to the surroundings of the depositional area, a fact that corroborates the drag power of torrential precipitations under semiarid conditions. Regardless of the current semi-acidity and its edaphic conditions, the lagoon area was permanently vegetated, which explains the recurrence of phytoliths found in the different sampled levels. The identified elements suggest environmental changes occurred between the sampled levels, corroborating the data related to its OSL chronology and sedimentological analyzes.

Keywords: Phytoliths. Sílica Biominerals. Paleoenvironmental Reconstruction. Northeastern semi-arid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2 -	Mapa Geológico do entorno da Lagoa Uri de Cima.....	20
Figura 3 -	Mapa Pedológico do entorno da Lagoa Uri de Cima.....	21
Figura 4 -	Climograma do município de Salgueiro-PE.....	24
Figura 5 -	Delimitação da Bacia hidrográfica do Rio Terra Nova e dos grupos de bacias de pequenos rios interiores 4 e 5 - GI4 e GI5.....	26
Figura 6 -	Localização da Lagoa Uri de Cima na Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova - Pernambuco.....	27
Figura 7 -	Direção de fluxo superficial na área da Lagoa Uri de Cima.....	28
Figura 8 -	Aspecto da vegetação no entorno da Lagoa Uri de Cima..	29
Figura 9 -	Palinoteca de referência para o município de Salgueiro.....	30
Figura 10 -	Principais formas e características dos fitólitos.....	49
Figura 11 -	Distribuição dos trabalhos sobre fitólitos no território nacional.....	53
Figura 12 -	Escavação na Lagoa Uri de Cima.....	63
Figura 13 -	Localização das escavações na Lagoa Uri de Cima.....	64
Figura 14 -	Perfil estratigráfico guia da Lagoa Uri de Cima.....	65
Figura 15 -	Diagrama representando os diferentes graus de arredondamento e esfericidade.....	71
Figura 16 -	Etapas para extração dos fitólitos.....	74
Figura 17 -	Etapas para extração dos fitólitos, preparação de lâminas e análise.....	76
Figura 18 -	Lagoa do Uri de Cima situada na depressão sertaneja.....	81
Figura 19 -	Seção estratigráfica da Lagoa do Uri de Cima.....	82
Figura 20 -	Histograma das classes granulométricas para os sedimentos da Lagoa do Uri.....	85
Figura 21 -	Curva Cumulativa para os sedimentos da Lagoa do Uri....	85
Figura 22 -	Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri –	

	Vertissolo.....	86
Figura 23 -	Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Vertissolo.....	86
Figura 24 -	Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri – Nível 1A.....	87
Figura 25 -	Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 1A.....	87
Figura 26 -	Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri- Nível 1B.....	88
Figura 27 -	Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 1B.....	88
Figura 28 -	Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri - Nível 1B2.....	89
Figura 29 -	Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 1B2.....	89
Figura 30 -	Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri – Nível 2.....	90
Figura 31 -	Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 2.....	90
Figura 32 -	Resultado de Difratometria de Raio-x para amostras da Lagoa do uri de Cima.....	91
Figura 33 -	DRX das amostras da Lagoa do Uri de cima.....	92
Figura 34 -	Gráfico representativo de todas as partículas encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por Nível.....	96
Figura 35 -	Gráfico representativo de todas as partículas encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por amostra coletada.....	96
Figura 36 -	Fitólitos Gerais.....	97
Figura 37 -	Globulares.....	99
Figura 38 -	Enlogados.....	101
Figura 39 -	Saddles.....	102
Figura 40 -	Quistes, espículas e diatomáceas.....	104
Figura 41 -	Gráfico representativo das outras partículas Biominerais	

	encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por Nível.....	105
Figura 42 -	Gráfico representativo das outras partículas biominerais encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por amostra coletada.....	105
Figura 43 -	Gráfico representativo dos principais morfotipos encontrados nas amostras da Lagoa do Uri - por Nível.....	107
Figura 44 -	Gráfico representativo dos principais morfotipos encontrados nas amostras da Lagoa do Uri - por amostra coletada.....	107
Figura 45 -	Valores calculados para o Índice D/P para a Lagoa do Uri de Cima.....	111
Figura 46 -	Valores calculados para o Índice Bi para a Lagoa do Uri de Cima.....	112
Figura 47 -	Valores calculados para o Índice Iph para a Lagoa do Uri de Cima.....	112
Figura 48 -	Valores calculados para o Índice Ic para a Lagoa do Uri de Cima.....	113
Figura 49 -	Distribuição dos restos de cágado por camadas.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias mensais das Temperaturas (Mínimas e Máximas) e Precipitação.....	24
Tabela 2 - Escala qualitativa para descrição do grau de seleção.....	69
Tabela 3 - Escala qualitativa para descrição do grau assimetria.....	69
Tabela 4 - Escala qualitativa para classificação dos valores de curtose.....	69
Tabela 5 - Parâmetros estatísticos quanto seleção, assimetria e curtose, para a Lagoa do Uri.....	83
Tabela 6 - Análise morfoscópica da fração 0,25 mm dos sedimentos da Lagoa do Uri.....	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
2.1	LOCALIZAÇÃO.....	17
2.2	GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA.....	19
2.3	CLIMA E HIDROGRAFIA.....	22
2.4	VEGETAÇÃO.....	28
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
3.1	OS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS E A RECONSTRUÇÃO AMBIENTAL.....	33
3.2	PALEOCLIMATOLOGIA E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL NO NORDESTE DO BRASIL.....	36
3.3	LIMNOLOGIA.....	42
3.4	DEPOSIÇÃO EM AMBIENTE LACUSTRE.....	44
3.5	A LAGOA DO URI E AS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO, UM BREVE RESUMO.....	45
3.6	O USO DOS PÓLENS E DOS FITÓLITOS NA RECONSTRUÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	46
3.7	ESTUDO DOS BIOMINERAIS DE SÍLICA PARA FINS DE RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL – OS BIOINDICADORES.....	54
3.7.1	Fitólitos.....	54
3.7.2	Microalgas e Esponjas.....	58
3.7.2.1	Espículas de Esponjas Silíceas	58
3.7.2.2	Diatomáceas.....	60
3.7.3	Chrysophyceae.....	61
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	62
4.1	TRABALHO DE GABINETE.....	62
4.1.1	Mapa de localização.....	62
4.1.2	Mapa geológico.....	62
4.1.3	Mapa de solos.....	62
4.1.4	Mapa de direção de fluxo.....	63

4.2	COLETA DE MATERIAL.....	63
4.3	ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS.....	66
4.3.1	A Morfoestratigrafia.....	66
4.3.2	Granulometria.....	67
4.3.2.1	Pipetagem	70
4.3.3	Morfometria.....	70
4.3.4	Difratometria de Raios X (DRX).....	72
4.3.5	Extração dos Fitólitos e outros Biominerais de Sílica.....	72
4.4	ÍNDICES FITOLÍTICOS.....	77
4.4.1	Índice de Cobertura Arbórea (D/P)	77
4.4.2	Índice de Adaptação à Aridez – I _{ph}	78
4.4.3	Índice Climático – I _c	78
4.4.4	Índice de Estresse Hídrico (Bi – <i>buliform cell index</i>) / (Fs – <i>fan shaped index</i>).....	79
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	80
5.1	SÍTIO ARQUEOLÓGICO LAGOA URI DE CIMA.....	80
5.2	ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA DO DEPÓSITO.....	81
5.3	ANÁLISE DOS BIOMINERAIS DE SÍLICA.....	95
6	CONCLUSÃO.....	115
	REFERENCIAS.....	118

1 INTRODUÇÃO

A paisagem geomorfológica e sua evolução dependem da atuação de diversos fatores, representados em diferentes escalas de espaço e tempo, que influenciam os processos superficiais gerando uma multiplicidade de resultados complexos e interconectados. O estudo do relevo, sobretudo dos modelados deposicionais, vem permitindo identificar eventos desestabilizadores da estrutura superficial da paisagem capazes de reorganizar o comportamento dos processos geomórficos.

Dentro das ciências naturais, é a ciência geomorfológica que tem como enfoque o estudo da origem e evolução das paisagens. Muitos são os métodos abordados para este fim, englobando desde a cronologia absoluta dos sedimentos, análise morfoestratigráfica e difratometria de Raio X de minerais de argila, até os dados de origem biológica, geralmente escassos nos sedimentos Quaternários da região. Entretanto, recentemente a extração dos fitólitos, biomineralizações, contidos nos depósitos recentes tem se tornado uma importante alternativa à inclusão de dados da vegetação pretérita aos já tradicionais métodos de análise dos sedimentos. Trata-se de uma técnica ainda pouco utilizada no país, sobretudo no ambiente semiárido, mas que pode agregar valiosos aportes ainda não considerados pela reconstrução geomorfológica na região.

Sobre a área de estudo é importante frisar seu enorme valor científico e cultural. Aborda um local que foi identificado durante as prospecções arqueológicas realizadas pelo Instituto Nacional de Arqueologia, Paleontologia e Ambiente do Semiárido – INAPAS, na área de implantação do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional.

Foram evidenciadas ferramentas líticas na superfície da Lagoa Uri de Cima, o que determinou a realização de atividades de intervenções arqueológicas na área da mesma. Sendo efetuadas três campanhas de escavação entre os anos de 2010 e 2012, com o objetivo de estabelecer a cronoestratigrafia do sítio, a fim de compreender a sua formação e a correlação entre os artefatos líticos e os fósseis da megafauna evidenciados (RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO INAPAS, 2011-2012).

A Lagoa Uri de Cima é um sítio arqueológico a céu aberto situado numa região que apresenta morfologia caracterizada por serras de encostas acentuadas, intercaladas por áreas pediplanadas, de solos

arenosos. O sítio apresenta um hectare de área escavável, estando parcialmente conectado à rede de drenagem e situado nos domínios da bacia hidrográfica do rio Terra Nova e seus tributários, todos com regime intermitente. As áreas mais baixas são drenadas por canais temporários, mas com expressiva energia durante o período chuvoso (MUTZEMBERG et al, p. 06, 2013).

Para Mutzenberg (Op.cit.) a história de formação da lagoa pode ser sintetizada como a de uma paleodepressão denudada, destituída de capeamento intempérico, que foi posteriormente preenchida por sedimentos transportados do seu entorno, uma vez que a mesma se situa em posição de cabeceira de drenagem, servindo de repositório para os testemunhos das ocupações circunjacentes, características estas que permitiram a preservação das propriedades deposicionais.

A história da Lagoa Uri de Cima vem sendo desvendada desde o início das escavações onde, ainda *in loco* e com base em uma análise macroscópica, as características dos depósitos sedimentares permitiram aventar as primeiras hipóteses sobre a evolução daquela paisagem. Pesquisadores de todas as áreas afins da arqueologia foram envolvidos no processo de estudo, análise e interpretação dos dados observados e coletados para que se pudesse obter o maior número de informações a respeito do ambiente. Os trabalhos se voltaram tanto para a evolução ambiental e entendimento das mudanças climáticas como para o estabelecimento da interação homem/meio.

Dentre as possibilidades de verticalização dos estudos acerca da Lagoa, foi escolhido para este trabalho contribuir para as interpretações páleo-ambientais por meio da análise de atributos biológicos. O estudo se focou sobre a tentativa de recompor a evolução desta paisagem por meio dos biominerais de sílica. Ressalta-se que a maior parte da caatinga nordestina ainda não teve sua história ecológica contada a partir da aplicação deste tipo de bioindicador.

Os fitólitos, principal objeto de análise deste trabalho, são de forma simplificada conhecidos como fósseis de plantas. Como todo fóssil tem a capacidade de contar uma história e possui atributos a serem desvendados. A análise da morfologia dos fitólitos de solo e/ou sedimentos é um importante método para os estudos que tratam da reconstrução das condições paleoclimáticas.

Para Piperno (1988) os fitólitos são partículas de opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) microscópicas (<60-100 μm) que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e nas células de diversas plantas vivas. Osterrieth (2008) diz que eles resultam de um

processo de biomineralização com controle biológico, por mediação da matriz orgânica: os organismos - as plantas - constroem uma estrutura ou molde onde se introduzem os íons e ali são induzidos a se precipitar e cristalizar. Assim, a forma dos fitólitos recorda a célula em que foram formados, sendo uma espécie de “molde” da célula. Sua deposição no solo se dá pela precipitação na epiderme foliar quando sob estresse hídrico, ou se incorporando ao solo após a senescência do vegetal na forma de sílica biogênica (BSi) (TWISS, 1969).

Os morfotipos de fitólitos são caracterizados por se moldarem de acordo com seu local de polimerização dentro da planta, tendo em sua estrutura as características de células vegetais, como as buliformes, ou das estruturas em que se formaram nas plantas (COE, 2009). O tempo de permanência dos fitólitos no solo está correlacionado a diversos fatores, como a alta solubilidade em solos com valores extremos de pH ou superfície específica das partículas e processos de forte intemperismo químico (CALEGARI, 2008).

Nos estudos de reconstrução ambiental, o entendimento dos processos que causam as diferentes distribuições de corpos silicosos no solo é essencial para a interpretação dos fatores ambientais responsáveis por sua estabilidade. Tendo em vista estes fatores, pode-se afirmar a importância do estudo dos fitólitos para reconstrução paleoambiental, sobretudo quando estes dados podem ser confrontados com resultados já obtidos e corroboram os mesmos.

O trabalho em tela portanto se justifica pela adição de novas metodologias às já utilizadas para reconstrução paleoambiental da área de estudo, visando preencher lacunas de dados biogênicos com ênfase em seu possível significado paleoambiental.

Desta forma, esse trabalho teve por objetivo realizar a extração dos biominerais de sílica agregados aos sedimentos coletados na paleolagoa. Assim como analisar a forma destas partículas, identificar os principais morfotipos e buscar estabelecer seu significado para o ambiente em foco, integrando os resultados de suas análises com aqueles obtidos por meio de outros métodos, como os geocronológicos e sedimentológicos.

Faz-se necessário frisar, desde já, que embora o trabalho ora apresentado tenha se focado inicialmente no estudo e compreensão dos fitólitos como ferramenta de análise paleoclimática para a Lagoa Uri de Cima, achados de espículas de

esponja, quistes de *Chrysophyceae* e diatomáceas nos sedimentos destinados à extração possibilitaram ampliar o espectro das interpretações. Esses corpos supramencionados também se tratam de biominerais de sílica de particular importância para estabelecer aspectos da história evolutiva da Lagoa. Assim, os mesmos não poderiam deixar de ser apresentados como parte dos resultados obtidos neste trabalho, ainda que de forma não aprofundada.

2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

No presente capítulo, objetivamos abordar as características geográficas encontradas no município de Salgueiro, onde se situa nosso *locus* de estudo. Contudo, é importante salientar, a dificuldade em reunir dados acerca da área em questão, tendo em vista a carência de pesquisas desenvolvidas para este fim.

2.1 LOCALIZAÇÃO

A Lagoa Uri de Cima é um sítio arqueológico a céu aberto, de formato aproximadamente elipsoidal, com dimensões aferidas de 199 metros de comprimento e 92 metros de largura, com quase um hectare de área escavada, localizada a 6 quilômetros da cidade de Salgueiro, estado de Pernambuco, nas coordenadas 39°10'35"W e 8°04'42"S a uma altitude de 518m (MÜTZENBERG et al., 2013), como pode ser observado na Figura 1.

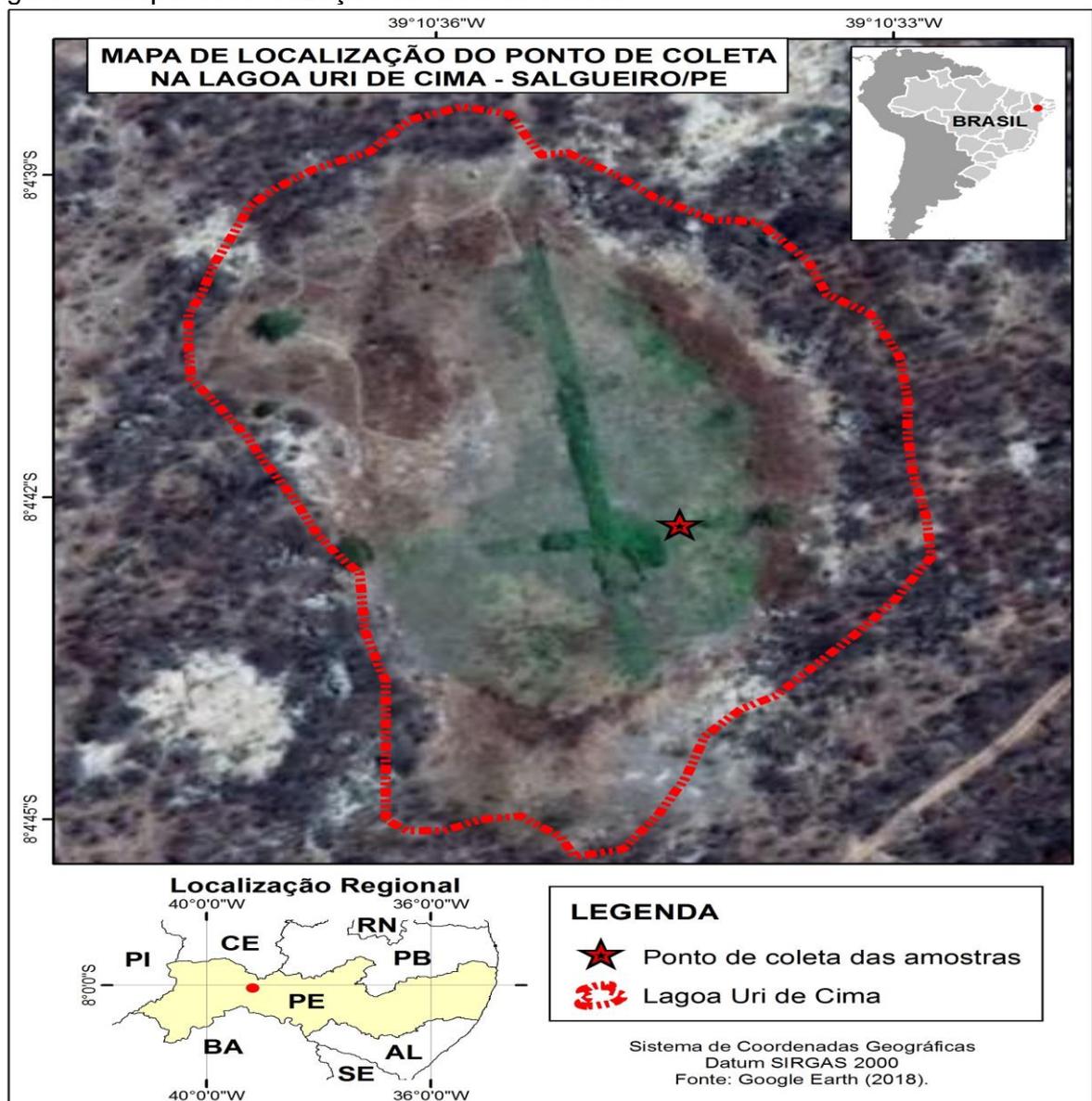
O município de Salgueiro encontra-se inserido dentro do domínio das depressões interplanálticas semiáridas do Nordeste. A paisagem dessa região é definida por Ab'Saber (2003) como sendo o resultado de uma complexa condição climática, sustentada pela influência constante do regime de deslocamento da massa equatorial continental, de forma que todo o domínio das caatingas guarda condições severas o suficiente para inviabilizar a ocupação humana. No entanto, a despeito da severidade das condições climáticas e edáficas, sobretudo quando comparado com o que se observa em outros espaços áridos e semiáridos do planeta, a ocupação humana aqui é espacialmente ubíqua e bastante antiga. Silva et.al.(2016), discutindo a história ambiental dos agrupamentos indígenas, no nordeste brasileiro, destaca que esses têm ocupado e resistido nessa região há muito tempo, ora se deslocando para fazer uso dos recursos disponíveis no espaço, ora estruturando-se em aldeamentos nas regiões de brejo, onde as condições pedológicas, edáficas e climáticas são mais favoráveis para o desenvolvimento de agrupamentos humanos perenes.

Nesses espaços, via de regra, predominam áreas "de fraca decomposição de rochas, com mantos de alteração que variam de 0 a 3 m" (AB'SABER, 2003). A paisagem local adota uma feição dominada por planícies ligeiramente sulcadas pelos cursos de água intermitentes componentes de uma drenagem puramente

exorreica, estruturando-se em um arranjo geral de vastas depressões interplanálticas. Nesse ambiente quente e seco predominam ainda solos rasos e variados com campos de *inselbergs* (de resistência ou de posição), lajedos e campos de matações, entrecortados por tênues paleopavimentos mais espessos, subatuais (AB'SABER, 2003).

Deve-se destacar, contudo, que, embora relativamente homogênea, nessa região é possível observar enclaves de tipologias fisiográficas distintas, como a ocorrência de brejos e serras, comuns a toda região Nordeste do Brasil (SOBRINHO, 2005).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: PEREIRA, George (2019)

2.2 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA

A Lagoa Uri de Cima está inserida no contexto da Zona Transversal da Província Borborema, no Terreno Piancó Alto Brígida e, litologicamente, na Suíte Intrusiva Shoshonítica Salgueiro/Terra Nova (MUTZENBERG et al., 2013). Esta possui idade neoproterozóica de aproximadamente 630 milhões de anos, sendo composta principalmente por dioritos, quartzo-dioritos, quartzo-monozodioritos e quartzo-monzonitos. Vinculada ao Ciclo Orogenético Brasileiro, o qual foi responsável pela inserção de uma série de corpos intrusivos do neoproterozóico no Nordeste do Brasil. A Suíte Intrusiva Terra Nova intrudiu as rochas metamórficas mesoproterozóicas do Complexo Salgueiro, que têm como litologia predominantemente xistos e filitos. Dessa forma, a Lagoa é totalmente cercada por rochas dioríticas da Suíte Intrusiva Terra Nova, de textura fanerítica, tendo o quartzo como mineral predominante. Devido à alta concentração de quartzo nos afloramentos que circundam a lagoa, a rocha foi localmente classificada como um quartzo-diorito (MUTZEMBERG et al., 2013).

Em escala megageomorfológica e morfoestrutural, a Lagoa se situa sobre um alvéolo da Depressão Sertaneja que se entremeia a intrusões graníticas locais que perfazem os maciços estruturais de Salgueiro. Estes se destacam na paisagem como elevações residuais em meio a uma vasta superfície aplainada, e com diversos graus de dissecação. O entalhe fluvial, condicionado pela rede de juntas e fraturas regionais, estabelece as principais morfologias da Depressão, sob a forma de pedimentos contínuos (conservados) ou descontínuos (dissecados), por vezes assumindo um caráter de interflúvio em virtude da incisão dos canais adjacentes.

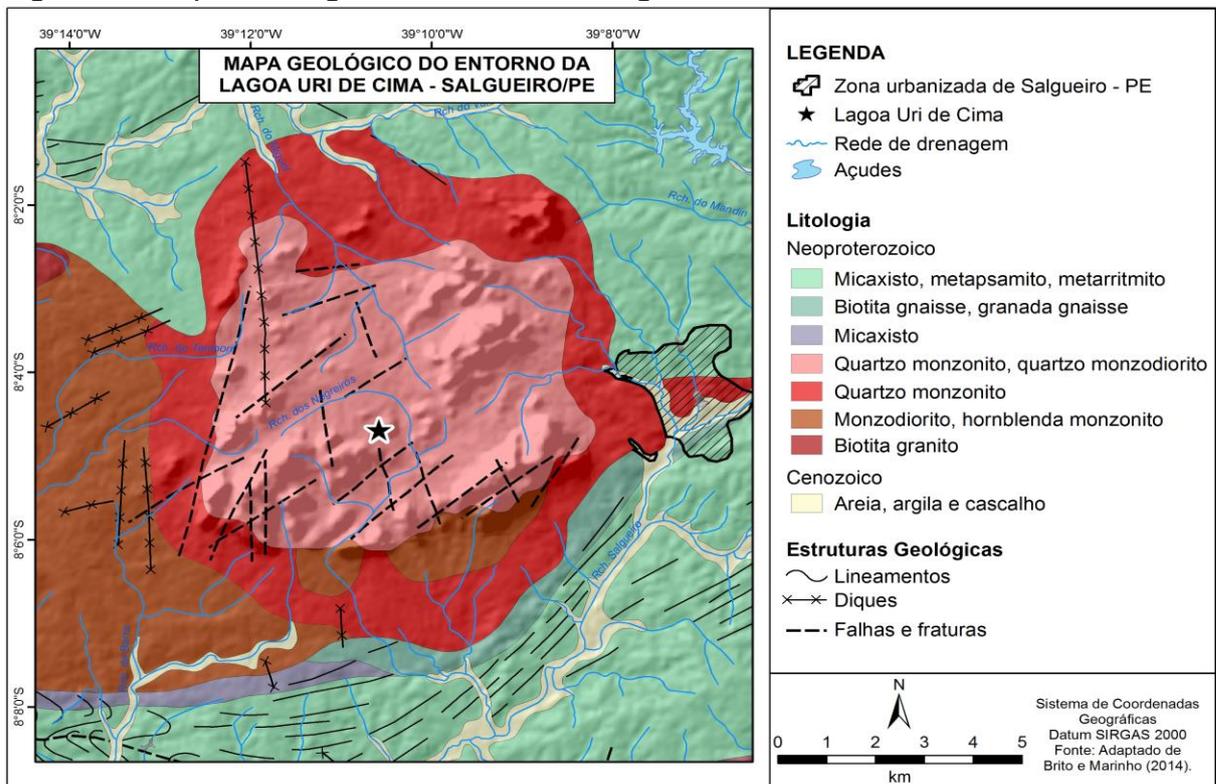
O município de Salgueiro está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que é caracterizada pela geomorfologia regional clássica como uma superfície de pediplanação, com relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas, ficando os relevos isolados como testemunhos dos ciclos de erosão, que alcançaram partes do sertão, representando assim a paisagem típica do semiárido nordestino (CPRM, 2005; AB'SABER, 2003). Para Corrêa et al., (2010) a Depressão Sertaneja se define a oeste do limite ocidental do Planalto da Borborema, no estado de Pernambuco, como um semicírculo de terras baixas semiáridas separado do topo do planalto por

uma escarpa, que ressalta os controles litológicos e estruturais sobre o relevo da região.

O setor onde se situa a Lagoa Uri de Cima apresenta morfologia concordante com as formas acima descritas, destacando-se a presença de *inselbergs* ancilares aos maciços estruturais graníticos com encostas bastante acentuadas, marcadas pela presença de *knickpoints* em sua base a partir dos quais se desenvolvem trechos de rampas de pedimentos, recobertas por solos arenosos, distróficos e de baixa fertilidade, além de vastos afloramentos de rocha (Figura 2).

Ainda tratando dos controles estruturais e sua relação com as morfologias encontradas em campo, o sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima encontra-se posicionado sobre curtas rampas de pedimento entre maciços residuais e estruturais do tipo *inselbergs* e *inselgebirges*. As rampas que baseiam as encostas são recobertas por solos arenosos e extensos afloramentos de rocha. As áreas mais baixas são drenadas por canais temporários, que se convertem em torrentes durante o período chuvoso. Essas drenagens apresentam caráter confinado e correm sobre leito rochoso (MUTZENBERG et al., 2013).

Figura 2 - Mapa Geológico do entorno da Lagoa Uri de Cima



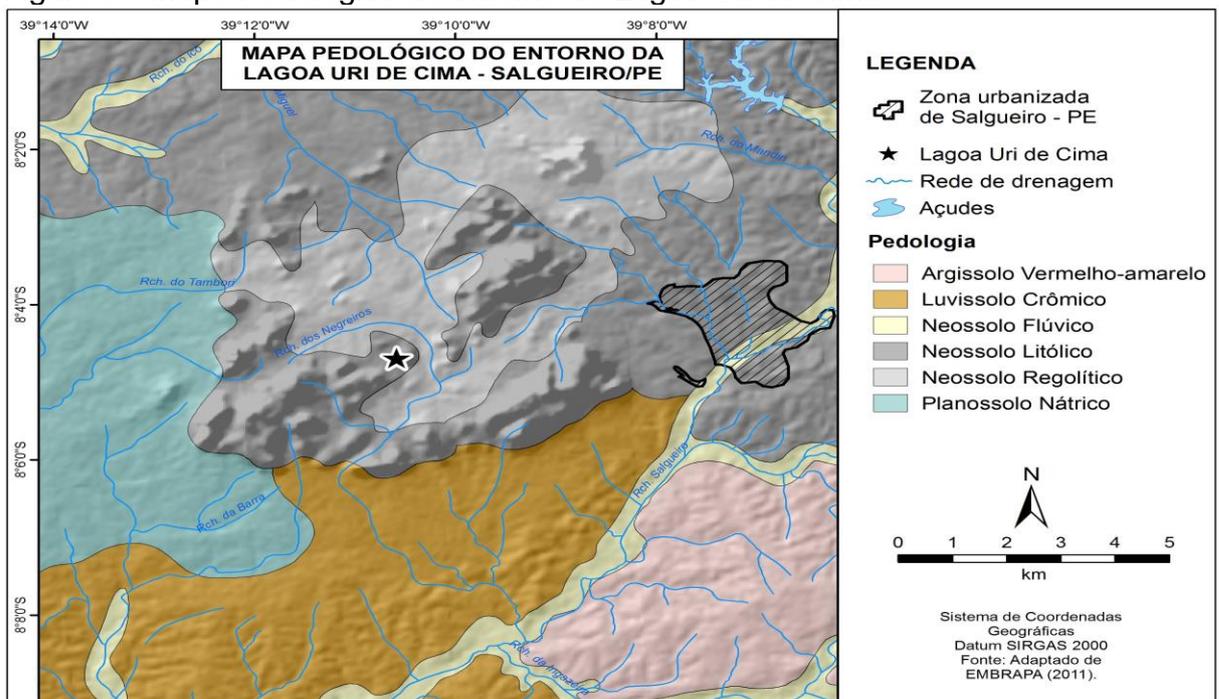
Fonte: PEREIRA, George (2019)

Tendo em mente que o solo é "uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta" (SANTOS et al., 2018). Na escala do município de Salgueiro a diversidade de solos decorre principalmente da variedade de estruturas litológicas aflorantes, sob a influência de um regime climático predominantemente semiárido.

Na área de estudo observa-se uma predominância dos Neossolos, seguindo-se da ocorrência de manchas contínuas de Luvisolos, Planossolos e Argissolos (Figura 3). Como mencionado anteriormente, as tipologias de coberturas pedológicas refletem sobremaneira as características climáticas da região.

A dinâmica climática da região concentra todo o aporte hídrico anual em uma estreita faixa temporal que varia de 3 a 4 meses, dificultando o desenvolvimento de processos pedogenéticos de base química. Adicionalmente à realidade exposta, a própria limitação ao desenvolvimento biológico, diante das condições climáticas já apresentadas, representa um entrave ao maior aprofundamento dos perfis de intemperismo da região.

Figura 3 - Mapa Pedológico do entorno da Lagoa Uri de Cima



Fonte: PEREIRA, George (2019)

A translocação de argilominerais ao longo do perfil também caracteriza os processos pedológicos vigentes na área, uma vez que a presença de chuvas concentradas no curto período úmido, tende a lavar o solo, carreando o material particulado mais fino (silte e argila) para os setores mais baixos, seja na escala do perfil de solo ou da paisagem, gerando deposição no horizonte B, como no caso dos Luvisolos. Esse tipo de estrutura pode evoluir e gerar depósitos argilosos que permitem o desenvolvimento de solos de tipologia distinta, a exemplo dos Vertissolos.

O sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima apresenta características pedológicas em superfície típicas de Vertissolos. Por se tratar de uma paleolagoa, a deposição desses argilominerais, em períodos úmidos pretéritos, justifica as características observadas na área.

Vertissolos são, segundo o SiBCs, definidos pelo horizonte vértico entre 25 e 100 cm de profundidade e fendas verticais com , pelo menos, 1 cm de largura, atingindo até 50 cm de profundidade. O nome Vertissolo (do latim *vertere* = revirar) refere-se ao constante revolvimento natural do material interno do solo (Lepsch, 2010). Muitos eram antes conhecidos como “Grumossolos” e no Nordeste são popularmente chamados de “Massapé”. Os Vertissolos são, ainda, os solos que, quando secos, formam fendas, por conterem argilas com grande capacidade de expansão (quando molhadas) e contração (quando secas). Os perfis mais representativos são cinza-escuros, com insignificante diferenciação de horizontes que apresentam muitas rachaduras na estação seca. A consistência é muito plástica e pegajosa quando molhados, e extremamente dura quando secos. Desenvolvem-se em sedimentos finos com argilas do tipo 2:1. (LEPSCH, 2010).

2.3 CLIMA E HIDROGRAFIA

Atualmente o clima da região é semiárido, quente e seco, com índices pluviométricos anuais inferiores a 500 mm. Caracterizado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007) como tropical equatorial com sete a oito meses secos.

As condições que garantem essa característica climática a toda região semiárida do Nordeste brasileiro são bastante complexas. Resultam de um delicado mosaico interrelacional entre sistemas atmosféricos que criam num país com predominância de contextos úmidos, realidades pluviométricas extremamente secas

e irregulares. Ab'Saber (2003) ao discutir as condições climáticas do semiárido brasileiro indica a influência da Massa Equatorial Continental (MEC) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) como centrais nessa dinâmica, adicionalmente, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) indicam a influência também da Massa Tropical do Atlântico Norte (MTAN), da Massa Tropical do Atlântico Sul (MTAS) e da Massa Polar Atlântica (MPA) como agentes formadores do nordeste seco, essa última influenciando na porção sul do semiárido brasileiro.

Células de alta pressão penetram fundo no interior do Nordeste, durante o inverno austral, impedido que a MTAN e a MTAS adentrem o continente (AB'SABER, 2003). Em contra partida, é no verão Austral que o deslocamento da MEC, gestada sobre a hileia, gera altos volumes pluviométricos, concentrados em poucos meses. Essa realidade climática, por vezes, pode gerar o carreamento dos fitólitos à longas distâncias, prejudicando sobremaneira a identificação da origem dessas paleoestruturas. Nesse contexto, por se tratar de uma paleolagoa, o local de investigação converte-se em um sítio perfeito para tal estudo dado o enclausuramento das partículas ali geradas, e fazendo com que as condições torrenciais, típicas da dinâmica pluviométrica local, não desloquem o material do seu ponto de origem de forma a prejudicar a identificação paleoambiental.

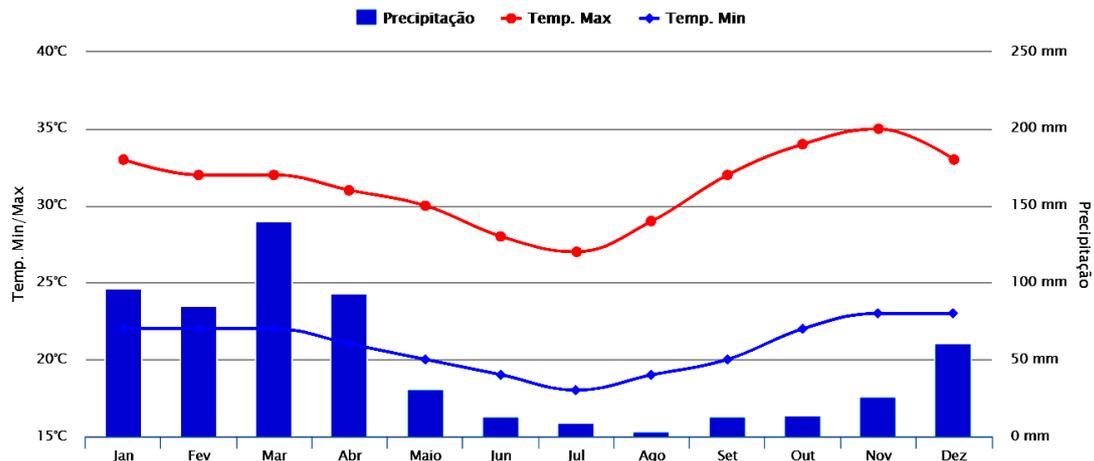
O clima da região de Salgueiro é do tipo tropical semiárido com chuvas de verão-outono, de acordo com a classificação de KÖPPEN a região apresenta clima do tipo Bsh, ou seja, semiárido estépico quente. As chuvas geralmente iniciam em novembro e terminam em abril, com uma precipitação pluviométrica média anual variando entre 500mm e 600mm, com temperatura média anual de 26°C (CPRM, 2005).

A sazonalidade climática da região, caracterizada por uma escassez de chuvas, faz com que, apenas durante alguns poucos meses, a Lagoa Uri de Cima fique preenchida por uma fina lâmina d'água, estando seca na maior parte do ano (MACEDO, 2016).

Os climogramas abaixo (Figura 4) obtidos junto ao climatempo ilustram as características atuais de temperatura e pluviosidade para o município de Salgueiro onde encontra-se localizada a lagoa. Fica explícita a baixa disponibilidade de água para região, assim como a ausência da mesma a depender do mês observado.

Associadas à escassez hídrica ainda se observa na área a constância das altas temperaturas (Tabela 1).

Figura 4 - Climograma do município de Salgueiro-PE



Fonte: Climatempo.com.br (Acesso em 14 de junho de 2019).

Legenda: Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados.

Tabela 1 - Médias mensais das Temperaturas (Mínimas e Máximas) e Precipitação

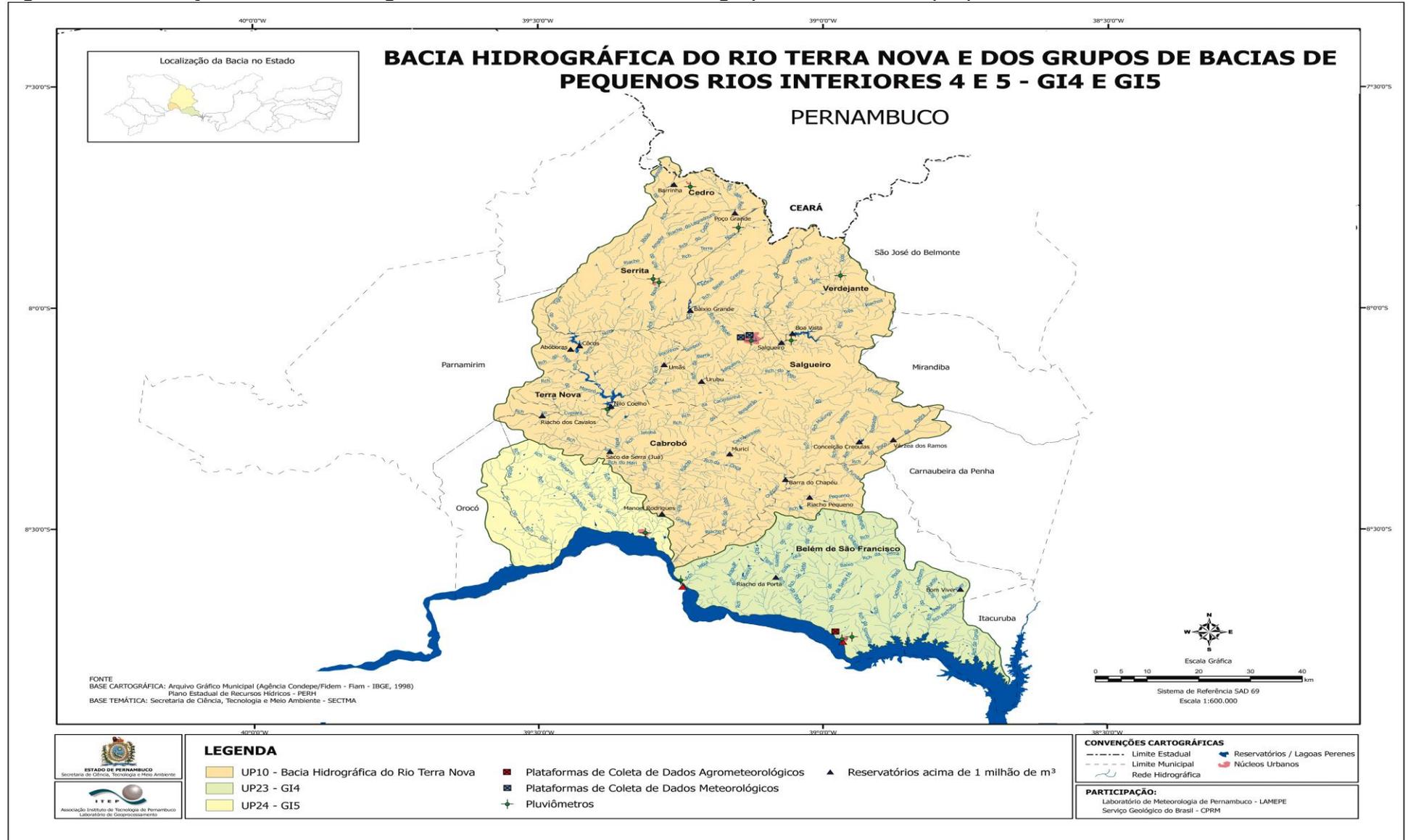
Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	22°	33°	96
Fevereiro	22°	32°	85
Março	22°	32°	140
Abril	21°	31°	93
Maio	20°	30°	31
Junho	19°	28°	13
Julho	18°	27°	9
Agosto	19°	29°	3
Setembro	20°	32°	13
Outubro	22°	34°	14
Novembro	23°	35°	26
Dezembro	23°	33°	61

Legenda: Os dados apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados.

Fonte: Climatempo

O município de Salgueiro está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova (Figura 5), onde todos os cursos d'água apresentam regime efêmero a intermitente e padrão de drenagem dendrítico. Seus principais tributários correspondem a 45 riachos e os importantes corpos de acumulação de água são as lagoas do Junco, da Caatinga, de Dentro, das Caraíbas e da Jurema e para os ambientes artificiais são os açudes Argemiro, Monte Alegre, Boa Vista, Conceição das Creoulas e Salgueiro (CPRM, 2005).

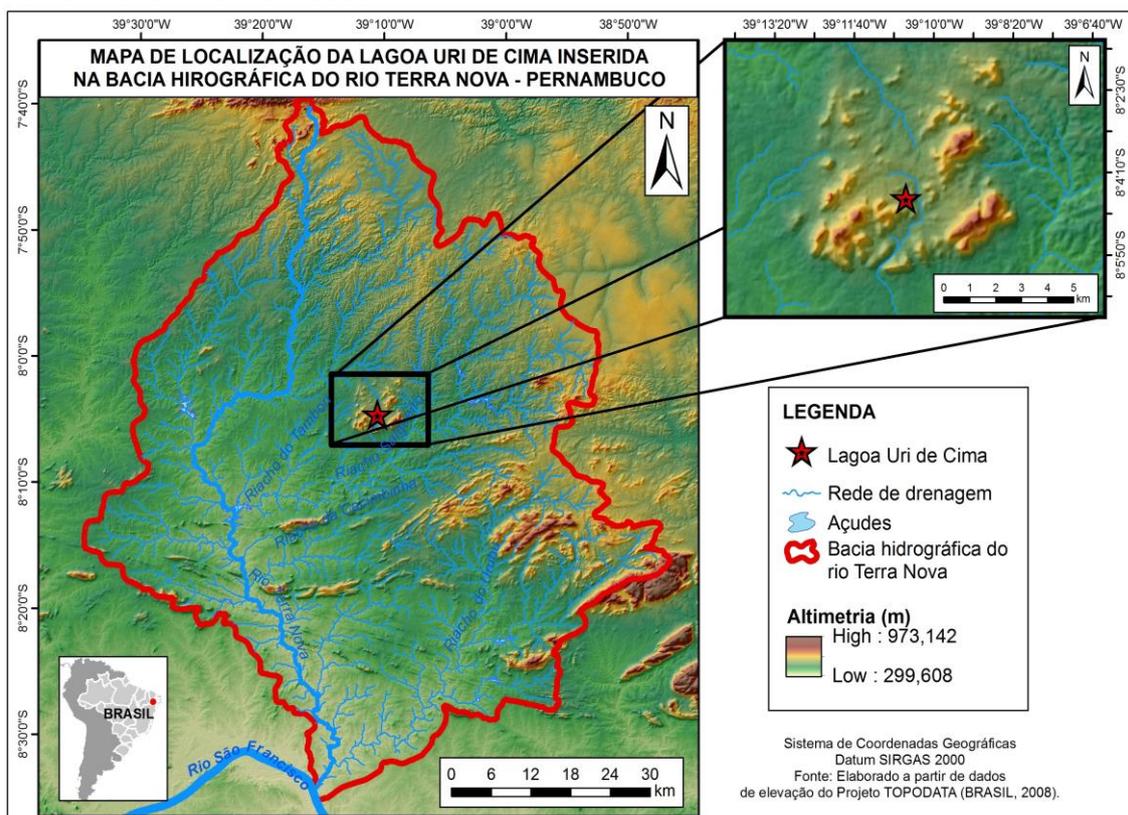
Figura 5 - Delimitação da Bacia hidrográfica do Rio Terra Nova e dos grupos de bacias de pequenos rios interiores 4 e 5 - GI4 e GI5



A bacia do rio Terra Nova apresenta uma área de 4.887,71 km², que corresponde a 4,97% da área do Estado. O rio Terra Nova apresenta uma extensão de 40 km, com suas nascentes situadas no limite do Estado do Ceará. No seu curso inicial, o rio apresenta direção norte-sul e, a partir da cidade de Terra Nova, segue o sentido noroeste-sudeste até desaguar na margem esquerda do rio São Francisco. Seu regime fluvial é intermitente ao longo de todo seu curso. Os principais afluentes do rio Terra Nova são os riachos do Amador, Jibóia, do Tigre, do Mororó e Cupiará, pela margem direita, e os riachos Acauã, Salgueiro, Jatobá, da Cachoeirinha e Ouricuri, pela margem esquerda. O seu maior afluente é o rio Salgueiro que, com uma extensão de aproximadamente 53 km, drena as cidades de Verdejante e Salgueiro (APAC, 2018).

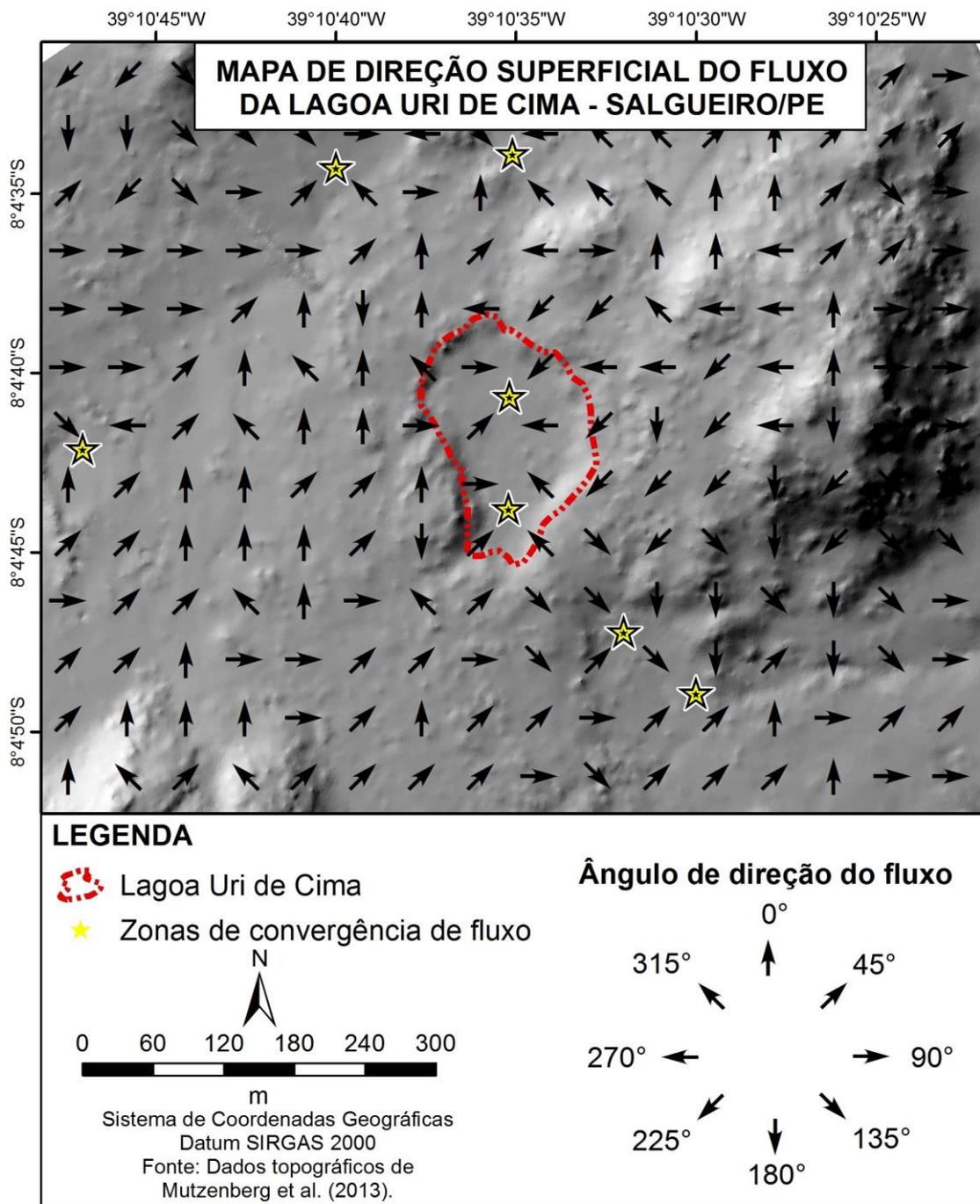
Segundo Mutzenberg et. al. (2013), a Lagoa Uri de Cima “encontra-se semiconectada à rede de drenagem por meio de um canal exutório com pouca incisão” (Figuras 6 e 7). As áreas mais baixas são drenadas por canais temporários, mas com expressiva energia durante o período chuvoso.

Figura 6 - Localização da Lagoa Uri de Cima na Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova - Pernambuco



Fonte: PEREIRA, George (2019)

Figura 7 - Direção de fluxo superficial na área da Lagoa Uri de Cima



Fonte: PEREIRA, George (2019)

2.4 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal encontra-se diretamente relacionada com as condições climáticas e edáficas de cada região. Para a área em questão observam-se grandes extensões de uma vegetação arbustiva aberta e de pequeno porte. Esta vegetação é adaptada às irregularidades das chuvas,

fornecendo pouca matéria orgânica ao solo, de maneira que estes são pobres em húmus e apresentam desenvolvimento incipiente (Figura 8).

Figura 8 - Aspecto da vegetação no entorno da Lagoa Uri de Cima



Fonte: Macedo (2016)

Pouco se conhece sobre as características vegetacionais de Salgueiro, a grande maioria dos trabalhos relata de forma muito generalizada as espécies que constituem, na contemporaneidade, sua flora. A falta de informações mais detalhadas sobre esse aspecto dificulta sobremaneira o trabalho desenvolvido por essa pesquisa, uma vez que seria fundamental compreender como está disposta a assembleia atual de fitólitos neste paisagem, para então poder derivar com maior segurança dados sobre sua dinâmica temporal. Para superar as dificuldades vinculadas a quase inexistência de dados sobre a vegetação do município recorreu-se às pesquisas que tratam da vegetação semiárida e que abordam o bioma Caatinga como um todo.

A região Nordeste compreende dez estados brasileiros e grande parte deles se caracteriza por vegetação de Caatinga com clima semiárido. Nestas áreas, que compreendem o chamado sertão nordestino, pouco se conhece sobre a vegetação nativa (SILVA et al., 2012). A vegetação da Caatinga é basicamente composta por plantas arbustivas e árvores de pequeno a médio

porte, suculentas, geófitas e por um estrato herbáceo anual que se desenvolve somente no período chuvoso (ANDRADE-LIMA, 1981).

Um trabalho de dissertação realizado por Silva et al., (2012) visou construir uma palinoteca de referencia para região de Salgueiro, Verdejante, Serrita e Parnamirim. Mesmo que o objetivo da autora tenha sido focado apenas nas plantas visitadas pelas abelhas para produção de mel pode-se dizer que o trabalho contribui para identificação de algumas espécies nativas e atuais na região de estudo (Figura 9).

Figura 9 - Palinoteca de referência para o município de Salgueiro

Família / Espécie	Nome comum
Amaranthaceae	
Gomphrena sp.	cravo
Anacardiaceae	
Spondias tuberosa Arruda	umbuzeiro
Apocynaceae	
Allamanda blanchetii A. DC.	alamanda rosa, flor de veneno
Asteraceae	
Centraterum punctatum Cass.	carrapicho de agulha
Tridax procumbens L.	melosa
Boraginaceae	
Varronia leucocephala (Moric.) J.S.Mill.	moleque duro
Capparaceae	
Tarenaya spinosa (Jacq.) Raf.	muçambê
Commelinaceae	
Commelina sp.	desconhecido

Convolvulaceae

<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	cliptória
<i>Jacquemontia pentanthos</i> (Jacq.) G. Don	amarra cachorro azul

Cucurbitaceae

<i>Momordica charantia</i> L.	melão de são caetano
-------------------------------	----------------------

Euphorbiaceae

<i>Cnidoscolus quercifolius</i> Pohl	favela mansa
<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur	cansanção
<i>Cnidoscolus vitifolius</i> (Ule.) Pax & K. Hoffm.	favela brava
<i>Croton campestris</i> A. St. -Hil.	velame
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth.	quebra faca
<i>Croton sonderianus</i> Muell Arg.	marmeleiro
<i>Manihot pseudoglaziovii</i> Pax & K. Hoffm.	maniçoba

Fabaceae

<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	pau ferro
<i>Mimosa arenosa</i> (Willd) Poir.	jurema
<i>Poincianella pyramidallis</i> (Tul.) L.P. Queiroz	catingueira
<i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers.	anaru

Malvaceae

<i>Herissantia crispa</i> (L.) Briz.	malva rasteira
<i>Melochia tomentosa</i> L.	capa bode
<i>Sida galheirensis</i> Ulbr.	malva amarela

Nyctaginaceae

Boerhaavia coccinea Mill	pega pinto
Rhamnaceae	
Ziziphus joazeiro Mart.	juazeiro
Rubiaceae	
Borreria verticillata (L.) G.Mey.	ervanço em bola
Sapindaceae	
Serjania glabrata Kunth	folha de carne
Solanaceae	
Physalis pruinosa L.	tomate do mato, fisalis, fruto de pétala
Turneraceae	
Turnera cearensis Urb.	desconhecido
Turnera pumilea L.	chanana
Zygophyllaceae	
Kallstroemia tribuloides (Mart.) Steud	cabeça de carneiro

Fonte: Silva et al., (2012)

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo abordamos o aporte teórico que fundamenta a pesquisa, perpassando pela importância dos estudos geomorfológicos e paleoambientais, deposição em ambientes lacustres e marmitas de dissolução, enfatizando a Lagoa Uri de Cima e o tema-chave da pesquisa, os biominerais de sílica.

3.1 OS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS E A RECONSTRUÇÃO AMBIENTAL

O relevo se expressa na paisagem natural de todo o planeta sendo nele e sobre ele que se estabelece grande parte da vida na terra. Os elementos naturais influenciam direta e indiretamente as múltiplas paisagens existentes, e são responsáveis pela dinâmica de ocupação espacial estabelecida pelas sociedades.

Várias foram as visões de mundo que predominaram ao longo dos anos e influenciaram a evolução do pensamento científico. No caso da Geografia não foi diferente e muitos foram os obstáculos ultrapassados para que esta se consolidasse como Ciência. Na Geografia Física, mais especificamente na Geomorfologia, valorizou-se por muito tempo a descrição dos aspectos físico-naturais, como a definição de uma sequência ideal de fatos voltados para compreensão do relevo. No entanto, o processo de aperfeiçoamento na leitura histórica da paisagem e sua evolução dinâmica, por meio do estudo da sua forma e materiais estruturadores da superfície, continua como um grande desafio.

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo. As formas representam a expressão espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico de uma área. Mas, se as formas existem, é porque elas foram esculpidas pela ação de determinado processo ou grupo de processos. As formas, os processos e as suas relações constituem o sistema geomorfológico, que é um sistema aberto, pois recebe influências e também atua sobre outros sistemas componentes de seu universo (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para Christofolletti (Op cit.) a análise das formas e dos processos fornece conhecimento sobre os aspectos e a dinâmica da topografia atual, sob as diversas condições climáticas, possibilitando compreender formas esculpidas pelas forças destrutivas e originadas nos ambientes deposicionais. No transcorrer do tempo geológico, muitas topografias foram elaboradas e destruídas pela erosão ou pelo recobrimento sedimentar. Assim, as camadas sedimentares que integram as coberturas superficiais da paisagem, com suas estruturas deposicionais, são importantes fontes de informação e registros valiosos para se interpretar os processos atuantes no passado e quais as condições ambientais reinantes em outras épocas.

O estudo dos processos atuais e das características dos ambientes de sedimentação propiciam informações que orientam a interpretação dos depósitos antigos. Ao estudar e interpretar essas sequências deposicionais, o pesquisador procura recompor as diversas mudanças nas condições ambientais, decifrando a evolução da história regional e melhor compreendendo as características da atual paisagem morfológica.

É com base nesse pressuposto que se desenvolveu esta pesquisa, pensando na Lagoa como um sistema geomorfológico aberto e buscando desvendar sua história formativa, desvencilhando os processos envolvidos e buscando através do estudo das suas formas e de seu material constituinte relatar a evolução desta paisagem.

Desde os primórdios são as descobertas e os avanços científicos que possibilitam que o homem persista em sua sobrevivência e no intuito de desbravar, compreender e até mesmo controlar a natureza. Dito isto, é possível afirmar a importância do estudo da geomorfologia para o Homem e a Terra, para o Homem, como principal agente interessado em reconhecer a dinâmica da paisagem do lugar onde vive e para a Terra porque se pressupõe que na tentativa de desvendar os segredos que envolvem os sistemas geomorfológicos e ambientais, a sociedade passaria a buscar uma convivência menos conflituosa com esses sistemas físico-naturais.

Dentro dos estudos geomorfológicos a perspectiva que baliza esta pesquisa foi introduzida no Brasil a partir da década de 1950, sob forte influência dos trabalhos de Ab'Saber e Bigarella, quando passou-se a considerar a influência do clima na origem das paisagens e as variações paleoclimáticas começaram a ser incorporadas nas pesquisas com a adoção

de novos modelos teóricos baseados em estudos de campo de larga escala. A partir de então, o relevo passou a ser analisado sobre outra ótica, que deixa de ser apenas descritiva e assume um caráter analítico das relações de campo entre formas e sedimentos correlativos. O clima torna-se o agente principal responsável pelo modelado e o pesquisador passa a se preocupar com o material, e com o processo, além da forma.

A geomorfologia brasileira passou a adotar novas linhas de pesquisa dentro da geomorfologia climática, com a apresentação e aplicação de modelos dos mais simples aos mais complexos na tentativa de explicar a origem e evolução das feições típicas do relevo atual, que ao longo do tempo (mais particularmente durante o Quaternário), caracteriza-se por um reafeiçoamento contínuo da superfície e por uma sobreposição de formas sobre uma estrutura morfológica preexistente, seja de natureza morfoestrutural ou morfoclimática (BIGARELLA, 1994).

As superfícies de erosão, por exemplo, estariam associadas a fases de clima seco, com chuvas concentradas, quando ocorreria a produção principal de sedimentos, correspondendo aos glaciais das regiões glaciadas, enquanto os encaixamentos da drenagem por incisão fluvial, que levariam ao escalonamento das superfícies de erosão, estariam ligados a fases de clima úmido, interglaciais (MOURA, 2008).

Foi dentro da perspectiva da geomorfologia climática que os estudos de reconstrução ambiental ganharam impulso, deixando por vez de lado apenas a descrição das paisagens e aceitando a dinâmica exercida pelos diversos sistemas constituintes do relevo. Desta forma a análise e interpretação das paisagens tornou-se ainda mais complexa a partir do momento em que se percebeu que materiais iguais responderiam por formas diferentes a depender dos processos aos quais seriam submetidos e que diferentes climas seriam responsáveis por moldar diferentes paisagens.

Outro desafio que envolve a reconstrução ambiental diz respeito à compreensão da dinâmica do planeta Terra diante da sua ciclicidade climática, geológica, geomorfológica e das intempéries que envolvem um sistema com tamanha complexidade. Para Correa (2001) estudar a dinâmica da natureza e compreender sua complexidade não é uma tarefa fácil, e a busca pelos eventos geo-históricos é quase sempre envolvida por um arcabouço abduativo,

uma vez que não é possível medir o evento histórico em si mesmo, mas apenas seu registro na paisagem.

Melo et. al., (2012) diz que o desafio associado aos estudos ambientais quaternários e socioambientais atuais é o de contribuir de forma decisiva para a compreensão - e assim, quiçá, para preservação – dos modelados e das formações superficiais naturais que a humanidade recebeu como herança e que, na maior parte dos casos, não são renováveis, pelo menos no período de muitas gerações.

Correa (Op. Cit.) diz que as ciências históricas buscam as causas dos fenômenos em escalas proximais e finalistas, analisando seus propósitos e/ou funções intrínsecas dentro de um sistema de eventos complexos. Sendo assim, as predições nas ciências históricas não podem ser “a priori” e podem apenas sugerir cenários e tendências futuras a partir da observação de eventos passados. As previsões destes cenários são de extrema importância para a sociedade atual visto que podem balizar a tomada de decisões importantes na busca de uma relação mais equilibrada entre homem e meio.

3.2 PALEOCLIMATOLOGIA E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL NO NORDESTE DO BRASIL

A paleoclimatologia diz respeito ao estudo de climas passados, e a reconstrução paleoambiental busca recontar a história evolutiva das paisagens pretéritas.

O clima é um fator decisivo, que controla a dinâmica externa (superficial) da Terra e afeta com intensidades variáveis todo o ciclo hidrológico, logo tanto, as estratégias reprodutivas, as distribuições biogeográficas dos organismos vivos, intemperismo crustal e a deposição sedimentar (SUGUIO, 2010). Desse modo, as mudanças paleoclimáticas quaternárias provocaram modificações nos níveis dos lagos e nas composições e distribuições da fauna e da flora do mundo como um todo.

Atualmente a gama de ferramentas utilizadas nos estudos paleoambientais é bem diversa, tais como a interpretação da geomorfologia, a análise de grãos de pólen e esporos preservados em sedimentos, análises isotópicas e elementares da matéria-orgânica do solo etc. De um modo geral os dados obtidos em tais análises devem ser relacionados a uma cronologia,

normalmente estabelecida por métodos de datação, e constituem a base das inferências paleoclimáticas.

Suguió (2010) afirma que o maior interesse pelos estudos paleoclimáticos no Brasil surgiu através dos critérios geomorfológicos, que foram os pioneiros no reconhecimento de feições características de climas semiáridos, desenvolvidos provavelmente durante o Pleistoceno, em áreas do país atualmente ocupadas por densa floresta pluvial.

O período Quaternário, que é definido como período geológico caracterizado pelas oscilações climáticas, como a glaciação dos continentes do hemisfério norte e consequente alternância dentro de ciclos glaciais e interglaciais que influenciaram todos os continentes, é o período de maior relevância científica quando se pensa em resgatar a história evolutiva da paisagem atual, isso porque em se tratar do período mais recente, tem melhor preservadas suas feições.

De acordo com Christofolletti (1999), o referido período divide-se em Pleistoceno, que vai desde os últimos 2,5 milhões de anos até cerca de 10.000 anos AP, e Holoceno que abrange os últimos 10.000 anos até o presente. De acordo com critério paleontológico, os sedimentos Pleistocênicos são aqueles que possuírem 70% dos fósseis correspondentes às espécies viventes, e os Holocênicos aqueles depósitos que só abriguem espécies viventes (SUGUIO, 2005).

O Holoceno é caracterizado como a “Idade do Homem”. Trata-se da época mais recente do período Quaternário e teve início ao final da última grande glaciação (Würm), há cerca de 10.000 anos. É neste período em que se reconhece o aparecimento do homem moderno e das primeiras civilizações. Sendo assim, este passou a ser um tempo geológico caracterizado pela intensificação das atividades antrópicas ou pela “hominização”. As grandes alterações climáticas ocorridas nesse intervalo caracterizam-se pelo início de uma fase interglacial em nosso planeta (SUGUIO, 2010).

As mudanças paleoclimáticas do Holoceno se relacionam com o componente abiótico e com a distribuição da fauna e da flora. A história climática é um dos fatores que determina a atual distribuição e composição das comunidades vegetais e animais de uma região.

Os estudos sobre os paleoclimas do Holoceno, além de permitirem uma melhor compreensão da evolução pretérita dos componentes biótico e abiótico

atuais, em relação à sua distribuição e diversidade, também servem de base para as tentativas de prognóstico das futuras mudanças ambientais. Assim, como um de seus objetivos principais, esses estudos buscam uma caracterização cada vez mais precisa e detalhada das variações do paleoclima, tanto temporal quanto espacialmente (SUGUIO, 1999).

Com relação às regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, os trabalhos até agora realizados têm conduzido a um modelo da evolução paleoclimática holocênica para essas regiões. De acordo com esse modelo, o período entre o Holoceno inferior e o Holoceno médio é caracterizado por climas menos úmidos que o atual em ambas as regiões. PESSENDA et al., (2004; 2009).

Dentro deste contexto se faz importante destacar os trabalhos desenvolvidos para o Nordeste do Brasil pelo Grupo de Estudos do Quaternário do Nordeste Brasileiro – GEQUA. Desde 2003 o grupo de pesquisa tem realizado inúmeros trabalhos voltados para a compreensão das formas atuais através da reconstrução de seus elementos pretéritos, a fim de desvendar a história evolutiva do semiárido nordestino.

Correa (2001) tratou da história ambiental do semiárido nordestino em seu trabalho nos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, constatando uma história episódica no limiar Pleistoceno/Holoceno para a região. No maciço da Serra da Baixa Verde, foram os depósitos de encosta, os colúvios, sob a forma de rampas e aventais que foram escolhidos para a reconstrução da dinâmica geomorfológica da área. As idades obtidas pelo autor permitiram concluir que no limiar Pleistoceno/Holoceno, a paisagem foi marcada por uma remobilização maciça das coberturas rudáceas para os eixos de drenagem das encostas durante os períodos de maior aridez do UMG. De 7.500 a 4.500 anos AP, Holoceno Médio, com o máximo da umidificação e antes da estabilização da nova cobertura vegetal, os regolitos foram intensamente remobilizados, com ocorrência de diversos episódios de coluvionamento, possivelmente desencadeados por pequenos fluxos de detritos e corridas de lama. A fase contemporânea é caracterizada pelo intenso ravinamento dos depósitos antigos, como resposta aos padrões vigentes de uso da terra e a deposição de unidades coluviais de expressão restrita no âmbito das encostas em forma de pequenos leques de depósitos laminares decorrentes da acentuação da erosão em lençol.

O sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima está localizado em uma área onde não se tinha ainda referências cronoestratigráficas para a ocupação pré-histórica (MUTZEMBERG et.al., 2013). Este fato demonstra a necessidade estabelecer correlações regionais entre a área de estudo e outros setores do semiárido cuja morfoestratigrafia e cronologia dos depósitos superficiais, e sua origem, já estejam melhor definidas. Neste sentido, Mutzenberg (2010) demonstrou para a área arqueológica do Parque Nacional Serra da Capivara (PI), a ocorrência de vários episódios de deposição pelo menos desde o Penúltimo Máximo Glacial. Em seus estudos constatou que durante a transição entre o Penúltimo Máximo Glacial e o último Interstadial, uma rápida e sequencial remobilização de depósitos de *tálus* foi desencadeada por episódios vinculados a chuvas torrenciais que atingiram a região, gerando energia para o transporte de frações rudáceas, provavelmente associadas ao recobrimento da paisagem por uma formação vegetal aberta após um período seco.

Segundo Mutzenberg (2010), a deposição entre 23.200 a 15.000 anos AP, ligada ao Último Máximo Glacial, esteve relacionada, na área da Serra da Capivara, sudeste do Piauí, a um clima provavelmente mais frio e seco com eventos esporádicos de alto aporte pluviométrico, enquanto a transição Pleistoceno Holoceno e Holoceno Inferior foram caracterizadas como períodos ligados a uma rápida transição climática, com sinais de aumento da umidade e precipitação, e provável estabelecimento de uma cobertura vegetal mais densa em direção ao Holoceno médio. O Holoceno médio, entre 6.200 a 7.000 anos AP, esteve relacionado ao período hipsitérmico, caracterizado por um clima provavelmente quente e relativamente úmido, com estabilização da paisagem quanto a eventos erosivos.

Gurgel (2012), analisando a sedimentação quaternária ocorrida no Maciço do Pereiro, localizado no extremo sudoeste do Rio Grande do Norte, demonstrou que dentro das bacias e ao longo das escarpas há pouco armazenamento de sedimentos Quaternários. A autora, no entanto, determinou que na área o coluvionamento teria sido ativo nos últimos 46 Ka. A natureza espasmódica dos processos que moldaram a paisagem do Maciço do Pereiro demonstra que os sedimentos refletem o último ciclo pedogênese/morfogênese vigente na área, algo que se observa de forma correlata na Lagoa do Uri. Isto se reflete na expressão espacial das coberturas superficiais do Maciço do Pereiro, e outras

áreas que foram foco dos estudos de reconstrução da dinâmica geomorfológica quaternária na região. Gurgel (2012) ainda afirma que o processo de formação de colúvios ocorreu sob condições semiáridas semelhantes às de hoje.

Missura (2013), em seus estudos a respeito do graben do Puiu utilizou evidências relacionadas à morfoestratigrafia e à morfotectônica a fim de desvendar a história evolutiva da área. Os sedimentos encontrados em extensos aventaís colúviais ao longo dos sopés das escarpas permitiram visualizar sua evolução em cascata. A atuação da dinâmica quaternária na área possibilitou a interdigitação de dinâmicas diferentes na formação do relevo local, bem como, aventar hipóteses sobre as flutuações no nível lacustre durante o Quaternário. Os depósitos encontrados apresentaram variações significativas ficando evidente a partir das correlações feitas, entre as datas apresentadas, que eventos significativos de reumidificação ou esporádicos de maior magnitude atuaram na área durante o UMG, o Younger Dryas, a transição Pleistoceno Holoceno e o ótimo climático do Holoceno, formando esses depósitos.

Silva (2013) considera que as sequências deposicionais constituem o único registro material preservado que explica a história evolutiva da paisagem, e a associação entre forma e depósito tem-se mostrado como um instrumento imprescindível à interpretação da dinâmica ambiental, representando o elo que une os processos ocorridos no passado e que ocorrem no presente dentro do contexto evolutivo da paisagem geomorfológica. Em seu trabalho afirma que as idades obtidas para os níveis estratigráficos datáveis atestam que os eventos deposicionais estão na dependência de agentes desencadeadores de gênese distintas: eventos climáticos regionais ocorridos desde o penúltimo stadial do Pleistoceno até o UMG para as áreas de Afrânio, e a partir do Holoceno inferior em Fazenda Nova.

Ramos (2014) avaliou a dinâmica geomorfológica da cabeceira do Riacho Piancozinho baseada na observação dos depósitos superficiais e sua posição na paisagem. Os depósitos sedimentares foram derivados da remobilização dos mantos eluviais de alteração do embasamento cristalino que se reestruturaram em depósitos colúviais de diversas espessuras, associados a ciclos climáticos de signos distintos e mediados por padrões de vegetação distintos. Seus resultados morfoestratigráficos demonstraram que os depósitos colúviais foram derivados por sedimentação gravitacional do tipo corrida de

lama, através de episódios espasmódicos durante chuvas torrenciais em clima semiárido com área fonte proximal. Para a autora, os eventos de acumulação de sedimentos nas encostas são pontuais visto que os sedimentos que conseguem permanecer na paisagem não parecem indicar um processo de acumulação lento e contínuo, mas a ocorrência de eventos deposicionais discretos de curta duração. Outro dado importante refere-se aos mecanismos climáticos atuantes na geração dos depósitos, pois aparentemente esses não refletem apenas a ocorrência de momentos transicionais como de climas mais secos para climas mais úmidos, mas também refletem a ocorrência de eventos máximos mesmo durante a égide de climas provavelmente mais secos.

Amorim (2015), analisando o Maciço da Serra da Baixa Verde, embasado em Ramos (2014), afirma que para esta área de análise, desde o início do Holoceno, sedimentos têm sido gerados e evacuados das encostas, gerando depósitos coluviais e aluviais. Esses depósitos variam desde finas camadas a pacotes de 5m de espessura, por vezes intercalados por cascalheiras matriz suportadas, em escalas temporais de deposição inferiores a 10^3 anos e com intervalos de inatividade geomorfológica de 1 a 2 Ka. Esta configuração reflete a intensidade de mudanças de curto prazo de origem climática na dinâmica da paisagem geomorfológica.

O autor infere ainda que a estrutura superficial da paisagem na área de estudo apresenta: uma sequência descontínua do final do Pleistoceno e outra contínua do início do Holoceno, ao longo de todo o ótimo climático, até o Holoceno médio, e um comportamento pulsátil no Holoceno superior. Desta forma, observa-se que os sistemas produtores de tempo operando em distintas escalas regionais e globais, produzem sedimentação e uma organização de relevos agradacionais de tamanhos diferentes, que ao serem recuperados como tradutores da processualidade da paisagem, vão indicar pulsações dentro de fenômenos de magnitudes diferentes que estão aninhados como formas embutidas, em escala decrescente de tamanho, à medida que se aproximam do presente. Concluindo que a ocorrência de processos geomorfológicos formadores de depósitos de encosta na área de estudo têm seus gatilhos vinculados às variações climáticas globais, regionais e ao contexto local.

Para o setor subúmido do Planalto Sedimentar do Araripe, Lima (2015) expõe que os registros de deposição estão estocados nesta paisagem a pelo

menos 75.000 anos AP. Contudo, dois intervalos marcaram situações de maior atividade morfogenética nas encostas: 1- De 40.000 a 30.000 anos AP, período em que ocorreu uma ampla formação de depósitos por fluxos de detritos de baixa viscosidade e não canalizados, frutos da remobilização maciça dos depósitos de tálus em resposta a possíveis eventos pluviométricos de alta energia e baixa recorrência sobre uma superfície exposta; 2 – De 30,000 a 18.000 AP, sucessivos fluxos de lama generalizados pela paisagem recobriram a superfície dos fluxos de detritos anteriores. Estes sinalizam a continuidade dos processos morfogenéticos na esculturação das encostas e no recuo da cimeira estrutural do planalto sedimentar, submetidas aos eventos de chuvas torrenciais comuns ao Nordeste continental, resultantes da instabilidade climática associada ao UMG com clima mais frio e seco.

Sendo assim, a interpretação da dinâmica geomorfológica através do registro sedimentar encontrado em do Nordeste semiárido fornece bases para a elucidação de interações entre as mudanças temporais de longo e curto prazo nos processos geomorfológicos no Quaternário tardio na região, cujas repercussões ainda são visíveis na paisagem.

O estudo das variações vegetacionais e climáticas ocorridas no Quaternário Tardio no Brasil teve grande evolução, especialmente nas últimas décadas. No entanto esses não se utilizaram do estudo e da interpretação dos biominerais de sílica para reconstrução da paleovegetação. Poucas pesquisas têm sido realizadas quanto às investigações referente à identificação de corpos silicosos em solos e sedimentos para fins de interpretação da gênese do solo e reconstrução dos cenários paleoambientais brasileiros, e este trabalho se predispõe a isso.

3.3 LIMNOLOGIA

A limnologia (do grego, *limne* – lago, e *logia* – estudo) é a Ciência que estuda as águas interiores, independentemente de suas origens, mas verificando as dimensões e concentrações de sais, em relação aos fluxos de matéria e energia e as comunidades bióticas. Muito embora a limnologia tenha sido originalmente desenvolvida com o objetivo de estudar os ambientes lacustres (lagos), na realidade, os ambientes estudados abrangem todos os tipos de águas interiores: lagos, lagoas, reservatórios, rios, açudes, represas,

riachos, brejos, áreas inundáveis, águas subterrâneas, coleções de água temporária e nascentes (VALENÇA et al., 2008).

O ambiente lacustre caracteriza-se por apresentar água relativamente tranquila, em geral doce, embora existam lagos com água salgada até hipersalina que situam-se comumente no interior continental. As pesquisas pioneiras sobre os sedimentos lacustres foram iniciadas no fim do século XIX, exemplificadas pelos trabalhos de Russell (1885) e Gilbert (1890) sobre depósitos pleistocênicos dos lagos Lahontan e Bonneville, Estados Unidos (SUGUIO, 2003).

Lagos são massas de água suficientemente profundas, circundadas por terras e de considerável extensão, de maneira que a vegetação terrestre (excluída a subaquática) não possa enraizar-se completamente. Hidrologicamente falando os lagos podem ser considerados abertos ou fechados. Os lagos abertos estão em costas relativamente estáveis, tendo seus afluentes permanentes e o aporte hídrico dos rios e da chuva em equilíbrio com o efluxo e a evaporação; os lagos fechados estão em costas móveis e ciclos progradacionais e retrogradacionais, pois não há efluentes estáveis e o balanço hídrico e químico se constitui de aporte influxo e precipitação menor que efluxo e evaporação. Com relação à circulação das águas os lagos podem ser holomíticos, com circulação total (regiões temperadas e frias) ou meromíticos, com circulação parcial, superficial e fundo estagnado permanente (nos trópicos). Podem ainda ser classificados conforme a produtividade orgânica, determinada pelo conteúdo em oxigênio dissolvido e nutriente. Lagos eutróficos (pouco oxigênio, muitos nutrientes), lagos oligotróficos (muito oxigênio e poucos nutrientes), lagos distróficos (oxigênio e nutrientes escassos) (NEUMANN et. al. 2008).

Os ecossistemas de água doce podem apresentar características distintas, sendo denominados de ambientes lênticos aqueles de águas paradas ou de pouca corrente, como pântanos, brejos, poças d'água, lagos e lagoas ou de lóticos para caracterizar aqueles de águas correntes como riachos, ribeirões, rios e torrentes. Para o trabalho que ora se apresenta a lagoa foi classificada como sendo um lago fechado de águas lênticas e circulação meromítica.

3.4 DEPOSIÇÃO EM AMBIENTE LACUSTRE

De acordo com Galvão (2012) devido a seu menor tamanho os lagos são mais suscetíveis a mudanças ambientais do que as bacias marinhas, e acabam apresentando variações mais bruscas e representativas.

Existem duas principais abordagens dos aspectos do ambiente lacustre que podem auxiliar nos estudos paleoambientais. O estudo dos sedimentos depositados ao longo da vida útil do lago, pois este trata-se de um local de captação muito eficiente, e a relação entre as flutuações do nível de água, baseada em evidências geomorfológicas, e as mudanças climáticas (GALVÃO Op cit).

As propriedades físicas, químicas e biológicas dos sedimentos lacustres não são únicas deste ambiente, podendo ocorrer em vários lugares, mas segundo Suguio (2010) existem particularidades deposicionais que, quando encontradas conjuntamente, indicam a presença de uma estrutura sedimentar de origem lacustre, sendo elas; a) deposição subaquosa; b) ausência de fósseis marinhos; c) presença de fósseis característicos de água doce; d) delgadas laminações com sedimentos de granulometria fina.

Analisando as características físicas, químicas e biológicas dos depósitos antigos do lago Bonneville, Gilbert (1890) apud Suguio (2010) aponta que esses ambientes sofreram várias mudanças em sua composição, obedecendo a forças de diversas origens, estando entre elas a tectônica e a climática.

Os depósitos lacustres têm a sua forma variada sendo sujeita à morfologia dos lagos, que são bastante diversificadas e também se relacionam com a profundidade destes corpos d'água que apresenta variação de acordo com o tempo, assim se apresentam inúmeros fatores que controlam a formação dos depósitos (GALVÃO, 2012).

3.5 A LAGOA DO URI E AS MARMITAS DE DISSOLUÇÃO, UM BREVE RESUMO

Para Mutzemberg (2013) a história de formação da lagoa pode ser sintetizada como a de uma paleodepressão denudada, destituída de capeamento intempérico, que foi posteriormente preenchida por sedimentos transportados do seu entorno imediato, uma vez que a mesma se situa em posição de cabeceira de rede de drenagem, logo, servindo de repositório para os testemunhos das ocupações circunjacentes. O preenchimento sedimentar da lagoa apresenta alternância entre ambientes de baixa energia caracterizados por sedimentos pelíticos, predominantemente argilosos, lacustres e de alta energia hídrica, caracterizados por níveis de cascalheiras.

Analisando seus aspectos morfológicos, estratigráficos e sedimentológicos, Mutzemberg et.al. (2013) afirma que a área evoluiu como uma cabeceira em alvéolo, na qual os fluxos superficiais de drenagem canalizados e difusos foram impedidos de alcançar os níveis de base à jusante, carreando água e sedimento em função de variações bruscas na torrencialidade do regime hidrológico. Esse comportamento torrencial espasmódico é verificado na região para depósitos quaternários tardios e até contemporâneos, como demonstrado por CORREA (2001), BEZERRA et. al. (2008) E GURGEL et. al. (2013).

Constata-se que, contemporaneamente, a superfície colmatada da depressão é destituída de qualquer canal ou incisão de drenagem que favoreça o entalhe de seus depósitos. A provável exceção ocorre quando da sobreveniência de eventos climáticos extremos, interanuais ou decadais, que possibilitem o transbordamento das águas para o canal exutório por cima da soleira rochosa que delimita a depressão ao norte da lagoa. Nesse caso, a carga de suspensão de fato atinge o nível de base local à jusante. Assim, em linhas gerais, a depressão da Lagoa Uri de Cima evoluiu por meio da inversão local do relevo, que transformou uma cabeceira em forma de alvéolo, por meio de uma sequência de eventos de colmatação provenientes das encostas, em uma bacia sazonalmente inundada (MUTZEMBERG et al; p. 56, 2013).

As marmitas de dissolução são depressões escavadas na rocha, que devido a controles estruturais podem apresentar contornos irregulares. Inúmeras são as referências deste tipo de feição na literatura, segundo Barreto

et al. (2004) até aquele momento haviam sido contabilizadas 37 marmitas apenas no estado de Pernambuco.

Christofolletti (1981), explanando sobre as formas topográficas erosivas em leitos rochosos, atribuiu a origem das marmitas a depressões escavadas pela abrasão giratória de seixos ou blocos, rotacionados pela energia da água corrente. Bigarella (2009), entretanto, definiu que as “panelas de dissolução” consistem em uma feição de intemperismo de pequeno porte que se desenvolve por coalescência lateral dos alvéolos.

No interior semiárido do Nordeste brasileiro as marmitas têm servido como fontes de dados para a reconstrução geomórfica recente da paisagem, a partir do reconhecimento de eventos pretéritos encontrados no registro sedimentar que as preenchem (Silva e Corrêa, 2004).

Após surgir na superfície, as marmitas podem evoluir para diversos tipos morfológicos. Seguindo Gutiérrez (2005), as marmitas podem assumir as seguintes morfologias: Marmita com borda suave, Marmita com morfologia em caldeirão ou poço, Marmita de fundo côncavo ou panela, Marmita em poltrona e Marmita de bordas suspensas e assimétricas.

No Nordeste as marmitas são responsáveis por estocarem os sedimentos oriundos dos grandes pulsos climáticos ocorridos no quaternário. A partir da análise e datação de seus sedimentos, assim como a datação de ossos de megafauna muitas vezes encontrados nas mesmas, torna-se possível a realização de estudos de reconstrução paleoambiental e paleoclimática.

3.6 O USO DOS GRÃOS DE PÓLEN E DOS FITÓLITOS NA RECONSTRUÇÃO DA VEGETAÇÃO

A reconstrução da vegetação é de suma importância para os estudos paleoambientais visto que as plantas adequam-se às condições ambientes desenvolvendo características específicas para determinadas situações de tempo e clima. Além disso, as plantas possuem ainda mecanismos de defesa para preservação de suas espécies, como exemplo os fitólitos e os quistes abordados neste trabalho.

Reconstruir e elucidar a dinâmica pretérita de paisagens e ecossistemas trata-se de um grande desafio para ciência e na mesma proporção se faz imprescindível. Do ponto de vista ambiental se tornam cada dia mais valiosas

as informações acerca de como se dão os ciclos de paisagens e de como funcionam os diversos sistemas existentes.

Os achados fósseis sejam eles animais ou vegetais são até hoje a melhor forma de estudar os ecossistemas pretéritos, fornecendo subsídios à compreensão da evolução ecológica de uma região e de suas possíveis mudanças. Os ambientes sedimentares geralmente têm uma história pra contar e muitas vezes apresentam-se como ambientes ideais para preservação desses artefatos fósseis e microfósseis.

Pessenda et. al. (2015) afirma que as variações climáticas ocorridas no Pleistoceno e Holoceno provocaram mudanças na vegetação, que foram registradas pelo conteúdo polínico em sedimentos lacustres e turfeiras, e que a análise palinológica tornou-se uma ferramenta importante dentro dos estudos paleoclimáticos do Quaternário em regiões continentais.

Os grãos de pólen e os esporos possuem um envoltório externo, a exina, constituída de esporopolenina, que é elástica e tem grande resistência ao ataque por agentes químicos redutores, possibilitando a preservação dos grãos quando depositados em ambientes redutores, como lagoas e turfeiras. Além disso, possuem características morfológicas próprias como formas, dimensões, ornamentações e aberturas, que permitem sua classificação em grupos taxonômicos distintos (SALGADO-LABOURIAU, 1984 apud PESSENDA op cit).

É importante lembrar que o registro palinológico do Quaternário também engloba mudanças na cobertura vegetal causadas por alterações antropogênicas, tais como o uso da terra para monoculturas, queimadas, etc. Podendo essas mudanças ser registradas pelas assembléias polínicas, e por isso, é importante saber qual é a escala temporal e espacial do estudo polínico, para poder separar os sinais climáticos dos causados por outros fatores (AMARAL, 2003 apud PESSENDA 2015).

Oliveira et. al. (1999) pesquisou a dinâmica da vegetação e a relação às mudanças climáticas, a partir de estudos palinológicos e datação pelo método de C_{14} no noroeste do estado da Bahia, sedimentos turfosos no vale do rio Icatu, dentro de um grande sistemas de dunas estabilizadas no rio São Francisco, com idade basal de 11.000 anos AP, final do Pleistoceno e início do Holoceno. A partir de 10.990 anos AP. foram identificadas condições climáticas muito úmidas com temperaturas mais reduzidas. A partir de aproximadamente 10.000 até 6.000 houve um aquecimento progressivo e altos níveis de

umidade, identificado pela alta concentração de vegetação de vereda. Após 8.920 anos AP. houve uma taxa de sedimentação rápida sugerindo o aumento para um clima mais úmido. A partir de 6.000 anos AP. há um declínio progressivo da taxa florestal e um gradual aumento de vegetação de caatinga e cerrado sobre a paisagem. Entre 6.230 a 4.535 anos AP. marca o retorno da vegetação de mosaico composta por mata de galeria, indicando condições climáticas mais úmidas. A queda acentuada da umidade a partir de 4.240 anos AP até o presente é caracterizada pelo aumento da vegetação de caatinga e cerrado, com declínio de espécies de mata de galeria, estabelecendo desde esta data até o presente o padrão climático atual do vale do rio Icatu.

O estudo das variações vegetacionais e climáticas ocorridas no Quaternário Tardio no Brasil teve grande evolução, especialmente nas últimas duas décadas. No entanto muitas áreas ainda não tiveram sua história ecológica levantada ou são pouco conhecidas, como a região da floresta atlântica e a da caatinga nordestina (SOUZA et al, 2005).

A ausência de grãos de pólen em muitos solos e sedimentos direcionou várias pesquisas na busca de alternativas que permitissem o estudo de vegetações fósseis tal como a análise e interpretação de dados biológicos que auxiliassem a compreensão e o desenvolvimento de pesquisas voltadas para vegetações pretéritas.

Os fitólitos, ou opala biogênica e/ou silicofitólitos, são corpos de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) produzidos pelas plantas ao longo dos seus ciclos vegetativos, e possuem dimensões semelhantes às da fração areia muito fina e silte do solo (CARTER 2002). As principais acumuladoras sílica e produtoras de fitólitos são as Poaceae, mas outras famílias de monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas também acumulam quantidades expressivas de sílica (RUNGE 1999).

Por serem as formas e ornamentações da sílica biogênica taxonomicamente únicas (CARTER op.cit.), possibilitam que corpos silicosos de solos e sedimentos sejam usados na reconstituição de paleovegetação e paleoclimas (Figura 10). Embora, algumas pesquisas tenham associado a assembleia fitolítica a grãos de pólen na reconstrução da paleovegetação do Quaternário, a diferença entre os processos de formação, transporte e sedimentação destas taxas precisam ser considerados para uma melhor compreensão e corroboração dos dados apresentados.

Figura 10 - Principais formas e características dos fitólitos

Tipo	Táxon	Ambiente	Representação Madella et al. (2005)
<i>Bilobate short cell</i> (<i>dumbbell</i>) (Barboni et al. 1999)	<u>Gramíneas</u> sobretudo Panicoideae alta C ₄ , também algumas Panicoideae C ₃ ; Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	Quente úmido Áreas à sombra, sob o dossel de florestas tropicais	
<i>Saddle</i> (Barboni et al. 1999)	<u>Gramíneas</u> sobretudo Chloridoideae baixas C ₄ ; algumas Bambusoideae C ₃ , Arundinoideae C ₃	Regiões secas de baixa latitude e altitude ou condições edáficas	
<i>Rondel</i> (<i>conical, circular</i>) (Barboni et al. 1999)	<u>Gramíneas</u> sobretudo Pooideae C ₃ , também Bambusoideae C ₃	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<i>Elongate echinate long cell</i> (<i>elongate spiny</i>) (Barboni et al. 1999)	<u>Gramíneas</u> <i>long cells</i> de todas as gramíneas		
<i>Elongate psilate</i> (<i>elongate smooth</i>)	<u>Gramíneas</u> <i>long cells</i> de todas as gramíneas		
<i>Cylindrical polylobate</i>	<u>Gramíneas</u> predominam nas Panicoideae (C ₄ e C ₃)	Clima quente úmido	
<i>Trapeziform short-cell</i> (<i>rectangular</i>)	<u>Gramíneas</u> Pooideae	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<i>Acicular hair cell</i> (<i>point-shaped</i>)	<u>Gramíneas</u> (<i>micro-hair</i> ou <i>prickles</i> de todas as epidermes); também nas Palmae, sementes de outras plantas		
<i>Bulliform cell</i> <i>Cuneiform</i> (<i>fan-</i> <i>shaped</i>) <i>Parallelepipedal</i>	<u>Gramíneas</u> (células buliformes de todas as epidermes)		
<i>Globular granulate</i> (<i>spherical rugose</i>)	<u>Dicotiledôneas lenhosas</u> (troncos de árvores e arbustos tropicais)		
<i>Globular psilate</i> (<i>spherical smooth</i>)	Dicotiledôneas (epidermes de folhas e parênquima) Gramíneas (raízes e sementes)		
<i>Globular echinate</i> (<i>Crenate spherical</i>)	Troncos e folhas das Arecaceae		

Fonte: Luz et al. (2014)

Ranulpho (2016) desenvolveu o primeiro trabalho para uma área no Nordeste do Brasil inteiramente voltado para reconstrução paleoambiental e geomorfológica através do estudo dos fitólitos. Escreveu que o significado paleoambiental dos silicofitólitos em depósitos de colúvio no período Quaternário superior na face nordeste da bacia sedimentar do Araripe, demonstrou a dinâmica da vegetação correlacionada aos processos de deposição de sedimentos, desde o Pleistoceno superior até o período atual. A correlação dos índices climáticos utilizados a partir da interpretação de morfotipos e a composição de uma assembleia fóssil dos silicofitólitos corroboraram a dinâmica ambiental e geomorfológica dos períodos datados nas seções estratigráficas.

Uma vez incorporados ao solo os fitólitos podem ser preservados ao longo do tempo desde que estejam em condições ambientais favoráveis, protegidos da ação antrópica, livres de lixiviamento e principalmente se estiverem em meio geoquímico oxidante, o que não acontece com outros *proxies* de vegetação (PAISANE, 2015).

É unânime entre os pesquisadores que utilizam dos fitólitos como instrumento de análise e estudos ambientais os cuidados que se deve ter com redundância e multiplicidade, tendo em vista que um fitólito com determinada morfologia pode ser produzido por diversas plantas e que a mesma planta pode produzir diferentes morfologias de fitólitos. Soma-se a tais limitações o fato de que nem todas as espécies vegetais são produtoras de fitólitos, e aquelas que os produzem podem gerar quantidades muito diferentes, como é o caso das Poaceas que são umas das maiores produtoras (RAITZ, 2013 apud Paisane 2015).

De acordo com Piperno (2006), o primeiro trabalho desenvolvido sobre fitólitos foi publicado por Struve no ano de 1835 e constituíram-se objeto de estudos de grande número de botânicos alemães no início do século XX. Porém, esses estudos ficaram à margem da ciência moderna devido à sua morfologia e produção serem insuficientemente compreendidas.

Somente a partir da década de 1970, um grupo de arqueobotânicos (TWISS 1969, ROVNER 1971) começou a explorar a potencialidade da análise fitolítica nas reconstruções paleoambientais, no entanto, tiveram que reiniciar as pesquisas e entender os complexos processos de formação, acumulação e identificação (PIPERNO 1991).

Em seu trabalho, Luz et. al. (2015) organiza as pesquisas de Piperno (2006) e enumera ao menos quatro fases nas pesquisas sobre fitólitos:

I) Fase exploratória – compreendida desde a descoberta por Struve em 1835 a 1895 com o desenvolvimento das pesquisas realizadas por Ehrenberg (1854) apud Mulholland e Rapp (1992), que forjou o termo “Phytolitharia” e formou o primeiro sistema de classificação; II) Fase botânica (1895-1936) – momento no qual os fitólitos passaram a ser o objeto de estudo de um grande número de botânicos alemães, em continuação ao trabalho de Ehrenberg (1854) apud Mulholland e Rapp (1992) que desenvolveram estudos sobre a produção, morfologia e taxonomia dos corpos de sílica (Kieselkörper). Porém as pesquisas foram interrompidas pela emergência do regime nazista e a subsequente II Guerra Mundial; III) Fase ecológica (1955-1975) – período em que se iniciam as aplicações por ecólogos, pedólogos, agrônomos e botânicos, primeiramente nos Estados Unidos, posteriormente no Reino Unido, Austrália e Rússia. Após o estudo realizado por Rovner (1971) as análises fitolíticas começaram a ser difundidas entre os paleoecólogos; IV) Desde 1978 vivenciamos o período da aplicação arqueológica e paleoambiental. Os arqueólogos passaram a utilizar os fitólitos como um marcador *proxy* do registro fóssil das plantas, bem como da domesticação e do ambiente. Nas pesquisas paleoecológicas os fitólitos têm servido como *proxies* sobre a vegetação passada bem como uma poderosa ferramenta complementar aos estudos palinológicos e aqueles envolvendo isótopos estáveis do C da matéria orgânica do solo.

Os fitólitos, devido às suas características intrínsecas (ex: produção relativa às condições fisiológicas e ambientais, resistência a dissolução e ubiquidade) podem constituir um importante indicador do ambiente de formação e dos processos de pedogênese, bem como tafonômicos (OSTERRIETH et. al. 2009).

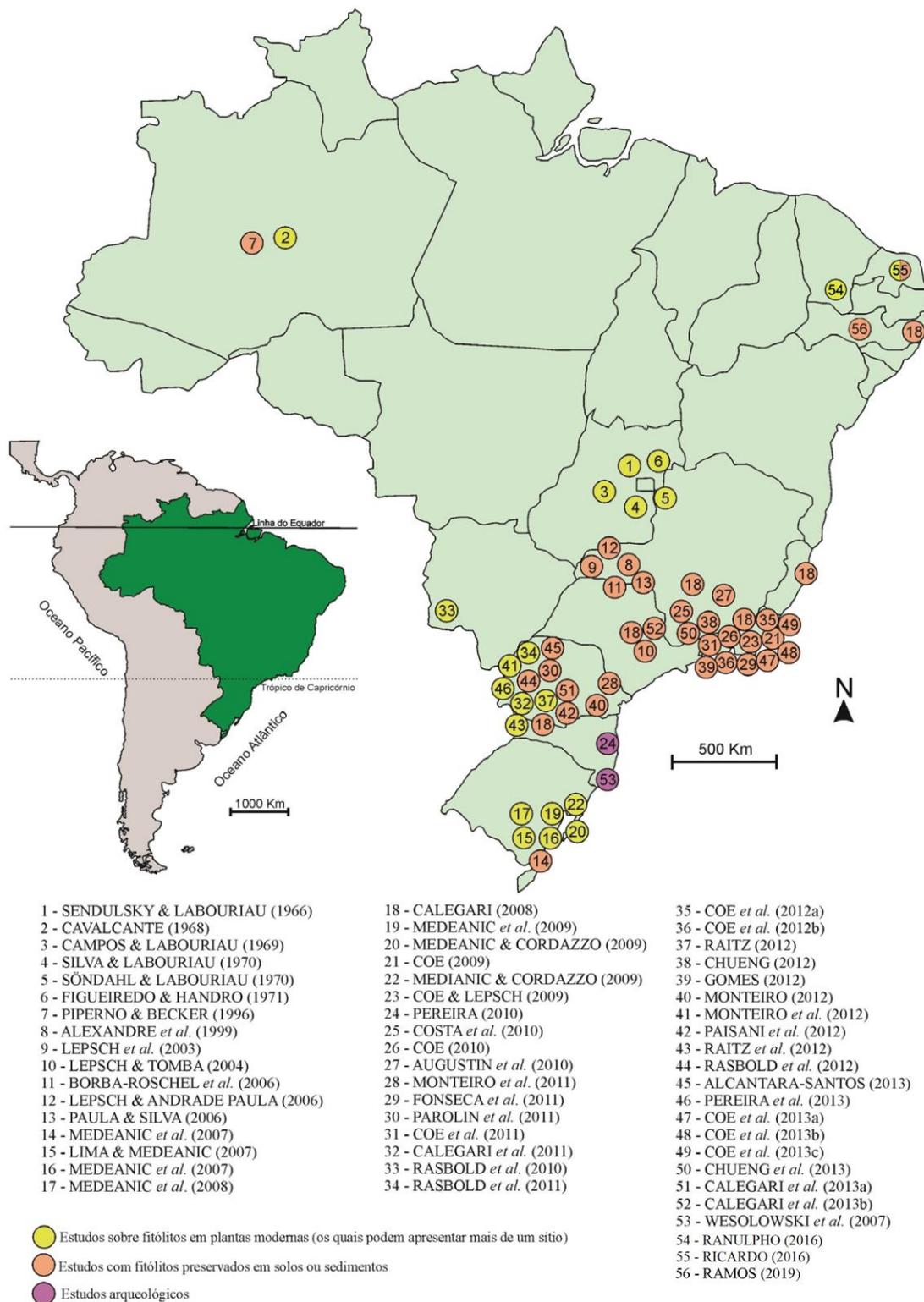
A utilização dos fitólitos como ferramenta de reconstrução paleoambiental depende impreterivelmente das condições da sua estabilidade em solos e em sedimentos. Há amplas evidências de que a preservação dos fitólitos está relacionada a diversos fatores: a) Ph do solo (valores acima de pH 9 que tendem a acelerar o processo de dissolução, principalmente em ambientes quentes e úmidos); b) tipo de fitólito (os fitólitos produzidos nas células são mais duráveis que os produzidos nas paredes celulares); c)

elementos como Fe e Al quando absorvidos juntamente com a sílica parecem proteger os fitólitos contra a dissolução; d) condições favoráveis de preservação no ambiente de deposição e e) superfície do fitólitos, as formas que apresentam maior área são mais atacadas pela dissolução (PIPERNO 2006 apud LUZ, 2014).

Pode-se afirmar que a deficiência de trabalhos voltados para os estudos dos fitólitos com ênfase na reconstrução ambiental tal como a carência das publicações com assembleias fitolíticas contemporâneas comprometem um maior entendimento das condições paleoambientais e paleoclimáticas, dada à ausência de um referencial completo dos morfotipos para a identificação taxonômica em determinados solos/sedimentos.

Luz (Op.cit) afirma que apesar da importância dos fitólitos nas pesquisas arqueológicas, nota-se igualmente a escassez das abordagens, evidenciando-se no presente estudo apenas dois trabalhos, sendo um de fitólitos extraídos de fragmentos de carvão e outro pertinente aos vestígios vegetais em cálculos dentários de grupos sambaquianos. Igualmente observa-se a concentração no Centro-Sul do Brasil (Figura 11), com maior número de publicações nos estados do Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais.

Figura 11 - Distribuição dos trabalhos sobre fitólitos no território nacional



Fonte: Luz *et al.*, (2014), adaptado.

3.7 ESTUDO DOS BIOMINERAIS DE SÍLICA PARA FINS DE RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL – OS BIOINDICADORES

3.7.1 Fitólitos

Esta parte da revisão bibliográfica trata-se de uma explicação geral sobre o que são os fitólitos, como se formam e para que servem. Elaborada com base em Coe e Osterrieth¹ (2014), professoras pesquisadoras responsáveis por grandes contribuições nos estudos sobre fitólitos no âmbito da América do Sul. Destaco que os autores utilizados pelas mesmas são citados aqui por se tratar de traduções/citações indiretas e diretas do material contido no livro.

A palavra “*Phytolith*” em inglês e “fitólito” em português deriva do grego “*Phyto*= planta” e “*lithos*= pedra” e significa pedra produzida por plantas. Piperno (1991; 2006) denomina os fitólitos como sendo pedra de plantas que se formam em partes diferentes das plantas como raízes, troncos, caules, e principalmente nas folhas, resultante do ciclo vegetativo realizado pelas plantas.

Para Luz et. al. (2014) fitólitos são partículas de sílica hidratada que se formam durante o crescimento da planta, e, que são liberadas quando a planta morre e se decompõe.

Sedulsky & Labouriau (1966) afirmam que fitólitos são formados entre (parede celular) e dentre as células vegetais. Já autores como Parry e Smithson (1964) e Bertoldi de Pomar (1975) consideram os fitólitos como biomineralizações presentes nas paredes celulares e/ou espaços extra ou intracelular de tecido vegetal. Eles resultam de um processo de biomineralização com controle biológico, mediado pela matriz orgânica: o organismo - neste caso, as plantas - constrói uma estrutura ou molde no qual os íons são introduzidos e induzidos a precipitar e a cristalizar (EPSTEIN, 2001).

Em sua obra, Coe e Osterrieth (2014), sinalizam que:

Os fitólitos têm quantidades variáveis de água "presa", o que significa que as moléculas podem ser movidas para acomodar a água. A sua estrutura não é de natureza cristalina rígida que

¹Obra consultada: *Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)*

não permite a acumulação de nada dentro. Eles geralmente incluem alumínio, cálcio, ferro e uma porcentagem de compostos orgânicos de células vegetais (PERRY et al., 2006; PIRONON et al. 2001; SMITH & ANDERSON, 2001 apud COE E OSTERRIETH, p. 02, 2014).

Desse modo, o silício (Si) está presente nos solos como ácido monossílico e é absorvido pelas plantas através das raízes (MA e TAKAHASHI, 2002; PIPERNO, 2006), e é movido junto com o fluxo de transpiração através do xilema.

O ácido silícico é ainda mais concentrado através da perda de água (transpiração) e quando a concentração ultrapassa 2mm, é polimerizada. O processo de polimerização de Si converte o ácido silícico em coloidal e, finalmente, sílica gel (MA E TAKAHASHI, 2002), portanto a formação de silicofitolitos é o resultado da polimerização da Si.

Embora a posição sistemática de um táxon seja o principal fator que determina o desenvolvimento de fitólitos de sílica, existem outros fatores que influenciam o processo de silicificação (HODSON et. al., 2005).

Nesse sentido:

O estágio fenológico dos indivíduos, a idade do órgão e o mecanismo de absorção de Si podem explicar as diferenças no teor de sílica encontrada em diferentes espécies [...] A disponibilidade e o teor de ácido silícico nos solos (que também depende da presença de óxidos de Fe e Al e PH), a temperatura (que afeta a taxa de transpiração) e a herbivoria, também podem exercer influência no teor de silicofitolito (MOTOMURA et al., 2002, 2004; MA et al., 2011; FERNANDEZ HONAINÉ et. al., 2013 apud COE e OSTERRIETH, p. 02, 2014).

Assim, a acumulação de Si em tecido tem múltiplos benefícios conhecidos para muitas espécies de plantas. A presença de depósitos de sílica sob a cutícula que forma uma camada dupla de cutícula-Si funciona como uma barreira física que pode impedir mecanicamente a penetração por fungos ou insetos, evitando assim o processo de infecção (MA E YAMAJI, 2006; MASSEY et. al., 2007). Além disso, o silício alivia o estresse abiótico, entre outros, o estresse químico, como o sal, a toxicidade do metal ou o desequilíbrio de nutrientes e o estresse físico, como hospedagem, seca, radiação, alta temperatura, congelamento ou UV (EPSTEIN, 1994; MA E TAKAHASHI, 2002; RICHMOND e SUSSMAN, 2003). Além do papel do Si no alívio de vários

estresses, também melhora a interceptação de luz mantendo as folhas eretas, estimulando assim a fotossíntese (JONES AND HANDRECK, 1967).

Coe e Osterrieth (2014) resumem alguns motivos para a produção de fitólitos nas plantas, a saber: (1) eles fornecem suporte mecânico para as células; (2) eles dão força ao organismo e às estruturas das plantas; (3) eles protegem contra herbívoros e parasitas; (4) eles podem neutralizar ânions e cátions de intoxicação vegetal como o alumínio.

A produção de fitólitos em plantas não é homogênea, pois alguns grupos de plantas são conhecidos como produtores baixos e outros como produtores altos. A produção de fitólitos de nível mais alto é das Poaceae (gramíneas), sua produção é 20 vezes maior do que as dicotiledôneas lenhosas. Nas gramíneas, os fitólitos são particularmente abundantes, com Si atingindo entre 1 e 5% do peso seco (WEBB E LONGSTAFFE, 2000).

A morfologia dos fitólitos tem um valor taxonômico. Os esqueletos de sílica (fitólitos articulados) mantêm a estrutura do tecido vegetal original. Assim, as células que formam o esqueleto podem ser descritas em termos anatômicos (e.g., hair-cell, cell stomata, etc) (MADELLA et. al., 2005).

Coe e Osterrieth (2014) sinalizam que os fitólitos são produzidos em várias partes das plantas:

1. Nas folhas e órgãos reprodutores, principalmente no tecido da epiderme, onde a evapotranspiração (ET) é maior. A concentração de ácido monossilícico é tão grande que Si não circula, precipita.
2. Na epiderme e tecido xilema de troncos de árvores ou arbustos: estes fitólitos podem ser muito interessantes do ponto de vista da informação que eles fornecem sobre taxonomia e tipo de tecido.
3. Nas raízes de gramíneas ou plantas lenhosas: estes fitólitos não fornecem informações taxonômicas ou ecológicas porque o morfotipo é muito pouco característico e repetitivo. Os fitólitos são muito difíceis de identificar ou apresentam um baixo grau de silicificação. (COE E OSTERRIETH, p.06, 2014)

Folhas, flores e frutas são os principais órgãos onde a sílica amorfa é depositada (PIPERNO, 1989). Os caules e as raízes também produzem silicofitólitos em menor grau, especialmente no xilema secundário (WELLE, 1976; HODSON, 1986; LUX ET AL., 2003; MOTOMURA ET AL., 2004; MONTTI ET AL., 2009). Mesmo que o tecido principal onde os silicófitos são

produzidos seja a epiderme, o parênquima, o xilema e o esclerenquima também podem ser silicificados (PIPERNO, 2006).

Nas células bulliformes, que têm o papel específico nas gramíneas de “motor” para abrir e fechar durante as horas mais quentes do dia, quando a evapotranspiração diminui a formação de fitólitos ocorre dentro das células. Sob condições em que há muita Si, as outras células mesófilas também produzem fitólitos. Nas regiões tropicais, a formação de fitólitos articulados (esqueleto de sílica) que consiste em células mesofélicas também são revestidas por Si opala podendo ocorrer frequentemente (COE e OSTERRIETH, 2014).

Em seu trabalho de Dissertação, Ranulpho (2016), agrupa as famílias e subfamílias de acordo com seu significado taxonômico (diagnóstico) e ambiental da seguinte forma:

a) Monocotiledôneas com significado taxonômico - Diagnóstico:

1) Subfamília *Panicoideae* – Poaceae altas de ciclo fotossintético C4, típica dos climas quentes e úmidos ou de solos com forte teor de água disponível, mas existem também algumas *Panicoideae* de ciclo fotossintético em C3, que crescem em áreas de sombra, principalmente sob o dossel das florestas tropicais. Estas Poaceae produzem sobretudo fitólitos de tipos *bilobate* e *cross*.

2) Subfamília *Chloridoideae* – Poaceae baixas de ciclo fotossintético em C4 adaptadas às regiões quentes e secas ou a condições edáficas secas, produzem sobretudo fitólitos de tipo *saddle*.

3) Subfamília *Pooideae* – Poaceae de ciclo C3, abundantes em regiões temperadas, frias e/ou de altitude em zona intertropical, produzem sobretudo fitólitos de tipos *rondel* e *trapeziform*.

4) Família *Arecaceae*: Representada pelas diversas espécies de palmeiras, com ocorrência em regiões tropicais, produzem o morfotipo *globular*, produzido nos troncos e folhas das palmeiras.

b) Monocotiledôneas com significado ambiental:

1) Família *Poaceae*: Englobam todos os morfotipos produzidos por gramíneas, inclusive os morfotipos com significado taxonômico, justificando os princípios de multiplicidade de redundância.

2) Subfamília *Bambusoideae*: *Poaceae* de ciclo C3, características das zonas tropicais e temperadas quentes, essencialmente florestais, não produzem fitólitos de tipo característico.

3.7.2 MICROALGAS E ESPONJAS

3.7.3.1 Espículas de Esponjas Silíceas

As esponjas são animais exclusivamente aquáticos (marinhos e/ou dulciaquícolas) membros do filo Porifera. De vida bentônica sésil, vivem aderidos a substratos rochosos ou mesmo sobre restos de vegetação submersa, incrustando raízes de macrófitas, galhos ou troncos de árvores em regiões que sofrem inundações sazonais, como nas várzeas dos grandes rios amazônicos (Volkmer-Ribeiro 1999 apud Kalinovsk et al 2015).

O esqueleto das esponjas é constituído por espículas (silíceas ou carbonáticas) que ao entrelaçarem-se formam uma trama complexa que dá sustentação ao corpo principal e proporciona uma estrutura de sustentação para as células vivas do animal (Kalinovsk op cit).

Espículas de esponjas vêm sendo utilizadas com sucesso como base para reconstrução paleoambiental do Quaternário em áreas tropicais úmidas, porque possuem a sílica biogênica em sua composição, o que as torna mais resistentes ao intemperismo químico, mesma característica dos fitólitos e frústulas de diatomáceas (Stevaux, 1994 apud Santos et al 2016)

Essas espículas vítreas permanecem no ambiente, mesmo quando uma esponja morre, na qual se desintegra a matéria orgânica, ficando apenas as espículas soltas no sedimento. Por isso, as esponjas de águas continentais vêm sendo utilizadas com sucesso, como instrumento para interpretações de paleoambientes (PAROLIN et al. 2007).

Volkmer-Ribeiro e Parolin (2010), no capítulo denominado AS ESPONJAS do livro *Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná* afirmam que uma característica importante das esponjas continentais foi a da produção de corpos de resistência à seca ou ao congelamento (quando a água de que necessitam para viver deixa de estar disponível para a filtração). Nos períodos que antecedem os processos climáticos de secas estacionais ou acidentais ou de congelamento, as diversas populações de células dessas esponjas regridem ao estado totipotente ou

embrionário, quando passam a ser denominadas de arqueócitos, os quais agrupam-se formando grande quantidade de pequenas esferas, as gêmulas, a seguir revestidas de capas de espongina, onde se implantam espículas diminutas, as gemoscleras, constituindo uma parede externa praticamente vitrificada, como afirma Volkmer-Ribeiro e Parolin (2010):

Assim, as gêmulas garantem que os arqueócitos no seu interior permaneçam com toda a potencialidade para gerarem novas esponjas na próxima estação de águas favoráveis para cada espécie. Esses novos indivíduos, que se originaram dos arqueócitos contidos nas gêmulas, vem a ser clones das esponjas que lhes deram origem, esse processo não corresponde a uma reprodução propriamente dita, mas a uma clonagem, que permite a sobrevivência dessas esponjas em seus ambientes naturais. Além disso, como essas gêmulas tem a capacidade de se desprenderem do corpo da esponja mãe e flutuarem, contribuem também para dispersão das espécies. Nesse processo não existe troca de gametos. Essa ocorre com a reprodução sexuada, que esses animais realizam nos períodos em que o ambiente aquático lhes é favorável (VOLKMER-RIBEIRO e PAROLIN, p.108, 2010).

As esponjas de águas continentais constituem umas das faunas menos conhecidas em todo o mundo. Entre cerca de 11000 espécies de Porífera, apenas 239 foram registradas até o presente. No Brasil, apenas 53 espécies foram registradas e a maioria foi registrada nas Regiões Amazônica e Sul do país, onde os taxonômicos têm se concentrado nas últimas décadas. (NICÁCIO, 2012).

Silva (2015), em sua tese de doutorado disserta sobre os achados fósseis encontrado em suas áreas de coleta, afirmando que além dos fitólitos, foi encontrado grande quantidade de fragmentos de diatomáceas e de espículas de esponja, o qual a autora associou a existência de uma lamina de água, ou água em quantidade suficiente para permitir o desenvolvimento desses palinomorfos. Esses dados não apenas corroboram os deste trabalho como afirmam a existência da dinâmica regional que se reflete em diferentes ambientes dentro do regime semiárido atual do Nordeste do Brasil, enfatizando a importância destes estudos tal como reafirmando a riqueza de informações que ainda podem ser exploradas no contexto dos depósitos confinados.

3.7.3.2 Diatomáceas

As diatomáceas são microalgas siliciosas que ocupam uma grande variedade de habitats (oceanos, estuários, rios, lagos, solos), podem ser indivíduos solitários ou associarem-se a outras células para formarem diferentes tipos de colônias (SANTOS, 2010). São organismos silicosos unicelulares simples, ou formando filamentos ou ainda colônias, extremamente abundantes, com ampla distribuição geográfica.

A presença de diatomáceas em registros fósseis deve-se à natureza resistente de sua parede celular que é composta de sílica, facilitando a formação de depósitos silicosos denominados diatomitos. Tais depósitos são encontrados nos oceanos ou em ambientes limnéticos (SOUZA et al, 2007).

As diatomáceas pertencem a algas protistas, planctônicas. O microfóssil é a frústula silicificada de opalina que envolve as diatomáceas, e que é constituída de duas partes (valvas). As frústulas são feitas de uma substância biomineral complexa constituída principalmente de sílica opalina ligada a um grupo de proteínas. As diatomáceas vivem em uma faixa grande de ambientes, desde salinos até os de água doce, e uma faixa de temperatura que vai das regiões polares às tropicais (SALGADO-LABOURIAU, 2007).

Para Santos (2010) a ocorrência das diatomáceas está associada à grande sensibilidade e rapidez com que respondem às variações no meio ambiente (temperatura, salinidade, quimismo e pH da água). Geralmente encontram-se em grande abundância e diversidade em diferentes meios aquáticos, o que as tornam poderosos marcadores de condições ambientais, climáticas e paleoceanográficas. Deste modo, e porque apresentam resistentes frústulas siliciosas que podem ficar preservadas nos sedimentos, é possível utilizar este grupo para realizar reconstruções paleoclimáticas.

As diatomáceas são usadas neste tipo de estudo devido à resistência de suas paredes celulares, impregnadas por sílica. Sua parede celular conhecida como frústula (que possui a maioria das características necessárias para a sua identificação), é dividida em duas unidades ornamentadas, chamadas valvas, unidas por uma estrutura fina e em camadas, conhecida como cíngulo. Em geral, estão bem preservadas em sedimentos lacustres por longo período de tempo (ROUND et. al., 1990 apud PESSENDA et. al. 2015).

A assembleia de diatomáceas preservadas nos sedimentos pode refletir indiretamente a qualidade da água, especialmente pH, alcalinidade, salinidade, estado trófico, profundidade, entre outras. Estas interpretações podem ser entendidas e relacionadas a mudanças na vegetação terrestre próxima e no solo local, ao impacto de desmatamentos e incêndios, a tectonismo, bem como a mudanças climáticas (BATARBEE, 1986 apud PESSEDA, 2005).

As diatomáceas se mostraram excelentes bioindicadores paleoambientais atualmente sendo utilizadas em diversas partes do mundo. No Brasil os estudos com diatomáceas ainda são escassos e mal estruturados, porém essa área encontra-se em pleno desenvolvimento (RIBEIRO et. al, 2005).

3.7.3 Chrysophyceae

Esta classe é composta de cerca de 1.000 espécies, distribuídas em cerca de 200 gêneros. As espécies têm a particularidade de formar cistos endógenos silicosos de natureza zigótica, que constituem uma fase de resistência e de repouso (Quistes de Chrysophyceae). As crisofíceas são microscópicas, sobretudo unicelulares, solitárias ou coloniais, às vezes filamentosas. Os cistos estão presentes nos sedimentos marinhos e de água doce, do Cretáceo ao Holoceno. Em alguns depósitos, os cistos silicosos das Chrysophyceae podem, às vezes, ser mais abundantes do que as frústulas de diatomáceas. (REVIERS, 2010).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo detalhamos o percurso metodológico adotado. Explicitando a abordagem da pesquisa, os métodos utilizados, incluindo os métodos de campo, laboratoriais e seus respectivos papéis, fundamentais, para o desenvolvimento do presente estudo.

4.1 TRABALHO DE GABINETE

4.1.1 Mapa de localização

A partir de dados altimétricos do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008), fez a extração da bacia do rio Terra Nova. Esta foi plotado, em ambiente SIG, sobre os dados hipsométricos. Fez-se a partir disso a indicação da área de estudo sobre o produto cartográfico resultante.

4.1.2 Mapa geológico

O mapa geológico foi elaborado a partir de dados litológicos e estruturais referentes à Carta Geológica da Folha Salgueiro (SC.24-V-B-III), na escala de 1:100.000 (BRITO, MARINHO, 2014). Os arquivos vetoriais foram adquiridos junto ao GEOSGB, plataforma digital de disponibilização de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os arquivos foram importados para o ambiente SIG, onde fez-se a elaboração do mapa final.

4.1.3 Mapa de solos

Com relação ao mapa pedológico, este foi elaborado a partir de dados da Embrapa (2011), referentes ao mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do estado de Pernambuco. A escala do mapeamento é de 1:300.000. Os dados vetoriais foram importados para o ambiente SIG, onde se procedeu com a elaboração do produto final.

4.1.4 Mapa de direção de fluxo

O mapa de direção de fluxo foi elaborado a partir de dados topográficos adquiridos de Mutzenberg et al. (2013). O MDT possui uma resolução de pixel de 30 cm. Os valores numéricos de direção do fluxo foram convertidos em vetores de pontual, os quais foram convertidos em setas de indicação do sentido de escoamento superficial.

4.2 COLETA DE MATERIAL

Durante as prospeções arqueológicas realizadas pelo Instituto Nacional de Arqueologia, Paleontologia e Ambiente do Semiárido – INAPAS, na área de implantação do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, foram evidenciadas ferramentas líticas na superfície da Lagoa Uri de Cima, o que determinou a realização de atividades de intervenções arqueológicas na área da Lagoa (Figura 12).

Figura 12 - Escavação na Lagoa Uri de Cima

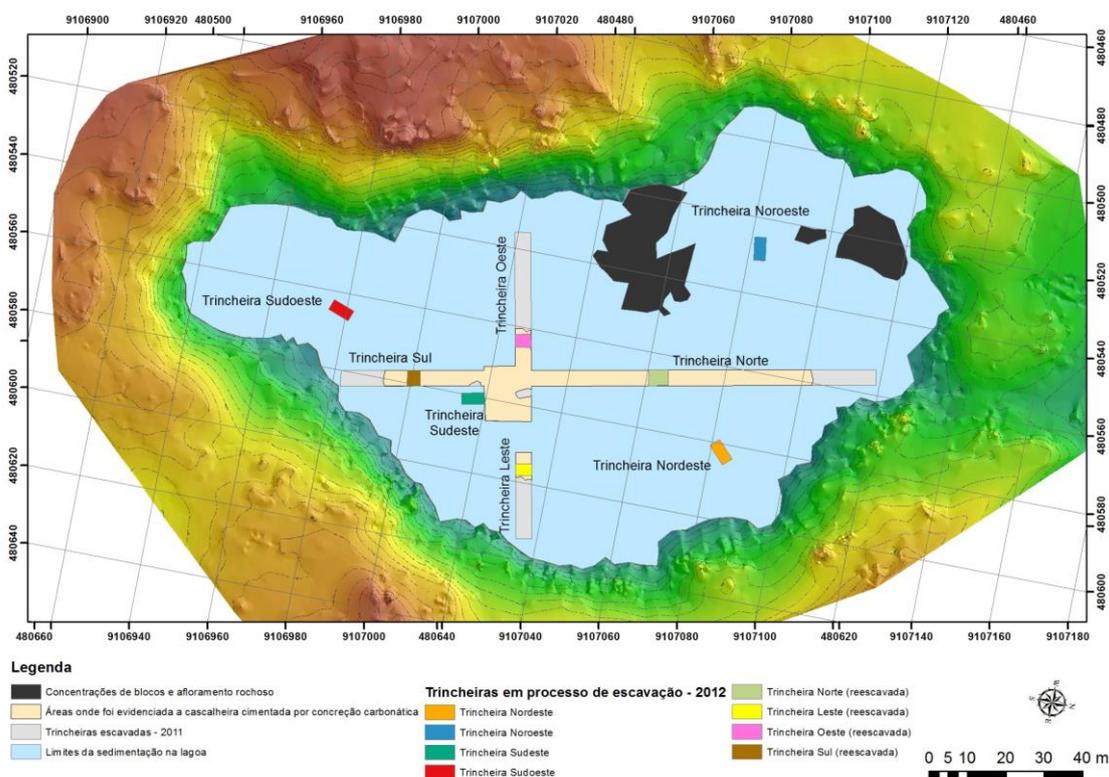


Fonte: Mutzenberg,(2018).

Foram efetuadas três campanhas de escavação entre os anos de 2010 e 2012, com o objetivo de estabelecer a cronoestratigrafia do sítio, a fim de compreender a sua formação e a correlação entre os artefatos líticos e os fósseis da megafauna evidenciados (RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO INAPAS, 2011- 2012).

A escavação do sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima (Figura 13) se deu a partir de sua área central, ampliando trincheiras nas direções norte, sul, leste e oeste e aprofundando-as até atingir uma camada de cascalheira cimentada por concreção carbonática, onde foram encontrados fósseis de megafauna.

Figura 13 – Localização das escavações na Lagoa Uri de Cima



Fonte: Mutzemberg,(2018).

Abaixo da cascalheira, a escavação prosseguiu em alguns pontos até atingir o embasamento subjacente. Enquanto nas bordas da lagoa predominam os afloramentos de rocha sã sob a forma de lajedos, próximo ao depocentro dela a rocha-mãe apresenta-se bastante intemperizada transformada em isalterita de textura argilosa e coloração esverdeada.

A escavação seguiu o método de decapagens orientadas pelos níveis naturais de sedimentação da lagoa. Foi estabelecido um

perfil estratigráfico de referência para definir a continuidade das escavações arqueológicas, que serviu de guia para a escavação de uma área total de 934m². Duas trincheiras com 4m de largura foram abertas, cortando a lagoa transversalmente. Uma com 140m e outra com 80m de comprimento. No depocentro da lagoa, escavou-se uma área mais ampla devido à maior concentração de vestígios naquele setor. Foram escavadas ainda 3 trincheiras de 4m por 3m para verificação da sedimentação nos setores NW, NE e SW da lagoa. Na área mais profunda, a espessura dos sedimentos superou 2m (MUTZEMBERG et al, p. 55, 2013) (Figura 14).

Figura 14 – Perfil estratigráfico guia da Lagoa Uri de Cima.



Fonte: Mutzemberg, (2018)

No decorrer dos procedimentos de reconhecimento e exploração da área onde está localizada a lagoa todos os métodos de coleta foram aplicados a fim de realizar o maior número de investigação científica acerca da área. Sendo assim, a coleta de material para análise e estudo da assembleia fóssil foi realizada com base em metodologias já utilizadas, sendo coletados 50g de sedimento a cada 5cm.

Para a extração de fitólitos, vários métodos têm sido propostos dependendo da natureza e objetivo da pesquisa. De acordo com Zhao & Pearsall (1998) não existem dados comparativos sobre quais procedimentos são os mais adequados para a recuperação de fitólitos em diferentes solos, isso pode variar com a composição química do mesmo. Osterrieth (2008) cita

que é necessário fazer um ajuste e utilizar técnicas diferentes a fim de definir o processo mais adequado para o estudo dos sedimentos.

4.3 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS

4.3.1 A Morfoestratigrafia

Estudar as formas de relevo e entender sua dinâmica de formação e evolução trata-se de uma atividade muito complexa. Inúmeras são as variáveis responsáveis pela dinâmica deste sistema, diferentes litologias, climas e intensidade das ações antrópicas, além de outros fatores que respondem pelo modelado da paisagem.

Desta forma, a compreensão do relevo não pode se dar apenas pela descrição do que se vê ou por modelos teóricos. A abordagem morfoestratigráfica visa correlacionar o estudo das formas à temporalidade e características intrínsecas dos materiais estruturadores da paisagem. A correlação entre as formas de relevo e os depósitos superficiais, torna-se de grande valia para o resgate da história erosiva/deposicional da área de estudo. Trata-se de uma análise baseada na avaliação das características sedimentológicas de cada área, sua relação com os atributos do relevo e sua posição na paisagem, a fim de desvendar a sequência histórica da evolução geomorfológica.

Sobre morfoestratigrafia, Suguio (1999) afirma que esta é de vital importância para a reconstituição da história da evolução geomorfológica de uma área, onde possam ser identificadas as superfícies e seus materiais, estabelecendo dessa forma a relação de antiguidade entre as unidades e sua correlação com áreas mais amplas.

Uma das técnicas mais utilizadas pelos geomorfólogos para reconstrução paleoambiental consiste na morfoestratigrafia, que buscará desvendar a que tipo de eventos e dinâmicas os materiais constituintes foram submetidos. Este conceito teve sua origem com Frye & Willman (1962) quando definiram as unidades morfoestratigráficas como compreendendo corpos litológicos identificados, basicamente, através das formas de relevo a eles associadas, podendo ou não ser distintos litologicamente das unidades contíguas, subordinando assim, a estratigrafia às formas de relevo. Segundo os

autores, uma unidade morfoestratigráfica é um “corpo sedimentar identificável, antes de tudo, pela forma exibida em superfície, e distinguível ou não, pela litologia e/ou idades das unidades adjacentes”.

4.3.2 Granulometria

Os resultados da distribuição granulométrica podem ser empregados na interpretação dos ambientes deposicionais de sedimentos antigos. O princípio básico dessa metodologia é que os sedimentos de ambientes modernos têm os seus parâmetros granulométricos condicionados pelos níveis de energia característicos de cada ambiente. Então, se as diferenças entre os parâmetros granulométricos de sedimentos de diversos ambientes puderem ser quantitativamente estabelecidas, torna-se possível comparar os resultados de análise de sedimentos antigos, de origens desconhecidas com os de sedimentos modernos de ambientes conhecidos, para a interpretação de paleoambientes deposicionais (SUGUIO, 2003).

A análise sedimentológica tem por finalidade a caracterização granulométrica dos sedimentos. A obtenção de dados numéricos para tal estudo foi adquirida, em parte, no método Gale e Hoare (1991) e métodos convencionais. Tal procedimento foi realizado no Laboratório de Geomorfologia do Quaternário/GEQUA do Departamento de Ciências geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

Para a separação dos sedimentos finos e grossos, foram quarteadas 1000g de cada amostra até que esta chegasse a 100g, isto é necessário para que todas as diversas propriedades da amostra sejam preservadas e demonstradas na porção de 100g. Após este procedimento os 100g são postos em 5g de Hexametáfosfato de Sódio dissolvidos em 1000ml de água destilada e levado ao agitador mecânico por 30 min com o objetivo de desflocular o silte e a argila dos outros componentes. Após este processo toda a solução com amostra é lavada com água destilada em uma peneira de 62 μ m e levado para secar em estufa à 60°C. Após este processo, as amostras são novamente pesadas, pois a diferença demonstra a quantidade de silte e argila que havia nesta amostra. Após a pesagem a amostra é levada para um jogo de peneiras com intervalos sucessivos de 1phi (Φ), que serão expostas por 10 minutos no

Rotap para a determinação de areia muito fina, areia fina, areia, areia media, areia grossa, cascalho.

Em seguida, procedeu-se a separação das frações de silte e argila, através do método da pipetagem, esta foi realizada com base no trabalho de Lewis e McConchie (1994), que consiste na obtenção de 20g de amostra a partir da quarteação, esta porção é lavada, utilizando a peneira de 62 μm , com uma solução de 5,0g de Hexametafosfato de Sódio para 1000ml de água destilada e posta na proveta. Seguindo a tabela de tempo e profundidade em relação à temperatura em que as amostras devem ser coletadas, o material contendo diferentes tamanhos de partículas foi pipetado e depositado em beckers previamente pesados e numerados. Após o procedimento, o material foi transferido para estufa e secado a temperatura de 105°C. Após a secagem, os beckers foram pesados para averiguação da quantidade de material coletado.

Em função das características identificadas nos sedimentos estudados na área se faz pertinente uma breve explanação sobre os argilominerais (minerais de argila). Para Suguio (2003) o termo argila "latu sensu", não possui necessariamente uma conotação mineralógica, sendo aplicado a todas as partículas com granulação fina encontradas em sedimentos e solos. Este é um conceito de argila, baseado na granulometria, segundo o qual, independentemente da composição química ou mineralógica compreende partículas com diâmetro inferior a 0,004mm ou 0,002 segundo outros autores.

Outra definição de argila é baseada na composição química. Segundo essa definição, as argilas compreendem silicatos de alumínio hidratados pertencentes aos grupos de caulinita, esmectita, illita e também clorita e vermiculita, de granulação fina. A história de qualquer sedimento argiloso inicia-se em geral, com a decomposição de feldspatos ou de outros minerais aluminossilicatados, sendo os argilominerais os produtos finais (SUGUIO, 2003). Desta forma o estágio de evolução mineralógica de um depósito pode ser indiretamente aferido com base nos tipos de argilo-minerais identificados em sua composição, o que constitui mais uma ferramenta para a caracterização dos ambientes sin e pós-deposicionais das coberturas superficiais.

Os valores obtidos em gramas para cada fração granulométrica foram submetidos a tratamento seguindo os parâmetros estatísticos de Folk e Ward

(1957), tendo sido calculados o diâmetro médio, o grau de seleção, o grau de assimetria e curtose (Tabelas 2, 3 e 4); e para a classificação dos sedimentos foi usado o diagrama de Shepard, Pejrup e Folk utilizando o programa SysGran 3.0.

Tabela 2 - Escala qualitativa para descrição do grau de seleção

GRAU DE SELEÇÃO	VALOR
Muito bem selecionado	< 0,35
Bem selecionado	0,35 a 0,50
Moderadamente selecionado	0,50 a 1,00
Pobremente selecionado	1,00 a 2,00
Muito pobremente selecionado	2,00 a 4,00
Extremamente mal selecionado	>4,00

Fonte: Folk & Ward (1957)

Tabela 3 - Escala qualitativa para descrição do grau assimetria

ASSIMETRIA	VALOR
Assimetria muito negativa	-1,00 a -0,30
Assimetria negativa	-0,3 a -0,10
Aproximadamente simétrica	-0,10 a 0,10
Assimetria positiva	0,10 a 0,30
Assimetria muito positiva	0,30 a 1,00

Fonte: Folk & Ward (1957)

Tabela 4 - Escala qualitativa para classificação dos valores de curtose

CURTOSE	VALOR
Muito platicúrtica	< 0,67
Platicúrtica	0,67 a 0,90
Mesocúrtica	0,90 a 1,11
Leptocúrtica	1,11 a 1,50
Muito leptocúrtica	1,50 a 3,00

Fonte: Folk & Ward (1957)

As distribuições granulométricas podem auxiliar na identificação dos ambientes deposicionais, mas deve-se tomar o cuidado de realizar a interpretação baseada no contexto global. Os resultados dessas análises devem ser confrontados com outros parâmetros obtidos no laboratório e no

campo na reconstituição da evolução geológica da área de estudo (SUGUIO, 2003).

4.3.2.1 Pipetagem

Este procedimento diz respeito à separação dos finos. Tendo como alvo a separação das frações silte e argila, foram utilizadas as recomendações do trabalho de Gale & Hoare (1991), que consiste na obtenção de 20g de amostra representativa pelo método de quarteação. Utilizando a peneira de 62 μ m o material foi lavado em solução de 5g de Hexametáfosfato de sódio para 1000ml de água destilada. Seguindo a tabela de tempo e profundidade em relação à temperatura em que as amostras devem ser coletadas, o material contendo diferentes tamanhos de partículas foi pipetado e depositado em beckers previamente pesados e numerados. Feito isso, o material coletado foi transferido para estufa e secado a temperatura de 105°C, onde após a secagem, os beckers foram pesados para averiguação da quantidade de material coletado, para posteriormente ser realizada a Difratomia de Raio X.

4.3.3 Morfometria

A morfometria compreende a medida da forma (ou esfericidade) e arredondamento das partículas sedimentares visando fornecer informação sobre os agentes e/ou ambientes deposicionais.

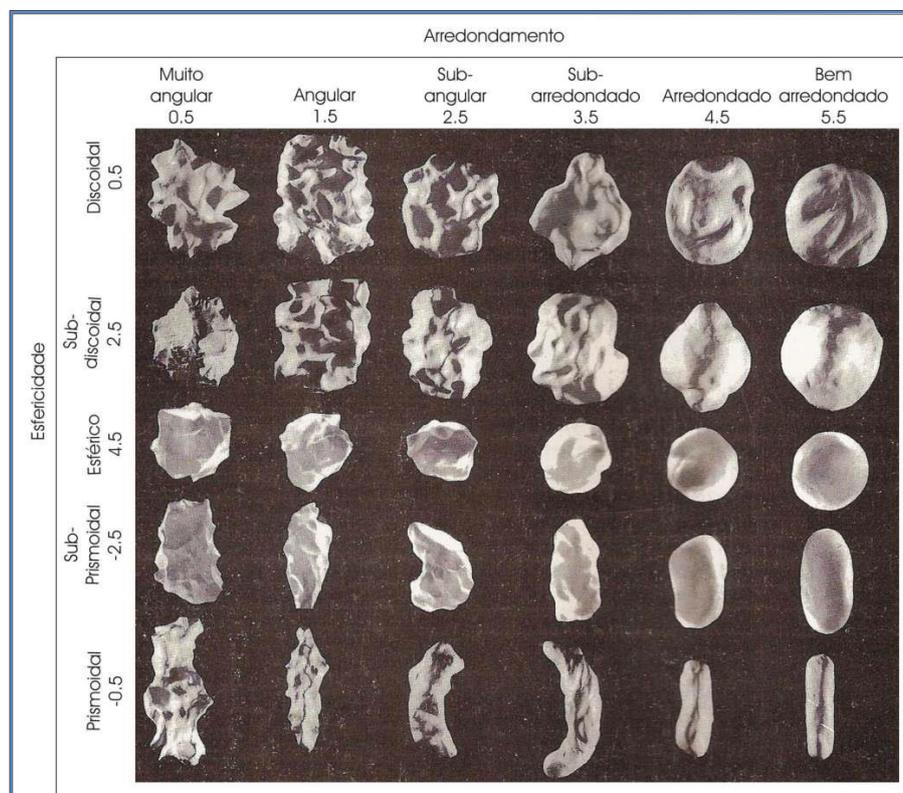
Para Suguio (2013) os parâmetros morfométricos dependem muito do meio (ou agente) de transporte e do modo de transporte. Entretanto, fatores de controle importantes são também as composições química e/ou mineralógica, além da estrutura interna e forma original do fragmento. Uma rocha bem estratificada ou com xistosidade bem desenvolvida tende a produzir fragmentos tabulares ou alongados, enquanto rochas homogêneas tendem a produzir fragmentos esferoidais.

A forma das partículas que constituem um determinado depósito sedimentar, ao menos parcialmente, é resultante dos mecanismos de seleção hidráulica das partículas, de acordo com as suas formas. É provável que o efeito de seleção hidráulica, segundo a forma dependa também da granulometria das partículas associadas, pois um seixo esférico pode rolar

facilmente sobre um leito arenoso, o que não sucede se o leito for composto por seixos de tamanho igual ou superior (SUGUIO, 2013).

Para aplicação do método, em cada amostra foram selecionados 100 grãos na fração de 0,250mm, onde foram analisados o grau de arredondamento, esfericidade e mineralogia dos grãos. Esta análise permite caracterizar qualitativamente e quantitativamente o material, possibilitando a identificação dos processos operantes durante a dinâmica deposicional. Visando tornar mais objetivo o grau de arredondamento avaliado, foram definidas as categorias: muito angular (0,5); angular (1,5); subangular (2,5); subarredondado (3,5); arredondado (4,5); e bem arredondado (5,5); e para o grau de esfericidade foram definidas as seguintes categorias: esfericidade alta (0,5 e 4,5); esfericidade média (-2,5) e baixa esfericidade (-0,5), cujo arredondamento foi previamente calculado de acordo com o procedimento descrito por Tucker (1995) (Figura 15).

Figura 15 – Diagrama representando os diferentes graus de arredondamento e esfericidade



Fonte: Powers (1982 *apud* Tucker, 1995).

4.3.4 Difractometria de Raios X (DRX)

Devido às dificuldades de estudo microscópico, os argilominerais são identificados principalmente pela técnica de difração de raios X. Na prática, o método de identificação é definido em função de suas propriedades físicas. Uma sequencia adequada de estudos desses minerais pode ser iniciada com a composição mineralógica, seguida de exame em seção delgada para se estabelecer as relações dos argilominerais com outros minerais (SUGUIO, 2003).

De acordo com Sugio (2003) a clivagem basal e a estrutura em leitos fornecem os elementos necessários para que ocorra a reflexão de raios X com espaçamento (001), principalmente em agregados mineralógicos orientados. Esses reflexos podem ser reconhecidos nos difratogramas, onde a distância interplanar define o grupo estrutural ao qual pertencem os argilominerais. Os espaçamentos de cerca de 7, 10 e 14 (angstroms) são característicos da caulinita, illita e esmectita, respectivamente.

Os difratogramas deste trabalho foram realizados no Laboratório de caracterização estrutural (LACE) sob-responsabilidade do professor Dr. João Maria Soares na UERN, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

4.3.5 Extração dos Fitólitos e outros Biominerais de Sílica

Os fitólitos ou corpos silicosos, são constituídos de sílica amorfa e se formam dentro do tecido das folhas ou na epiderme em algumas famílias de plantas, como nas gramíneas, ciperáceas e as palmeiras. Em cada família, as formas dos fitólitos são características e podem ser identificadas a nível de família. Eles podem apresentar-se isolados ou dentro de um fragmento de epiderme.

Devido à importância das gramíneas para a interpretação paleoecológica (campo/floresta) e arqueológica (cereais, forrageiras e outras) e por ser o pólen nesta família muito homogêneo, existe uma procura constante de outras maneiras de identificar quais eram os gêneros e espécies de gramíneas que faziam parte dos ecossistemas no passado e quais eram os que foram cultivados pelo homem. O pólen de gramíneas é muito frequente nas análises de sedimentos quaternários. Geralmente todas as gramíneas são contadas

juntas porque não é possível distingui-las ao nível de gênero e nem sequer separá-la por hábitat, como aquáticas, terrestres, florestais, etc (Salgado Labouriau & Rinaldi, 1990 apud Labouriau 2007).

O processo de extração química dos fitólitos em sedimentos foi realizado de acordo com a metodologia utilizada pela professora pesquisadora Margarita Osterrieth, nas dependências do *Instituto de Geologia e Costa e do Grupo de Pesquisa de Geologia de Solos e Ambientes Sedimentarios da Universidad Nacional de Mar del Plata*. Os ajustes ao método foram sendo aplicados sempre que necessário sob orientação da professora Margarita no momento de extração, variando a partir das características intrínsecas dos materiais coletados.

A técnica de análise de fitolítica consistiu em quatro etapas, sendo elas: coleta de amostras, extração de fitólitos, contagem e classificação de morfotipos e índices fitolíticos.

O protocolo utilizado se baseou em Osterrieth e consistiu em seleção de cerca de 5g de material previamente desagregado (Figura 16/A). Para eliminação dos carbonatos foram agregados 5ml de HCl a 10% na capela em banho maria (Figura 16/B), o procedimento seria repetido sempre que necessário, observando-se as reações químicas (Figura 16/C). Uma vez cessada as reações lavar o material com água destilada, por decantação, o processo poderá ser repetido várias vezes. Para eliminar a matéria orgânica deve-se agregar água oxigenada a 30% (Figura 16/D) nas amostras e colocá-las em banho termostático (Figura 16/E), esse processo pode durar dias ou semanas, a medida que a água oxigenada vai evaporando deve-se agregar mais até que pare de borbulhar. Deve ter cuidado para que a água não seque. Uma vez finalizada a eliminação de matéria orgânica deve-se retirar as amostras dos banhos, agregar água destilada e deixar decantar (Figura 16/F).

Figura 16 – Etapas para extração dos fitólitos



Fonte: Autora (2019).

Para dispersão de argilas e posterior eliminação das mesmas deve-se agregar 10ml de hexametáfosfato de sódio (Figura 17/A) e leva-las ao banho ultrassônico por 15-20 minutos (Figura 17/B), podendo repetir varias vezes ate observar completa dispersão das partículas. Uma vez dispersa as argilas, se coloca as amostras em tubos de centrifuga (Figura 17/C) e se centrifuga por 3 minutos a 1000rpm (Figura 17/D). O sobrenadante se descarta e se continua o procedimento ate que o sobrenadante fique limpo. Uma vez finalizada a eliminação de argilas, se guarda o precipitado. Se toma uma pequena alíquota (Figura 17/E), seca e se monta em azeite de imersão para observação no microscópio da amostra total.

Na sequência foram confeccionadas lâminas (Figura 17/F) para a contagem no microscópio petrográfico (Figura 17/G e H) da concentração de fitólitos em relação à fração mineral e para a classificação de morfotipos. A etapa de contagem e classificação de morfotipos de fitólitos para as lâminas de contagem foram individualizados os fitólitos em relação aos grãos de minerais. O universo de observação no microscópio foi dividido em campos visuais onde se contou 500 grãos de forma sistemática individualizando sua constituição em fitólitos e minerais variados (OSTERRIETH et al., 2009).

Índices fitolíticos têm sido propostos para auxiliar interpretações ambientais e taxônomicas (Twiss, 1992; Alexandre et al.,1997; Barboni et al., 1999; Bremond et al., 2005a,b; Barboni et al., 2007; Bremond, 2008; Calegari, 2008; Coe, 2009; Coe e Osterrieth et. al., 2014). No presente trabalho os índices foram calculados pelos autores para cada nível amostrado.

Figura 17 – Etapas para extração dos fitólitos, preparação de lâminas e análise.



Fonte: Autora (2019).

4.4 ÍNDICES FITOLÍTICOS

A reconstrução da história das paisagens baseada nos índices fitolíticos foi iniciada a partir de trabalhos para reconstituição do paleoclima utilizando as Poaceae nas savanas africanas e pradarias norte americanas, e a dinâmica da paleovegetação utilizando microfósseis marinhos do oeste Africano. A partir da constituição das assembleias de fitólitos da vegetação de gramíneas e de sedimentos (microfósseis) (Twiss 1992; Diester-Hass, Schrader, Thiede 1973; Alexandre et al. 1997 apud Ranupho 2016) foram definidos índices entre a proporção dos morfotipos de Poaceae e dicotiledôneas, e entre os morfotipos de subfamílias de Poaceae, descritos a seguir:

4.4.1 Índice de Cobertura Arbórea (D/P)

Este índice é utilizado para estimar a densidade da cobertura arbórea, desenvolvido por Alexandre et. al. (1997). Consiste na relação d/p onde d= número de fitólitos de dicotiledôneas (globular) e p= número de fitólitos de Poaceae (Pooideae, Chloridoideae e Panicoideae). Valores elevados significam maior proporção de dicotiledôneas (arbóreas e arbustivas), indicativo de vegetação mais fechada; valores mais baixos marcam o predomínio de Poaceae, indicando vegetação mais aberta (campos/pradarias) (ALEXANDRE et. al. 1997).

Para as zonas tropicais não existem valores fixos para definir os limites, mas tendências de aumento ou diminuição dos valores de acordo com as fitofisionomias. Dentre os trabalhos pioneiros com este índice, podemos citar como referência os valores superior a 150 para uma floresta equatorial, de 7 a 10 para uma floresta perene (ALEXANDRE et. al., 1997), de 0,33 a 1,16 para uma savana alta, de 0 a 0,1 para savanas baixas e estepes (BREMOND et. al., 2005).

$D/P = \text{Globular granulate .}$

$\text{bilobate short cell + cross + saddle + acicular + elongate +}$
 $\text{cuneiform e parallepiped bulliform cells}$

(todos os fitólitos de gramíneas)

4.4.2 Índice de Adaptação à Aridez - *Iph*

Este índice foi desenvolvido inicialmente por Diester-Hass; Schrader; Thiede (1973) a partir de microfósseis de sedimentos marinhos e fitólitos da África Ocidental, para identificar transições entre umidade-aridez durante o Pleistoceno e Holoceno.

Baseia-se na relação da quantidade de fitólitos *Chloridoideae* x *Chloridoideae* + *Panicoideae* (TWISS, 1992). Este índice expressa a porcentagem de *Chloridoideae* entre as *Poaceae* C4. Valores mais altos de *Iph* sugerem campos e/ou pradarias dominados por *Chloridoideae*, representadas pelas poáceas xerófitas, indicando condições de clima e/ou edáficas secas. Baixo *Iph* indica predomínio de *Panicoideae*, poáceas mesófilas sugerindo condições mais úmidas.

Utilizando como referência em trabalhos Na África Oriental, onde predominam condições mais áridas que no Oeste, o valor limite do índice *Iph* é 40. Assim, um *Iph* > 40 caracteriza as regiões áridas associadas a fases áridas do norte do Saara durante o Pleistoceno /Holoceno (BARBONI et al., 1999). Os valores do índice *Iph* entre 40 e 45 podem distinguir a vegetação adaptada às condições áridas ou úmidas (*Iph* < 40-45 – pradarias com gramíneas altas; *Iph* > 40-45 – pradarias com gramíneas baixas) (COE 2009).

$$Iph (\%) = \frac{Saddle}{Saddle + Cross + Billobate\ short\ cell} \times 100$$

4.4.3 Índice Climático – *Ic*

Foi proposto por Twiss (1987;1992) para estimar a proporção relativa de *Poaceae* C3 nas pradarias norte americanas. É definido a partir da relação entre os morfotipos *Pooideae* x *Pooideae* + *Chloridoideae* + *Panicoideae*. Altos valores indicam predomínio de *Pooideae*, *Poaceae* C3 e sugerem clima frio caracterizando as altas latitudes e altas altitudes. Fredlund e Tienszen (1994) definiram que valores >70% indicam domínio de *Pooideae* C3, enquanto < 30% indica o limite para distinguir *Poaceae* C4 nas pradarias americanas (CALEGARI, 2008). A relação entre vegetação de ciclo C3 e C4 está ligada às condições climáticas como temperatura, CO₂ e umidade do solo. Em zona

intertropical as gramíneas C3 são limitadas, enquanto as formações herbáceas de baixas altitudes são dominadas pelas C4 e as de alta altitude são constituídas pelas plantas de ciclo C3 (COE 2009).

$$Ic (\%) = \frac{\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate} + \text{Trapeziform short cell}}{\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate short cell} + \text{Trapeziform short cell} + \text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell}} \times 100$$

4.4.4 Índice de Estresse Hídrico (**Bi – *bulliform cell index***) / (**Fs – *fan shaped index***)

O índice de estresse hídrico (Fs) é a proporção do morfotipo *bulliform cuneiform* (*fan-shaped*) em relação ao total de fitólitos de gramíneas (BREMONT et al, 2005). A planta quando sob estresse hídrico e conseqüentemente maior transpiração, produzem células buliformes silicificadas em maior quantidade, estas que são parte da epiderme das gramíneas e outras monocotiledôneas. A proporção de células buliformes silicificadas entre as assembleias fitolíticas aumenta quando a razão da evapotranspiração real / evapotranspiração potencial regional diminui.

$$Bi \% (Fs) = \frac{\text{Bulliform}}{\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform}} \times 100$$

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo abordamos os resultados desta pesquisa. Ressaltamos que, as análises foram guiadas pelos níveis (camadas) sedimentares identificadas na Lagoa Uri de Cima. Os dados obtidos estão expostos em forma de gráficos e imagens, a fim de facilitar o entendimento e melhorar a explanação, junto à análise dos referidos dados.

5.1 SÍTIO ARQUEOLÓGICO LAGOA URI DE CIMA

No município de Salgueiro, onde se localiza a Lagoa Uri de Cima (Figura 18), a sedimentação quaternária encontra-se, em sua maioria, associada à ocorrência de marmitas de dissolução, sendo estes os principais compartimentos de estocagem de sedimentos nas paisagens semiáridas aqui consideradas.

As descrições da seção vertical, reproduzindo as unidades deposicionais e sua classificação, foram realizadas levando-se em consideração a relação entre a geometria do depósito e suas propriedades sedimentológicas.

A Paleolagoa em questão vem sendo estudada em diversas possibilidades de pesquisa. Este tipo de sítio, em ambiente lacustre, tem permitido através de estudos interdisciplinares nas áreas de arqueologia, paleontologia, sedimentologia e geomorfologia, identificar diferentes momentos ambientais, viabilizando o avanço no conhecimento, para a região semiárida do Nordeste do Brasil, sobre sua evolução ambiental, mudanças climáticas e, conseqüentemente, da interação homem/meio (MACEDO, 2016).

Sendo assim, serão apresentados resultados biológicos para os sedimentos de preenchimento da lagoa, buscando-se corroborar ou não resultados já apresentados sobre as mudanças ambientais da área. A aplicação deste novo proxy à área pode abrir novas possibilidades interpretativas bem como fomentar a discussão sobre o significado de dados aparentemente ambíguos ou contraditórios.

Figura 18 – Lagoa do Uri de Cima situada na depressão sertaneja



Fonte: Souza (2018).

5.2 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA DO DEPÓSITO

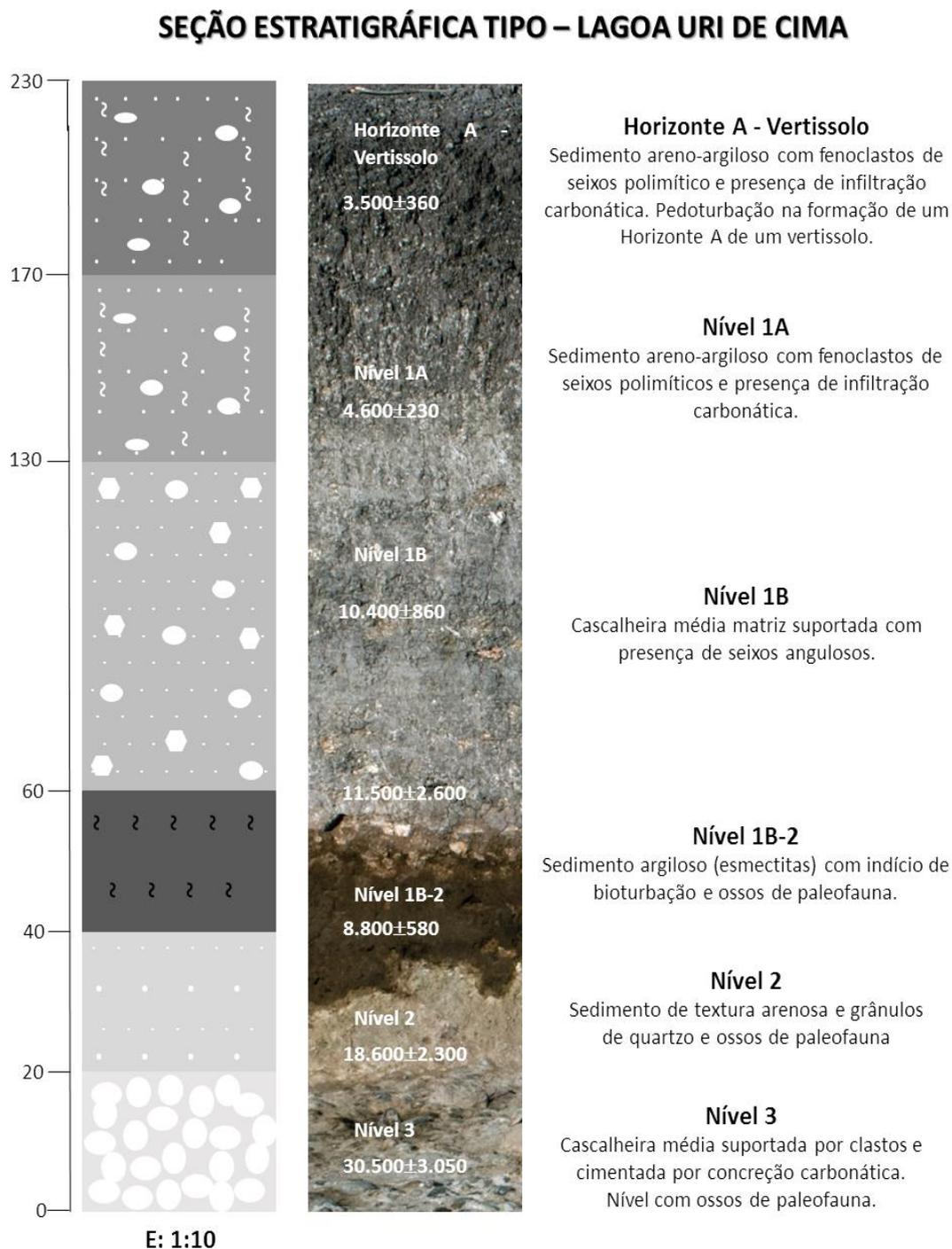
A análise sedimentológica responde a questões cruciais a respeito do ambiente deposicional. O tamanho e a seleção dos grãos, tal como a quantidade de finos e grossos, forma e textura, são elementos que quando analisados em conjunto permitem inferir processos ocorridos no ambiente durante a remobilização, transporte e a deposição do material.

Dentro desta perspectiva, como as unidades deposicionais mantêm uma relação estreita com a presente morfologia superficial, torna-se necessária uma comparação entre a geometria do depósito e a forma superficial para a criação de um modelo adequado de evolução morfoestratigráfica da paisagem (CORRÊA, 2001).

As coletas de material para análises laboratoriais foram realizadas dentre as camadas observadas ao longo das trincheiras escavadas em campo por pesquisadores do Departamento de Arqueologia da UFPE e seus colaboradores (Figura 19). O depósito que preenche a marmitta apresenta espessura de 2,30 metros da base ao topo, exibindo cinco unidades estratigráficas distintas, onde foram recuperados uma amostra de cada nível

para esta análise, com exceção do nível 3 cuja estrutura não permitiu a coleta. Os materiais foram submetidos a ensaios granulométrico e sedimentológico, a fim de caracterizar sua matriz constituinte.

Figura 19 – Seção estratigráfica da Lagoa do Uri de Cima



Fonte: Mutzemberg (2013) – Modificado.

A avaliação da dispersão das percentagens granulométricas para a matriz dos sedimentos estudados (frações areia e silte/argila) indica que os sedimentos são muito pobremente selecionados. Camargo Filho e Bigarella (1998) afirmam que o coeficiente de seleção indica uma variação nas condições presentes no fluido transportador, seja na velocidade, seja no grau de turbulência. Portanto, a seleção é o resultado do processo de sedimentação que atua sobre o material, e os depósitos com distribuição granulométrica heterogênea tendem a ser muito pobremente selecionados (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros estatísticos quanto seleção, assimetria e curtose, para a Lagoa do Uri.

AMOSTRAS	SELEÇÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
Vertissolo	Muito pobremente selecionado 3,146	- 0,8596	Muito negativa 1,136 Leptocúrtica
Nível 1A	Muito pobremente selecionado 2,191	- 0,8089	Muito negativa 5,137 lepto-cúrtica
Nível 1B	Muito pobremente selecionado 3,509	- 0,8655	Muito negativa 0,6514 Muito platicúrtica
Nível 1B-2	Muito pobremente selecionado 3,997	- 0,3423	Muito positiva 0,4501 Muito platicúrtica
Nível 2	Muito pobremente selecionado 3,963	- 0,1727	Positiva 0,5367 Muito platicúrtica

Fonte: Autora (2019).

A assimetria é uma medida de simetria da distribuição textural e fornece indicações sobre a natureza do fluxo transportador dos sedimentos, se unidirecional (assimetria positiva) ou bidirecional (assimetria negativa). Os valores de assimetria muito positiva estão relacionados às fácies areno-argilosas e as muito negativas àquelas argilo-arenosas e argilo-sílticas (BIGARELLA et. al., 1975).

A assimetria muito positiva reflete o caráter areno-argiloso do material com certa concentração de grossos, que de acordo com Thomas (1998) confirma o modelo de formação de colúvio arenoso em ambientes tropicais semiáridos por evacuação dos finos. De acordo com Bigarella (Op. cit.) essas distribuições polimodais, que apresentam valores variáveis de assimetria caracterizam-se como resultado de depósitos decorrentes de fluxos gravitacionais, resultando na atual configuração dos valores obtidos, uma cauda de grosseiros com concentração de finos, o que explica a predominância dos valores negativos obtidos na assimetria.

Já a curtose gráfica reflete o grau de achatamento da distribuição granulométrica em comparação com a curva de distribuição normal – curva em sino. Segundo MacManus (1988), curvas muito achatadas de sedimentos pobremente selecionados ou aquelas de distribuições polimodais são platicúrticas, enquanto que as curvas de amostras extremamente bem selecionadas nos setores centrais da distribuição são leptocúrticas. Para Camargo Filho e Bigarella (1998) esta análise reflete a dinâmica envolvida nos processos subaéreos, sendo os atributos platicúrticos a muito platicúrticos indicadores de movimentação mais curta dos sedimentos, enquanto padrões leptocúrticos a muito leptocúrticos indicam que os sedimentos se deslocam por uma distância maior.

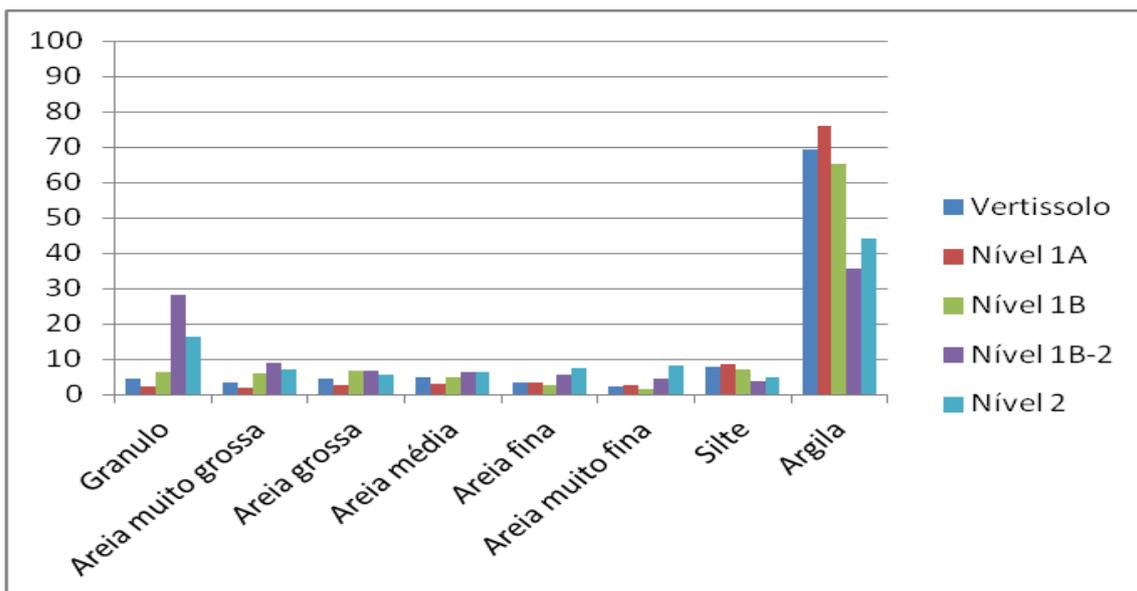
Com base na avaliação dos resultados granulométricos pode-se considerar que a natureza dos sedimentos é consequência da litologia dominante na área, e que de acordo com os parâmetros estatísticos obtidos, os sedimentos foram possivelmente transportados por fluxos gravitacionais do tipo corridas de lama.

Esses resultados confirmam a hipótese sugerida por Silva & Corrêa (2004), Silva (2013) e Melo et. al. (2012), de que há um controle direto dos mantos de alteração, elaborados sob condições semiáridas, sobre o fornecimento de material para os ambientes de encostas, mediante um regime de transporte de alta energia.

Os gráficos abaixo (histogramas e diagramas) servem para ilustrar a textura da matriz dos sedimentos, que no geral apresenta-se fina, corroborando os parâmetros estatísticos demonstrados acima (Figuras 20 a 31). Os mesmos ilustram a hidrodinâmica atuante em cada nível tal como o predomínio das classes granulométricas. A hidrodinâmica para a maioria dos níveis

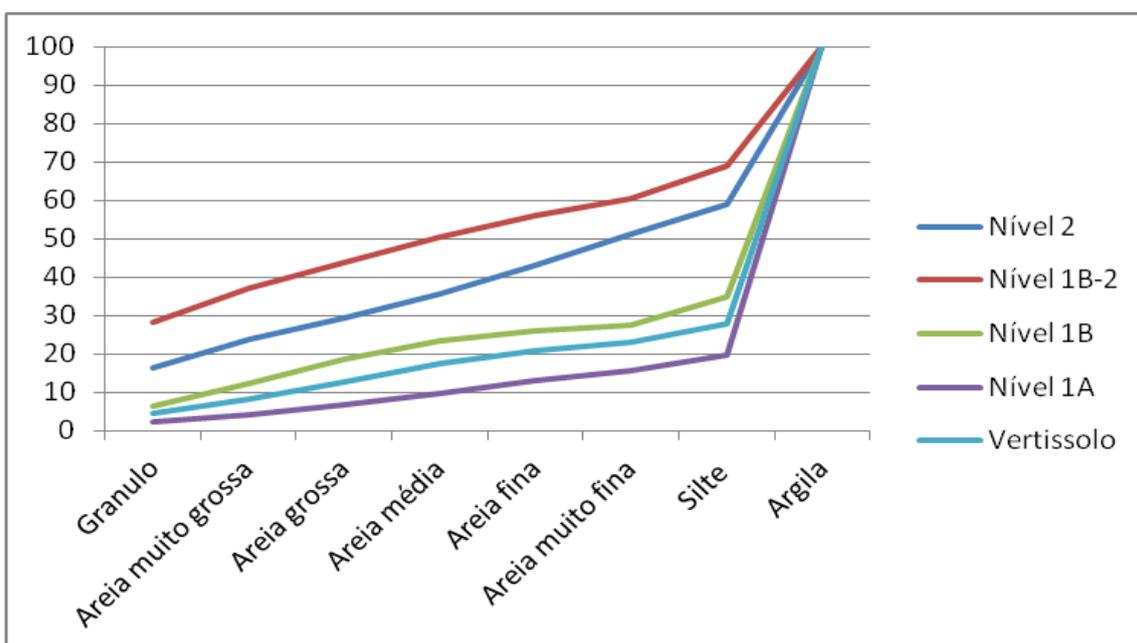
apresentou-se como baixa, apenas para os níveis 1B2 e 2 como moderada. Quanto às classes granulométricas se obteve: Vertissolo – argila arenosa; Nível 1A – argila ou argilito; Nível 1B - argila arenosa; Nível 1B2 - argila arenosa, argila siltico-arenosa, argila arenosa; Nível 2 - argila arenosa, argila arenosa.

Figura 20 - Histograma das classes granulométricas para os sedimentos da Lagoa do Uri



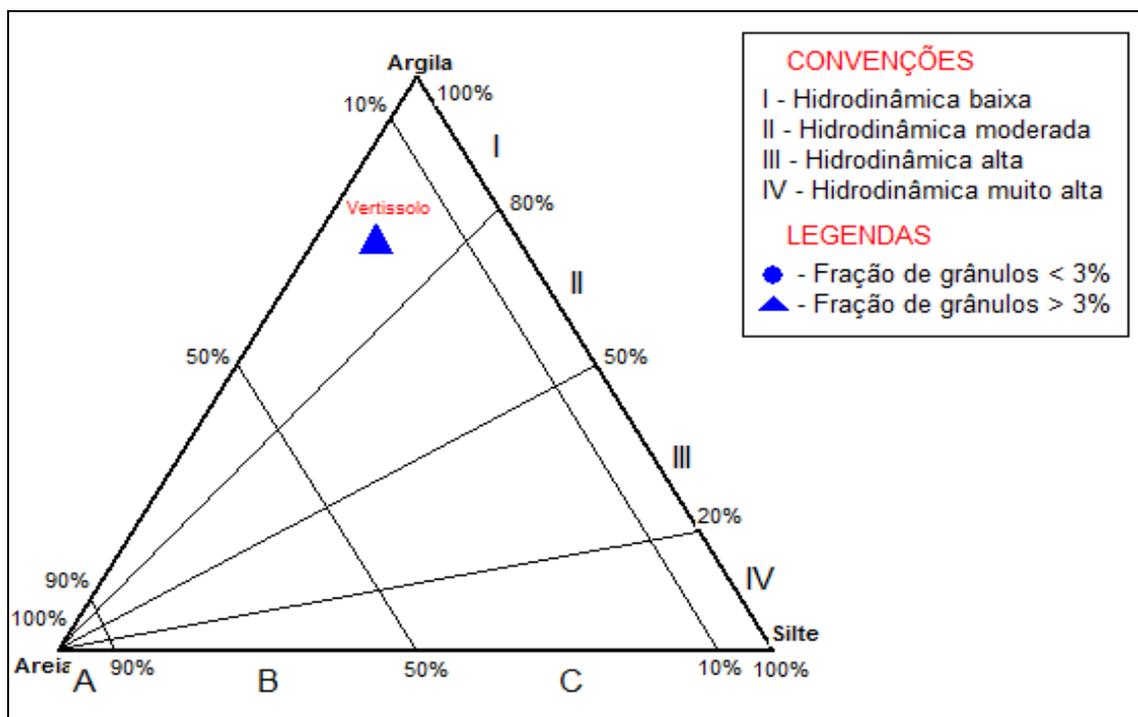
Fonte: Autora (2019).

Figura 21 - Curva Cumulativa para os sedimentos da Lagoa do Uri



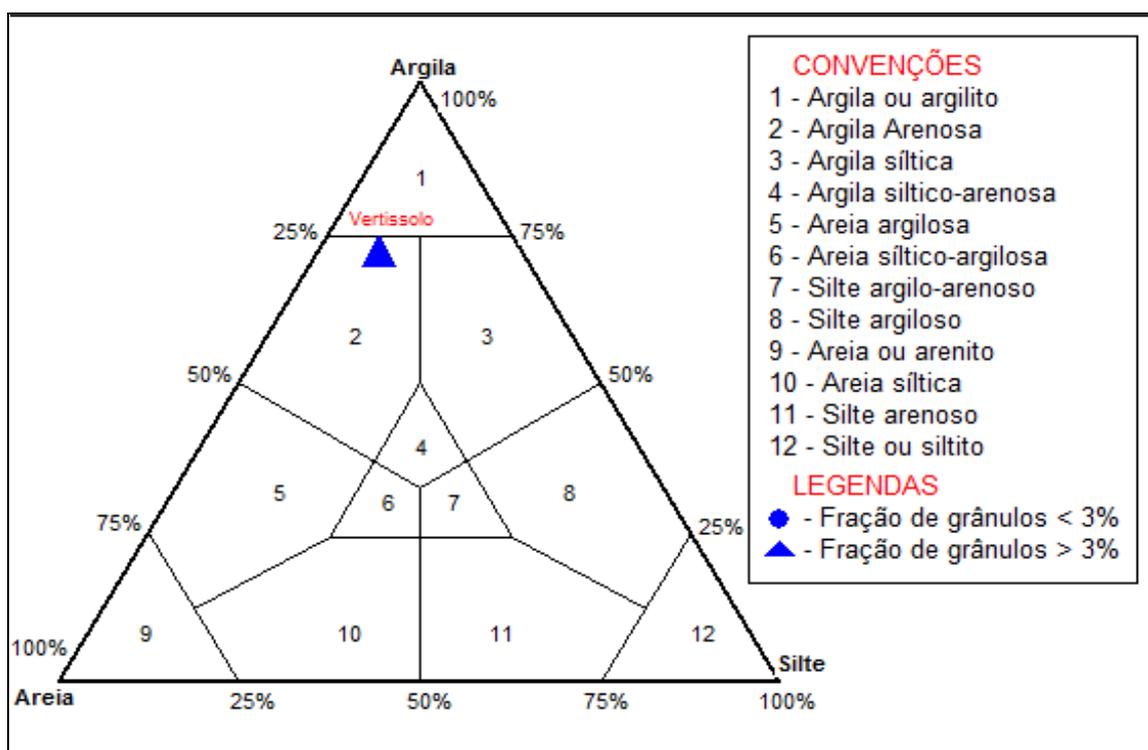
Fonte: Autora (2019).

Figura 22 - Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri – Vertissolo.



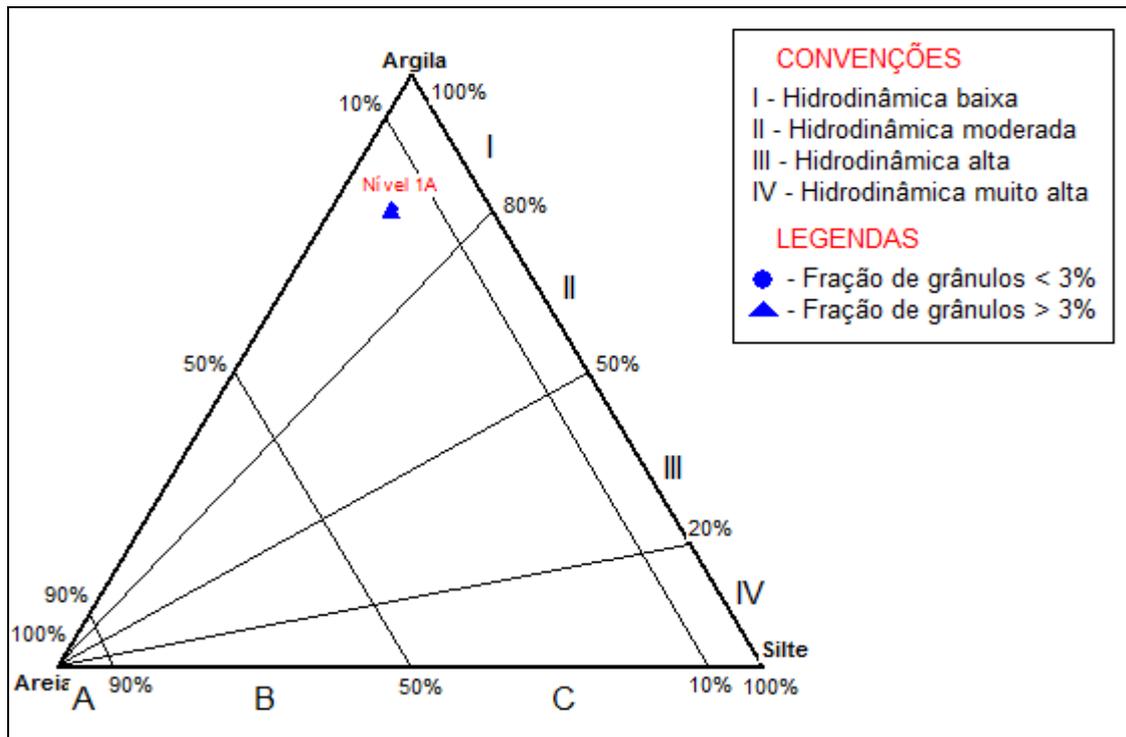
Fonte: Autora (2019).

Figura 23 - Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Vertissolo.



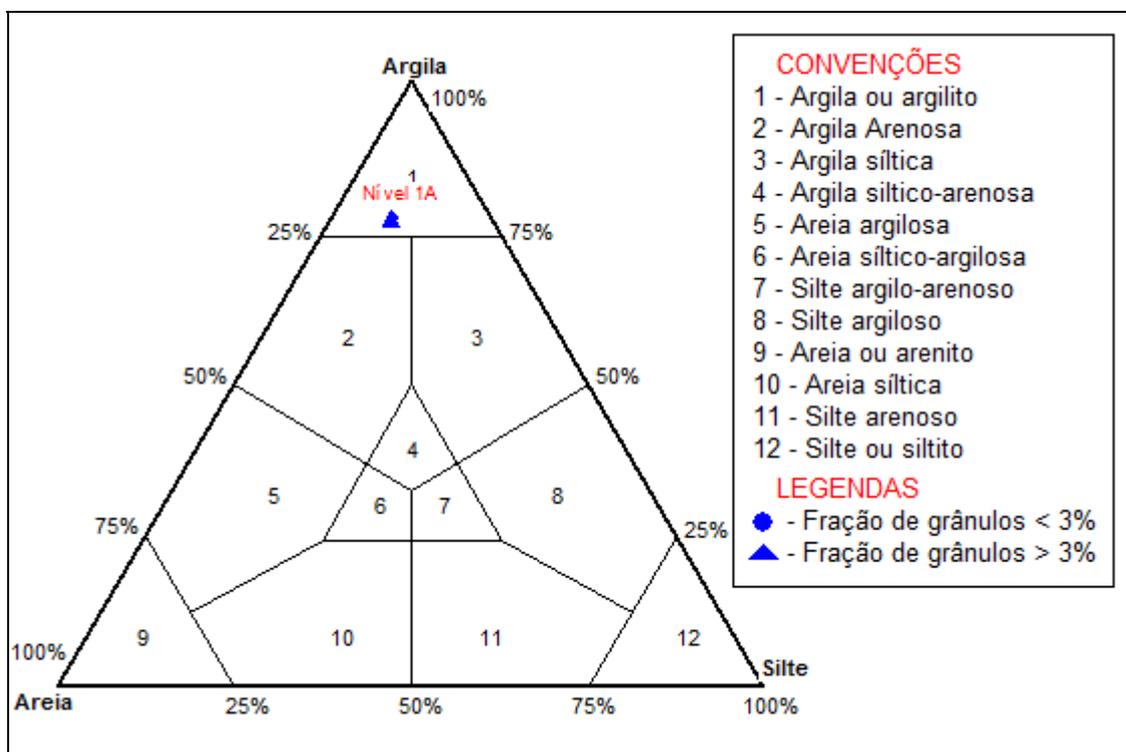
Fonte: Autora (2019).

Figura 24 - Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri – Nível 1A.



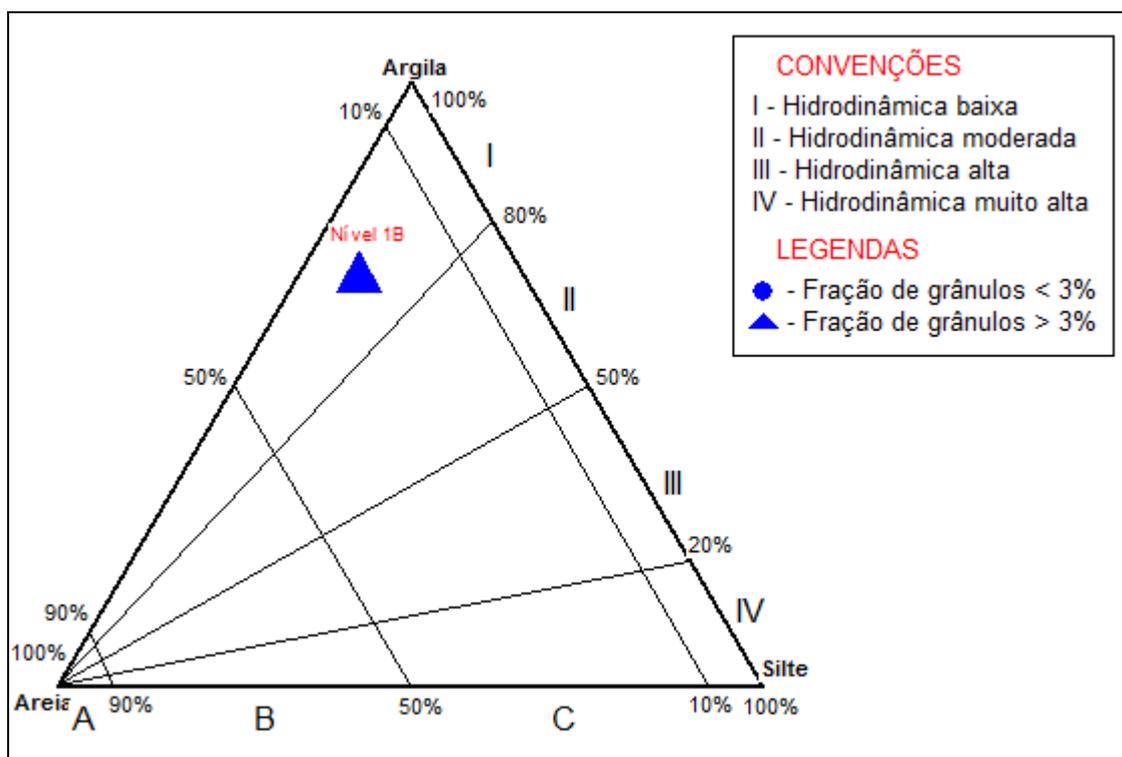
Fonte: Autora (2019).

Figura 25 - Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 1A



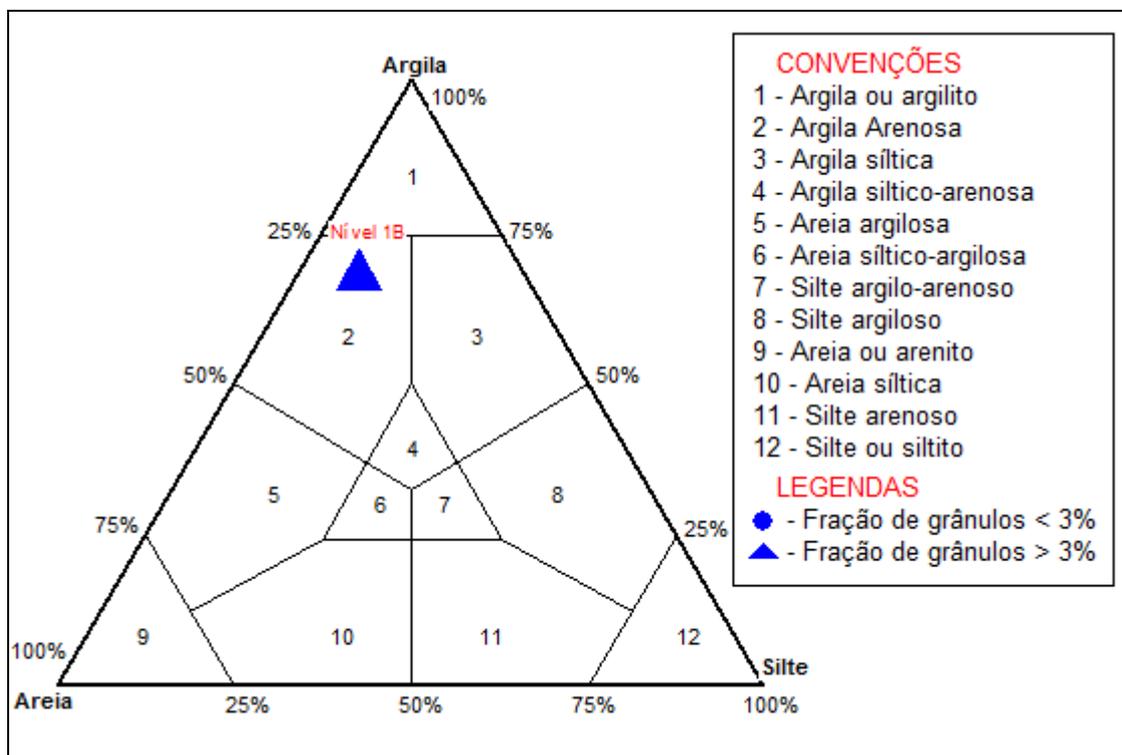
Fonte: Autora (2019).

Figura 26 - Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri- Nível 1B.



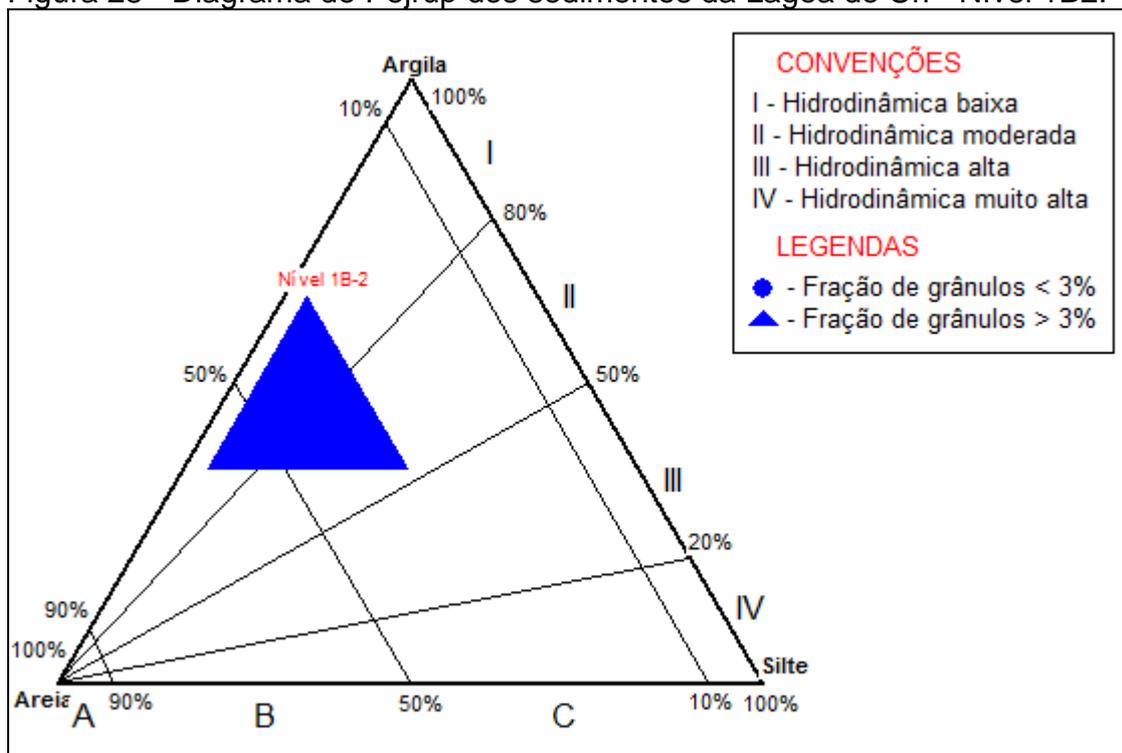
Fonte: Autora (2019).

Figura 27 - Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 1B.



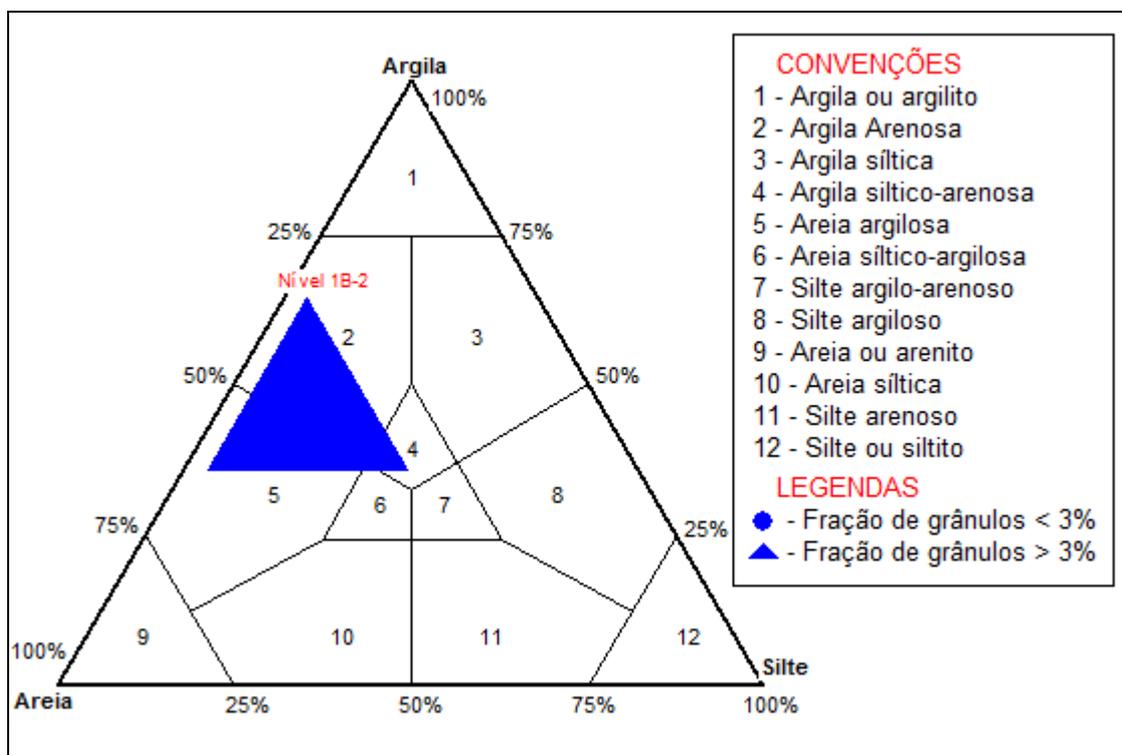
Fonte: Autora (2019).

Figura 28 - Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri - Nível 1B2.



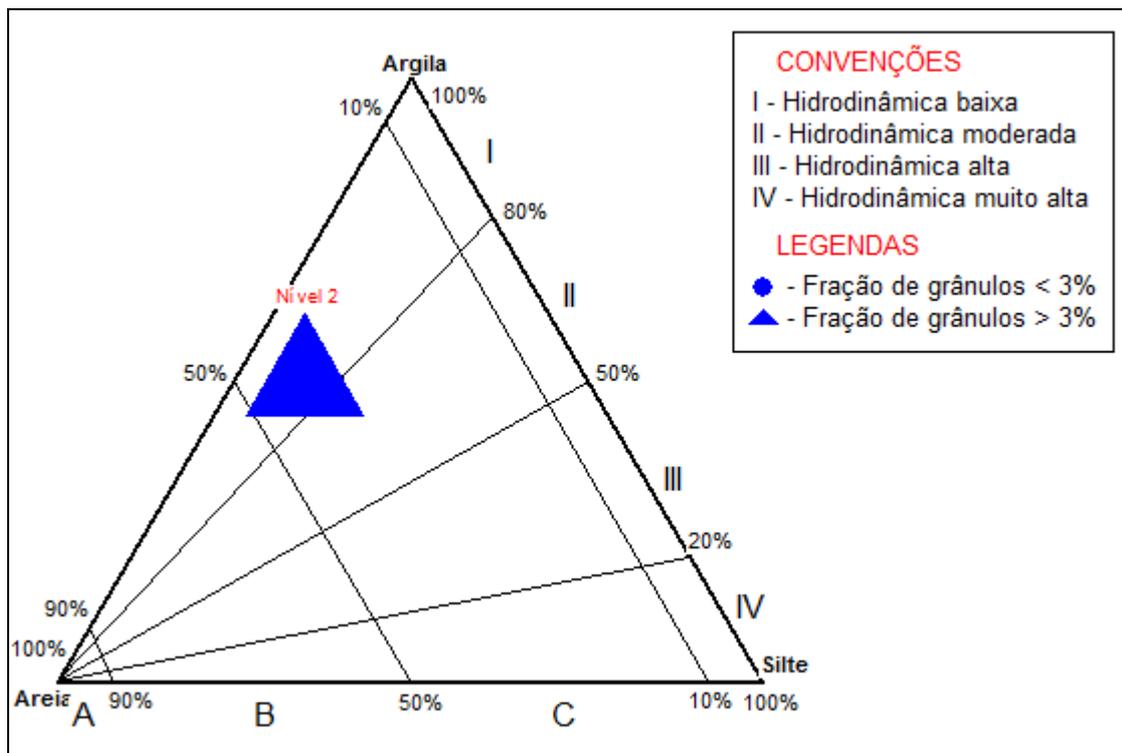
Fonte: Autora (2019).

Figura 29 - Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 1B2



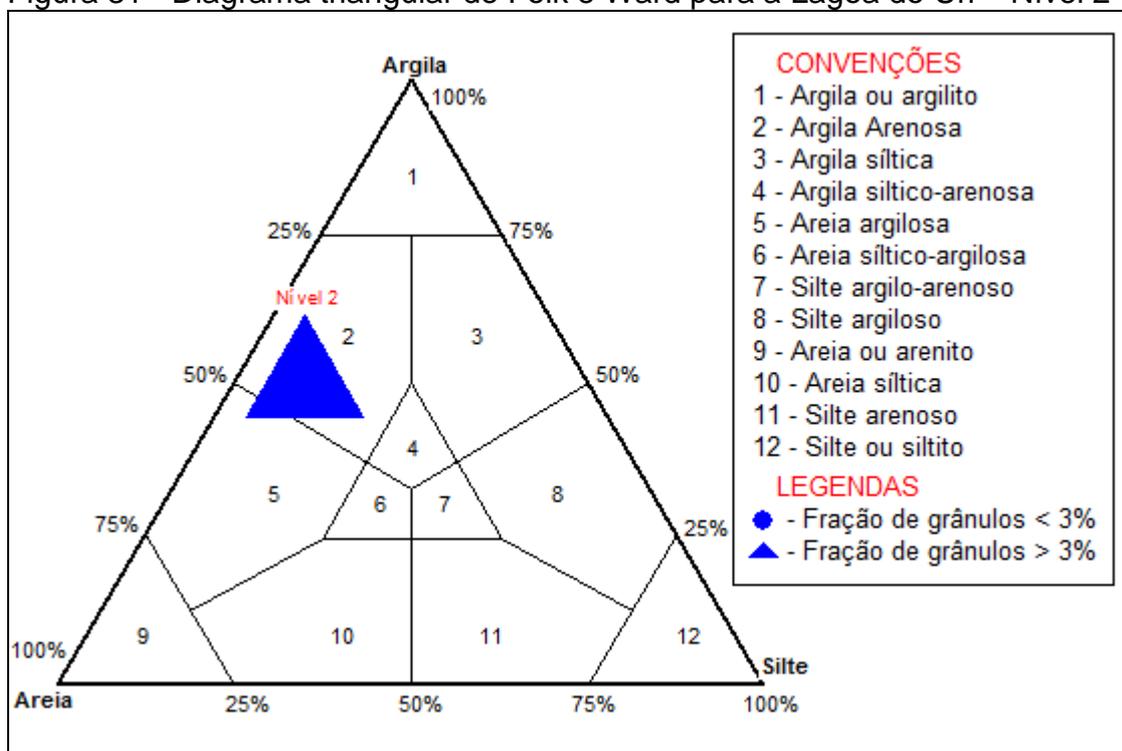
Fonte: Autora (2019).

Figura 30 - Diagrama de Pejrup dos sedimentos da Lagoa do Uri – Nível 2.



Fonte: Autora (2019).

Figura 31 - Diagrama triangular de Folk e Ward para a Lagoa do Uri – Nível 2

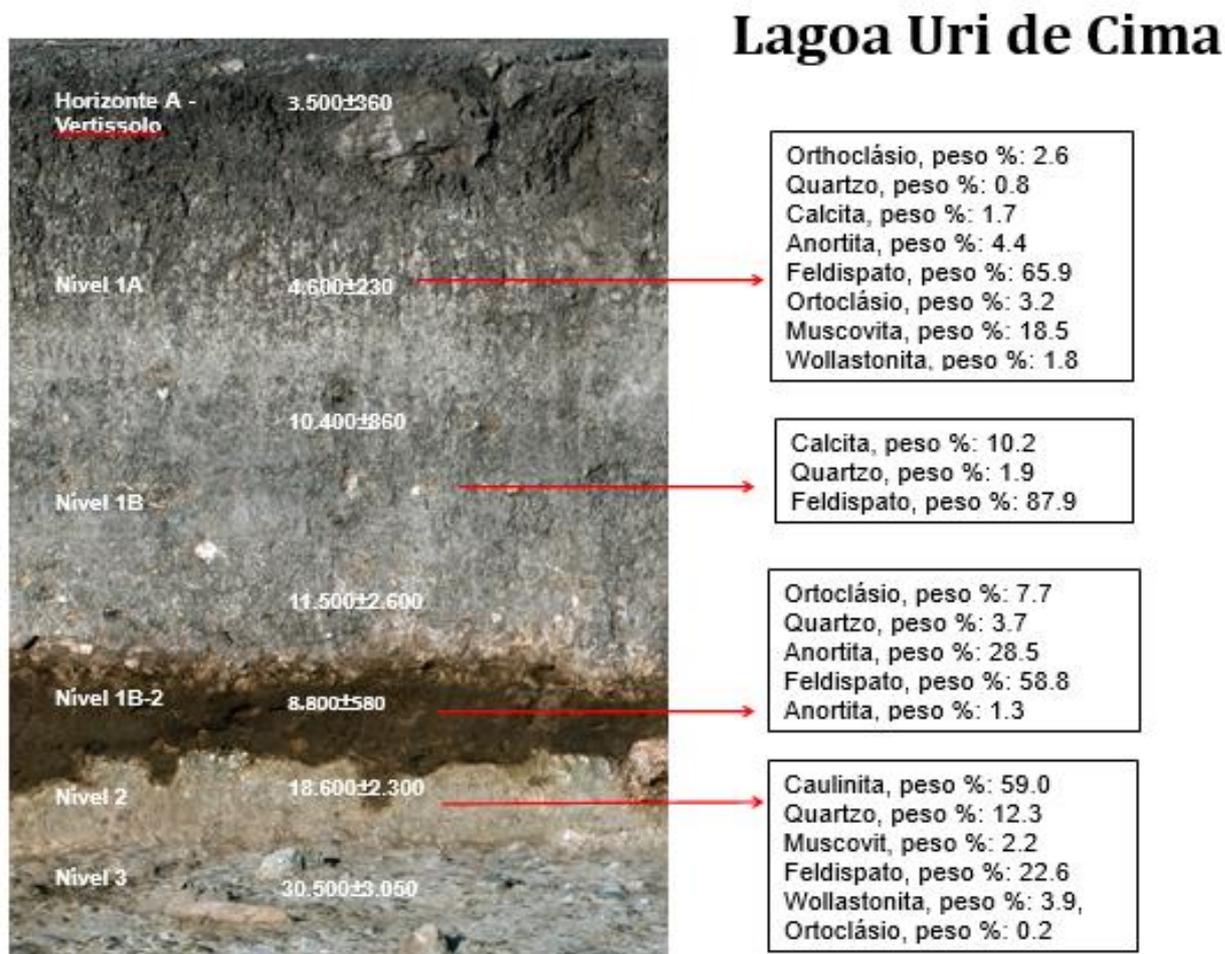


Fonte: Autora (2019).

Quanto à difratometria de raio-x das argilas (Figuras 32 e 33) esta demonstrou que na amostra do Nível 2, antes do Último Máximo Glacial - entre 20 mil e 17 mil anos AP - houve uma fase mais úmida que equivale aos interestaduais, correlacionáveis aos eventos Heinrich, com momentos mais quentes e mais úmidos (Figura 32 e 33). As demais amostras são basicamente material não intemperizado, com presença de calcita indicando uma fase supérgena associada ao ambiente fechado da lagoa com evaporação muito alta e uma dificuldade de perda de material dissolvido pela água de drenagem.

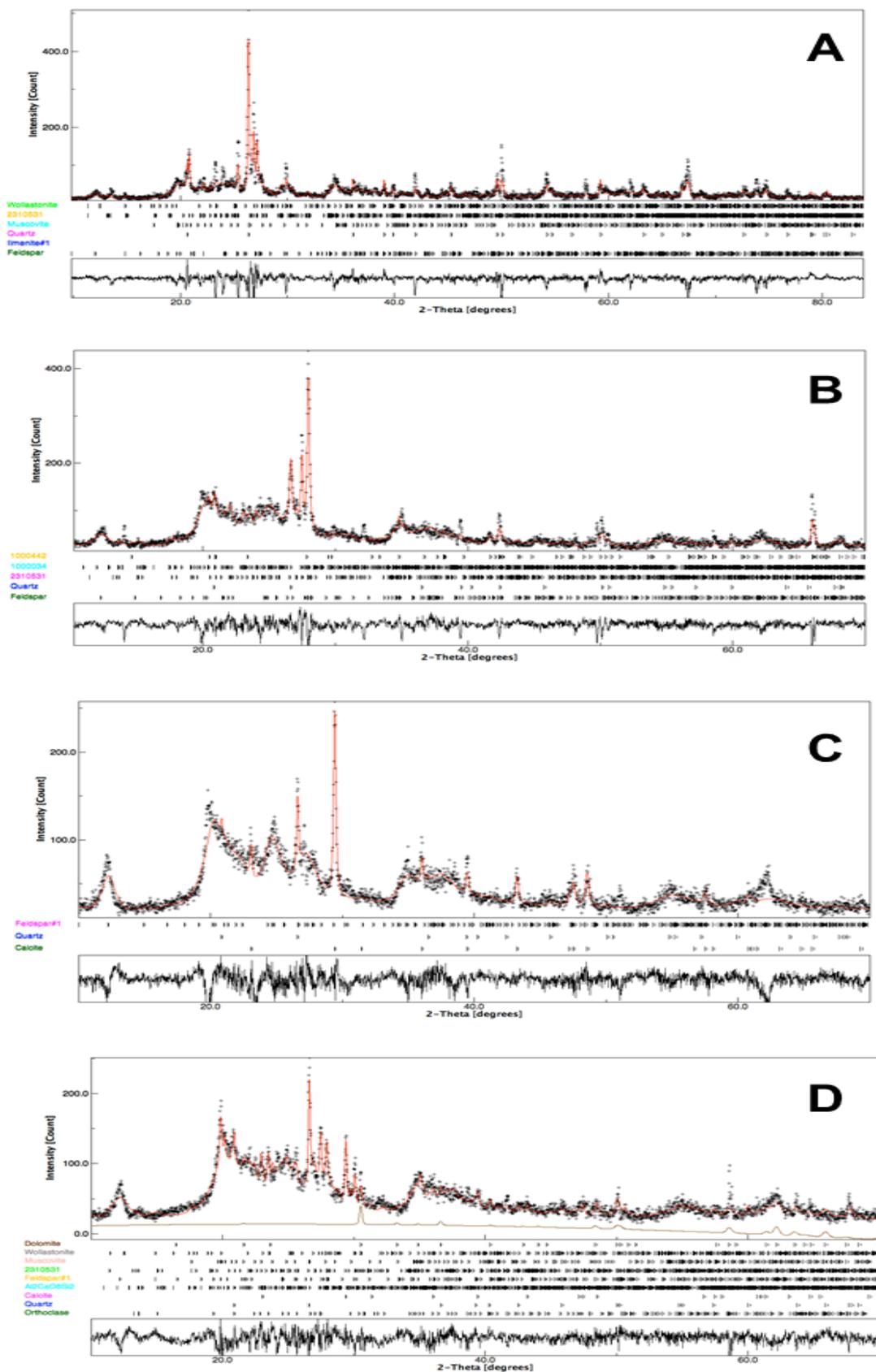
Por se tratar de uma lagoa, sem conexão perene com um exultório, sobre litologia rica em plagioclásios, o cálcio liberado pelos minerais primários acaba interagindo com matéria orgânica formando calcita. Isso demonstra que há uma tendência da lagoa de responder ambientalmente de maneira própria sem necessitar da interferência de mudanças regionais do clima.

Figura 32 – Resultado de Difratometria de Raio-x para amostras da Lagoa do uri de Cima



Fonte: Autora (2019).

Figura 33 – DRX das amostras da Lagoa do Uri de cima



Fonte: Autora (2019).

Com exceção do Nível 2, depositado durante o UMG, mas cujo material de origem provavelmente se formou em um momento anterior, mais úmido, os minerais de argila encontrados na área refletem diretamente a litologia da rocha mãe, inclusive com presença de feldspatos calcosódicos e potássicos na fração argila, indicando baixíssima taxa de intemperismo químico, logo condições biopedoclimáticas semiáridas. O nível 2 no entanto apresenta concentração significativa de caulinita, necessariamente formada sob condições mais úmidas com perda parcial de sílica em um momento que antecede o UMG. Esta fato, corrobora a conexão da lagoa com a rede de drenagem durante a fase anterior o UMG o que explicaria a retirada da sílica do sistema e a formação de caulinita no manto de intemperismo que posteriormente foi carregado dando pelos processos de fluxos gravitacionais que originaram o nível deposicional 2.

Para Coe et al., (2017) o estoque de fitólitos presente em uma amostra de solo depende da produção pelas plantas e também da granulometria das amostras, que podem ser favoráveis à acumulação dos fitólitos (partículas mais finas, como silte e argila), ou podem quando grosseiras (arenosas) permitir a percolação para camadas mais profundas. Desta forma fica mais uma vez explicito e justificado a riqueza de biominerais encontrados nas amostras estudadas para este trabalho.

A análise morfoscópica dos sedimentos (Tabela 6) teve como intuito analisar microscopicamente os grãos para a determinação do grau de esfericidade, arredondamento, textura superficial e opacidade. Este diagnóstico permitiu caracterizar qualitativamente e quantitativamente o material, possibilitando aventar hipóteses acerca dos processos operantes durante a dinâmica deposicional dos sedimentos em questão.

Tabela 6 – Análise morfoscóptica da fração 0,25 mm dos sedimentos da Lagoa do Uri.

NÍVEIS	NÍVEL 2	NÍVEL 1B-2	NÍVEL 1B	NÍVEL 1A	VERTISSOLO
Distribuição por tamanho	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo	Heterogêneo
Esfericidade	0% Prismoidal	0% Prismoidal	0% Prismoidal	0% Prismoidal	0% Prismoidal
	20% Sub-prismoidal	35% Sub-prismoidal	40% Sub-prismoidal	15% Sub-prismoidal	40% Sub-prismoidal
	60% Esférico	45% Esférico	60% Esférico	55% Esférico	40% Esférico
	20% Sub-discoidal	20% Sub-discoidal	0% Sub-discoidal	20% Sub-discoidal	0% Sub-discoidal
	0% Discoidal	0% Discoidal	0% Discoidal	10% Discoidal	20% Discoidal
	Arredondamento	40% Muito angular	48% Muito angular	20% Muito angular	30% Muito angular
20% Angular		39% Angular	40% Angular	20% Angular	40% Angular
40% Sub-angular		13% Sub-angular	20% Sub-angular	30% Sub-angular	0% Sub-angular
0% Sub-arredondado		0% Sub-arredondado	20% Sub-arredondado	20% Sub-arredondado	0% Sub-arredondado
0% Arredondado		0% Arredondado	0% Arredondado	0% Arredondado	0% Arredondado
Arredondado		Arredondado	Arredondado	Arredondado	Arredondado
0% Bem arredondado		0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado
0% Bem arredondado		0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado
0% Bem arredondado		0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado
0% Bem arredondado		0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado	0% Bem arredondado
Textura Superficial	Brilhante	Fosca	Fosca	Fosca	Fosca
Opacidade	94% Translúcido	74% Opacos	100% Opacos	76% Opacos	80% Opacos
	0%	26% Translúcido	0%	24% Translúcido	20% Translúcido
	6% Opacos	0%	Translúcido	0%	0%

Fonte: Autora (2019).

A análise morfoscóptica demonstrou para as amostras uma distribuição heterogênea quanto à forma dos grãos, com alta esfericidade e um predomínio de grãos variando de muito angular a sub angular no nível 2, 1B-2 e Vertissolo; e de muito angular a sub arredondado nos níveis 1B e 1A. Para os níveis 2, 1B-2 e Vertissolo pode-se inferir que estes foram transportados por fluxos de

detritos com área fonte próxima, depositaram-se na lagoa e estacionaram com relação à sua alteração morfológica. Com relação à maior esfericidade identificada nos grãos do nível 1A e 1B é indicativa de um transporte mais longo ou até mesmo de remobilização do material *in situ* em função de alterações no ambiente deposicional. Para estes dois níveis observa-se uma maior quantidade de diatomáceas fragmentadas, o que pode representar um indicativo de que houve um momento deposicional de maior energia na lagoa.

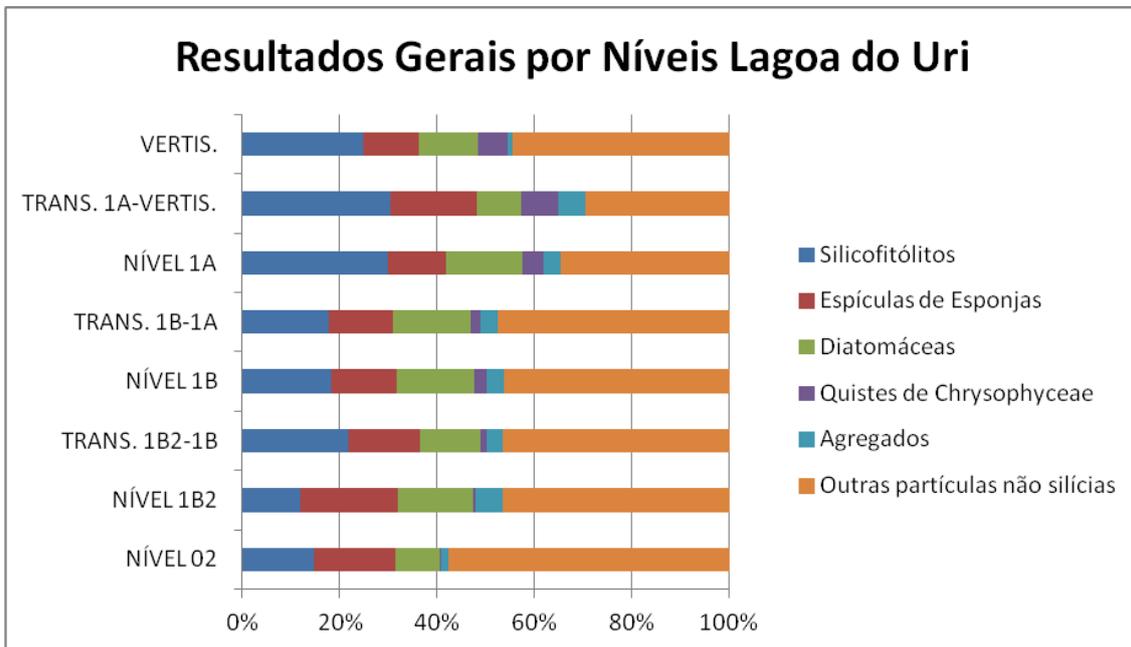
5.3 ANÁLISE DOS BIOMINERAIS DE SÍLICA

A partir da observação, análise e interpretação dos gráficos é possível inferir algumas respostas ambientais com base nos estudos dos biominerais (fitólitos, espículas, diatomáceas e quistes de Chrysophyceae) encontrados na Lagoa Uri de Cima. Os gráficos foram construídos no Excel, levando-se em consideração os resultados por níveis e por amostra coletada, a fim de obter uma visão mais holística da disposição das partículas dos sedimentos estudados.

Os elementos identificados sugerem mudanças ambientais ocorridas entre os níveis apresentados, corroborando os dados relativos à sua cronologia por LOE e análises sedimentológicas. Os gráficos e figuras serão apresentados e em seguida os resultados discutidos para melhor entendimento. Ao fim da discussão dos resultados serão apresentados os principais morfotipos fitolíticos encontrados nos sedimentos estudados para esta pesquisa, além dos fitólitos outros biominerais identificados também serão expostos a fim de ilustrar o trabalho e caracterizar as partículas, tal como iniciar a construção de uma assembleia fitolítica fóssil para a região (Figuras 34).

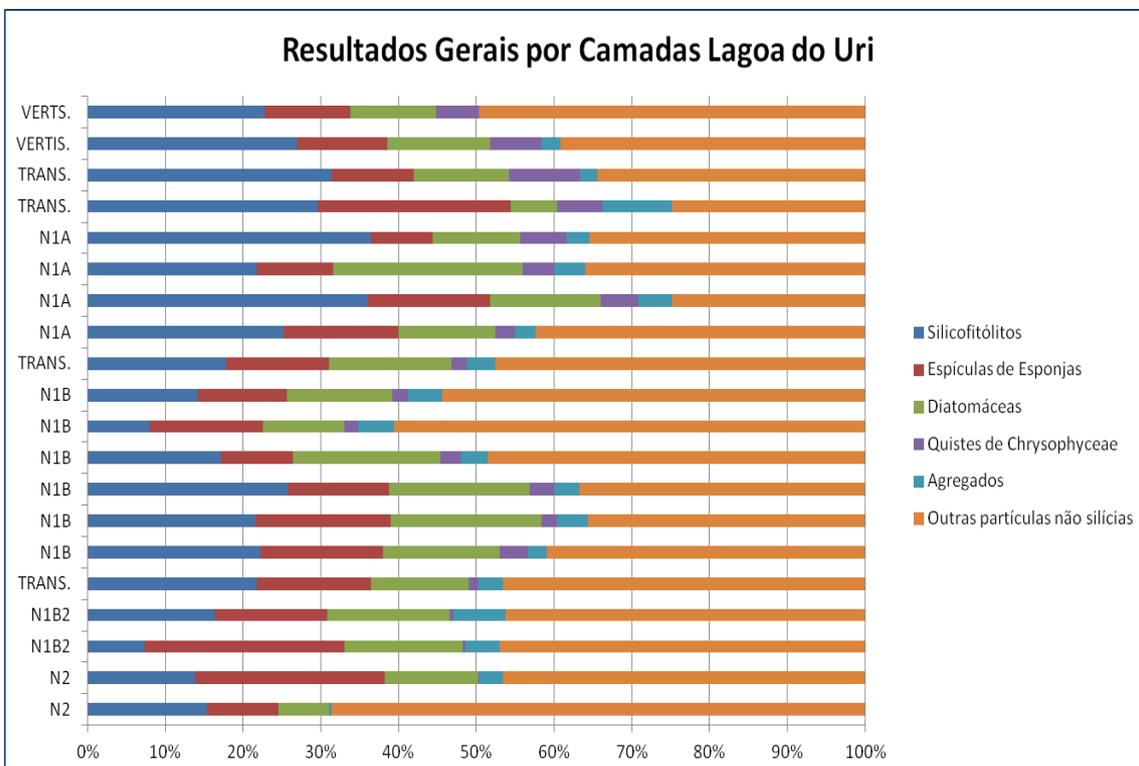
É preciso observar primeiramente o gráfico que dispõe dos resultados por nível (Figura 35), identificar alguma irregularidade e confrontar com as amostras em detalhe (Figura 36), sempre no intuito de fundamentar a interpretação num maior número de informações.

Figura 34 - Gráfico representativo de todas as partículas encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por Nível



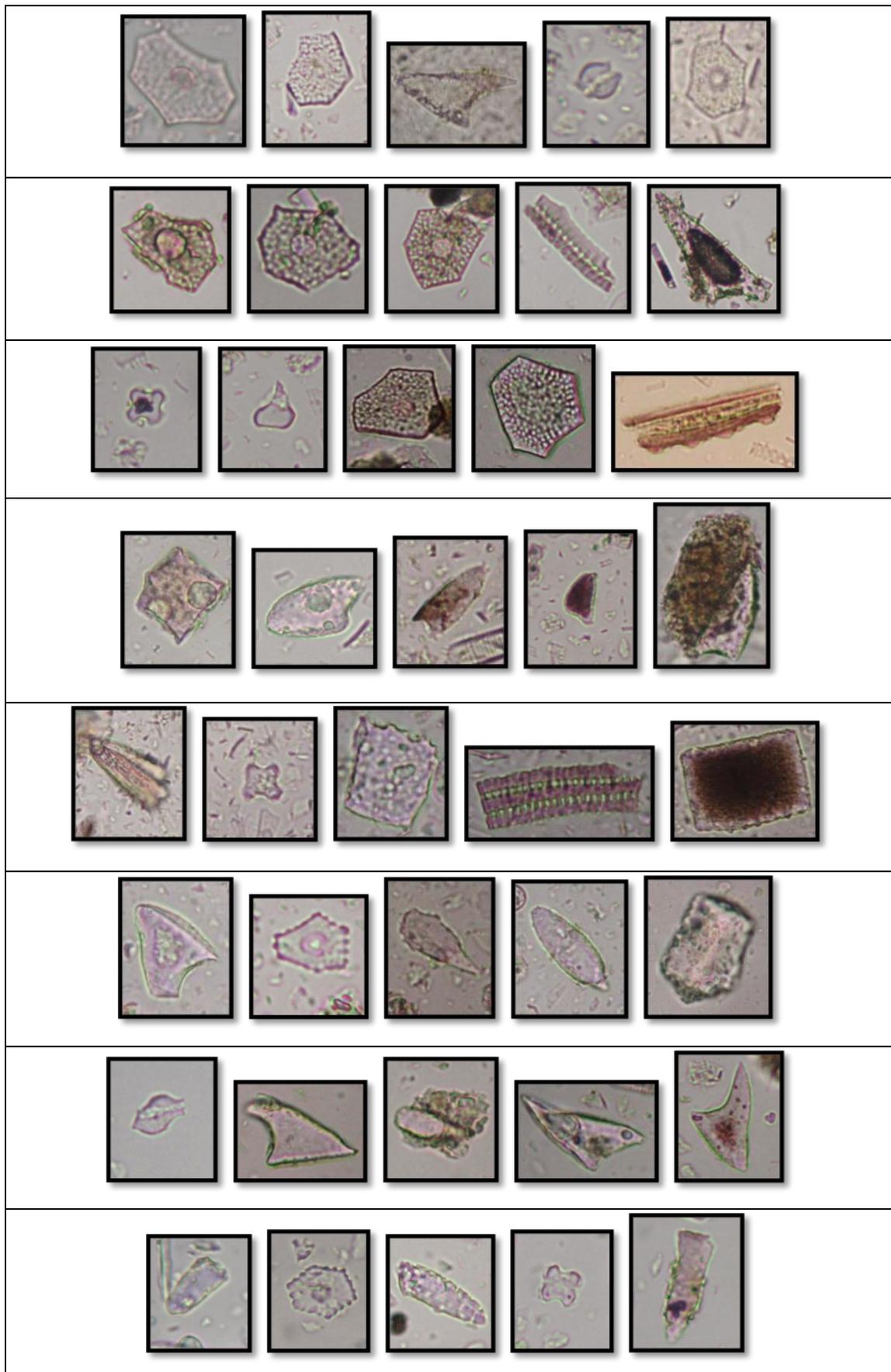
Fonte: Autora (2019).

Figura 35 - Gráfico representativo de todas as partículas encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por amostra coletada



Fonte: Autora (2019).

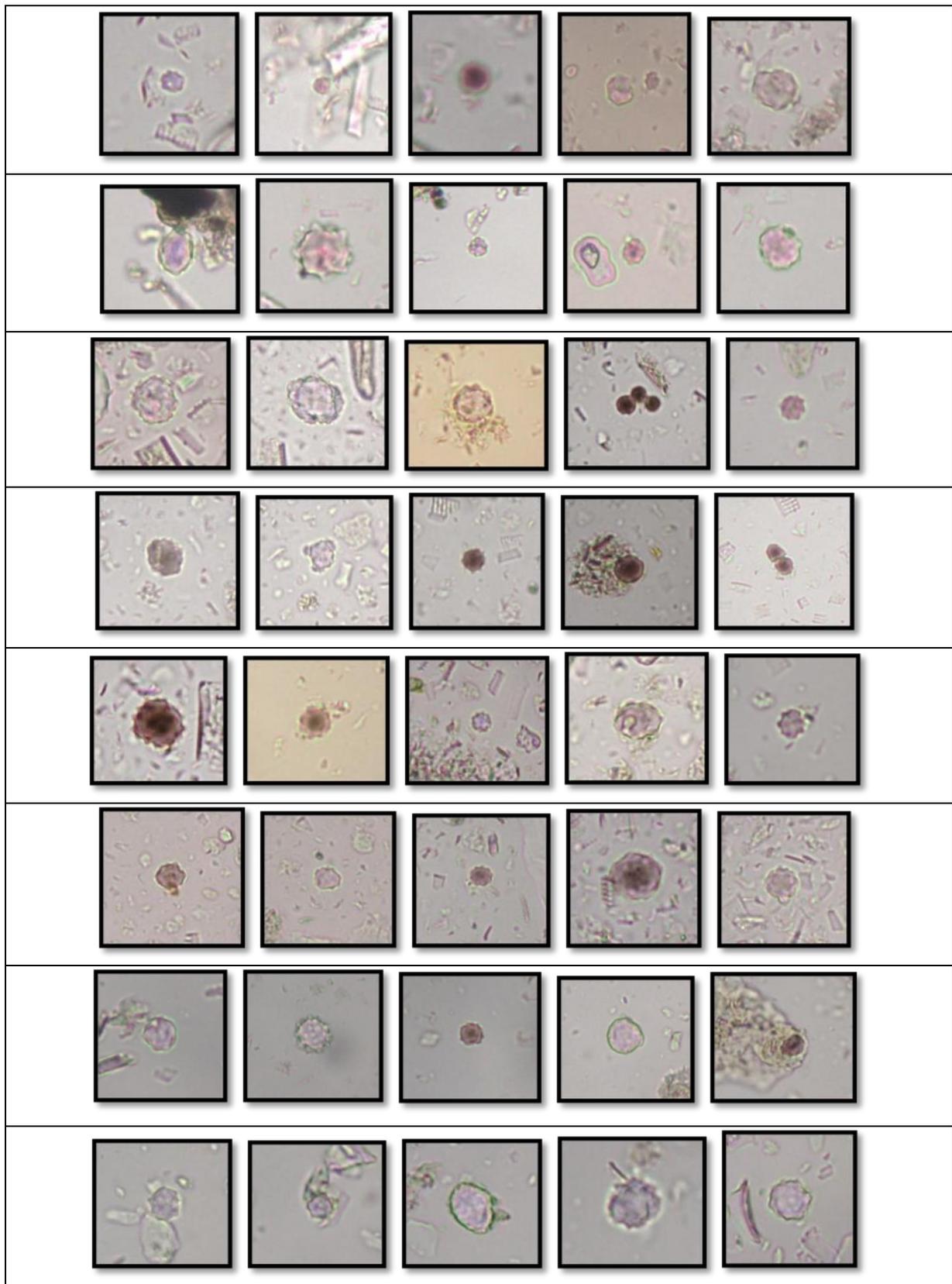
Figura 36 – Fitólitos Gerais



Fonte: Autora (2019).

Em linhas gerais as análises revelaram uma repetição dos mesmos elementos, sempre se identificam diatomáceas e espículas, que estão associadas à presença de um corpo d'água. É fato que na área sempre existiu água, visto que as análises apontam para a alternância entre solos encharcados e secos em função das mudanças no ambiente. Quanto à vegetação, a maior representatividade de elementos encontrados é de gramíneas e palmeiras (Figura 37) vinculadas ao entorno da área deposicional, fato que corrobora o poder de arraste das precipitações torrenciais sob condições semiáridas e cobertura vegetal esparsa.

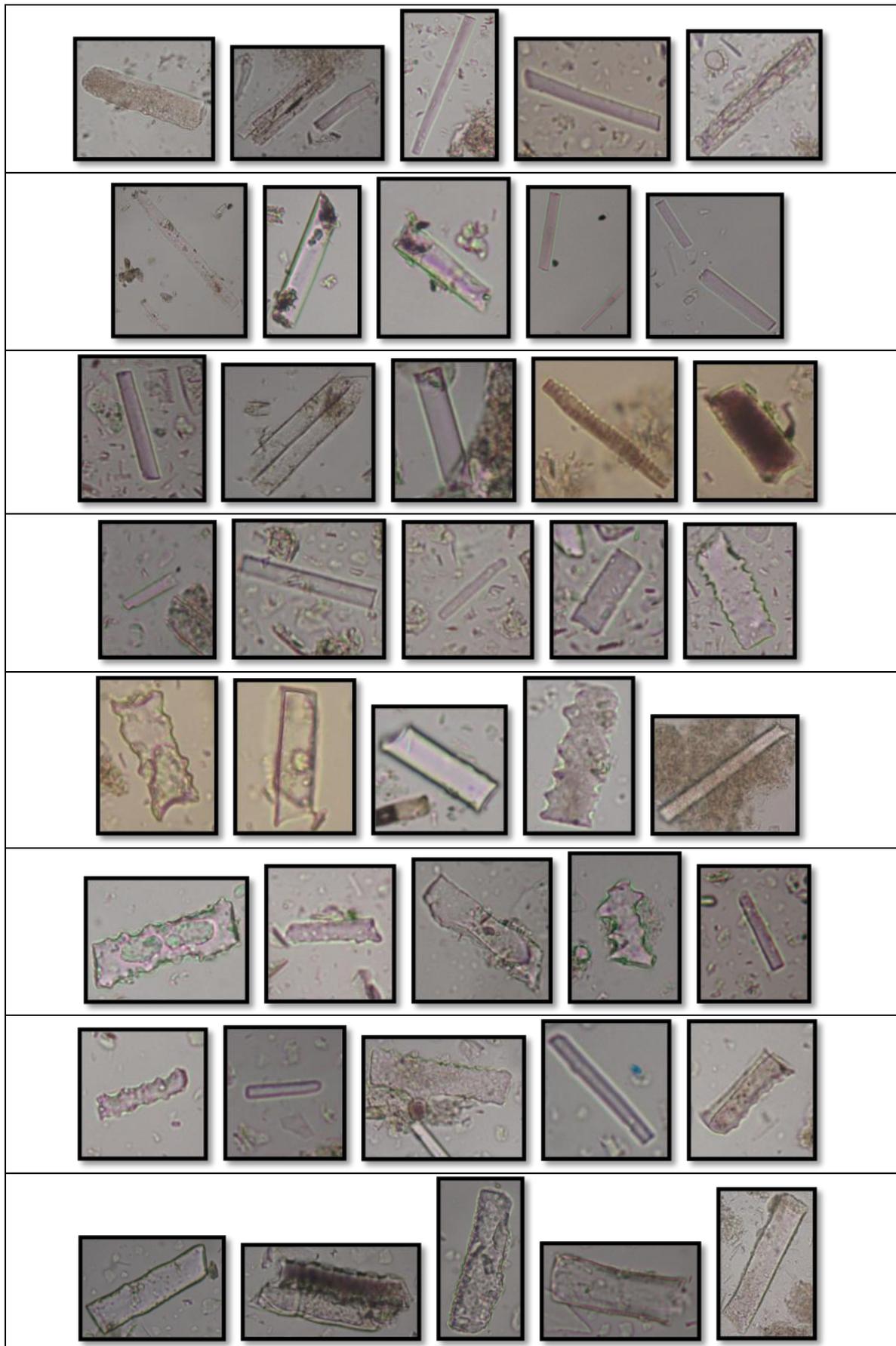
Figura 37 – Globulares



Fonte: Autora (2019).

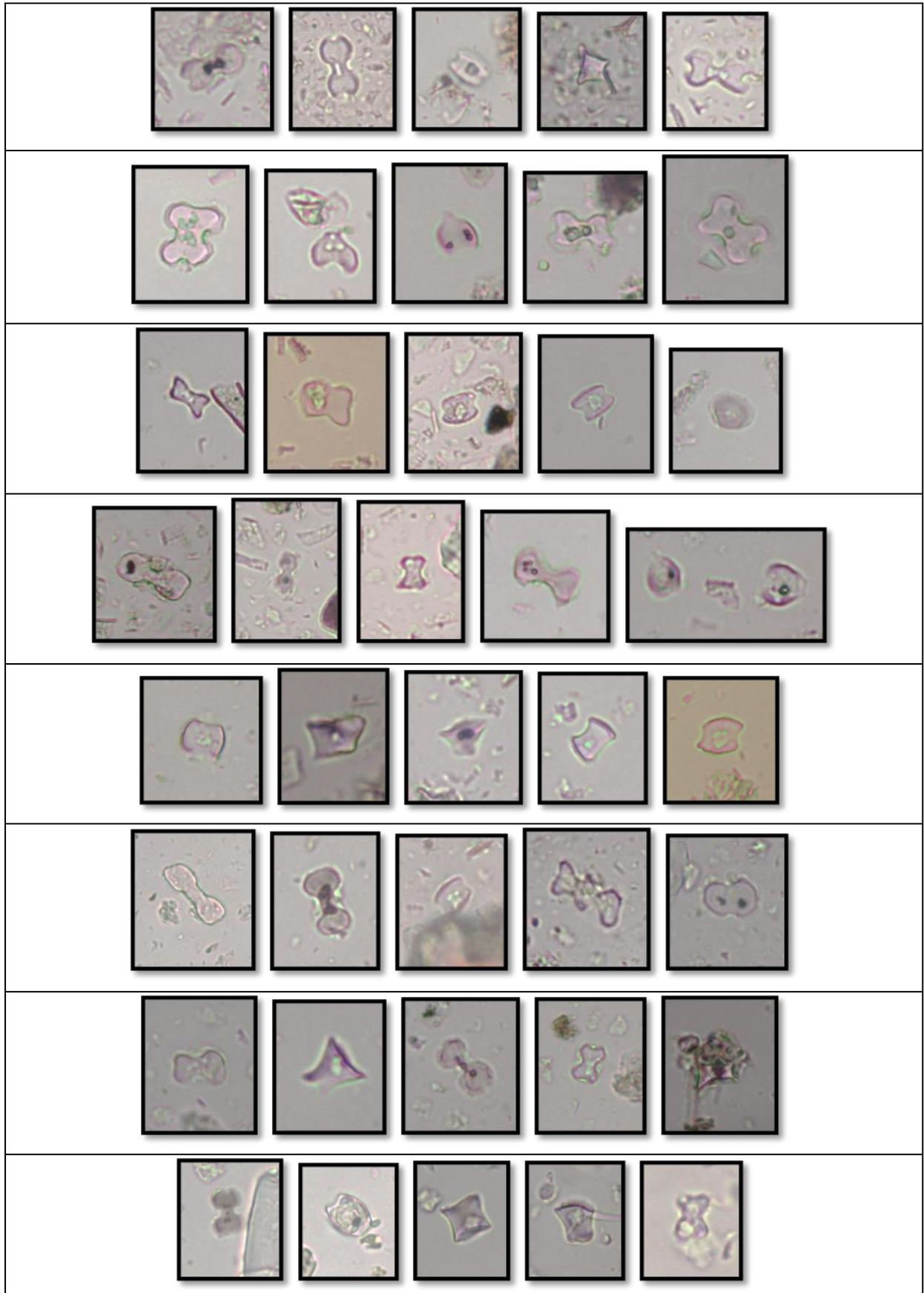
A maioria dos alongados (Figura 38) existentes provavelmente se originaram das plantas atuais que circundam a lagoa, assim como os saddles (Figura 39), pois quando um corpo de água se colmata os primeiros lugares que começam a salinizar são as bordas, onde as gramíneas do tipo C4 podem se desenvolver. As gramíneas em geral são muito frágeis e sofrem alterações em pouco tempo, resultando em respostas ambientais por menor que seja a mudança.

Figura 38 – Elongados



Fonte: Autora (2019).

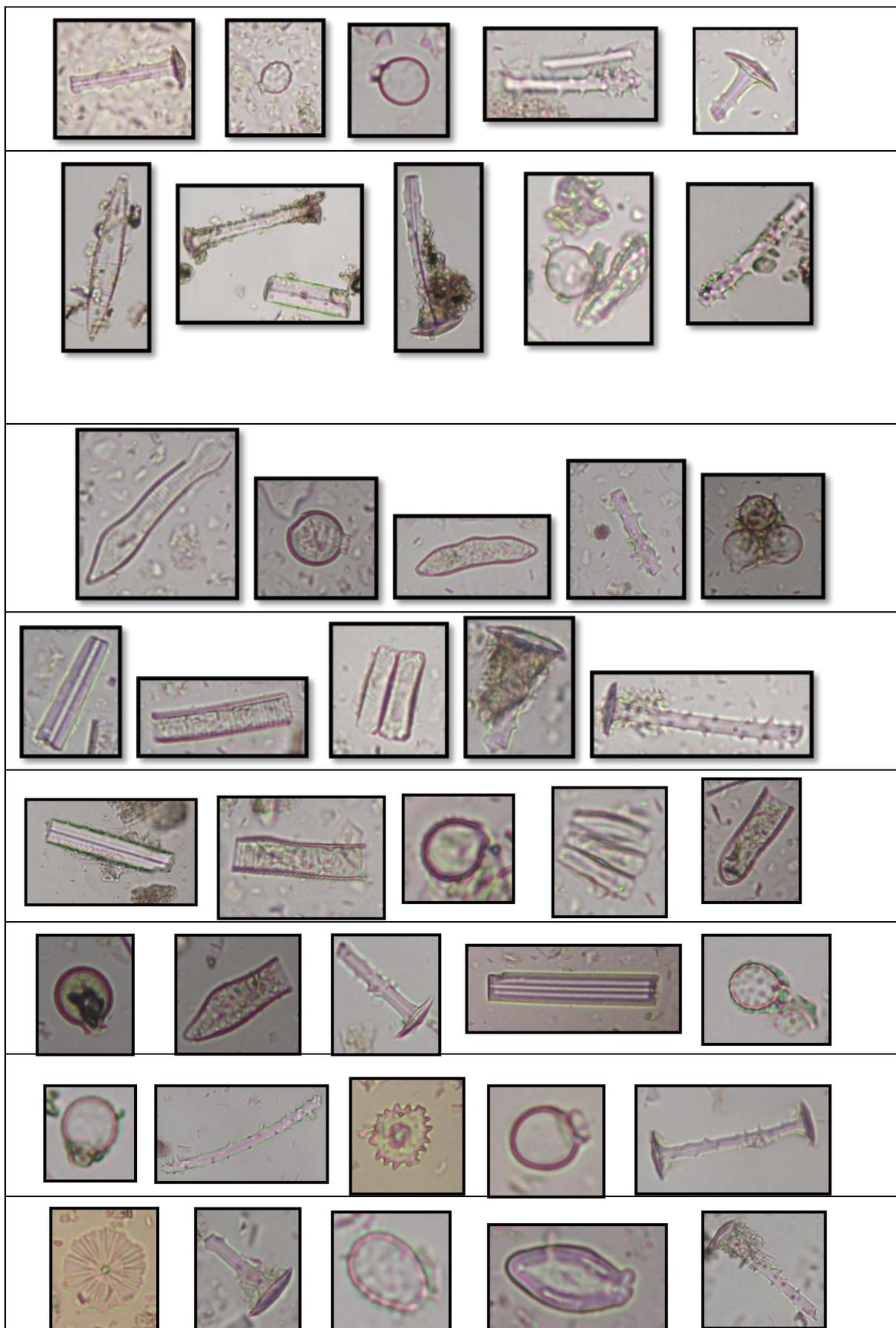
Figura 39 – Saddles



Fonte: Autora (2019).

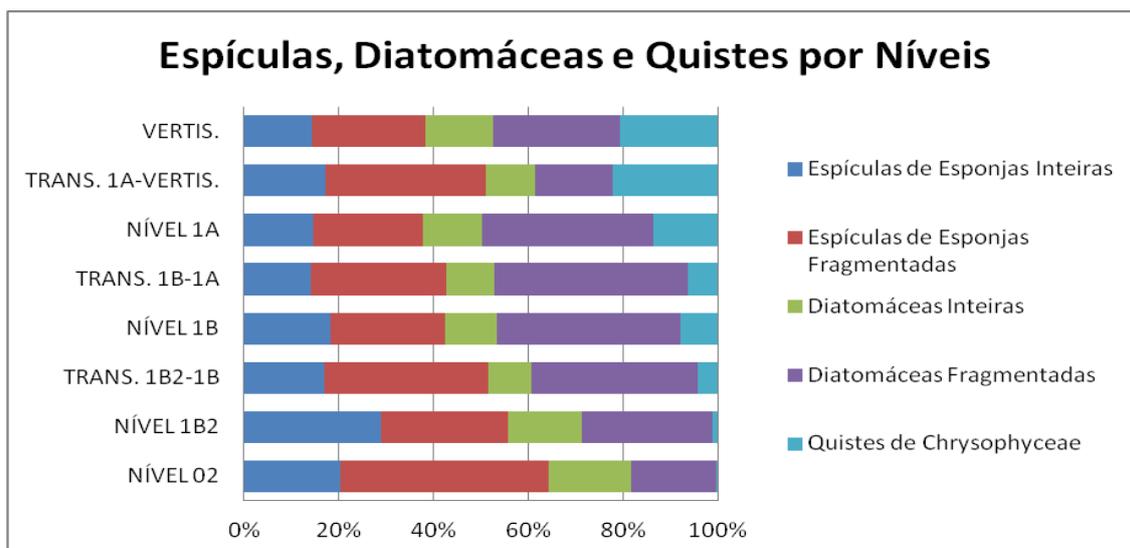
Pode-se afirmar também que na área sempre houve algum tipo de cobertura de solo, assim todos os níveis estudados apresentaram-se pedogenizados, o que indica que independente da lagoa não ser mais perene sempre houve a presença da água, ainda que em pouca quantidade, fato que se comprova pela presença contínua dos quistes, espículas e diatomáceas (Figuras 40 a 42). Não obstante, o corpo d'água nunca foi necessariamente profundo, todavia, apesar de secar em alguns momentos, tornava a inundar com água da chuva.

Figura 40 – Quistes, espículas e diatomáceas



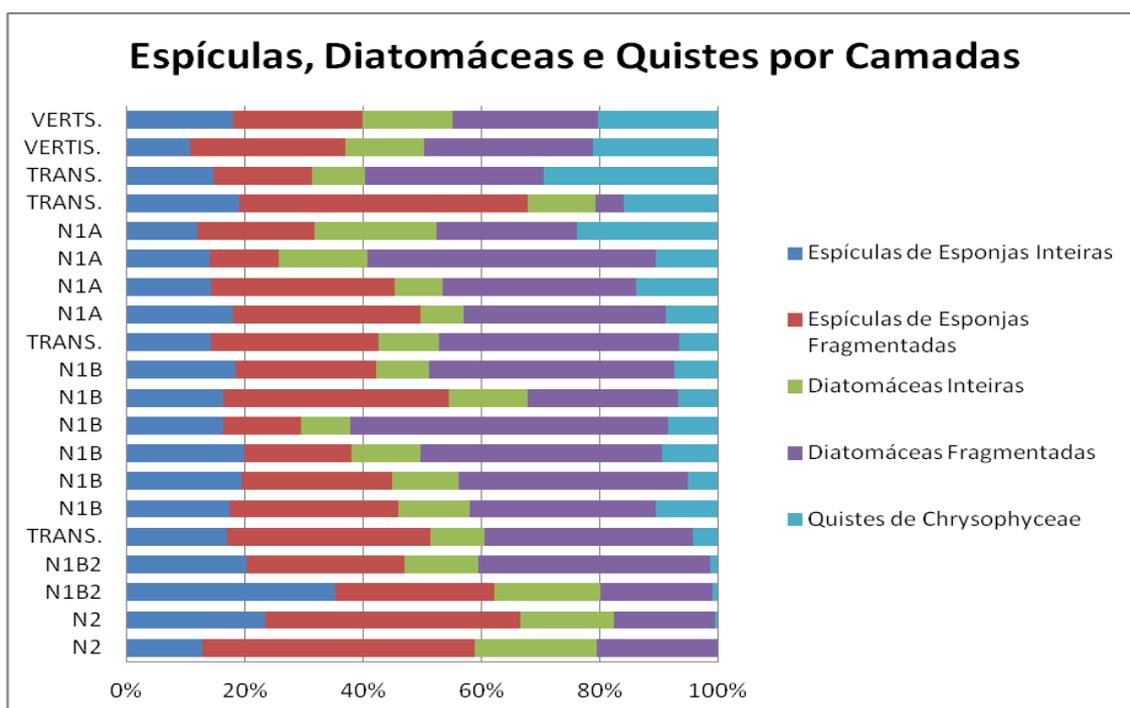
Fonte: Autora (2019).

Figura 41 - Gráfico representativo das outras partículas Biominerais encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por Nível



Fonte: Autora (2019).

Figura 42 - Gráfico representativo das outras partículas biominerais encontradas nas amostras da Lagoa do Uri - por amostra coletada



Fonte: Autora (2019).

As espículas (poríferos) e as diatomáceas (algas) além de serem indicativos seguros da existência de água e umidade no solo servem também como ferramentas para reconstrução paleoambiental (Parolin et. al., 2007; Parolin et al., 2008; Volkmer et. al., 2010), visto que esses microfósseis

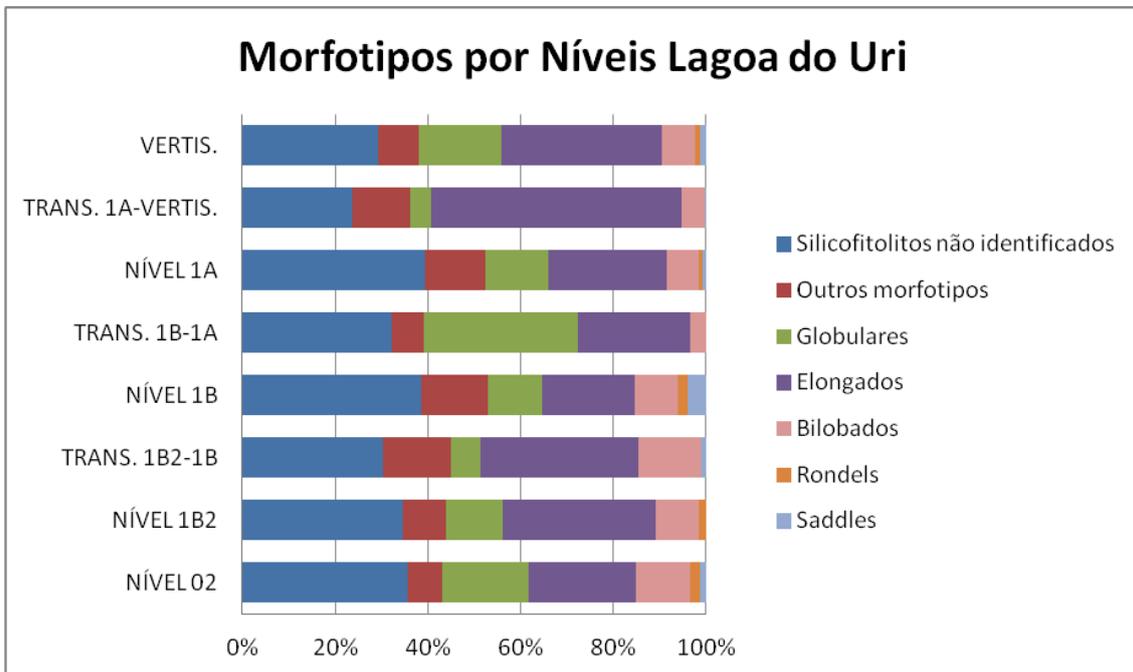
apresentam-se distribuídos em distintos grupos de características específicas e peculiares para os diferentes ambientes onde podem ser encontrados. O trabalho ora apresentado utilizou dessas informações de forma mais generalizada, tendo em vista que o meio escolhido para o desenvolvimento do mesmo condiz com o estudo e a análise dos silicofitólitos.

Dada à grande quantidade de espículas, diatomáceas e quistes encontrados nas amostras e em bom estado de conservação, estes não poderiam ter sido ignorados e deixados de fora do trabalho, mesmo que sem um estudo mais detalhado. Os quistes indicam momentos de stress hídrico ou uma condição química correspondente a aumento de salinidade (em decorrência da diminuição na disponibilidade de água neste tipo de ambiente), o que aponta também para um momento de maior evapotranspiração.

Os quistes são produzidos por uma classe de algas denominada Chrysophyceae, que ao sofrer um stress libera sua estrutura reprodutiva envolvida numa carcaça que se apresenta como uma “bolsa” de silício (mecanismo de proteção para sua espécie). Ao sofrer o stress, antes de morrer o organismo libera essa cápsula de silício para proteger sua descendência. Os quistes em geral sempre se apresentam bem preservados, talvez por uma questão taxonômica, em que estes desenvolvem uma película muito resistente. A quantidade de quistes aumenta gradativamente a partir da transição pleistoceno/holoceno como pode ser observado na figura 41.

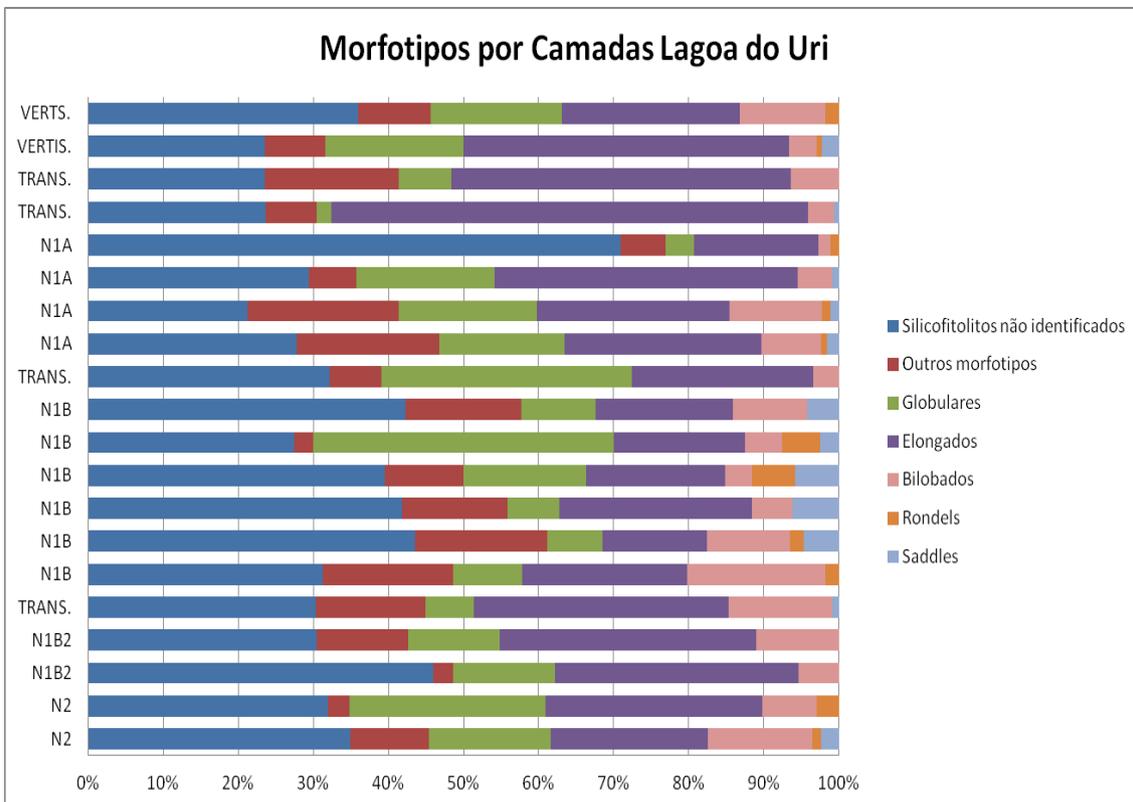
Na metade do nível 1A e 1B observa-se a maior quantidade de diatomáceas fragmentadas (Figuras 43 e 44), estas podem ser indicativas de que houve um momento de maior energia de transporte – torrencialidade - no ambiente da lagoa e/ou no seu entorno. Já na transição nível 1A para Vertissolo se observa maior número de espículas fragmentadas, dado este bem marcado, onde os microfosséis também confirmam a situação de mudança de um nível para outro, assim como reafirmam a presença de água mesmo que sazonal ou esporádica.

Figura 43 – Gráfico representativo dos principais morfotipos encontrados nas amostras da Lagoa do Uri – por Nível



Fonte: Autora (2019).

Figura 44 - Gráfico representativo dos principais morfotipos encontrados nas amostras da Lagoa do Uri - por amostra coletada



Fonte: Autora (2019).

Independente dos níveis vigentes de semiaridez e a despeito de suas condições edáficas, a área da lagoa encontrou-se vegetada permanentemente, o que explica a recorrência de fitólitos encontrados nos diferentes níveis. Uma maior concentração de fitólitos pode indicar a colonização de um horizonte superficial, mas nem sempre.

Com relação à concentração dos fitólitos na transição nível A para Vertissolo (Figura 44) fica difícil inferir se tratar de um paleossolo, tendo em vista que os Vertissolos apresentam como característica fendilamentos, que fazem com que os sedimentos percolem com facilidade; como as gretas que incorporam fitólitos do entorno, ou seja, há uma maior concentração de fitólitos associado ao processo de fendilhamento superficial deste tipo de solo. Então, encontrar maior quantidade de fitólitos abaixo de um Vertissolo é o esperado devido às condições acima enunciadas.

O agretamento dos Vertissolos corresponde a um momento seco. Se o solo se seca, as plantas também secam e morrem, e seus resíduos caem dentro das fendas, as quais apresentarão profundidades distintas a depender do material constituinte - quanto mais expansivas forem as argilas maior a profundidade das fendas produzidas. Para Suguio (2003) as gretas de contração (ou dissecação ou ressecação) são rachaduras em lama preenchidas por areia após ser formadas por perda de água. Em planta, as gretas exibem formas poligonais centimétricas a decimétricas, podendo chegar a 0,50m ou mais, além das fendas milimétricas a centimétricas. As gretas de ressecação são geralmente consideradas como evidência de exposição subaérea e servem também como critério de definição de topo e base de camadas invertidas por deformação.

Com relação à quantidade de agregados, estes se explicam em função do material constituinte, calcário e minerais de argila. Apresentam características de agregamento, envolvem as partículas silicosas e o tratamento não é agressivo o suficiente para rompê-los, o que não chega a ser deletério para a pesquisa já que “preservam” as partículas a serem analisadas.

No entanto, se pode inferir que alguma mudança de fato ocorreu entre os níveis 1A e o Vertissolo, níveis estes que correspondem ao Holoceno Médio e Superior respectivamente. Em geral esta mudança está marcada pelo incremento de alongados e diminuição de globulares (Figura 44). Não há uma explicação taxonômica para o aumento dos alongados, pois estes são

produzidos por todas as plantas, no entanto pode-se relacionar o aumento desses morfotipos à maior quantidade de plantas (gramíneas) existentes no momento. É coerente que se apresentem em maior quantidade nas camadas mais novas, o que indica um estágio ainda incipiente de alteração.

Observações importantes podem ser realizadas a partir dos dados encontrados nos níveis 1B e 1A, representativos da transição Holoceno inferior/Holoceno médio (Figura 44). Neste nível se observa, por exemplo, um aumento na quantidade de palmeiras. A inferência de que neste momento ocorrera uma maior cobertura de palmeiras na zona decorre da maior quantidade de globulares.

Seguramente pode-se atrelar a existência de globulares à família das *Arecaceae* (palmeiras), no entanto existem estudos (BENVENUTO et al., 2015; PAROLIN et al., 2014) que comprovam que outras plantas também produzem globulolitas, como por exemplo, as famílias: *Bromeliaceae*, *Zingiberaceae*, *Strelitziaceae* e *Cannaceae*. Mesmo assim é possível fazer a distinção entre os globulares que são produzidos por diferentes plantas, tendo em vista que estes apresentam características as quais permitem diferenciá-los, como o diâmetro, a esfericidade e o número de espinhas. Os globulares podem apresentar diâmetros que vão de 1.00 a 27.00 μm e são classificados em liso, granular e equinado, de acordo com a presença e quantidade de vértices apresentados (BENVENUTO et al., 2015).

O grande problema interpretativo, no entanto, diz respeito à ausência de uma assembleia moderna/contemporânea para ser confrontada com os dados fósseis. Apesar disso, a maioria dos globulares encontrados apresentou forma esférica, espinhosa e diâmetro grande, o que sugere serem derivados da família (*Arecaceae*). É possível ainda identificar alguns pulsos de maior incremento de globulares, no entanto é preciso observar que estes sempre existiram na área e continuam a ser introduzidos, inclusive ao Vertissolo atual. Assim seria necessário diferenciar quais seriam de palmeira e quais de outras espécies, já que representam coberturas diferentes e, portanto, levariam a diagnósticos ambientais distintos.

Os picos de globulares podem ainda estar relacionados a uma maior umidade ambiental, alternando pequenos ciclos secos e úmidos, apesar de que as palmeiras podem, a depender da espécie, se desenvolver em ambientes mais inóspitos. Além disso, as palmeiras, assim como os globulares, são muito

resistentes às mudanças ambientais. Existem globulares perfeitos de mais de 30 milhões de anos na Argentina (Osterrieth comunicação verbal).

O indicativo de maior umidade neste período é corroborado a partir de dados de pesquisa realizados por Galvão (2012) na Lagoa do Puiu onde em uma de suas análises comprova para este mesmo período um momento de máxima umidade durante o Holoceno inferior, interpretação esta que é reforçada pelos estudos de Mutzenberg (2007) que também encontrou vestígios de uma súbita retomada da umidade que removeu os regolitos expostos sob a atuação de fortes chuvas capazes de gerar depósitos de cascalhos na região semiárida do Seridó no Rio Grande do Norte.

No nível 2 observa-se a presença de saddles. Na transição para o 1B2 há uma diminuição em sua frequência (representando maior umidade), e deste para o nível 1B observando-se um incremento representativo destes morfotipos. Os saddles são indicativos de estresse hídrico, aumento de temperatura e/ou aumento de salinidade, o que sugere um momento de temperatura e aridez mais elevadas. Estes são também morfotipos diagnósticos seguramente produzidos por plantas/gramíneas do tipo C4 – ajustadas a condições mais extremas, de maior calor ou mais estresse para a planta, ou ainda maior evapotranspiração e maior concentração de sal no solo. Para o nível 1A os saddles diminuem, no entanto continuam a existir.

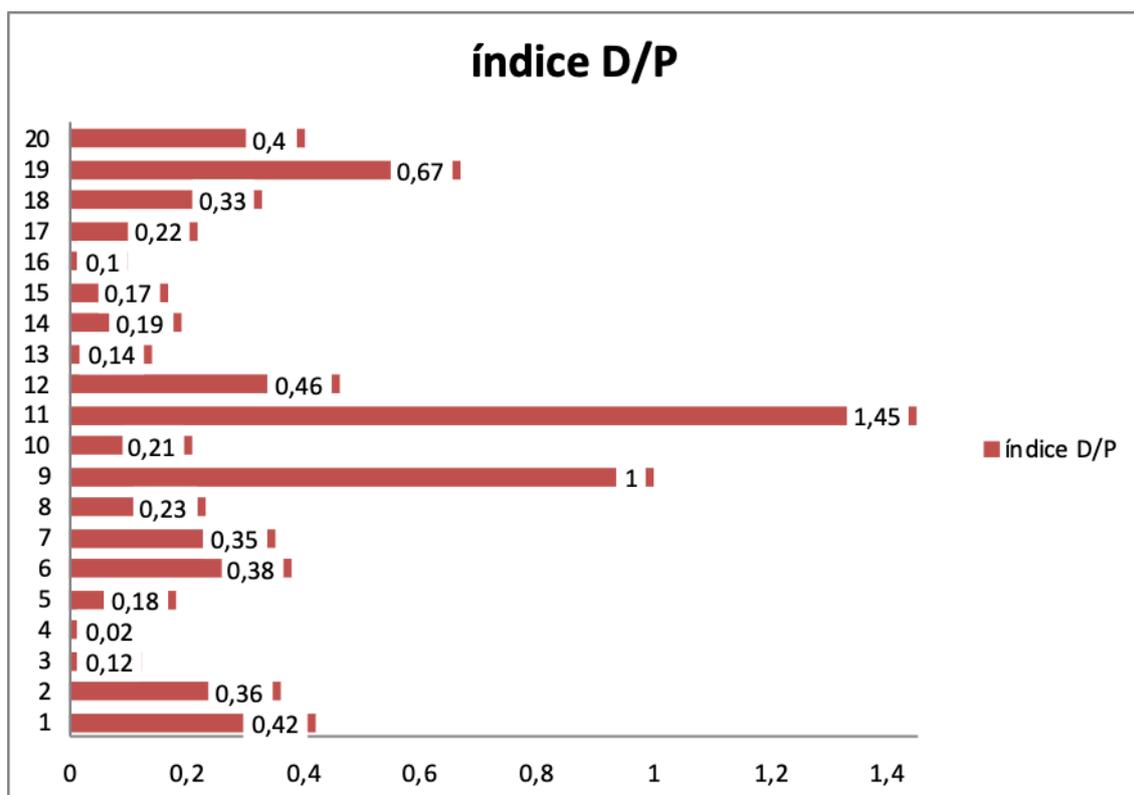
Em relação aos Índices de Cobertura Arbórea (D/P), estes variam de 0,02 (Nível 1B-2) a 1,45 (Nível 1B) (Figura 45). A aplicação deste índice demonstra uma correspondência qualitativamente boa com o que se sabe até agora sobre a provável distribuição de umidade ao longo do Pleistoceno Superior para o nordeste Oriental.

Por volta de 18.600 anos AP (Nível 2) já se constata a presença de uma savana que continua praticamente durante toda a seção vertical, com uma pequena mudança no nível 1B, que corresponde ao Younger Dryas, um momento mais frio e mais úmido, passando a ter uma situação de vegetação de floresta perene, muito episódica, voltando-se posteriormente, à condição de savana. Oliveira et al (1999) igualmente apontam para um episódio de maior umidade e temperaturas rebaixadas por volta de 11.000 anos AP, a partir da reconstrução palinológica de sedimentos de turfeiras interdunares no médio São Francisco. Os autores também afirmam que plantas da caatinga sempre

estiveram presentes na área a despeito da variação das condições de umidade e temperatura.

A transição do Holoceno médio para o Superior, que é marcada pela entrada da circulação atmosférica contemporânea, com episódios alternados de seca severa de 5.000 AP até o presente, responde por uma vegetação de savana baixa e estepes, chegando num momento atual com retorno à savana alta.

Figura 45 – Valores calculados para o Índice D/P para a Lagoa do Uri de Cima

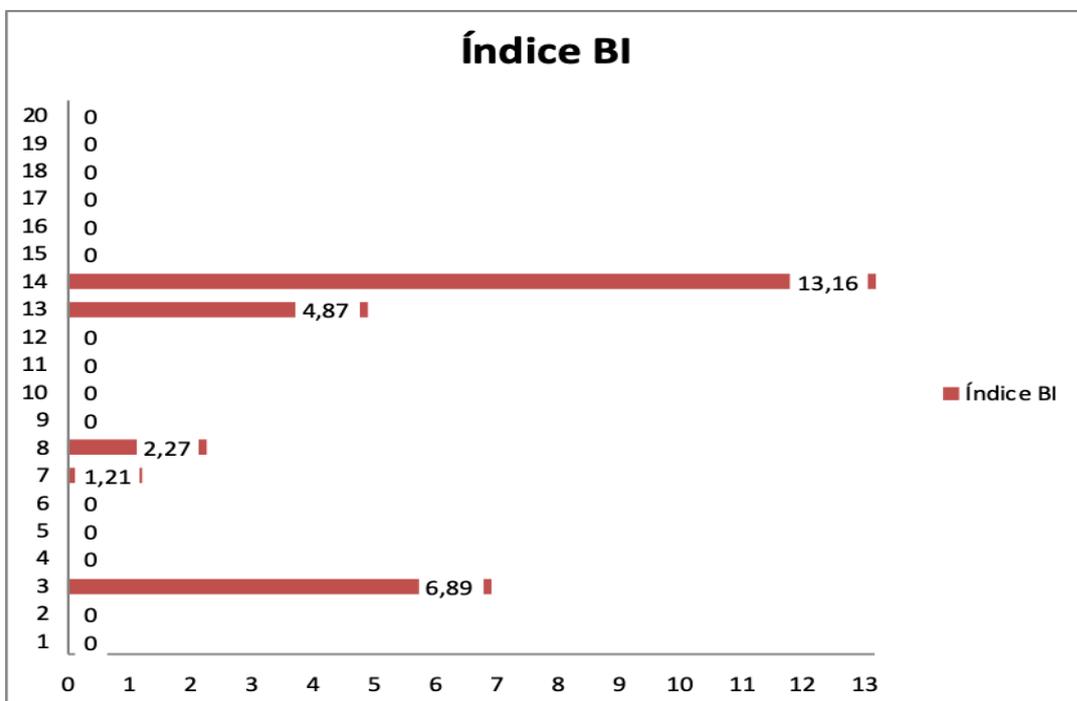


Fonte: Autora (2019).

Em relação ao índice de estresse hídrico (Bi), Adaptação à Aridez (Iph) e Índice Climático (Ic) (Figuras 46, 47 e 48), os mesmos corroboraram a presença de secura a partir da transição do Holoceno médio para o Holoceno superior, havendo momentos específicos de estresse hídrico relacionado à ocorrência de Vertissolo (Nível 1B). Esta situação indica uma possível oscilação entre fases mais secas e mais úmidas com ocorrência, mesmo em momentos em que potencialmente tenham sido mais frios e mais úmidos, da variabilidade que ainda existe atualmente. Em relação à vegetação, estes

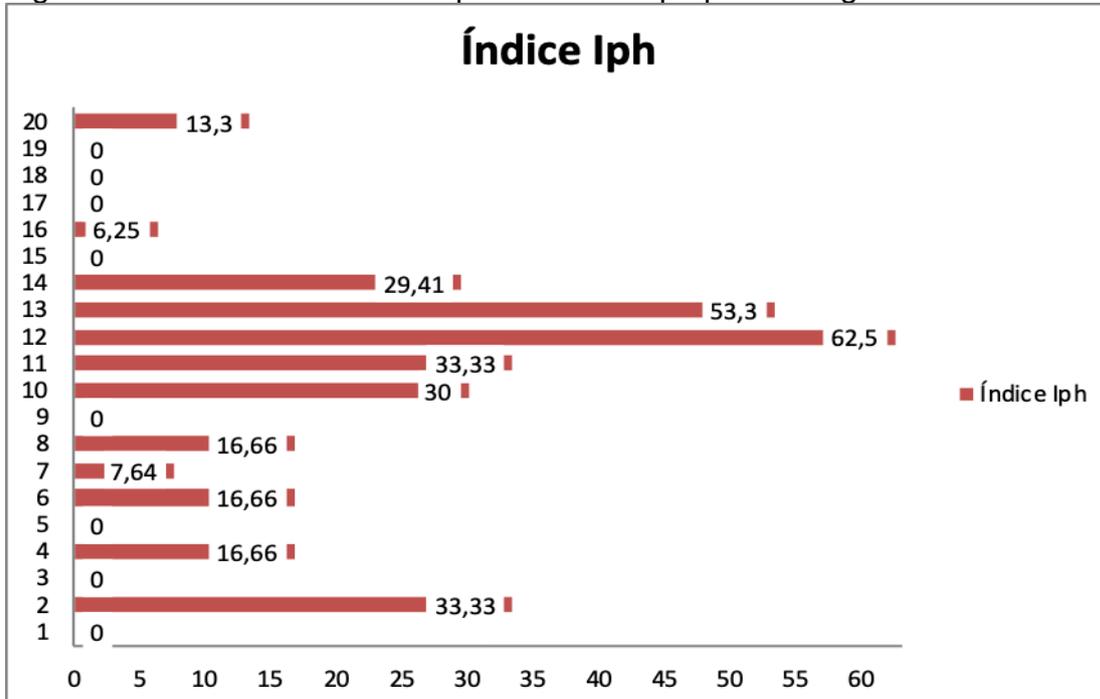
índices apontam para a permanência das mesmas características de vegetação aberta ao longo de todo Pleistoceno superior até os dias atuais.

Figura 46 – Valores calculados para o Índice Bi para a Lagoa do Uri de Cima



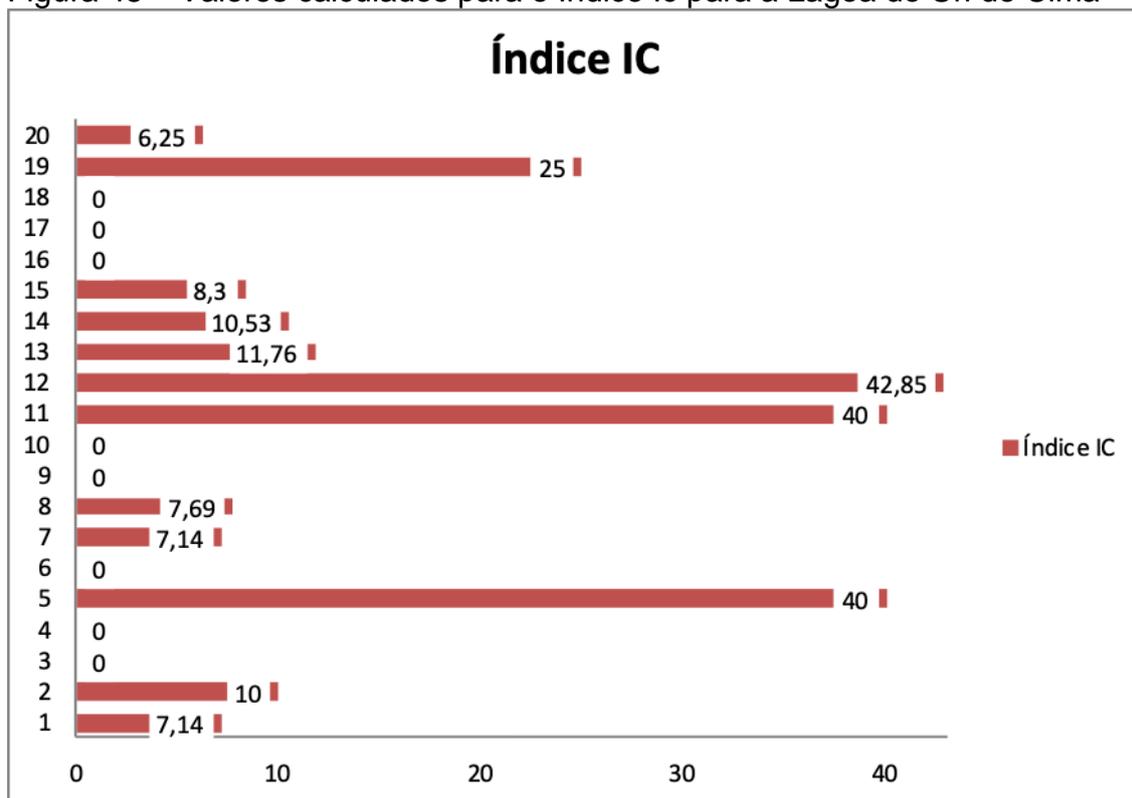
Fonte: Autora (2019).

Figura 47 – Valores calculados para o Índice Iph para a Lagoa do Uri de Cima



Fonte: Autora (2019).

Figura 48 – Valores calculados para o Índice Ic para a Lagoa do Uri de Cima



Fonte: Autora (2019).

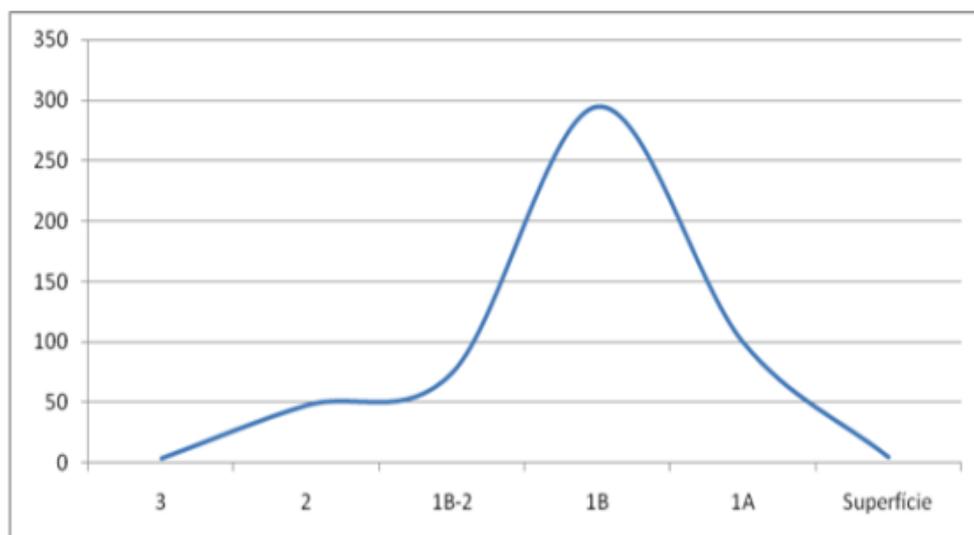
Os dados elencados corroboram a análise contida em Mutzemberg et. al (2013), que numa síntese estratigráfica e interpretação paleoambiental para a Lagoa do Uri de Cima afirmam:

A presença do cimento calcinomorfo indica a proximidade da zona vadosa em ambiente de aridez acentuada (Nível 2). A ausência do calcrete na camada subsequente evidencia uma mudança no regime biopedoclimático com predomínio de fluxos laminares terrígenos sob condições mais úmidas (Nível 1B-2). Esses níveis são delgados (20 cm) e apresentam uma alternância de areia na base, com clorita, para argila compacta no nível superior. O nível argiloso corresponde a um episódio de sedimentação em ambiente aquoso que acompanha de forma irregular o depocentro da depressão. A camada argilosa é recoberta por fluxos de detrito e de lama (Nível 1B e 1A) com presença incipiente de carbonato de cálcio sob a forma filamentosa e granular, indicando a retomada de condições mais secas. (MUTZEMBERG *et. al.*, p.64, 2013)

Mutzemberg (Op. cit) constataram ainda a presença de jacarés na Lagoa do Urí durante o Último Máximo Glacial e restos de cágados em toda seção estratigráfica. Segundo os autores, a presença muito maior de restos de cágados leva a crer que havia um ambiente mais favorável às espécies aquáticas ao final do Pleistoceno e durante a transição para o Holoceno. Após

o pico de presença destes animais detectado no nível 1B (Figura 49), observa-se um decréscimo acentuado nos restos de animais aquáticos. O cálculo do índice de cobertura arbórea também demonstrou presença de vegetação de floresta perenifólia para o nível 1B, o que torna evidente que condições de regime hídrico caracterizado pela existência de água perene, parecem estar sempre presentes até o Holoceno Médio, no interior da lagoa ou arredores.

Figura 49 – Distribuição dos restos de cágado por camadas.



Fonte: Mutzemberg et. al. (2013).

6 CONCLUSÃO

Recentemente a extração dos fitólitos tem se tornado uma importante alternativa à inclusão de dados da vegetação pretérita para a reconstrução paleoambiental. Apesar de ser uma técnica ainda pouco utilizada, sobretudo no ambiente semiárido, pôde agregar aportes ainda não considerados pela reconstrução geomorfológica para a área em questão.

É sempre de grande valia para a Ciência a adição de novas metodologias às comumente utilizadas. Desta forma, neste trabalho buscou-se recompor a evolução de um recorte da paisagem semiárida por meio dos biominerais de sílica com ênfase em seu possível significado paleoambiental.

A extração e análise dos fitólitos ora realizadas tentaram estabelecer seu significado em face a outros parâmetros ambientais já conhecidos para a área e para o semiárido nordestino como um todo. De maneira mais específica, constatou-se que os dados biológicos encontrados para os sedimentos de preenchimento da lagoa apresentam-se em concordância com os resultados granulométricos e sedimentológicos obtidos por esta pesquisa, quanto com os previamente desenvolvidos para a área de estudo além dos dados paleoclimáticos regionais.

Um aspecto particularmente relevante emanou dos dados obtidos por meio da difratometria de raio-x dos minerais de argila encontrados nos níveis estratigráficos estabelecidos para a Lagoa do Uri. Os dados apontaram para a vigência de condições biopedoclimáticas semiáridas ao longo de toda a sequência deposicional, com exceção para o Nível 2, depositado durante o UMG em condições gerais de maior torrencialidade. Os sedimentos que compõem esse nível estratigráfico foram possivelmente elaborados em uma fase anterior ao UMG, mais quente e úmida, como atesta a presença de caulinita, ausente de todos os demais níveis do depósito. Este fato também corrobora a conexão da lagoa com a rede de drenagem durante a fase anterior ao UMG, permitindo a perda parcial da sílica para fora do sistema. É fato também que na área sempre existiu água, visto que as análises apontam para a alternância entre solos encharcados e secos em função das mudanças no ambiente.

Quanto à vegetação, a maior representatividade de elementos encontrados é de gramíneas e palmeiras vinculadas ao entorno da área deposicional, fato que corrobora o poder de arraste das precipitações torrenciais sob condições semiáridas e cobertura vegetal esparsa.

Pode-se dizer também que na área sempre houve algum tipo de cobertura de solo, assim todos os níveis estudados apresentaram-se pedogenizados, o que indica que independente da lagoa não ser mais perene sempre houve a presença da água, ainda que em pouca quantidade, fato que ainda se comprova pela presença contínua dos quistes, espículas e diatomáceas.

Os quistes indicam momentos de stress hídrico ou uma condição química correspondente ao aumento de salinidade, o que aponta também para um momento de maior evapotranspiração. No trabalho se observa que a quantidade de quistes aumenta gradativamente a partir da transição pleistoceno/holoceno.

Observações importantes podem ser realizadas a partir dos dados encontrados nos níveis 1B e 1A, representativos da transição Holoceno inferior/Holoceno médio. Neste nível se observa, por exemplo, um aumento na quantidade de palmeiras. A inferência de que neste momento ocorreria uma maior cobertura de palmeiras na zona decorre da maior quantidade de globulares. Os picos de globulares podem ainda estar relacionados a uma maior umidade ambiental, alternando pequenos ciclos secos e úmidos, apesar de que as palmeiras podem, a depender da espécie, se desenvolver em ambientes mais inóspitos. Além disso, as palmeiras, assim como os globulares, são muito resistentes às mudanças ambientais. A maior esfericidade identificada nos grãos do nível 1B e 1A associada a uma maior quantidade de diatomáceas fragmentadas representa um indicativo de que houve um momento deposicional de maior energia de transporte – torrencialidade - no entorno na lagoa. Esses elementos sugerem mudanças ambientais ocorridas, corroborando os dados relativos à sua cronologia por LOE e demais análises sedimentológicas.

Também se pode inferir a partir dos dados biogênicos que alguma mudança ocorreu entre os níveis 1A e o Vertissolo, níveis estes que correspondem ao Holoceno Médio e Superior respectivamente, onde se observa maior número de espículas fragmentadas. Os microfosséis confirmam

a situação de mudança de um nível para outro, assim como reafirmam a presença de água mesmo que sazonal ou esporádica.

Pode-se afirmar que independente dos níveis vigentes de semiaridez e a despeito de suas condições edáficas, a área da lagoa encontrou-se vegetada permanentemente, o que explica a recorrência de fitólitos encontrados nos diferentes níveis. O grande problema interpretativo, no entanto, diz respeito à ausência de uma assembleia moderna/contemporânea para ser confrontada com os dados fósseis.

REFERENCIAS

- AB'SABER, A. *Os domínios de Natureza no Brasil – Potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Atelier editorial, 2003.
- Acta Botanica Brasilica vol.21 no.3 São Paulo July/Sept. 2007
 Print version ISSN 0102-3306 On-line version ISSN 1677-941X
- ALEXANDRE, A. et. al. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136 (1-4), 1997 (213-229).
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Arquivos do Instituto de Pesquisas Agronômicas*, Recife, n.2, 1981.
- ARAUJO FILHO, J. C. de. Relação solo e paisagem no Bioma Caatinga. In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 14., 2011, Dourados. Dinâmicas socioambientais das inter-relações às interdependência. Dourados: UFGD, 2011.
- BARBONI, D. et. al.. Phytoliths as Paleoenvironmental Indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 152, 1999.
- BATISTA, G.N. *Taxonomia de esponjas de águas continentais do estado de Pernambuco*. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
- BENVENUTO, M. L. et. al. Differentiation of globular phytoliths in Arecaceae and other monocotyledons: morphological description for paleobotanical application. *Turkish Journal of Botany*, bot-1312-72, 2015.
- BEZERRA, F. H. R; BRITO NEVES, B. B.; CORREA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. *Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil*. *Geomorphology*, v. 97, 2008 (p.555-582).
- BIGARELLA, J. J. et al. *Estrutura e Origem das Paisagens tropicais e Subtropicais*. Florianópolis: Editora da UFSC, Volume 1, 1994.
- BORRELLI, N; HONAINÉ, M.F; ALTAMIRANO, S.M.; OSTERRIETH, M. *Calcium and Silica Biomineralizations in leaves aquatic species of the Pampean Plain, Argentina*. *Aquatic Botany*. 94. 2010. (p. 20-36)
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil*. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.
- BREMOND, L. et. al. Grass Water Stress Estimated from Phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, 32, 2005 (p. 311 -327).

BRITO, M. F. L.; MARINHO, M. S. 2014. Carta Geológica da Folha Salgueiro SC.24-V-B-III. Estado de Pernambuco. Recife: CPRM, 2014. 1 mapa, colorido, 94 x 72cm. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil - PGB.

CALEGARI, M. R. *Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em Latossolos*. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008.

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, 1998 (p. 438 – 442).

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1980.

_____. A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. *Not. Geomorfológica*. 21(42): 3-22, 1981.

COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M. *Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)*. Nova Science Publishers, 2014.

COE, H.H.G. *Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo frio, RJ, durante o Quaternário*. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha). Universidade Federal Fluminense, 2009.

COE, H.H.G.; MACARIO, K.; GOMES, J.G.; CHUENG, K.F.; OLIVEIRA, F.; GOMES, P.R.S.; CARVALHO, C.; LINARES, R.; ALVES, E.; SANTOS, G.M. *Understanding Holocene variations in the vegetation of Sao Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. n.415 p. 59-68. 2014.

CORREA, A. C. B. *Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2001.

CORRÊA, A. C. B. & SILVA, D. G. Análise geomorfológica e morfoestratigráfica dos modelados deposicionais da área de Conceição das Crioulas, Salgueiro – PE: um subsídio para a reconstrução paleoambiental. *CLIO Série Arqueológica*. 22, 2005, (p. 28- 44).

CORRÊA, A. C. B. *O geossistemas como modelo para a compreensão das mudanças ambientais pretéritas: uma proposta de Geografia Física como ciência histórica*. In: SÁ, A. J. & CORRÊA, A. C. B. (Orgs). *Regionalização e análise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2006, (p 33-45).

CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G.; MELO, J. S. Utilização dos Depósitos de Encostas dos Brejos Pernambucanos como Marcadores Paleoclimáticos do Quaternário Tardio no Semi-Árido Nordestino. *Mercator*. 14, 2008 (p.101-121).

CORREA, A.C.B. et. al. Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, 31(1/2), 2010 (p. 35-52).

CPRM. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Salgueiro*. Recife, 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Mapa de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade de Solos do Estado de Pernambuco*. Recife: EMBRAPA, 2011. 1 mapa, colorido. Escala 1:300.000. Levantamento de solos do Pernambuco.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicone in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Science*, 1994 (p. 11 -17).

_____. *Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. v.50, p.641-664, 1999.

FERNANDEZ HONAINÉ, M. et al. Amorphous sílica biomineralizations in sedges: Their relations with senescence and sílica availability. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 48, 2013 (p.247 – 259).

FOLK, R. L. & WARD, W. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27: 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.

FUMDHAMENTOS. *Publicação da Fundação Museu do Homem Americano* v.1,n. 10, 2013.

GALE, S.J. & HOARE, P.G. *Quaternary Sediments: Petrographic Methods for the Study of Lithified Rocks*. Londres: Bethaven Press, 1991.

GALVÃO, D. C. *Reconstrução paleoambiental a partir dos colúvios do entorno da Lagoa do Puiu, Município de Imbirim – Pernambuco*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 2012.

GURGEL, S. P. P. *Evolução Morfotectônica do Maciço Estrutural Pereiro, Província da Borborema*. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

HODSON, M.J. Silicon deposition in the roots, culm and leaf of *Phalaris canariensis*. *Annals of Botany*, 58, 1986, (p. 167 – 177).

HODSON, M.J. et. al., Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of Botany*, 96, 2005 (p. 1027-1046).

KALINOVSK, E.C. Z. et al. Esponjas de água doce na América do Sul: O estado da arte da produção científica no Brasil. *Terrae didática*, 12- 1, 2016.

LEPSCH, I. F. *Formação e Conservação dos Solos*. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LUZ, L.D. *Aspectos paleoambientais do quaternário superior na região de Campo Mourão, Paraná*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2014.

LUZ, L. D. et. al. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. *Terrae Didática*. 11 (1). 2015 (p.52-64).

MACEDO, A. O. *Estudo geoarqueológico dos níveis arenoso e de cascalheira cimentada por concreção carbonática do Sítio Lagoa Uri de Cima, Salgueiro-PE*. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas - CFCH. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.

MACMANUS, J. Grain Size determination and interpretation. In: TUCKER, M. *Techniques in sedimentology*. Cambridge: Blackwell, 1988 (p. 63-85).

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. *International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. Annals of Botany, Oxford*, v. 96, p. 253–260, 2005.

MELO, R. F. T. et al. Avaliação da Dinâmica Geomorfológica do Município de Afrânio (PE), com Base na Abordagem Morfoestratigráfica. In: *9º Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Rio de Janeiro, Anais, 2012.

MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA 2007 MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MISSURA, R. *Bacia do Riacho Pioré-PE: análise morfotectônica e morfoestratigráfica*. Tese (Doutorado em Geografia), Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

MUTZENBERG, D. S. *Ambientes de Ocupação Pré-Histórica no Boqueirão da Pedra Furada, Parque Nacional Serra da Capivara - PI*. Tese (Doutorado em Arqueologia), Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFCH. Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

MUTZENBERG, D. S. et al. *Sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima: cronoestratigrafia de eventos paleoambientais do semiárido nordestino. Fundamentos*, p. 51-68, 2013.

OLIVEIRA, P.E., BARRETO, A.M.F., SUGUIO, K., 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. 1999.

OSTERRIETH, M. Silicofitolitos em suelos, paleosuelos y materiales parentales. In: ZUCOL, A; OSTERRIETH, M; BREA, M. (Orgs.) *Fitólitos: Estado actual de sus conocimientos em América del sur*. Argentina: 2008 (p. 75 -85).

OSTERRIETH, M. et. al. Taphonomical Aspects of Silica Phytoliths in the Loess sediments of the Argentinian Pampas. *Quat. Int.*, 193, 2009 (p. 70 – 79).

PAISANI, S.D.L. *Significado paleoambiental de silicofitólitos em rampa de colúvio e paleocabeceira de drenagem na superfície de Palmas-Água Doce*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Centro de Ciências Humanas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

PAROLIN M. et. al. Considerações Paleoambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. *Revista do Departamento de Geografia*, Volume Especial – Eixo 5, 2017 (p.96 –103).

- PAROLIN, M. et al., Use of spongofacies as a proxy for river-lake e paleohydrology in Quaternary deposits of Central-Western Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, v.11, n.3, 2008 (p.187-198).
- PAROLIN, M. et. al. Paleoenvironmental conditions of Campos Gerais, Paraná, since the Late Pleistocene, based on phytoliths and C and N isotopes. In: Coe H.H.G., Osterrieth M. (eds) *Synthesis of some phytoliths studies in South America (Brazil and Argentina)*. Nova Science Publishers, New York, 2014 (p. 149-170).
- PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: DE BOER, P. L., VAN GELDER, A., NIO, S. D. (eds). *Tideinfluenced Sedimentary Environments and Facies*. Ridel, Dordrecht, 289-300, 1988.
- PESSEDA, L.C.R. et al. Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: Souza, C.R.G.; Suguio K.; Oliveira, A.M.S; Oliveira P.E. (Eds), *Quaternário do Brasil*. Editora Holos, São Paulo: 2005 (p.75-93).
- PESSEDA, L. C. R. et. al. Vegetation dynamics during the late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão state, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter. *Quaternary Research*, SanDiego, v.62, 2004 (p.183 – 193).
- PESSEDA, L.C.R. et. al. Estudos interdisciplinares na reconstrução milenar da dinâmica climática, da vegetação e marinha no Brasil. Piracicaba: CENA/USP, 2015.
- PIPERNO, D.R. Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective. *Academis Press*, San Diego: 1988.
- PIPERNO, D.R. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. *Journ. World Prehist.*, 5(2), 1991 (p. 155-191).
- PIPERNO, D.R. *Phytoliths: A comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. Lanham: AltaMira Press, 2006.
- RAITZ, E. CALEGARI, M.R., PAISANI, J. C, PAISANI, S.D.L. Inventário de Fitólitos da Floresta Ombrófila Mista: Subsídios para Estudos Paleoambientais. Quaternary and Environment. *Geosciences*.v. 6, n.2. 2015.
- RAMOS, D.A.M.C. *Os depósitos de encosta na reconstrução da dinâmica geomorfológica na bacia do riacho Piancozinho (Pernambuco/Paraíba)*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal do Pernambuco, 2014.
- RANULPHO, R. *Fitólitos em depósitos de colúvio do quaternário superior na face nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE: Significado Paleoambiental*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- RIBEIRO, F.C.P. et. al, O uso de diatomáceas como bioindicadores paleoambientais na costa brasileira. *Associação brasileira de estudos do Quaternário*.2005 Disponível em:

http://www.abequa.org.br/trabalhos/0264_resumo_diatomaceas_csenna.pdf
Acesso em 10 de junho de 2018.

REVIERS, B. Natureza e posição das “algas” na árvore filogenética do mundo vivo. In: FRANCESCHIN, I.M., BURLIGA, A.L., REVIERS, B., et al. *Algas: Uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica*. Porto Alegre: Artmed, 2010.

ROVNER, I. Potential of opal Phytoliths for use in Palaeoecological Reconstruction. *Quaternary Research*, San Diego, v.1, n.3, 1971 (p.345-359).

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soil central Africa – Quantities, shapes, classification, and spectra. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Amsterdam, v.107, 1999 (p.23 -53).

SALGADO-LABOURIAU, M. L. *História Ecológica da Terra*. São Paulo: Edgard Blucher, 1994.

_____. *Crítérios e técnicas para o Quaternário*. São Paulo: Edgard Blucher, 2007

SANTOS, C.T.N dos. *Reconstrução das condições paleoambientais e paleoclimáticas no estuário do Tejo durante o Holocénico (~ 12000 anos)* Dissertação de Mestrado em Ciências do Mar – Recursos Marinhos. Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto.

Santos, G. B. dos. et al Análise de espículas de esponjas como indicadores paleoambientais em sedimentos lacustres no oeste da Bahia . *Revista Brasileira de Paleontologia*. 19(3), 2016 (p. 439-448).

SILVA, E. H. SANTOS, C.A.B. OLIVEIRA, E.G. da S. COSTA NETO, E.M. (org.) *História ambiental e história indígena no semiárido brasileiro*. Feira de Santana; UEFS editora, 2016.

SILVA, C.S.R. *Origem botânica e produção de méis de municípios do sertão central do estado de Pernambuco*. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Campus de Ciências Agrárias. Universidade do Vale do São Francisco, 2012.

SILVA, D.G. *Reconstrução da Dinâmica Geomorfológica do Semiárido Brasileiro no Quaternário Superior a Partir de Uma Abordagem Multiproxy*. Tese (Doutorado em Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

SILVA, D. G. *Evolução Paleoambiental dos Depósitos de Tanques em Fazenda, Município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

SILVA, F. M. *Mamíferos do Pleistoceno Superior de Afrânio, Pernambuco, Nordeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Geociências) Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SILVA, J. L. L. *Reconstituição Paleoambiental Baseada no Estudo de mamíferos Pleistocênicos de Maravilhas e Poços das Trincheiras, Alagoas, Nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Geociências). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

SILVA, D. G. & CORRÊA, A. C. B. Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Pernambuco - Nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Geografia Física*, v.2(2), 2009 (p. 43-56).

SOUZA, G.S. de. et al. Diatomáceas indicadoras de paleoambientes do Quaternário de Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil *Acta bot. bras.* 21(3): 521-529. 2007.

SOUZA, L.B.P. *Arqueologia Espacial do Sítio Arqueológico Uri de Cima (Salgueiro, PE): um estudo da distribuição intra-sítio dos vestígios líticos*. Dissertação de mestrado. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Pernambuco. 2018.

SUGUIO, K. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (presente + passado = futuro?)*. São Paulo: Paulos, 1999.

_____. *Geologia Sedimentar*. Edgard Blücher, São Paulo, 2003.

_____. *Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SUGUIO, K. et. al. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2005.

THIEDE, J. Definition of time intervals and core levels of sediment core GIK10773-2, Atlantic continental margin of Portugal and Morocco. *Pangea*, 1973.

TWIDALE, C. R. *Granite Landforms*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing 1982.

TWISS, P. C. *Morphological classification of grass phytoliths*. *Soil Science Society of América Proceedings*. Madison, v.33,1969 (p.109 -115)

VOLKMER-RIBEIRO, C.;PAROLIN, M. As Esponjas. In: Parolin, M.; Volkmer-Ribeiro, C. & Leandrini, J. A. (orgs.) *Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná*. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2010 (p. 105-130).

VOLKMER-RIBEIRO, C. et al. Colonization of hydroelectric reservoirs in Brazil by Freshwater Sponges, with special attention on Itaipu. *Interciência*, v.35, no.5 Caracas, 2010 (p.340-347).

ZHAO, Z. PEARSALL, D.M. Experiments for improving phytolith extraction from soils. *Journal of Archaeological Science*, 25, 1998 (p.587-598)