

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGc

**Análise semi automática micro-estratigráfica das estalagmites
da Gruta Pérolas, Distrito de Bauxi – Mato Grosso, aplicada a
reconstrução paleoclimática do quaternário continental.**

**“Monografia de Trabalho de Formatura”
(TF/06-28)**

LEANDRO SACCONI CANAVER

Orientador: Ivo Karmann.

Co-orientador: Alexandre Matos Seidel.

2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Análise semi-automática micro-estratigráfica das
estalagmites da Gruta Pérolas, Distrito de Bauxi –
Mato Grosso, aplicada à reconstrução paleoclimática
do quaternário continental**

Leandro Sacconi Canaver



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ivo Karmann

Prof. Dr. William Sallun Filho.

Prof. Dr. Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGc

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024391

Análise semi automática micro-estratigráfica das estalagmites da Gruta Pérolas, Distrito de Bauxi – Mato Grosso, aplicada a reconstrução paleoclimática do quaternário continental.



"Monografia de Trabalho de Formatura"
(TF/06-28)

LEANDRO SACCONI CANAVER

Orientador: Ivo Karmann.

Co-orientador: Alexandre Matos Seidel.

2006

TF
C213
LS.a

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Antes de ser admitido en esta institución
de San Carlos, Centro de San Carlos, Guatemala
se requiere que el interesado presente un certificado



de la Biblioteca de Geografía

(Firma)

LEONARDO SANCHEZ GARCIA

Geografía y Turismo

Dr. Leonardo Sánchez García

Este livro é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

Ao longo da história, o povo português sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades. Esta obra é uma homenagem ao povo português que, ao longo da história, sempre se destacou pela sua coragem e pela sua capacidade de superar as dificuldades.

**"Quem vai em busca dos montes não se detém a recolher as pedras do caminho."
(Josué Martí)**

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos àquelas pessoas que participaram da minha formação, me apoiaram e me ajudaram em diversos momentos.

Aos meus pais, **Luis Antônio Canaver** e **Ligia Sacconi Canaver** e, ao meu irmão **Bruno Sacconi Canaver**, que me apoiaram, auxiliaram e ajudaram de todas as formas possíveis na minha formação, respeitando minhas escolhas. Registro aqui minha profunda gratidão à minha família.

Um agradecimento mais que especial a minha **Marina Del Monte**, pelo apoio incondicional, que não se limitou ao carinho e compreensão de namorada, mas teve uma participação mais que especial no desenvolvimento desse trabalho, por meio de discussões e apoio total na confecção do TF. Obrigado por fazer parte de minha vida nos momentos mais importantes e nos que mais precisei de apoio.

Aos meus orientadores **Ivo Karmann** e **Alexandre Mattos Seidel**, que ajudaram e orientaram a confeccionar este trabalho, tomando as discussões produtivas e fundamentais para um melhor aproveitamento dos dados gerados.

Ao casal de amigos **Alethéa Ernandes Martins Sallum** e **Willian Salum Filho** que contribuíram muito com minha formação, me apoiando, incentivando e até mesmo me orientando em diversas etapas da minha vida acadêmica, um obrigado especial a vocês.

Ao pesquisador do Instituto Geológico **Dr. José Antônio Ferrari** e ao colega **Cláudio Genthner**, que acreditaram em mim me incentivando desde o início nos trabalhos vinculados aos ambientes cársticos.

Aos amigos **Ita, Lúcia** e **Elaine Guarnieri Baroni** que me orientaram e apoiaram nas diversas fases de minha vida acadêmica.

Agradeço aos amigos **Rafael Casati** e **Bruno Lenhare** pela disponibilidade de tempo para realizar a revisão do texto em inglês.

Por fim, agradeço a **Dona Celina**, tia do café, por fornecer o subsídio que me manteve acordado durante as aulas em toda a minha graduação.

Resumo

O estudo do paleoclima tem como finalidade entender e ter noção das mudanças climáticas que ocorreram no passado, seja em escala regional ou global. O estudo das mudanças climáticas é uma ferramenta importante para uma série de aplicações práticas na agricultura, manejo de bacias hidrográficas, quantificação de recarga de aquíferos, gestão de zonas costeiras dentre outras.

O presente trabalho utiliza-se de estudos microestratigraficos de uma estalagmite da gruta de Pérolas (topo ativo e base 3930 ± 900 anos), a fim de tentar evidenciar a ocorrência de diferentes tipos de ciclos climáticos, em diferentes escalas temporais, que possam ser representativas da variabilidade climática natural do centro-oeste brasileiro. Esta gruta desenvolve-se nos dolomitos da Formação Araras, do Grupo Cuiabá, pertencente à Província geológica denominada Faixa Paraguai. Localiza-se na porção centro-sul do Estado de Mato Grosso, no município de Rosário d'Oeste, distrito de Bauxi.

Os estudos microestratigraficos foram feitos com base em contagens semi-automáticas das laminações e tratadas através da interpretação das séries temporais, que utilizaram análises correlatórias, espectrais, multiespectrais, *wavelet's*, além de taxa de crescimento de espeleotema.

Através das interpretações dos dados, observou-se que o espeleotema apresenta laminação que pode representar um crescimento marcado pela sazonalidade da região (lâminas claras e escuras). A análise estatística dos resultados das contagens apresentou dois picos bem definidos que poderiam corresponder, aproximadamente, a ciclos de 50 anos relacionado a periodicidade climática que ocorre a cada 50 anos na região da gruta e o ciclo de 11 anos relacionado ao ciclo das manchas solares (ciclo de Schwabe).

Abstract

The study of paleoclimate records has the general purpose to understand past climatic changes occurred in local or global scale. The understanding of the mechanisms that drive climatic changes is an important tool for applications in planning of agriculture, managing the use of water resources of water sheds and aquifers, and occupation of coastal zones.

The present study is based on microstratigraphic analysis of a stalagmite of the Pérolas Cave (active top and base with 3930 ± 900 years), Central-west of Brazil, located in the municipality of Rosário do Oeste, Mato Grosso State. The cave lies in dolomites of the Araras Formation of Upper Proterozoic Paraguay Fold Belt.

The microstratigraphy along the growth axis of the 24 cm high stalagmite has been studied using optical and electronic scanning microscopy in order to measure and count the very well defined banding of alternated clear and dark layers. The counting was made both by manual and semi-automatic methods. The time series of number of layers and thickness of the layers has been analysed with spectral, multispectral and wavelet analysis. The growth rate has also been determined.

Probable annual lamination has been identified related to annual climatic seasonality, as well as, the time series revealed cycles of 50 and 11 years, which were respectively correlated to a local climate change cycle and the solar spot cycle (Schwabe cycle).

Índice

1.	INTRODUÇÃO	2
2.	METAS E OBJETIVOS	3
3.	LOCALIZAÇÃO E MEIO NATURAL DA ÁREA DE ESTUDO	4
3.1	Localização	4
3.2	Geologia regional.....	5
3.3	Geologia local	6
3.4	Geomorfologia	9
3.5	Clima	11
3.6	Coberturas vegetais	11
4.	TRABALHOS PRÉVIOS	12
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
5.1	Métodos Analíticos	14
5.2	Microscopia Ótica (MO)	14
5.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	15
5.4	Estratigrafia.....	16
5.5	Aquisição de dados e contagens das laminações	16
5.6	Contagem Automática.....	17
5.7	Contagem manual.....	17
5.8	Análise Estatística de Séries Temporais.....	18
5.9	Análise Correlatória e Espectral	18
5.10	Análises de não Estacionaridades: Análise com Wavelets.....	19
5.11	Análise com wavelets continuas	20
5.12	Análise com Wavelets Discretas Ortogonais.....	20
5.13	Geocronologia.....	21
5.13.1	Datação por Radiocarbono.....	22
5.13.2	Datação pelo Método Urânio/Tório	23
6.	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	23
6.1	Seções Longitudinais em Estalagmites	23
6.2	Aquisição de imagem	24
6.3	Contagem de laminações.....	26
6.3.1	Manual	26

6.3.2 Automática.....	26
6.4 Tratamento dos dados	27
6.5 Datação Geocronológica	27
6.5.1 Seleção de Amostras	27
6.5.2 Datações ^{14}C AMS	28
6.5.2 Datações U/Th.....	29
7. RESULTADOS OBTIDOS (APRESENTAÇÃO, INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO)...	30
7.1 Geocronologia.....	30
7.1.1 Datação U/Th	30
7.1.2 Datação Carbono	31
7.2 Contagem.....	32
7.3 Análise das séries temporais.....	34
7.4 Microestratigrafia.....	44
8. CONCLUSÃO	47
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Localização e acesso da gruta de Pérolas.....	4
Figura 3.2 - Faixa Paraguai e suas coberturas cratônicas adjacentes.....	5
Figura 3.3 – Mapa geológico da Porção Norte da Faixa de Dobramentos Paraguai.....	7
Figura 3.4 - Esquema das relações estratigráficas dá Proterozóico Médio e Superior na borda sudeste do Cráton Amazônico.....	8
Figura 3.5 – Mapa da Gruta de Pérolas-MT.....	10
Figura 3.6 - Feições cársticas características da área da Gruta de Pérolas.....	10
Figura 3.7 – Parâmetros Meteorológicos Mensais da estação de Cuiabá.....	11
Figura 5.1 - Formação da imagem através da detecção de elétrons secundários e relação de aumento no MEV.....	16
Figura 6.1 – Claves do Espeleotema PER 5.....	24
Figura 6.2 – Localização das seções onde foram confeccionadas os mosaicos da lâminas	25
Figura 6.3 - Teste de transformação automática em uma fração da imagem obtida pelo MEV.	26
Figura 6.4 - Amostragem para datação de carbono.....	28
Figura 6.5 – Furo das amostragens para as datações U/Th.....	29
Figura 7.0 – Detalhe da área de amostragem	31
Figura 7.1 – Processamento das contagens manual e automática.....	33
Figura 7.2 – Comparação de imagens de MEV e MO.....	34
Gráfico 7.3 – Análise espectral e <i>waveltts</i> contínuas do período de 2000 a 1744.....	35
Gráfico 7.4 – Taxa de crescimento para os primeiros 3,8 cm (topo).....	36
Gráfico 7.5 – Espessura em microns X Tempo.....	37
Gráfico 7.6 – Análise espectral e <i>waveltts</i> contínuas do período de 1650 a 1394.....	37
Gráfico 7.7 – Taxa de crescimento para os primeiros 3,3 e 6,7 cm.....	38
Gráfico 7.8 – Espessura em microns X Tempo	39
Gráfico 7.9 – Análise espectral e <i>waveltts</i> contínuas do período de 1279 a 1535.....	40
Gráfico 7.10 – Taxa de crescimento para os primeiros 3,8 cm (topo).....	40
Gráfico 7.11 – Espessura em microns X Tempo.....	41
Gráfico 7.12 – Análise espectral e <i>waveltts</i> contínuas do período de 2000 a 1488.....	42
Gráfico 7.13 – Taxa de crescimento para os primeiros 8.7 cm.....	43
Gráfico 7.14 – Espessura em microns X Tempo.....	43
Figura 7.15 – Esquema de deposição das camadas dos espeleotemas (sem escala) Microestratigrafia e mudanças climáticas.....	46

Índice de Tabelas

Tabela 7.1 - Resultados das datações TIMS U/Th sobre o estalagmite PER-5.....	30
Tabela 7.2 - Resultados das pMC (<i>Post modern carbon</i>) ^{14}C /AMS sobre o estalagmite PER-5.	32
Tabela 7.3 – Quantidade de pares de laminas no espelotema PER-5.....	32

1. INTRODUÇÃO

O clima é o conceito usado para entender o comportamento da relação da circulação atmosfera em diferentes "intervalos de tempo". O clima (da referida região) seria o comportamento médio da atmosfera por um longo período de tempo: meses ou anos.

A mais "clara" presença do clima em nossas vidas é o ciclo anual das estações: primavera, verão, outono e inverno. Este ciclo é determinado pela posição da Terra (relativa aos outros planetas) no sistema solar.

As mudanças climáticas que atingem nosso planeta sempre preocuparam a população e os governos. Mudanças Climáticas é um termo bastante genérico, que engloba vários assuntos, tais como a elevação generalizada de temperatura, as causas da intensificação deste fenômeno natural, as conseqüências do aquecimento global, as medidas necessárias para prevenir ou minimizar este aquecimento, e também as prováveis medidas que a humanidade deveria adotar para se adaptar a esta mudança.

Podemos dizer, também que, as mudanças climáticas vêm se tomando uma área de conhecimento multidisciplinar, que envolve várias ciências tais como: física, química, geologia, oceanografia, meteorologia, geografia, biologia, ecologia, economia, sociologia, engenharia, arquitetura e urbanismo, além da paleoclimatologia.

A paleoclimatologia é um ramo da ciência que estuda os registros das mudanças climáticas, com a finalidade de entender os princípios que regem os processos de intemperismo e sedimentação nas diferentes eras geológicas, vem se desenvolvendo a mais de 150 anos, utilizando-se da geologia clássica (sedimentologia, hidrogeologia, etc.) como ferramenta para o seu entendimento.

Os estudos de mudanças climáticas são importantes para uma série de aplicações práticas na agricultura, manejo de bacias hidrográficas, quantificação de recarga de aquíferos, gestão de zonas costeiras dentre outras. Atualmente existe uma ampla discussão, de certa forma controversa, quanto às questões relativas às mudanças climáticas globais. Alguns consideram que as mudanças climáticas atuais são atribuídas às atividades humanas, principalmente as que resultam na emissão de partículas oriundas da queima de combustíveis fósseis, contribuindo para o chamada efeito estufa. Outros relacionam as mudanças climáticas recentes a ciclos de baixíssima frequência (20000 anos) relacionados à própria dinâmica global.

Atualmente, os estudos que mais contribuem para a paleoclimatologia utilizam-se de métodos que envolvem, por exemplo, sedimentos de sondagens em geleiras, sedimentos de mar profundo, solos, pólenes em sedimentos continentais e espeleotemas. O estudo dos espeleotemas aparece como um instrumento de fácil acesso e interpretação representando um dos elementos da sedimentação endocárstica cuja enorme potencialidade paleoclimática

aparece em diversos trabalhos publicados (Genty & Barnes 1997, Ming *et al.* 1998, Baker *et al.* 1999, Bertaux *et al.* 2002, Cruz Jr.*et al.* 2005, Soubies *et al.* 2005)

Para interpretações paleoclimáticas, o presente trabalho utilizou como ferramenta principal de pesquisa, um espeleotema da gruta Pérolas, localizada no município de Rosário D'Oeste, distrito de Bauxi, Estado do Mato Grosso, pois sabe-se que os espeleotemas, tais como estalagmites, fornecem excelentes resultados em termos de resolução temporal de paleo-eventos climáticos, portanto demos um enfoque particular em procurar, nas estalagmites coletadas, os possíveis registros de certos grandes eventos paleoclimáticos históricos, baseado no estudo microestratigrafico e contagem de laminações afim de evidenciar uma possível ciclicidade de eventos climáticos e temporais.

2. METAS E OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é obter nos espeleotemas, registros paleoclimáticos de alta resolução (anual), a fim de tentar evidenciar a ocorrência de diferentes tipos de ciclos, em diferentes escalas temporais, tais como, os ciclos plurianuais (El Niño - La Niña); de decênios (Oscilação do Atlântico Norte - NAO, Oscilação Decadal do Pacífico - PDO); seculares (Pequena Idade do Gelo, Aquecimento Medieval); milenares ou plurimilenares (períodos glaciais-interglaciais) através laminações nítidas, contínuas, rítmicas e sem feições características de dissolução e reprecipitação, que possam ser representativas da variabilidade climática natural do centro-oeste brasileiro.

A meta é tentar relacionar a formação de laminações de estalagmites com variações climáticas, baseado nas variações de espessura e frequência de lâminas ao longo do eixo de crescimento da estalagmite. Para tanto, procurou-se analisar e interpretar o *proxy* de velocidade de crescimento dos primeiros 500 anos, de uma estalagmite da gruta Pérolas do município de Rosário D'Oeste, distrito de Bauxi, Estado do Mato Grosso, Este *proxy* será feito utilizando-se de uma análise micro-estratigrafica da estalagmite.

A análise microestratifica feita através de microscopia Ótica (MO) e Microscopia Ótica de Varredura (MEV), será utilizada para testar o programa CAT-MM®, desenvolvido por Alexandre Matos Seidel (Seidel, A.M. 2004), com a finalidade de realizar uma contagem do número de laminações para auxiliar a identificação dos principais ciclos temporais que ocorrem naturalmente nas laminações do espeleotema.

Através desse trabalho pretendemos estudar espeleotemas por métodos de análise de taxa de crescimento de espeleotemas, associando os registros à datação absoluta pelo método $\text{Th}^{230}/\text{U}^{234}$ e métodos indiretos como ^{14}C na atualidade e no topo da estalagmite.

3.2 GEOLOGIA REGIONAL

O sudeste do Cráton Amazônico (Figura 3.2) é formado por seqüências de gnaisses, *greenstone belts* e suítes graníticas que vão do Arqueano ao Proterozóico Inferior e, retratam episódios de acreção crustal (Alvarenga *et al.* 2000).

Acredita-se que durante o Proterozóico Médio, ocorreu a ruptura do cráton, ao longo de zonas de fraquezas, reativando as falhas do embasamento e, dando origem a bacias do tipo rojos Ikrátes, tais bacias teriam sido preenchidas por sedimentos dos Grupos Aguapeí, Sunsás e Huanchaca.

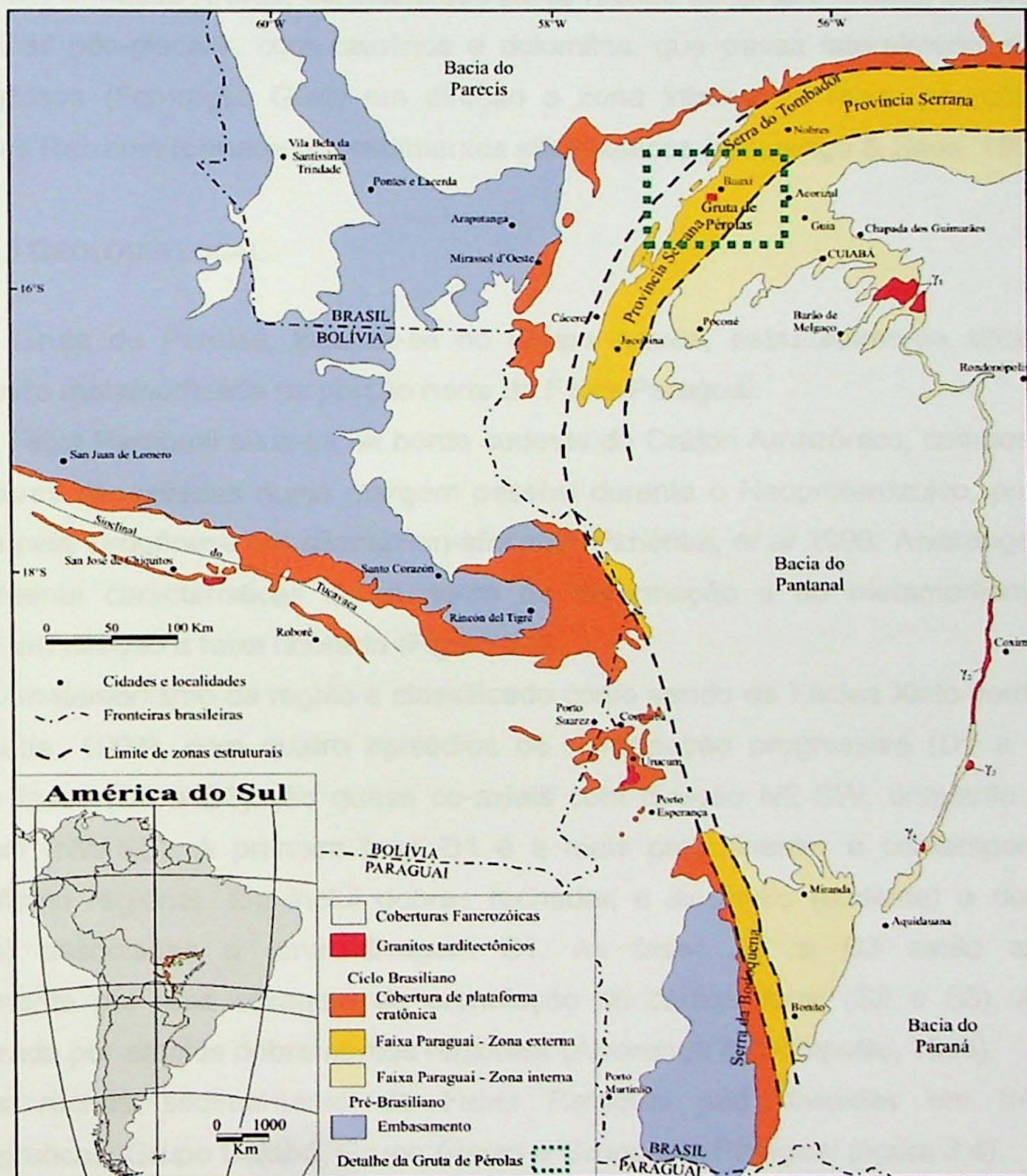


Figura 3.2 - Faixa Paraguai e suas coberturas cratônicas adjacentes (Alvarenga *et al.* 2000).

Estabeleceu-se para esses sedimentos, através de estudos paleogeográficos, uma cobertura de plataforma iniciada por sedimentação marinha rasa, passando para um ambiente marinho mais profundo com sedimentação de caráter progracional e, terminando em depósitos fluviais.

As unidades presentes ao longo da zona de transição entre o Cráton Amazônico e a Faixa Paraguai, são compostas principalmente por rochas não metamorfizadas e, foram divididas em três unidades litoestratigráficas, sendo a primeira denominada de Formação Puga, caracterizada pelo forte retrabalhamento dos sedimentos por correntes de turbidez (Grupo Cuiabá) no domínio do talude e, interpretada como sedimentação glácio-marinha no domínio da plataforma; Formação Araras, caracterizada pelas rochas do Grupo Araras, dividida em rochas carbonáticas pós-glaciais, com calcários e dolomitos, que passa lateralmente para calcários mais argilosos (Formação Guia) em direção a zona interna da faixa, por último ocorre a Formações Raizama formada por sedimentos siliciclásticos (Alvarenga & Saes, 1992).

3.3 GEOLOGIA LOCAL

A Gruta de Pérolas, localiza-se no Grupo Araras, estruturalmente situada na Zona Externa, não metamorfizada na porção norte da Faixa Paraguai.

A Faixa Paraguai situa-se na borda sudeste do Cráton Amazônico, composta de rochas sedimentares depositadas numa margem passiva durante o Neoproterozoico, posteriormente, dobradas pela Orogênese Brasileira/Pan-africana (Pimentel, *et al* 1996; Alvarenga, *et al* 2000) que apresenta características de aumento da deformação e do metamorfismo da região cratônica em direção a faixa dobrada (Figura 3.3).

O metamorfismo da região é classificado como sendo de Fácies Xisto-verde (Alvarenga & Trompette, 1993), com quatro episódios de deformação progressiva (D1 a D4). As três primeiras fases (D1 a D3) são quase co-axiais com direção NE-SW, enquanto a fase D4 é transversal (NW-SE). A primeira fase D1 é a mais proeminente, e contemporânea com o metamorfismo regional. Ela inclui dobras fechadas e isoclinais (sudeste) a dobras abertas (noroeste) associadas a uma clivagem S1. As fases D2 e D3 estão representadas principalmente por uma clivagem de crenulação de caráter local (S2 e S3). A fase D4 é caracterizada por amplos dobramentos regionais (Alvarenga & Trompette, 1993).

As rochas sedimentares da Faixa Paraguai são divididas em três unidades litoestratigraficas: Grupo Cuiabá, Grupo Araras e Grupo alto Paraguai (figura 3.4).

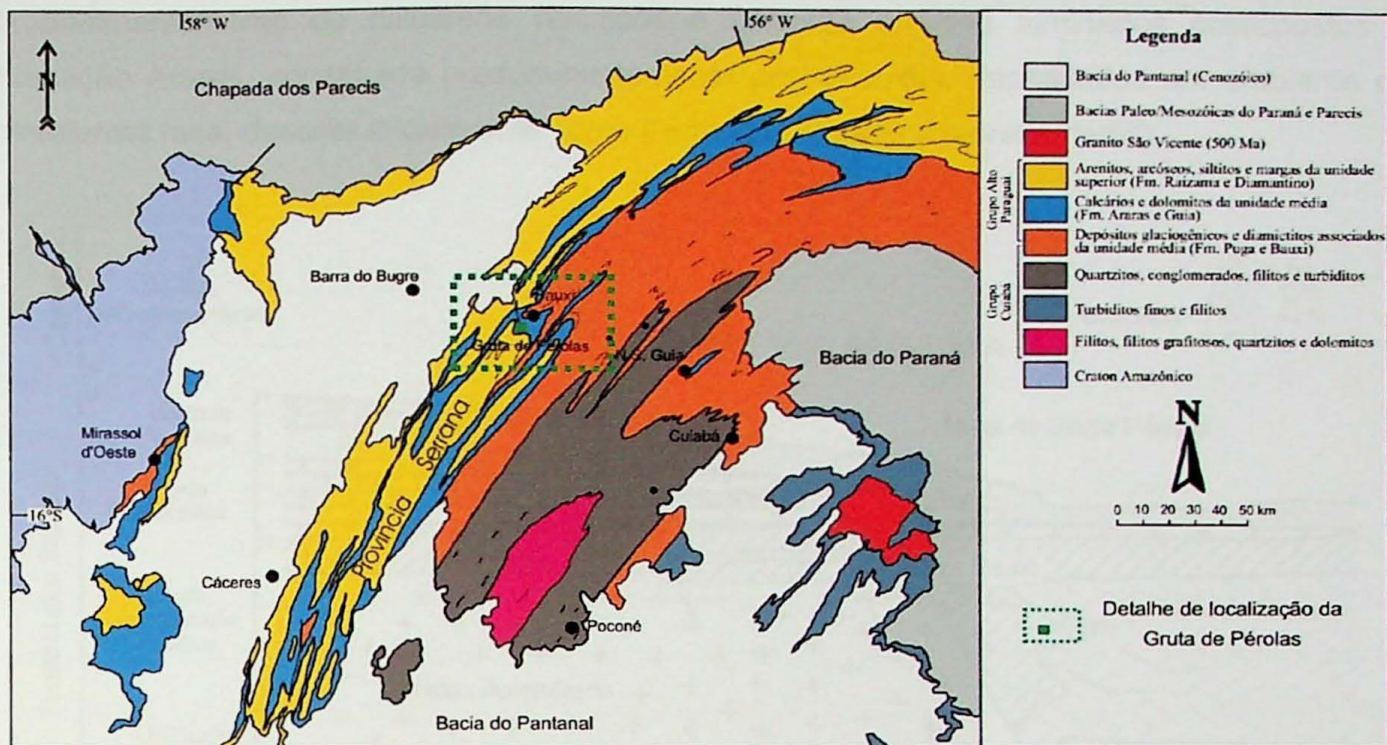


Figura 3.3 – Mapa geológico da Porção Norte da Faixa de Dobramentos Paraguai (Alvarenga *et al.* 204)

Na porção mais basal da Faixa Paraguai encontra-se o grupo Cuiabá formado por filitos ricos em matéria orgânica e metadolomitos, sobrepostos por metassedimentos glaciomarinhos e turbidíticos, como diamictito, conglomerado, arenitos e folhelhos (Alvarenga & Trompette, 1992). Esta seqüência grada lateralmente para as Formações Bauxi e Puga.

A Formação Bauxi é representada por diamictitos intercalados com camadas de siltito, quartzito e conglomerados, depositados sob influencia glacial. A Formação Puga é composta principalmente de diamictitos depositados na área cratônica e correlacionados à glaciação Marinoana (Alvarenga, *et al* 2004).

A unidade superior da faixa consiste em rochas siliciclásticas do Grupo Alto Paraguai, dividido em duas formações geológicas: Formação Raizama composta de conglomerados, arcóseos e arenitos, depositados em águas epineríticas, pouco profundas, e ambiente dominado por maré, durante subsidência lenta e continua (Almeida, 1964 a, b) e Formação Diamantino composta de folhelhos vermelhos, siltitos e arcóseos, depositados durante o soerguimento de porções mais a sudeste, que gerou uma bacia sucessora com influencia marinha e continental tipo molassa (Hennies, 1966).

A unidade intermediária da faixa consiste em rochas carbonáticas do Grupo Araras, dividido em duas formações (Alvarenga & Trompette, 1993): Formação Guia, composta

predominantemente de calcários calcíticos e calcáreo argiloso laminados sobrepostos a Formação Araras, constituída predominantemente por dolomitos depositados em ambiente de plataforma rasa, descrita inicialmente como Formação Nobres (Hennies, 1966).

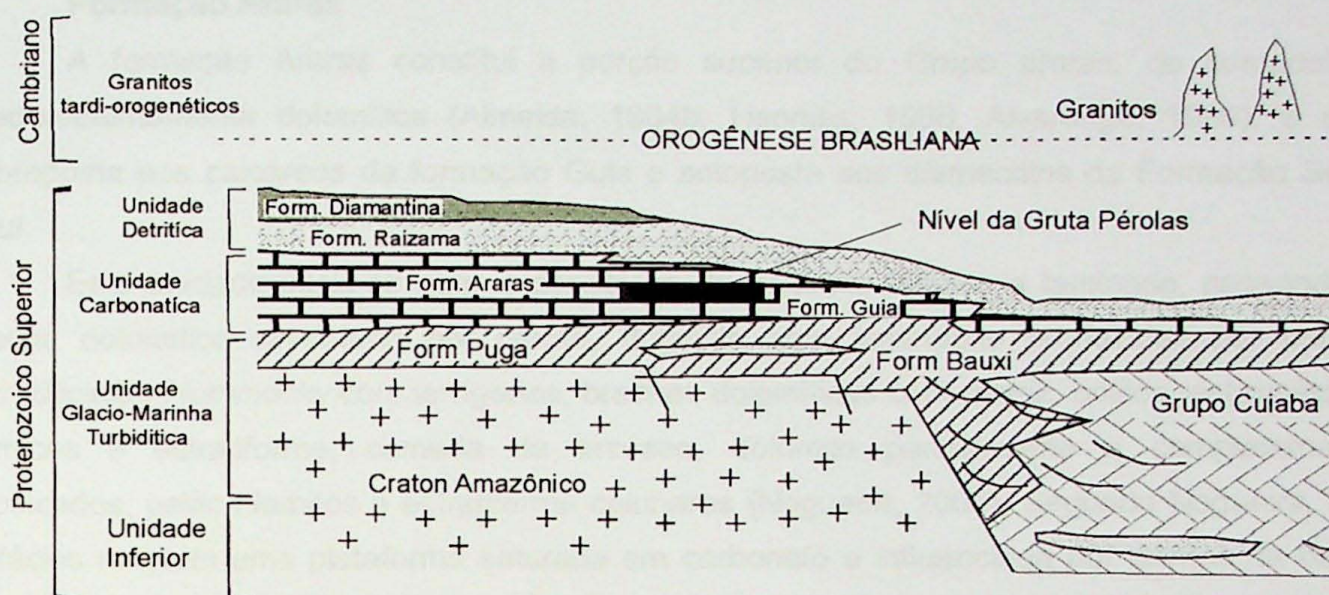


Figura 3.4 - Esquema das relações estratigráficas do Proterozóico Médio e Superior na borda sudeste do Cráton Amazônico (sem escala) (Alvarenga, *et al.* 2004)

Grupo Araras

O Grupo Araras é constituído predominantemente de carbonatos, estando sobreposto aos diamectitos glaciais da Formação Puga e sotoposto aos diamecitos, também glaciais da Formação Serra Azul (Figueiredo, *et al.*, 2005 a) composta essencialmente por diamectito glacial maciço na porção mais basal, recoberto por lamitos e rochas carbonáticas (Figueiredo, *et al.*, 2004). Este grupo encontra-se amplamente distribuído na região, com boas exposições esparsas devido ao clima subtropical reinante na região, que gera espessos mantos de alteração e terrenos cársticos.

Formação Guia

A formação Guia constitui a porção inferior do Grupo Araras, com rocha predominantemente pelítica-calcárea (Almeida, 1964a; Hennies, 1966; alvarenga, 1990). Encontra-se sobreposta aos diamectitos da formação Puga, em contato brusco tipo lobos de sobrecarga (Nogueira *et al.*, 2003), e sobreposta aos dolomitos da formação Araras.

Suas fitofácies refletem uma deposição em plataforma modernamente profunda a profunda (Nogueira, 2003). Na base temos um dolomito róseo (Alvarenga, 1990) com presença de estromatólitos estratiformes e raramente dômicos (Nogueira, 2003), recobertos por depósitos de

talus. Estes dolomitos passam bruscamente a calcáreos maciços, apresentando laminação, ritmicidade, lamina de argila, ocorrência de margas e de folhelhos intercalados (Nogueira, 2003).

Formação Araras

A formação Araras constitui a porção superior do Grupo araras, de composição predominantemente dolomítica (Almeida, 1964b; Hennies, 1966, Alvarenga, 1990), e está sobreposta aos calcáreos da formação Guia e sotoposta aos diamictitos da Formação Serra Azul.

Esta unidade inicia-se com a deposição de dolomito maciço a laminado, passando a brecha dolomítica cimentada por calcita, dolomito com laminação produzidas por ondas, estratificação *Hummocky* com terrígenos, brechas dolomíticas com matriz, oolitos, estromatolito dômicos e estratiforme, camada de arcóseo, dolomito parcialmente a completamente silicificados, pelitos lamitos e estratiforme colunares (Nogueira, 2003). Segundo Nogueira, tais litofácies refletem uma plataforma saturada em carbonato e influenciada por sismos na base, posteriormente dominada por tempestades, passando a uma planície de maré no topo.

A gruta de pérolas foi formada próximo ao eixo de uma anticlinal de caráter regional. Desenvolve-se aproximadamente no contato entre as Formações Araras e Guia. A rocha encaixante é caracterizada por estratificação plano paralela centimétrica e mergulho suave com rumo S30°W.

3.4 GEOMORFOLOGIA

Dentre as principais feições geomorfológicas que ocorrem na região destacam-se: os vales dissecados nas áreas arrasadas, que estão relacionados às rochas da Formação Puga; as feições de relevo de chapada com bordas de serra nas áreas mais altas da região, associadas aos depósitos de arenitos da Formação Raizama; e o relevo cárstico associado à Formação Araras.

A gruta Pérolas (Figura 3.5) se desenvolve em uma zona que tem como característica principal, a presença de *canyons* (Figura 3.6) em vales mais elevados. O relevo cárstico dos arredores da gruta, assemelha-se aquele descrito na região de São Domingos-GO (GREGEO-GSBM-BAMBUÍ, 1996), apresentando feições de relevo formadas pela dissolução de rochas carbonáticas por processos de intemperismo químico, tais como cavernas, rios subterrâneos, dolinas, lapíás e sumidouros.

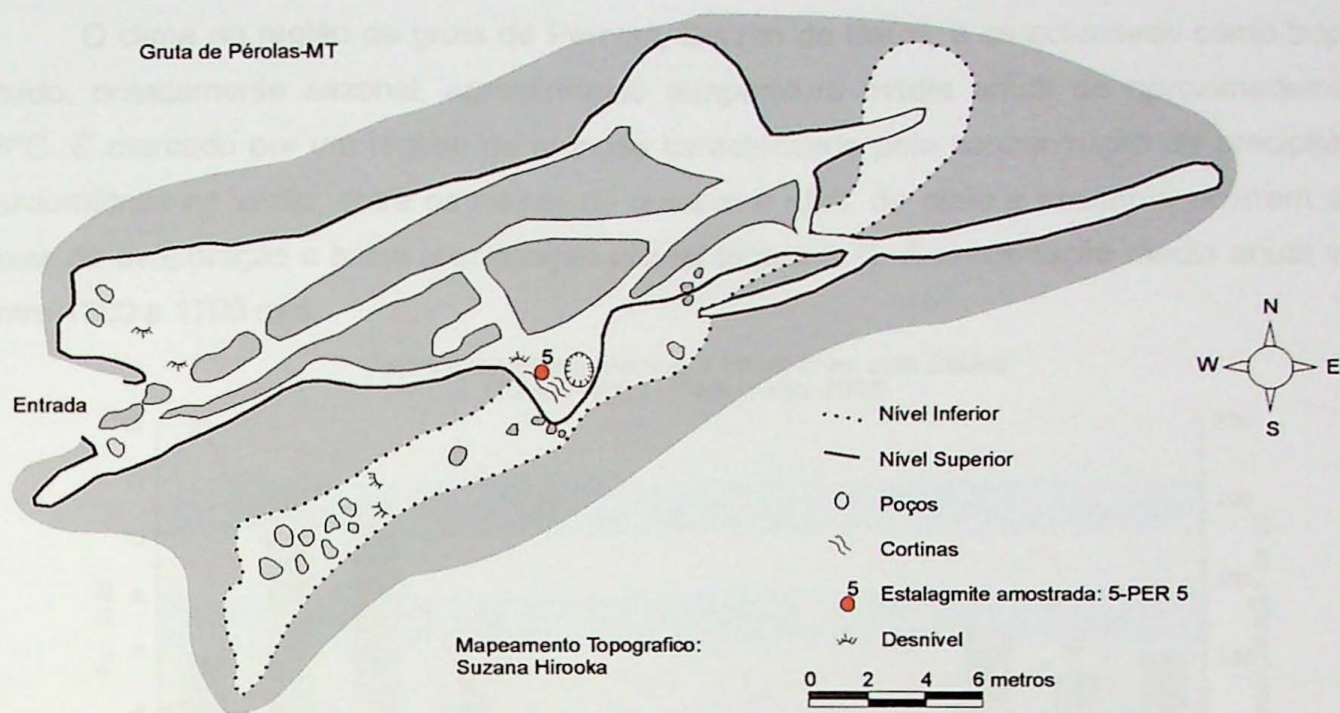


Figura 3.5 – Mapa da Gruta de Pérolas-MT

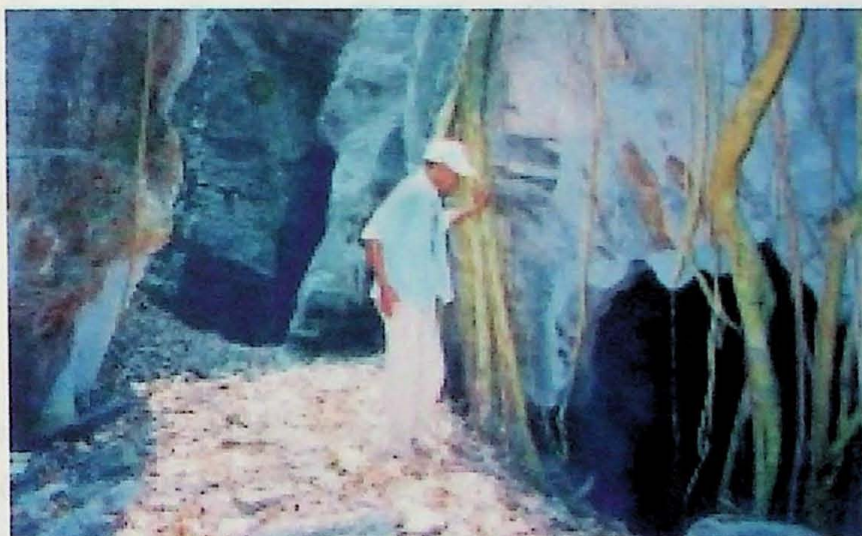


Figura 3.6 – Entrada do Canyon e da Gruta de Pérolas.

A gruta tem um desenvolvimento horizontal de aproximadamente 200 metros, com pequenos salões com até 10 metros e condutos estreitos que variam de 0,6 a 3 metros, ela se desenvolve preferencialmente na direção N60E, apresenta dois níveis.

No nível inferior há um nível de drenagem seca que apresenta escoamento subterrâneo na época das chuvas. Os espeleotemas se desenvolvem nos condutos principais da gruta.

3.5 CLIMA

O clima na região da gruta de Pérolas, Distrito de Bauxi, é caracterizado como tropical úmido, notadamente sazonal, apresentando temperatura média anual de aproximadamente 26°C. É marcado por um regime de monção caracterizado pela concentração da precipitação pluviométrica no verão, entre os meses de outubro e abril, de maio a setembro ocorrem altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluvial (figura 3.7). A precipitação média anual varia entre 1300 a 1700 mm.

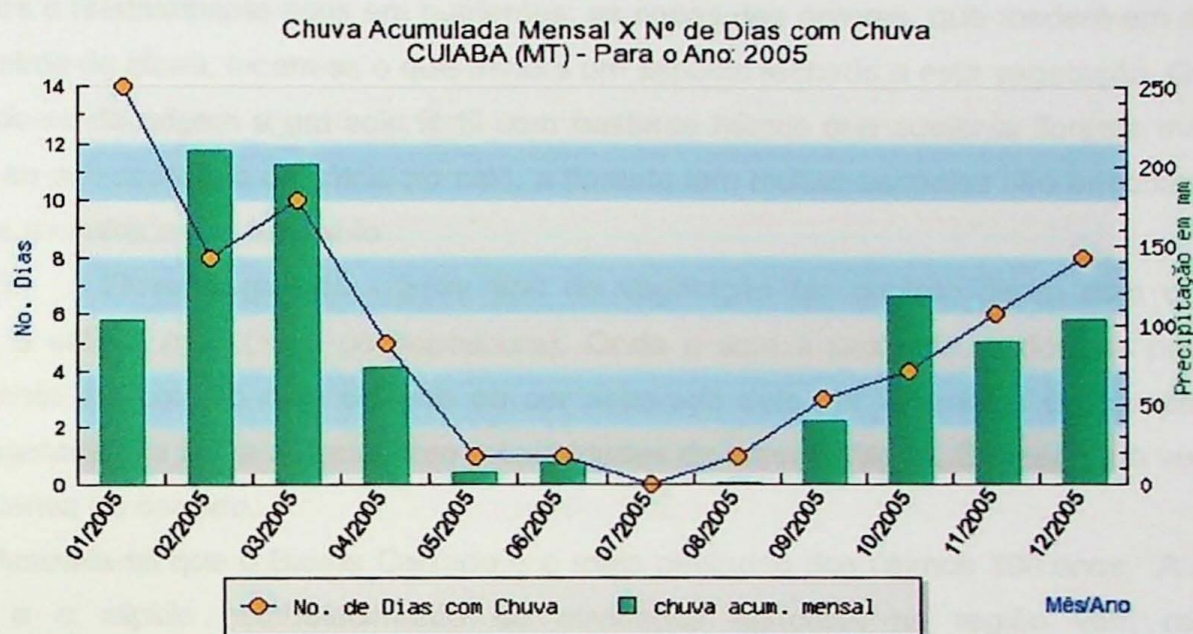


Figura 3.7 – Parâmetros Meteorológicos Mensais da estação de Cuiabá. (INMET 2005)

3.6 COBERTURAS VEGETAIS

O bioma característico da região é do tipo cerrado. A paisagem do cerrado é caracterizada por extensas formações savânicas, interceptadas por matas ciliares ao longo dos rios, nos fundos de vale. Apesar de ocorrer uma relativa diversidade de flora, pode-se destacar 3 como sendo predominantes:

1. **Cerrado (*sensu lato*)** – apresenta floresta, com as copas das árvores fechando a 7m ou mais de altura, ou arvoredos, com copas abertas da mesma altura, tendo uma cobertura de 30% ou mais. Os estratos abaixo dessas árvores são formados por sub-bosques de arbustos, constituídos por arvoretas, e um estrato herbáceo, com densidade variando de esparsa a fechada, dependendo da quantidade de luz que chega ao chão. Outra forma mais comum de cerrado (o cerrado *sensu stricto*) é o “arvoredos de arbustos-e-árvores”, especialmente a variedade “arvoredos de arbustos-e-árvores-baixas”, apresentando árvores de

3m ou mais de altura, com 10% até 30% de cobertura e com variações dependentes da ocorrência e densidade de espécies lenhosas e arbustivas. Ocorre ainda a forma savânica de cerrado que apresenta camada lenhosa com cobertura de menos de 10%. As formas savânicas mais densas bem como as formas mais abertas de “arbusto aberto” são chamadas de “campo cerrado”. As mais ralas são chamadas de “campo sujo de cerrado”; existe também o “campo limpo de cerrado”, constituído apenas por camada rasteira. Estas fisionomias naturais são periodicamente modificadas pelo fogo, seja provocado pelo homem, seja por causas naturais.

2. **Floresta Mesofítica ou de interflúvios** - Ocorre sobre solos calcários bem drenados e relativamente ricos em nutrientes, as copas das árvores, que medem em média de 8-10 metros de altura, tocam-se o que denota um aspecto fechado a esta vegetação. O calcário alterando-se dá origem a um solo fértil com bastante húmus que sustenta floresta mesofítica. Devido ao alto conteúdo de cálcio no solo, a floresta tem muitas espécies não encontradas nas florestas mesofíticas de latossolo.

3. **Floresta-galeria** - Esse tipo de vegetação faz contato direto com o cerrado quando o solo é raso (<1m de espessura). Onde o solo é profundo, a floresta pode estar diretamente em contato com cerrado ou ser separado dele por uma faixa de campo úmido. Essa vegetação se limita a áreas com proximidades de cursos d'água. É a segunda vegetação mais extensa do cerrado.

Acredita-se que o Bioma Cerrado é o mais destruído dos últimos 100 anos. A pressão urbana e o rápido estabelecimento de atividades agrícolas na região vêm reduzindo rapidamente a biodiversidade destes ecossistemas. O Cerrado contribui com mais de 70% da produção de carne bovina do País e, graças à irrigação e técnicas de correção do solo, é também um importante centro de produção de grãos, principalmente soja, feijão, milho e arroz. Grandes extensões de cerrado são ainda utilizadas na produção de polpa de celulose para a indústria de papel, através do cultivo de várias espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, mas ainda como uma atividade secundária.

4. TRABALHOS PRÉVIOS

Registros paleoclimáticos continentais contínuos, com alta resolução temporal, precisamente datáveis que abranjam grandes intervalos de tempo, são indispensáveis para o entendimento dos padrões de mudanças climáticas regionais e temporais e, para averiguar se estas mudanças possuem caráter global ou local. A disponibilidade de dados referentes ao Quaternário tem aumentado bastante em locais situados no hemisfério norte e em altas latitudes, principalmente quando comparados com dados referentes às regiões de baixa latitude e no hemisfério sul (Holmgren, 1996). De forma geral, os dados continentais que apóiam as

mudanças climáticas globais, atribuídas à atuação de eventos glaciais-interglaciais, são ainda considerados escassos para permitir comparações significativas com os registros marinhos (Dorale *et al.*, 1998).

No Brasil, importantes registros de mudanças paleoclimáticas no Quaternário, foram constatadas, por exemplo, a partir de estudos realizados em depósitos aluviais, lacustres e em sedimentos costeiros (Suguio *et al.*, 1995). No entanto, dados consistentes a respeito de oscilações da temperatura e umidade e conseqüentes mudanças paleoambientais relacionadas a períodos glaciais a interglaciais são ainda pouco conhecidos no Brasil.

Estudos sedimentológicos, mineralógicos e geoquímicos associados a palinologia em depósitos lacustres, em geral utilizando interpolações com datações radiométricas pelo método ^{14}C , evidenciam, mais precisamente, mudanças paleoclimáticas continentais quaternárias em regiões situadas no domínio atual de climas tropicais a subtropicais no Brasil, a exemplo de trabalho como: Salgado-Laboriau *et al.* (1996).

Espeleotemas, designação dada a formações compostas principalmente por calcita secundária, encontradas em diversas formas nas cavernas, são consideradas atualmente depósitos ideais para o estudo das mudanças paleoclimáticas (Cruz Jr. *et al.* 2005, Soubies *et al.* 2005). Isto deve-se ao fato de que, a partir destas formações, podem ser obtidos registros quantitativos de alta resolução, suficientemente contínuos para indicar mudanças climáticas ao longo de grandes intervalos de tempo, e precisamente datáveis, empregando-se métodos de urânio, $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ (Li *et al.*, 1989; Kaufman *et al.*, 1998) e C^{14} no topo do espeleotema (Ming e Genty, *et al.*, 2006).

Recentes trabalhos indicam que a ciclicidade de espeleotemas, caracterizada pela variação de espessura e freqüência de laminações ao longo do seu eixo de crescimento, podem refletir variações sazonais do clima (Qin, *et al.* 1999; Soubies, *et al.* 2005; Ming e Genty, *et al.*, 2006).

Em alguns casos, as laminações podem ser anuais, sendo que sua taxa de crescimento, feições petrográficas e composição química são dependentes de fatores como vazão de gotejamento, supersaturação da água em carbonato de cálcio e pressão parcial de CO_2 , os quais estão indiretamente relacionados a parâmetros climáticos, como pluviosidade, temperatura atmosférica e pressão (Dreybrodt, 1997). A espessura das camadas varia em função da quantidade de água (vazão do gotejamento) que escorreu sobre o espeleotema em cada ano. Graças a esta relação, é possível identificar para o período de formação da estalagmite, ciclos de maior ou menor disponibilidade de água (Railsback, *et al.*, 1994; Brook, 1999; Soubies, *et al.* 2005).

Os dados da microestratigrafia de estalagmites, com base na quantificação da espessura e freqüência de laminações e características petrográficas ao longo do tempo, são

potenciais ferramentas utilizadas para reconstruções paleoclimáticas do Quaternário. O seu estudo pode fornecer importantes descrições a respeito da ocorrência de eventos paleoclimáticos modernos como ENSO (Brook, *et al.* 1999) e Monções Asiáticas (Qin, *et al.* 1999; Qian & Zhu, 2002), no passado geológico recente. No Brasil, tal método foi recentemente utilizado em reconstruções paleoclimáticas dos últimos 4 mil anos do Holoceno matogrossense (Bertaux *et al.* 2002) e dos últimos 250 anos (Soubies, *et al.* 2005). Outros métodos de estudo podem ser utilizados em espeleotemas e na água de percolação para apoiar possíveis contrastes na temperatura da água e índice pluviométrico, como: razão entre elementos químicos Mg/Ca, Sr/Ca, Ba/Ca, Zn/Ca (Goede & Vogel, 1991; Tooth, *et al.*, 2003; Roberts, *et al.*, 1998), a taxa de crescimento dos pares laminados ou camadas de crescimento (Genty & Quinif, 1996; Baker, *et al.*, 1998), e a concentração de matéria orgânica (Baker *et al.*, 1997).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MÉTODOS ANALÍTICOS

Sendo o enfoque dessa pesquisa a reconstituição paleoclimática com a utilização de espeleotemas, foram utilizadas técnicas distintas, mas interligadas e dependentes para se alcançar os objetivos propostos.

Entre todos os métodos destacamos as análises das séries temporais de dados relativos a “velocidade de crescimento de estalagmites” *proxy*, as análises correlatória / espectral e a análise com *Wavelets*. Os métodos de Geocronologia incluem datações Urânio/Tório e Radiocarbono. Para a aquisição de dados auxiliares utilizaremos a Microscopia Ótica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

5.2 MICROSCOPIA ÓTICA (MO)

O MO é geralmente utilizado para observações de amostras de materiais porosos, uma vez impregnadas e polidas podem ser observadas sob dois tipos de iluminação:

- Luz refletida (polarizada ou não-polarizada); A iluminação da superfície a ser observada é feita através do conjunto óptico do microscópio, incidindo na amostra através da objetiva. A amostra não necessita ser translúcida e superfícies opacas podem ser observadas.
- Luz transmitida; A iluminação é feita através da amostra e exige que a mesma seja translúcida. Na maior parte dos materiais analisados, isso significa obter lâminas finas do meio a se observar. A iluminação no nosso caso é fornecida por uma fonte halógena de 100W em 12 V.

As imagens são adquiridas via câmera CCD, através da entrada de vídeo do microcomputador, usando qualquer programa de tratamento de imagens. Pequenos defeitos decorrentes da preparação da superfície da amostra, causados pelo processo de aquisição da imagem ou ainda por falhas na iluminação, podem ser corrigidos ou minorados por um pré-tratamento da imagem, através do uso de filtros.

5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O MEV é geralmente utilizado para observações de amostras espessas, não transparentes, a elétrons. Sua utilização está associada à alta resolução, atingindo resoluções 300 vezes melhor que o microscópio ótico, resultando em imagens com aparência tridimensional.

O MEV possibilita a obtenção de informações topológicas utilizando-se de elétrons de baixa energia, da ordem de 50 eV, informações sobre número atômico ou orientação através da utilização de elétrons alta energia. Além disso, o MEV possibilita a obtenção de informações químicas em áreas da ordem de microns.

As imagens no MEV são construídas ponto a ponto, de modo similar à formação de uma imagem de televisão. Um feixe de elétrons de alta energia é focalizado num ponto da amostra, o que causa emissão de elétrons com grande espalhamento de energia, que são coletados e amplificados para fornecer um sinal elétrico. Este sinal é utilizado para modular a intensidade de um feixe de elétrons num tubo de raios catódicos (TRC). Para construir a imagem completa, o feixe de elétrons é varrido sobre uma área da superfície da amostra enquanto que um feixe no TRC é varrido sincronicamente sobre um rastro geometricamente similar. A figura 5.1 esquematiza uma varredura linear sobre uma superfície irregular, com as possíveis trajetórias dos elétrons utilizados para formar a imagem e a relação de aumento. Pode-se perceber que muitos elétrons não conseguirão atingir o detector e para formar a imagem a intensidade do feixe no TRC é modulada proporcionalmente à intensidade do sinal de elétrons. A imagem observada será, portanto, equivalente a posicionarmos nossos olhos na linha do detector, com o feixe de elétrons iluminando a amostra. O aumento é simplesmente a relação entre o comprimento da linha de varredura sobre a amostra e o comprimento da linha de varredura sobre o TRC. Aumentos maiores são obtidos com a diminuição da área varrida sobre a superfície da amostra.

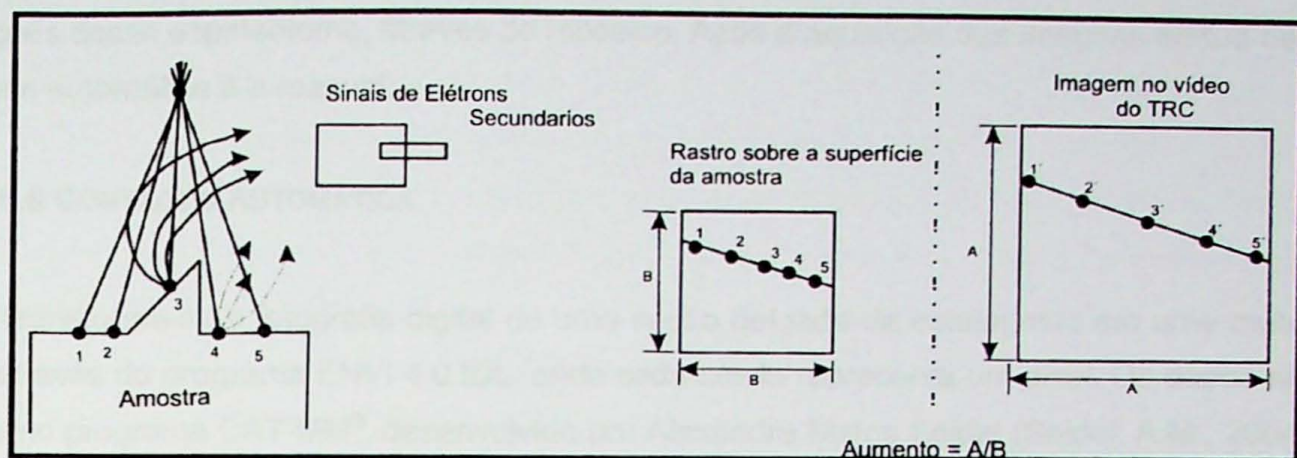


Figura 5.1 - Formação da imagem através da detecção de elétrons secundários e relação de aumento no MEV.

5.4 ESTRATIGRAFIA

A microestratigrafia de espeleotemas tem como principal objetivo auxiliar a diferenciação e obtenção de *proxies* paleoclimáticos. A microestratigrafia proposta para essa pesquisa é relacionar as diferentes estruturas da deposição de calcita com os possíveis ciclos climáticos presentes nas seções delgadas das lâminas de crescimento da estalagmite. Na elaboração de tais seções, escolheu-se o espeleotema que melhor representava os diferentes eventos deposicionais de calcita e, confeccionou-se lâminas delgadas pegando toda a seção longitudinal, ao longo de seu eixo de crescimento para um estudo de mais alta resolução.

Dentro das características texturais e estruturais, a variação na espessura das laminações, pode indicar mudanças sazonais das condições climáticas e está correlacionada a abundância de água ao longo do ano, geralmente dependente das estações e das variações de temperatura durante os períodos chuvosos (Genty & Quinif, 1996).

Para uma contagem mais precisa, serão utilizados diversos processos de contagem automática e manual de lâminas. Processos são descritos abaixo:

5.5 AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTAGENS DAS LAMINAÇÕES

A aquisição de dados desse trabalho foi descrita e utilizada por Daoxian *et al.* 1997, e consiste de 3 etapas: fotografa-se a seção delgada - seguindo o eixo central da estalagmite em um mesmo fator de ampliação e com mesma resolução da máquina utilizada, visando padronizar a aquisição dos dados; cria-se o mosaico das fotos ao longo do eixo de crescimento da estalagmite referentes às diversas seções delgadas que a constituem; e mede-se as

laminações desse espeleotema, através do mosaico. Após a aquisição das imagens efetua-se a contagem automática e a manual.

5.6 CONTAGEM AUTOMÁTICA

Transforma-se a fotografia digital de uma seção delgada da estalagmite em uma matriz ASCII, através do programa ENVI 4.0 IDL, onde cada célula representa um *pixel*. Os dados são tratados no programa CAT-MM®, desenvolvido por Alexandre Matos Seidel (Seidel, A.M., 2004). Esse programa baseia-se no princípio que nos permite diferenciar as lâminas claras das escuras, tendo em vista que as lâminas claras possuem um valor de “transmissão de luz” superior ao das lâminas escuras. Visto que a fotografia é obtida em tons de cinza, os valores da matriz podem variar de 1 a 256 (8 bits somados 1). A matriz passa depois a ser analisada informando-se, primeiramente, se a 1ª lâmina é clara ou escura (1 ou 0).

Para uma melhor separação entre as lâminas, o programa executa uma separação dos *pixels* baseando-se na comparação com a média de um conjunto de *pixels* acima do mesmo na mesma coluna.

Após esse processamento, cada linha é analisada, visando-se obter a moda de valores que estão presentes na linha. Obtém-se, assim, um vetor coluna de variação binária, representando as sucessões de lâminas claras e escuras observadas na estalagmite.

Com o vetor coluna de resultado calculado, uma segunda parte do programa é usada para se obter a curva de crescimento das lâminas presentes na estalagmite, tendo em vista que o dado utilizado como *proxy* é a espessura do par de lâminas formado anualmente (lâmina clara formada no período de chuva e a lâmina escura formada no período de seca).

Para eliminar possíveis erros que poderiam passar no procedimento de classificação proposto na primeira parte do programa, foi anexado a esse programa um filtro limite para a menor lâmina que poderia existir na seção analisada. Esse filtro mescla na tabela de velocidade de crescimento, as lâminas com valores inferiores a um certo valor fornecido pelo usuário, começando pela de valor 1 até o valor limite. Essa aproximação crescente é usada uma vez que o principal erro é associado à lâminas unitárias próximas a transições sutis entre uma lâmina clara e escura.

5.7 CONTAGEM MANUAL

- Os dois primeiros passos são os mesmos realizados para a contagem automática, ou seja, utilizam-se as mesmas fotografias e os mesmos mosaicos;

- O terceiro passo é transformar a fotografia digital em uma seção tipo código de barras, onde os dados são tratados no programa *Corel Draw*. Nesse programa identificamos as laminações de cada mosaico e desenhamos a camada como se fosse um retângulo, sempre pegando o meio do mosaico onde as camadas são mais espessas. A partir desse desenho contamos quantos retângulos foram desenhados e, comparamos com o resultado da contagem automática feita no mesmo mosaico.

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE SÉRIES TEMPORAIS

No presente trabalho foram testadas as séries temporais obtidas tanto da descrição petrográfica, como as curvas de espessuras da lâmina de crescimento versus tempo.

A idéia principal da análise correlatória e espectral é separar os componentes estruturais de curto, médio e longo período, dos componentes aleatórios, visto que cada um porta um tipo diferenciado de informação sobre o sistema.

Do ponto de vista de Jenkins e Watts (1968) e de Box e Jenkins (1976), as análises correlatórias e espectrais têm muitas aplicações na descrição e entendimento do funcionamento de sistemas temporais, podendo descrever o funcionamento de um sistema fechado analisando os sinais de entrada e saída. Elas podem também constituir uma ferramenta muito útil em pesquisas paleoclimáticas, quando usadas para analisar séries temporais de dados fornecidos por *proxies* (Soubies, *et al.* 2005).

Esta técnica de análise utiliza várias ferramentas matemáticas e pode ser dividida em dois tipos: "Análise Simples" e "Análise Cruzada". A análise simples permite estudar separadamente os componentes do sinal de entrada e os de saída. A análise cruzada, por sua vez, permite por em evidência as relações entre as funções de entrada e de saída.

Dentro do ponto de vista de análise simples, podem ser diferenciadas também as análises com *wavelets* e outros tipos de análises mais sofisticadas como derivação de tendência e *Matching Pursuit*.

5.9 ANÁLISE CORRELATÓRIA E ESPECTRAL

Esse tipo de análise é muito utilizado em estudos de aquíferos cársticos, ajudando na descrição e entendimento desse tipo de aquífero (Mangin, A.1984 e Mangin, A.1998), podendo também, ser usado para estudos paleoclimáticos, quando analisadas as séries temporais de dados fornecidos por *proxies* (Soubiès, *et al.* 2005).

A idéia principal dessa análise é separar os componentes estruturais dos componentes aleatórios, utilizando várias ferramentas matemáticas, podendo ser divididos em dois tipos de análises: "Análise Simples" e "Análise Cruzada". A análise simples permite estudar separadamente os componentes do sinal de entrada e saída. A análise cruzada, permite estudar as relações entre as funções de entrada e saída.

5.10 ANÁLISES DE NÃO ESTACIONARIDADES: ANÁLISE COM *WAVELETS*

Wavelets são ondas pequenas (*ondeletes*, em francês) com determinadas propriedades que as tornam adequadas a servirem de base para decomposição de outras funções, assim como senos e cossenos servem de base para decomposição de Fourier.

As origens da teoria *Wavelet* remontam aos anos 30, podiam ser discretamente identificadas em trabalhos de Análise Funcional e outros ramos matemáticos e físicos, eram usadas com outras denominações, como decomposição atômica ou funções auto-similares de Gabor, são os trabalhos do geofísico J. Morlet, 1975 (in Burke 1995) que podem ser considerados como ponto de partida deste método de tratamento de sinal.

A Análise de Onduletas (AO) foi desenvolvida pela necessidade de descobrir uma ferramenta que mostrasse as reais características do sinal a ser estudado. Assim, Gabor (1946) foi um dos primeiros a tentar modificar a Transformada de Fourier (TF) para uma análise do sinal em tempo-escala. O resultado da técnica de Gabor foi denominado de Transformada de Fourier com Janela Móvel (TFJM). Segundo Gabor (Gabor, D. 1946) deve-se manter o compromisso entre o estudo do sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência, o qual é denominado de "relação de incerteza" e é conhecido como Princípio de Incerteza de Heisenberg. O grande inconveniente do método de Gabor é possuir janela de comprimento fixo, uma desvantagem quando se desejam analisar sinais cujas variações contêm ordens de grandeza muito variáveis como, por exemplo, o sinal geofísico em geral e, em particular, o sinal meteorológico.

Sua emancipação ocorre em 1975 quando Morlet criou as *wavelets*, inspirado na "análise de Fourier com janela", proposta por Gabor anos antes, onde compara um segmento de sinal com porções de curvas oscilantes de diferentes frequências. A Transformada *Wavelet* é uma ferramenta de processamento de sinais que tem um trunfo sobre as técnicas clássicas de Fourier: suas funções bases (*wavelets*) não pertencem a um espaço finito de soluções, isto é, existem teoricamente infinitas possibilidades de se projetar *wavelets* com propriedades especiais, voltadas para aplicações específicas, podem ter caráter fractal, e terem padrões que se repetem em escalas diferentes. A análise de sinais com *wavelets* permite a extração de dados coerentes tanto no domínio da frequência quanto no do tempo (ou espaço). A análise

com *Wavelets* pode ser vista como uma decomposição atômica, onde busca-se os componentes básicos dos sinais, os átomos. Uma vez descritos os "átomos" do sinal, mais fácil fica para se combinar e produzir novas moléculas. Por exemplo, numa partitura musical temos um arranjo de átomos (as notas) que possuem duração e frequência determinadas.

Basicamente a análise com *wavelets* é uma decomposição do sinal em tempo e frequência que pode ser expresso de forma gráfica.

Wavelets são funções que possuem a característica de permitir localizar variações nos sinais tanto no espaço quanto no tempo. Definiremos, inicialmente, a transformada em *wavelets* considerando um sinal contínuo $f(t)$ e são determinadas através de famílias de $\Psi_{a,b}$, denominadas *Wavelets-mãe*. Essas famílias se diferenciam de acordo com os valores dos parâmetros a (dilatação) e b (translação) que utilizam.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

Neste trabalho, as análises com *wavelets* podem ser separadas em duas metodologias: Análises contínuas, utilizando-se o programa Matlab com subprogramas desenvolvidos por Alain Mangin; e análises discretas ortogonais, ou conhecidas como análises descontínuas, também utilizando-se o programa Matlab.

5.11 ANÁLISE COM WAVELETS CONTINUAS

Compara-se *wavelets* de diferentes tamanhos com todos os valores de sinal. Os coeficientes são calculados, traduzindo o grau de correspondência existente entre "tal ou tal" *wavelets* e "tal ou tal" porção do sinal analisado; estes coeficientes são mais elevados quando existe uma semelhança forte entre *wavelets* e o sinal original.

O "escalograma" constitui a representação gráfica da variação da intensidade dos coeficientes de *wavelets* ao longo do sinal analisado. No escalograma, a abscissa corresponde ao tempo e a ordenada à frequência.

Nesse tipo de análise, podemos: ajudar a revelar as "não estacionaridades" que podem aparecer no sinal (ficam marcadas por fortes coeficientes); permitem amarrá-las no tempo (abscissa do escalograma); e revelam também as frequências correspondentes (ordenado do escalograma).

5.12 ANÁLISE COM WAVELETS DISCRETAS ORTOGONAIS

O conceito básico é idêntico ao utilizado em *wavelets* contínuas. Porém, utilizam-se aqui unicamente valores discretos (inteiros) para comprimir ou dilatar a *wavelet*. O valor de dilatação ou compressão é potência de 2, sendo assim, que cada resolução fica duas vezes maior que a precedente.

A vantagem da multiresolução é separar as frequências correspondentes às não estacionariedades presentes no sinal. Também é sempre possível isolar certa frequência de interesse e reconstruir depois o sinal. A reconstrução do sinal faz-se adicionando *wavelets* utilizadas na análise, da mesma maneira que se faz o processo inverso da transformada de Fourier (2000).

5.13 GEOCRONOLOGIA

Este método, baseia-se na radioatividade, ou seja, na propriedade que possuem os elementos radioativos de se desintegrarem e se transformam em isótopos ou outros elementos químicos através da emissão de partículas e/ou radiações.

Na natureza, existem elementos que se transformam em outros em frações de segundo; outros, entretanto, levam milhares de anos para se transformar. São estes que interessam à Geocronologia (determinação da idade).

Ex: A meia-vida do Urânio é de $4,6 \times 10^9$ anos

Para calcular a idade de formação de uma rocha (idade radiométrica), é necessário conhecer a quantidade de átomos persistentes do nuclídeo radioativo (P), a quantidade de átomos do nuclídeo radiogênico (F) e a constante de desintegração. Esta última é específica para cada processo radioativo, é inversamente proporcional à meia-vida do nuclídeo-pai.

A medição das quantidades de átomos em F e P, em minerais ou rochas, exige o recurso de equipamento de grande precisão, como os espectômetros de massa, tendo-se em conta sua ocorrência em reduzidíssimas quantidades. Pressupõe-se, também, que o mineral ou rocha analisados correspondem a sistemas fechados, isto é, que não tenham sofrido alterações químicas tanto do elemento radioativo como do radiogênico.

Os espeleotemas, devido ao empilhamento regular de pares de lamina micrônicas, alternadas claras e escuras servem como uma ferramenta geocronológica. Vários estudos mostraram que tal ritmo de deposição pode ser anual, sendo as claras formadas ao curso da estação chuvosa ou quentes e as escuras na estação seca ou fria (Genty, D. 1994a, Genty *et al* 1994b, Genty & Quinif 1996, Ming *et al.* 1998, Brook *et al* 1999, Holmgren *et al.* 2003). Desta forma, um par de lâminas representaria um intervalo de tempo de um ano.

Cabe, porém, em todos os casos, verificar a validade de tal cronograma, comparando resultados de contagens de lâminas aos fornecidos por outros métodos de geocronologia.

Dois métodos de datação absoluto, muito clássicos utilizados para a datação de carbonatos, serão descritos a seguir: Radicarbono e Urânio/Tório.

5.13.1 Datação por Radiocarbono

O método baseia-se no decaimento do isótopo ^{14}C : $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + \beta^-$ ($T_{1/2} = 5730$ anos), isótopo encontrado nos carbonatos dos espeleotemas é proveniente de uma pequeníssima fração de carbono-14 (^{14}C), do CO_2 atmosférico. Para cada 10^{12} partes de ^{12}C há uma de ^{14}C . Esses átomos de ^{14}C são produzidos por colisões de raios cósmicos incidentes nas camadas mais externas da atmosfera com o nitrogênio do ar. $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$.

O Carbono-14 radioativo assim produzido se desintegra e desapareceria por completo, se não houvesse produção contínua na atmosfera.

Os organismos vivos, plantas e animais absorvem o Carbono do ar diretamente, por fotossíntese, ou indiretamente por ingestão de plantas ou animais. O Carbono existente nos seres vivos contém a mesma fração de ^{12}C para ^{14}C existentes no ar. Quando o organismo morre, ele cessa de absorver o carbono do ar. A quantidade de ^{12}C mantém-se constante. O ^{14}C , por sua vez, vai se desintegrando sem ser substituído. Portanto a fração de ^{14}C no carbono total vai diminuindo, e assim também a radioatividade do material que é medida. A determinação da fração de ^{12}C para ^{14}C e sua comparação com aquela antes da morte do organismo fornecerá informação quanto à idade da peça.

No caso dos espeleotemas intervenção vem dos diferentes reservatórios de CO_2 , alguns em equilíbrio isotópico com a atmosfera da época e outros não o que vem complicar a interpretação em termos geocronológicos das atividades ^{14}C medidas.

Essa diluição da atividade inicial do ^{14}C pela interação das soluções percolantes com as rochas calcárias pode ser corrigida através da determinação dos $\delta^{13}\text{C}$ dos materiais (Schwarcz, 1996). Observa-se que em um espeleotema apenas 85% do carbono tem, origem atmosférica. Outro problema pode vir da poluição das concreções por um carbono recente.

Mediante as correções e precauções, por este método, pode-se medir idades confiáveis, pelo método clássico de contagem β^- (cintilação líquida de C_6H_6) atingindo faixas de 30-40.000 anos BP e até mais de 60.000 com contagem por espectrometria de massa com acelerador (MAS - Accelerator Mass Spectrometry). Em estalagmites é mais utilizado no topo para obtenção de datações do presente 1960 A.D. com utilização de curvas de controle da IEAA (Internacional Agency of Atomic Energy).

5.13.2 Datação pelo Método Urânio/Tório

Método baseado na capacidade do ^{234}U de se transformar espontaneamente para ^{230}Th .

O urânio e o tório são encontrados em proporção muito pequenas na natureza. Seu aparecimento em rochas ígneas é raro o que torna o método pouco útil para geocronologia, limitando muito o tipo de rocha a ser examinada.

O método pode ser usado na faixa de 0 $\rightarrow$ 350.000 anos, tempo após o qual a razão $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ fica próxima do valor unitário que caracteriza o equilíbrio entre isótopos "pai" e "filho". A precisão que pode ser atingida é de : ± 100 anos até 10.00, e ± 1000 ano sem seguida.

A espectrometria de massa com ionização térmica (TIMS), por exemplo, aplicada ao método de datação U/Th permite hoje datar microamostras (<1g) com ótima precisão (~1%) (Talma, 1992).

As massas de interesse para os cálculos de concentrações, idades e correções analíticas (^{238}U - ^{236}U - ^{235}U - ^{234}U - ^{233}U e ^{232}Th - ^{230}Th - ^{229}Th) são medidas com a utilização de um sistema de contagem de íons utilizando detector do tipo Daly. Todas as contagens são corrigidas em função do *background*, fracionamento isotópico, interferência entre picos, branco e tempo morto. A influência destes fatores foi considerada muito pequena em relação às incertezas analíticas nas medições das razões isotópicas de U e Th.

As idades são calculadas utilizando a equação de decaimento $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$:

$$1 - (^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}) = e^{-\lambda_{230}T} - (\delta^{234} (0)/1000) (\lambda_{230}/\lambda_{230} - \lambda_{234}) \times (1 - e^{(\lambda_{234} - \lambda_{230})T})$$

6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

6.1 SEÇÕES LONGITUDINAIS EM ESTALAGMITES

A estalagmite coletada na Gruta de Pérolas, denominada PER 5 foi serrada paralelamente ao seu eixo de crescimento, pegando toda a seção longitudinal do espeleotema, de forma assimétrica, formando duas claves (figura 6.1), uma mais grossa que a outra. A partir da clave mais grossa retirou-se duas fatias, e confeccionou-se duas seqüências de laminas, uma em cada fatia. Optou-se por fazer 2 seqüências de laminas delgadas com espessura de 500 micras, pares e impares, sendo que as laminas impares contêm trechos das laminas pares e, dessa maneira, quando sobrepostas diminuem a perda relativa ao corte da lamina (Figura 6.2).



Figura 6.1 – Claves do Espeleotema PER 5.

6.2 AQUISIÇÃO DE IMAGEM

As lâminas delgadas correspondentes à seção longitudinal da estalagmite da gruta Pérolas, foram fotografadas em microscópio óptico (objetiva de 2, ocular de 10, zoom de 10 e luz refletida), utilizando-se do sistema *LEICA Wild MZ 30* (software *Simple Photo*). Procurou-se fotografar as imagens com um recobrimento de 25% de foto a foto, afim de facilitar a montagem dos mosaicos.

As lâminas, depois de fotografadas e devidamente estudadas em microscópio ótico (MO), foram metalizadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) no aumento de 200 vezes e recobrimento de 25% nas imagens, visando analisar as camadas escuras que não podiam ser observadas e separadas com clareza na microscopia ótica.

A partir das fotografias montou-se um mosaico, reconstruindo a seção delgada dos espeleotema e, obteu-se perfis longitudinais da variação dos tons de cinza das duas amostras.

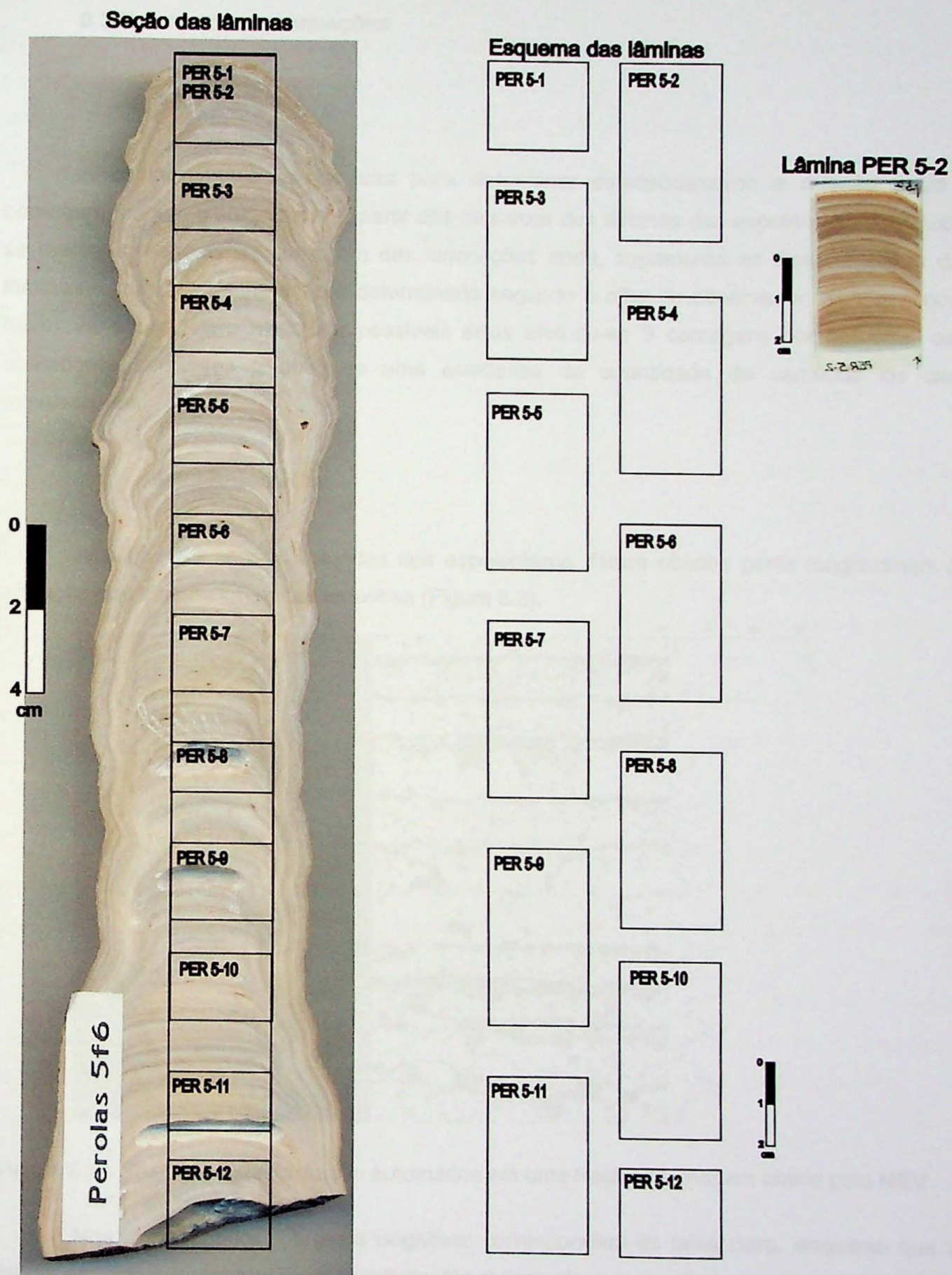


Figura 6.2 – Localização das seções onde foram confeccionadas os mosaicos das lâminas

6.3 CONTAGEM DE LAMINAÇÕES

6.3.1 Manual

A contagem manual foi feita para determinar estatisticamente a relação entre a contagem manual e automática. A partir dos mosaicos das lâminas dos espeleotemas, efetuou-se medidas manuais de contagem das laminações onde, separou-se as lâminas claras das lâminas escuras, tal separação é determinada segundo o olho do observador, portanto, pode haver variações. Para minimizar possíveis erros efetuou-se 3 contagens por amostra, com contadores diferentes e obteve-se uma estatística da quantidade de camadas de cada espeleotema.

6.3.2 Automática

A partir das seções delgadas dos espeleotema, foram obtidos perfis longitudinais da variação dos tons de cinza das amostras (Figura 6.3).

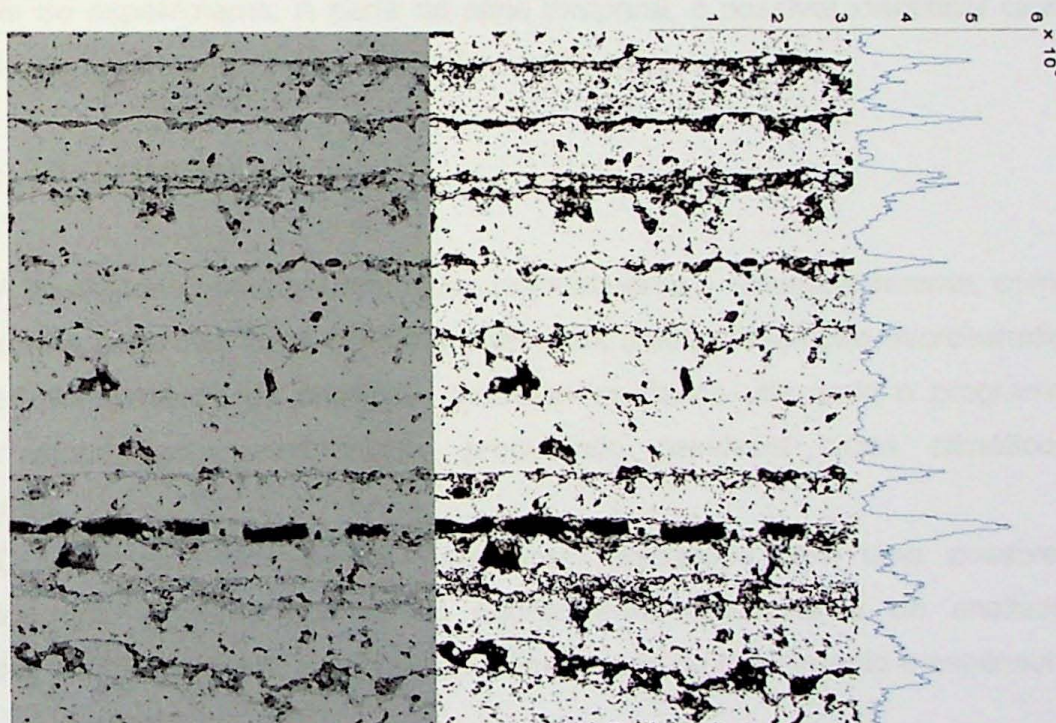


Figura 6.3 - Teste de transformação automática em uma fração da imagem obtida pelo MEV.

Nos perfis obtidos, os picos negativos correspondem às faixa clara, enquanto que as faixas escuras apresentam picos positivos. Na maioria dos casos, observa-se uma gradação do claro para o escuro e vice-versa. Considerando esta relação, desenvolveu-se um algoritmo para extrair a espessura das camadas a partir do perfil de tons de cinza.

Para identificar a espessura das camadas, o algoritmo inicialmente identifica todos os picos positivos e negativos observados no perfil, além dos patamares (positivos e negativos), que ocorrem quando a cor fica constante em alguns trechos do perfil. Após a identificação de picos e patamares, a espessura da camada é obtida pela distância entre cristas e fundos de vale observados seqüencialmente ao longo do perfil. Este método computa as camadas claras e escuras e extrai indistintamente suas respectivas espessuras.

No entanto, camadas escuras podem representar apenas o limite entre camadas, ou descontinuidade entre fases de crescimento, portanto sua espessura não representa uma fase de crescimento do espeleotema e não deve ser computada como tal. Para computar apenas a espessura de fases de crescimento (camadas claras), devem ser calculadas as distâncias entre cristas e fundos de vale, pois a distância entre fundo de vale e crista indica a espessura da descontinuidade.

Com a aplicação do algoritmo foi possível extrair da seção longitudinal, a posição das camadas e suas respectivas espessuras. Quando as idades das camadas estiverem identificadas, a posição da camada será substituída por sua idade.

Em suma, o algoritmo permite a obtenção de uma série temporal do crescimento das camadas do espeleotema. A partir da série temporal, é possível identificar ciclos de maior ou menor disponibilidade de água utilizando a análise espectral.

6.4 TRATAMENTO DOS DADOS

A partir das contagens efetuadas manualmente e automaticamente, corrigiu-se os erros das mesmas para que fosse possível obter uma melhor resolução microestratigráfica. Após a obtenção do resultado da correção, tratou-se os dados utilizando o programa MatLab e os devidos algoritmos, pré-definidos, procurando possíveis ciclos climáticos dentro das laminações.

O tratamento dos dados, forneceram resultados para uma possível interpretação estatística das séries temporais do espeleotema, utilizando-se de análises correlatórias, espectrais, multiespectrais, em *wavelet*, além de taxa de crescimento e espessura x tempo.

6.5 DATAÇÃO GEOCRONOLÓGICA

6.5.1 Seleção de Amostras

Testou-se os critérios para verificar a adequação de cada espeleotema aos métodos de datação geocronológica.

Para ser considerada uma boa amostra para a datação, levou-se em conta os seguintes aspectos da amostra: ausência de indícios de diagênese; baixa concentração de minerais não carbonáticos (laminações escuras) depositados durante a cristalização dos espeleotemas; estrutura primaria bem preservada.

6.5.2 Datações ^{14}C AMS

As determinações de idades ^{14}C por MAS foram obtidas por Seidel (2004) junto ao *laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement*, na França.

Foram realizadas Micro-amostragens (micro-broca, Ø 1mm) paralelamente a seções de lâminas, no topo do espeleotema (figura 6.4) onde a datação U/Th não podia ser eficiente. Extraíu-se aproximadamente 10mg de amostra que foram submetidas ao tratamento convencional.

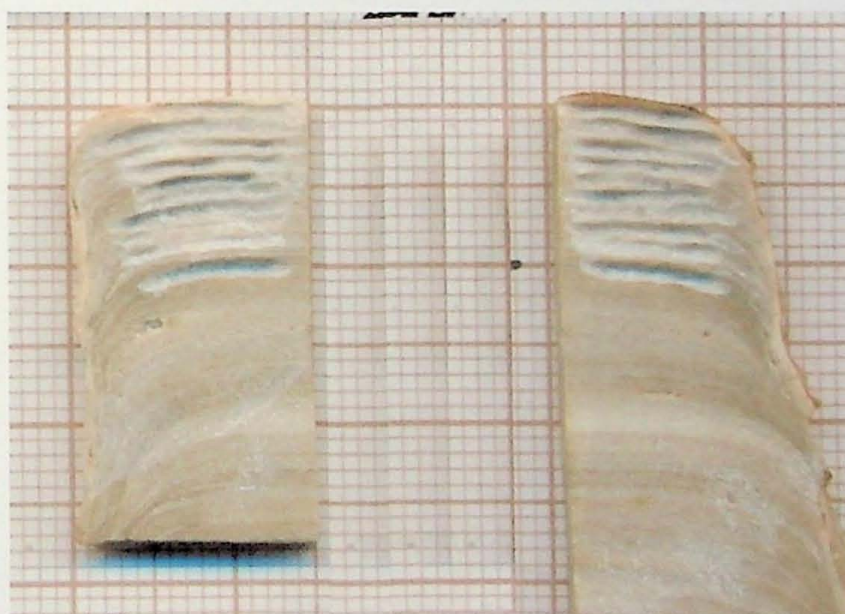


Figura 6.4 - Amostragem para datação de carbono.

As 10 mg de amostra foram moídas e lavadas 3 vezes, a primeira vez com água destilada em balde ultrasônico, a segunda lavagem foi realizada com HNO_3 0.01N, e depois com água destilada, novamente. Enfim, as amostras foram abertas no vácuo com ácido fosfórico para recuperar o CO_2 , o qual foi reduzido depois em grafito. São as amostras gráficas que foram usadas como alvos para contagens dos isótopos do Carbono, usando espectrômetro de massa acoplado a acelerador de partículas (UMS T2004 de Gif/Yvette, França).

6.5.2 Datações U/Th

No laboratório de Sistemas Cársticos do IGc-USP, extraiu-se 3 testemunhos ao longo do eixo de crescimento do espeleotema Perolas 5 (Figura 6.5). A remoção do material foi feita paralelamente às laminações, com auxílio de broca acoplada a furadeira de microretífica Dremel. Os testemunhos (pó de calcita) possuem peso de 0,5 g.

Para evitar contaminação de eventuais resíduos produzidos nas etapas anteriores, entre as coletas, a broca, a furadeira e as bancadas, eram limpas com o auxílio de água, álcool e ácido clorídrico 50%.

Após coleta, armazenamento e identificação das amostras, elas foram enviadas para o laboratório de geocronologia da Universidade do Novo Mexico, EUA. O processamento das amostras foi realizado pelo Dr. Francisco Willian da Cruz Junior, sendo que até o momento obteve-se a idade de uma amostra.

Furo das amostragens para as datações

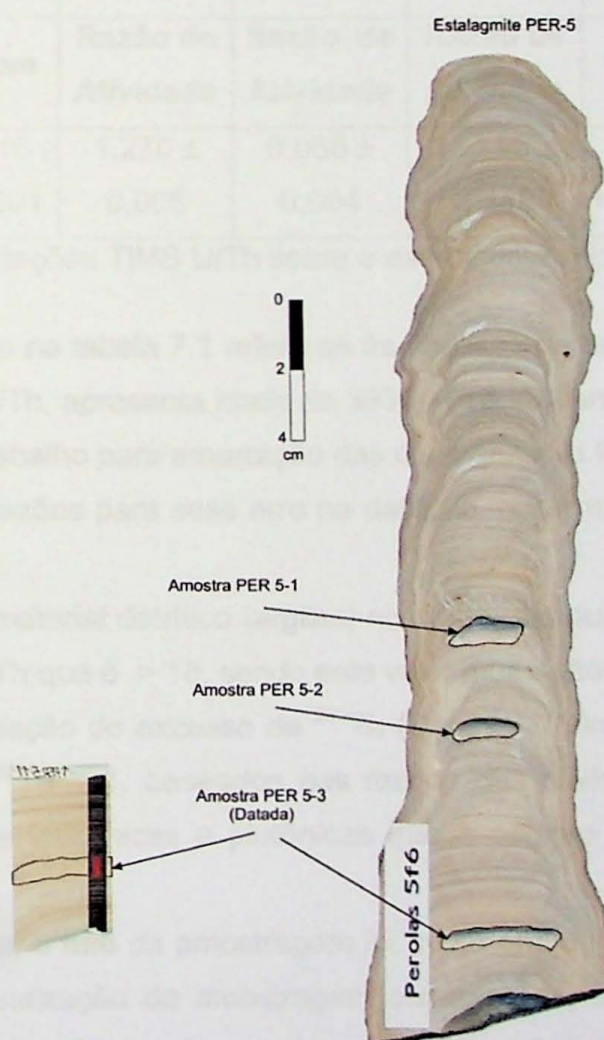


Figura 6.5 – Furo das amostragens para as datações U/Th.

7. RESULTADOS OBTIDOS (APRESENTAÇÃO, INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO)

7.1 GEOCROLOGIA

7.1.1 Datação U/Th

No início do trabalho, a idéia principal era realizar 3 datações em pontos diferentes do espeleotema Pérolas 5, tal como na figura 6.5, com o objetivo de tentar amarrar as contagens dos pares de lâminas aos pontos de datação, mas infelizmente duas análises não ficaram prontas até o fim desse trabalho, portanto trabalhou-se com os dados de apenas uma datação. Os resultados da análise estão expressos, abaixo, na tabela 7.1:

Amostra	Peso (g)	^{238}U	^{232}Th	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Idade Calculada	Idade Corrigida
		ppm	ppm	Razão de Atividade	Razão de Atividade	Razão de atividade	Anos	Anos
PER5-3	0,312	$0,286 \pm 0,001$	$0,016 \pm 0,001$	$1,270 \pm 0,005$	$0,065 \pm 0,004$	$18,793 \pm 0,118$	5723 +318 - 316	3930 +946 -939

Tabela 7.1 - Resultados das datações TIMS U/Th sobre o estalagmite PER-5.

O resultado apresentado na tabela 7.1 refere-se às análises da base do espeleotema, a 24 cm do topo. Esta datação U/Th, apresenta idade de 3930 +946 -939anos e, apesar de ter um grande erro é utilizada neste trabalho para amarração das contagens de lâminas.

Há algumas possíveis razões para esse erro na datação, neste trabalho atribuiu-se que o erro a dois motivos principais:

1 – Contaminação por material detrítico (argilas) no carbonato puro, essa contaminação é observada na razão $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ que é > 18 , sendo este valor muito alto para ter uma correção válida, uma vez que para correção do excesso de ^{230}Th (Causse & Vincent 1989) assume-se como razão inicial de $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 1$, baseados nas razões das atividades $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ para materiais originários de rochas vulcânicas e plutônicas que é sempre próxima de 1 (Gaven 1975).

2 – Tipo de amostragem, o furo da amostragem foi muito grande tanto em profundidade como em tamanho. Após a realização da amostragem observou-se, através de microscopia ótica, que ocorreu uma contaminação entre camadas, ou seja, os 0,5 mg de amostragem não

foi realizada na mesma camada, foram amostradas 57 pares de camadas (Figura 7.0) misturando as idades e aumentando o erro.

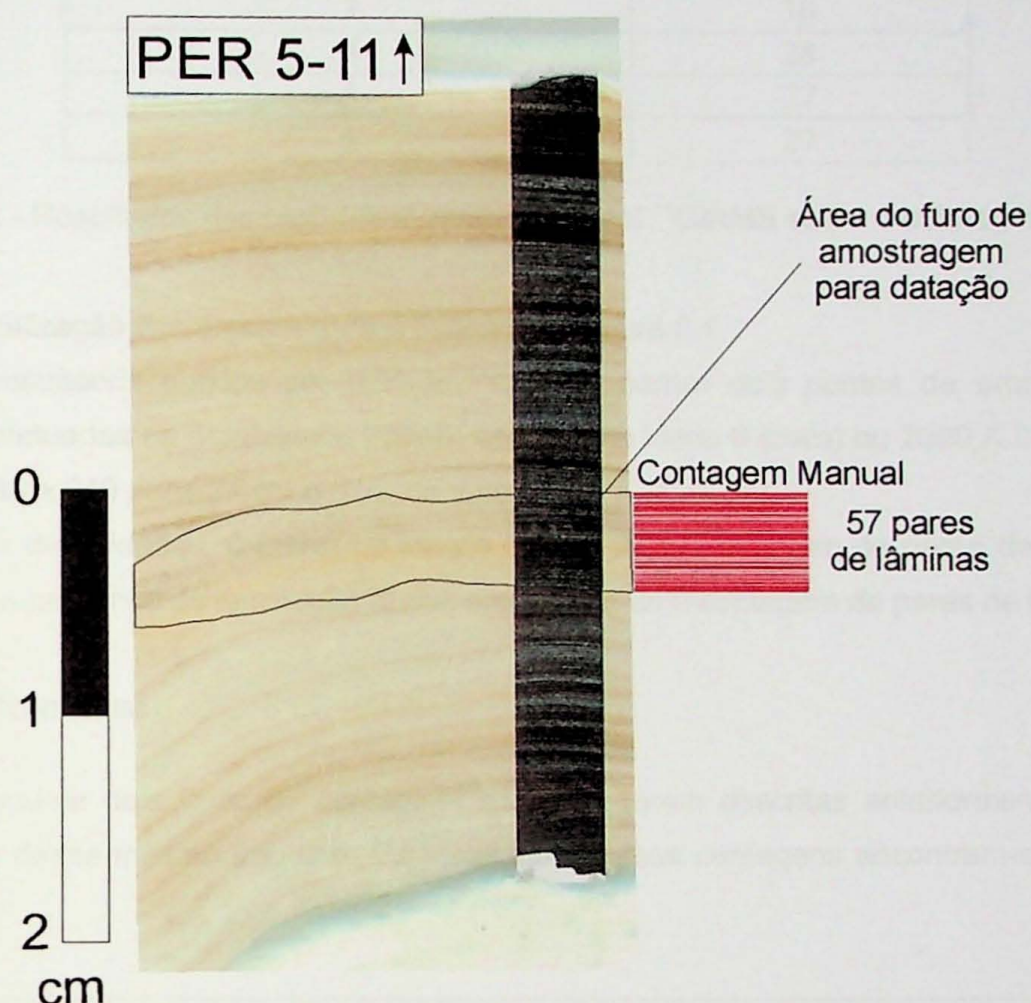


Figura 7.0 – Detalhe da área de amostragem

7.1.2 Datação Carbono

As datações ^{14}C /AMS tiveram como objetivo principal enquadrar a idade real do topo do estalagmite PER-5. Apesar das diversas datações ^{14}C /AMS realizadas em outras partes da estalagmite, não foi possível corrigir as idades através da determinação da influencia do carbono morto oriundo da rocha

Felizmente, conseguiu-se um dado que mostra claramente que está estalagmite estava em crescimento ativo quando foi coletada (2000 AD), esse dado situa-se 2mm abaixo do topo da estalagmite onde a atividade de ^{14}C chega a 97% pMC (*post Modern Carbon*).

Amostragem em profundidade em relação ao topo(mm)	PER 5 (PMC %)
1	72
2	97
3	30
4	28
5	27
6	27

Tabela 7.2 - Resultados das pMC (*Post modern carbon*) ^{14}C /AMS sobre o estalagmite PER-5.

A localização das amostragens é indicada na figura 6.4.

Os resultados obtidos por U/Th e ^{14}C confirmaram dois pontos de amarração nas contagens efetuadas na estalagmite PER-5, sendo uma idade 0 (zero) ou 2000 A.D. no topo, e outra de 3930 ± 940 anos 24 cm abaixo do topo.

Estas duas idades, 0 (zero) no topo e 3930 a 24 cm serviram de ponto de amarração para testar a presença de laminação anual, amarrando-as a contagem de pares de lâminas.

7.2 CONTAGEM

Efetuuou-se dois tipos de contagem, as quais foram descritas anteriormente, no item metodologia desse mesmo trabalho. Os resultados dessas contagens encontram-se na tabela 7.3:

Profundidade em relação ao topo	Contagem Manual	Contagem Automática
24 cm	3750 pares	3826 pares
6.9 cm	756	798 pares
3.8 cm	381 pares	403 pares

Tabela 7.3 – Quantidade de pares de laminais no espelotema PER-5.

Observa-se na tabela 7.3 que há uma diferença na quantidade de pares de lâminas entre os tipos de contagem, isso ocorre devido aos erros nas contagens, mas mesmo assim as duas contagens ficam, relativamente, bem próximas uma da outra.

O princípio da contagem é separar as camadas claras das camadas escuras (figura 7.1), uma vez que o espeleotema é formado pela intercalação dessas camadas. O erro encontrado nas diferentes contagens é dado pela falha na separação das camadas que às vezes são difíceis de serem visualizadas.

Imagem Mev.

Imagem MO.

Contagem Manual

Contagem automática



Figura 7.1 –Processamento das contagens manual e automática.

Para separar melhor as camadas, principalmente as escuras mais espessas que passam despercebidas na microscopia ótica (MO), foi necessário utilizar a microscopia eletrônica de varredura (MEV), devido sua maior sensibilidade para distinguir frações detríticas não carbonáticas das frações carbonáticas, com o objetivo de determinar dentro das camadas escuras, outras possíveis camadas, (Figura 7.2).

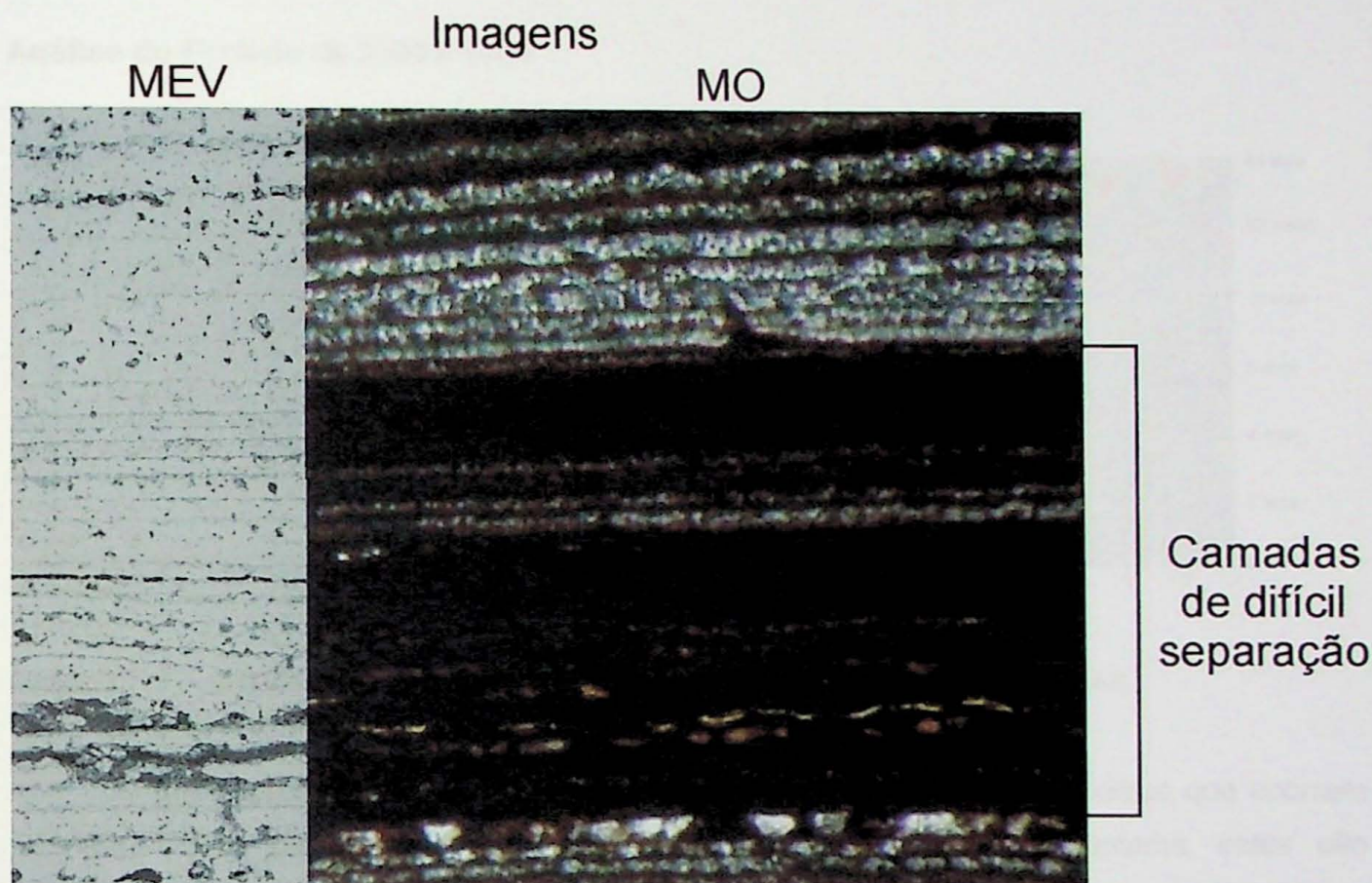


Figura 7.2 – Comparação de imagens de MEV e MO.

Com os dois pontos de amarração fornecidos pelas datações radiométricas e com os resultados da contagem supõe-se que as lâminas de crescimento, poderiam ser anuais, visto que as datações informam que existe um intervalo de 3.930 anos em 24 cm da estalagmite, e a contagem automática mostra um intervalo de 3.826 pares de lâminas.

7.3 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS

A partir dos dados de contagens das laminações e das idades do espeleotema, analisou-se as séries temporais no topo do espeleotema para os primeiros 500 anos (500 pares de lâminas) onde ocorre uma maior resolução das imagens de microscopia ótica (MO) e microscopia ótica de varredura (MEV).

Analisou-se 4 períodos, sendo as 3 primeiras no intervalo de tempo de 256 pares de lâminas e, uma quarta resultante da justaposição dos 3 análises anteriores, permitindo uma análise de intervalo de tempo de 512 pares de lâminas. O objetivo foi evidenciar possíveis ciclos e a influência entre eles, utilizando a correlação Espectro de Variância x Frequência, *wavelet's*, espessura x tempo e taxa de crescimento.

Análise do Período de 2000 a 1744

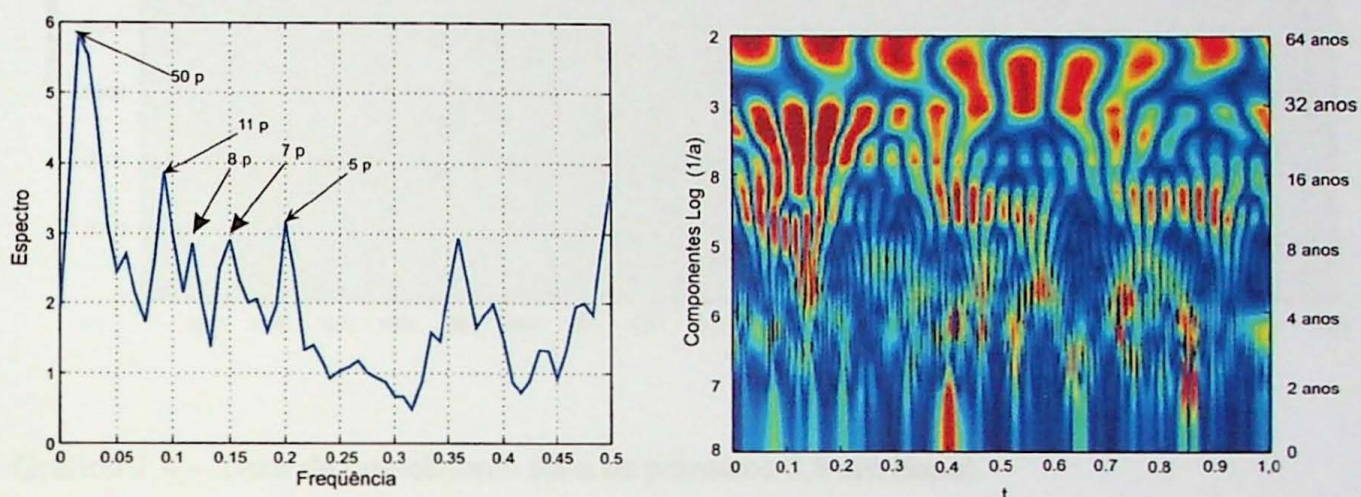


Gráfico 7.3 – Análise espectral e *wavelets* contínuas do período de 2000 a 1744

O gráfico 7.3 apresenta, num intervalo de 256 anos, evidências de ciclos que ocorrem nas laminações para os primeiros 3,8 cm a partir do topo do espeleotema, estes são evidenciados pelos picos de 5, 7-8, 11 e 50 pares de lâminas.

Os ciclos melhor evidenciados podem ser observados nas análises de *wavelets* como sendo os picos de 50 e 11 pares de lâminas, estando um pouco menos evidente o ciclo de 5 pares de lâminas. Nessa análise ocorrem outros ciclos que apresentam certa influência entre si, fato que pode resultar em possíveis dados falsos, com isso procurou-se evidenciar melhor esses três melhores sinais (50, 11 e 5 pares de lâminas).

Esses três ciclos de pares de lâminas poderiam estar relacionados com fenômenos climáticos periódicos, tais como o *El Niño* (3-5 anos), ciclo solar de *Schwabe* (11 anos) e a periodicidade climática que ocorre a cada 50 anos na região da gruta de Pérolas (Seidel, 2004).

No Gráfico 7.4, observa-se que a taxa de crescimento para esse mesmo período do espeleotema é contínua, pois apresenta camadas bem regulares e espessura média regular, sem a presença de mudanças bruscas na espessura.

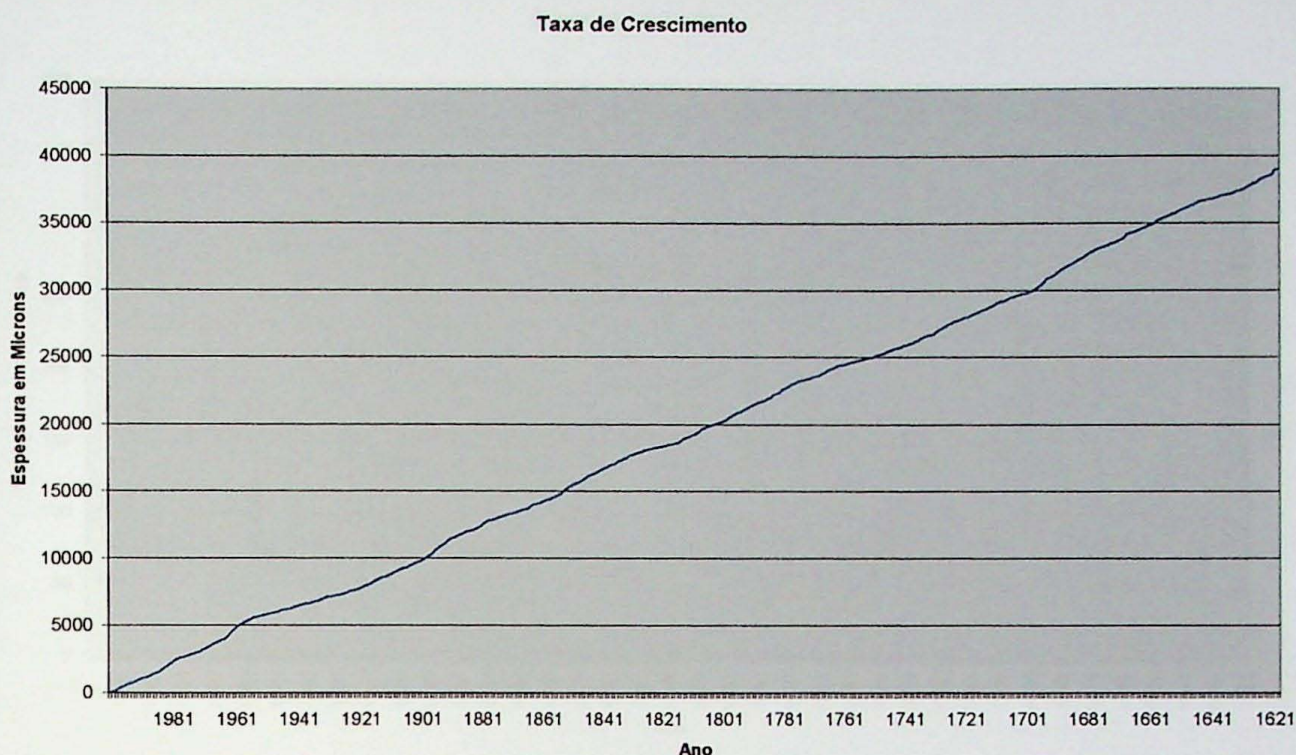


Gráfico 7.4 – Taxa de crescimento para os primeiros 3,8 cm (topo).

Esse fato também pode ser observado no gráfico 7.5, o qual mostra mais claramente a relação do crescimento da laminação x tempo. Neste gráfico observa-se a espessura aparente das camadas nos diferentes intervalos de tempo.

Nesse gráfico ocorre um aumento brusco na espessura da laminação com periodicidade de 50 anos, isso deve estar relacionado aos índices de oscilações do Atlântico Norte (“NAO”), que influenciam os ventos alísios que trazem as chuvas para a região. Esse índice reforça os alísios (Atlântico Tropical Frio) em períodos de “NAO” positivos e enfraquecem (Atlântico Tropical Quente) em períodos de “NAO” negativas, esta oscilação obedece um padrão meio secular, ainda não muito bem definido (Seidel, 2004).

Nos ciclos de 11 e 5 pares de lâminas observa-se uma influência sobre as espessuras das laminações. O período de 11 pares de lâminas poderia representar o ciclo solar de 11 anos (ciclo de *Schwabe*), no qual o Sol sofre uma inversão dos seus pólos magnéticos, provocando uma maior emissão de partículas e radiação, acarretando uma maior atividade solar (Stuiver & Quay, 1980; Eddy 1980). Existem indicações recentes, a partir do número de manchas solares e de dados climáticos, sobre um período em torno de 5,5 anos da atividade solar (Vitinsky *et al.*, 1986), conhecido como segundo harmônico do ciclo solar de 11 anos (Damon & Jirikowic, 1992).

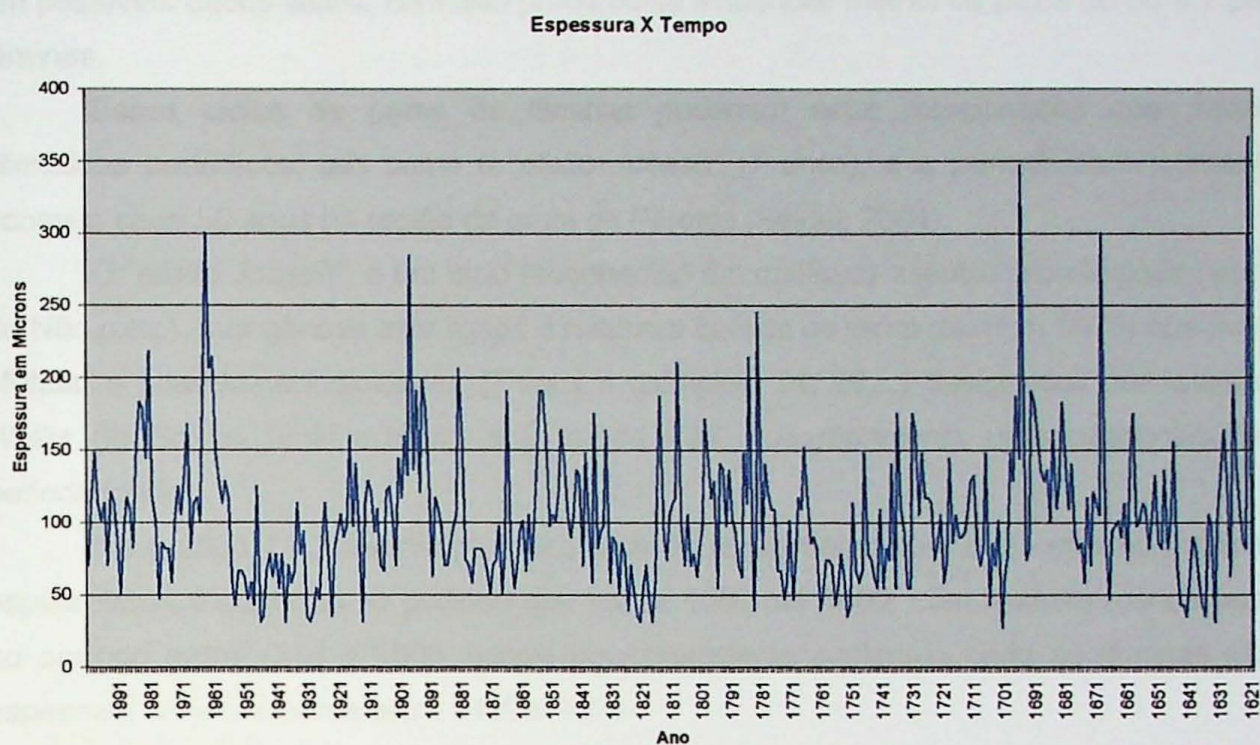


Gráfico 7.5 – Espessura em microns X Tempo.

Análise do Período de 1650 a 1394

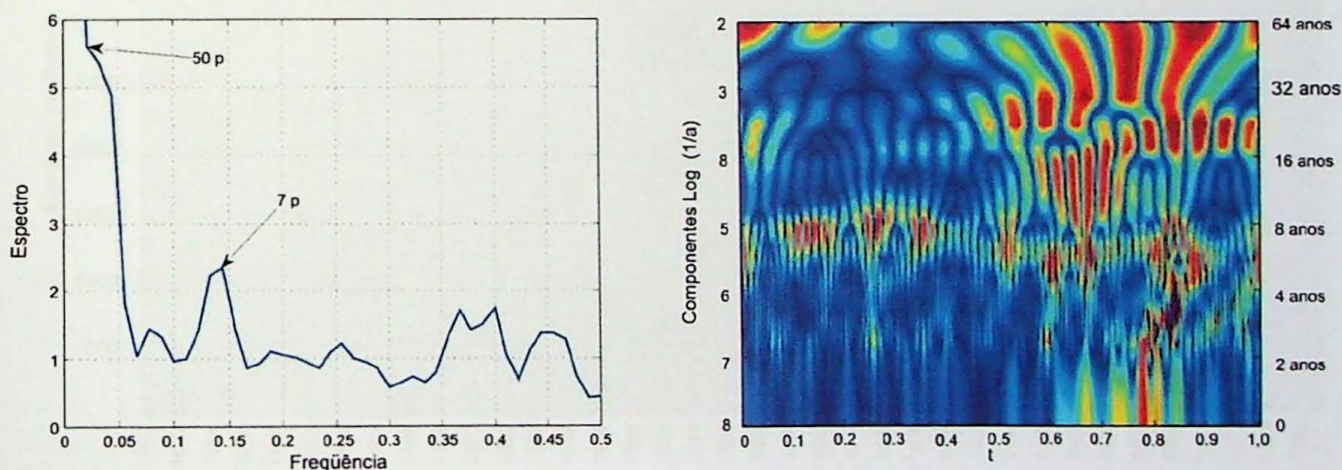


Gráfico 7.6 – Análise espectral e *wavelets* contínuas do período de 1650 a 1394

O gráfico 7.6 ocorre em um intervalo de 256 anos, no segmento entre 3,3 e 6,7 cm a partir do topo do espeleotema. O resultado obtido apresenta ciclos de 7 e 50 pares de lâminas.

Nas análises de *wavelets* observam-se picos 7 pares de lâminas, estando um pouco menos evidente o ciclo de 50 pares de lâminas, principalmente nas lâminas maiores. Nessa análise ocorrem outros ciclos que apresentam certa influencia entre si, fato que pode resultar

em possíveis dados falsos, com isso procurou-se evidenciar melhor os picos de 50 e 7 pares de lâminas.

Esses ciclos de pares de lâminas poderiam estar relacionados com fenômenos climáticos periódicos, tais como o “efeito Joseph” (7 anos), e a periodicidade climática que ocorre a cada 50 anos na região da gruta de Pérolas (Seidel, 2004).

O “efeito Joseph”, é um ciclo reconhecido em múltiplos eventos hidrológicos (enchentes do Nilo p.ex.), sua gênese está ligada à natureza caótica do clima (Mangin 1975) que induz dois efeitos: a pseudo-periodicidades (7 anos e múltiplos: 14, 28,...) designadas por Mandelbrot e Wallis (in Box e Jenkins, 1976); e o “efeito Noé” que representa uma descontinuidade na periodicidade.

No gráfico 7.7, observa-se que a taxa de crescimento para esse mesmo fragmento do espeleotema é contínua no período que vai de 1500 até 1650, com lâminas menos espessas, no período entre 1394 a 1500, ocorre um crescimento acelerado onde as lâminas são mais espessas, principalmente entre 1419 e 1500.

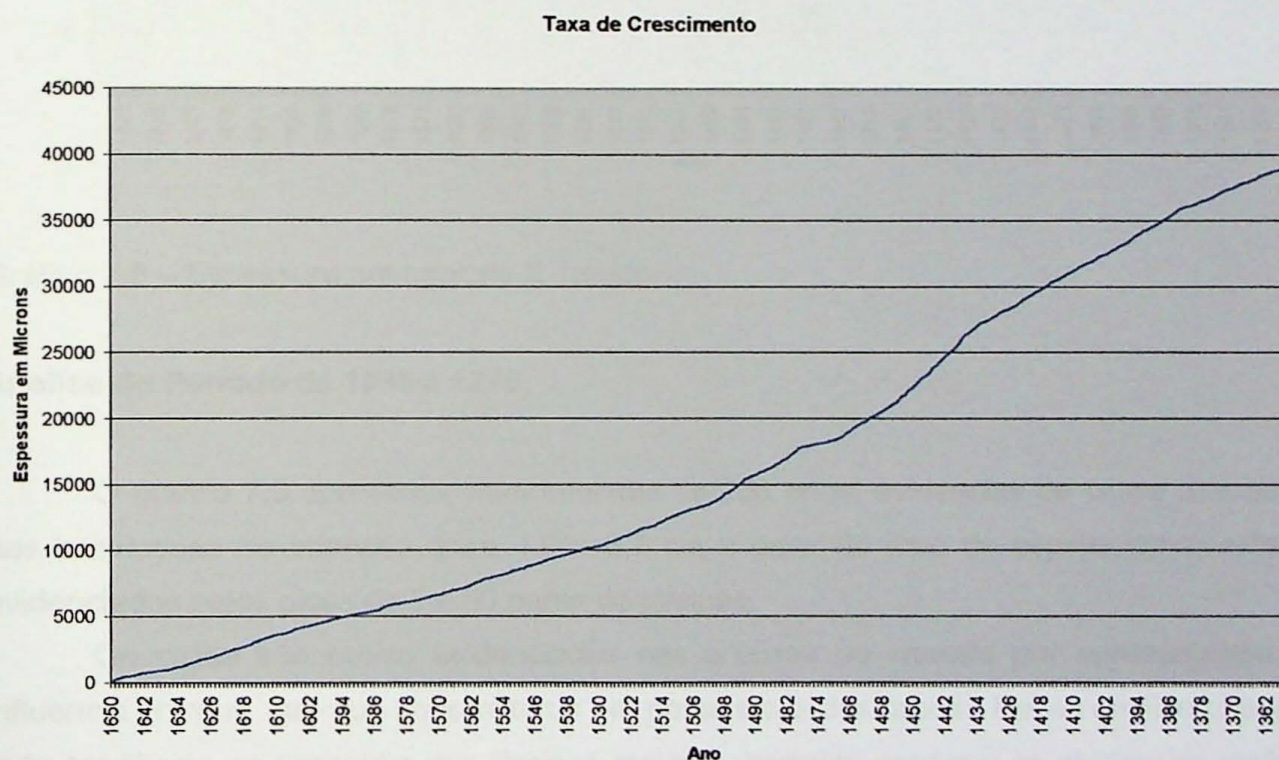


Gráfico 7.7 – Taxa de crescimento para os primeiros 3,3 e 6,7 cm.

Esse fato também pode ser observado no gráfico 7.8, o qual mostra mais claramente a relação do crescimento da laminação x tempo. Neste gráfico é possível observar a espessura aparente das camadas nos diferentes intervalos de tempo, além de um aumento brusco na espessura da laminação entre os anos de 1419 e 1500, devido a uma mudança na natureza

climática, a qual favoreceu o crescimento das laminações, esse período corresponde à uma transição ou variação climática no hemisfério norte, gerada pelo “aquecimento medieval” no período de 890 e 1170 D.C e a “pequena idade do gelo” entre 1580 e 1850.

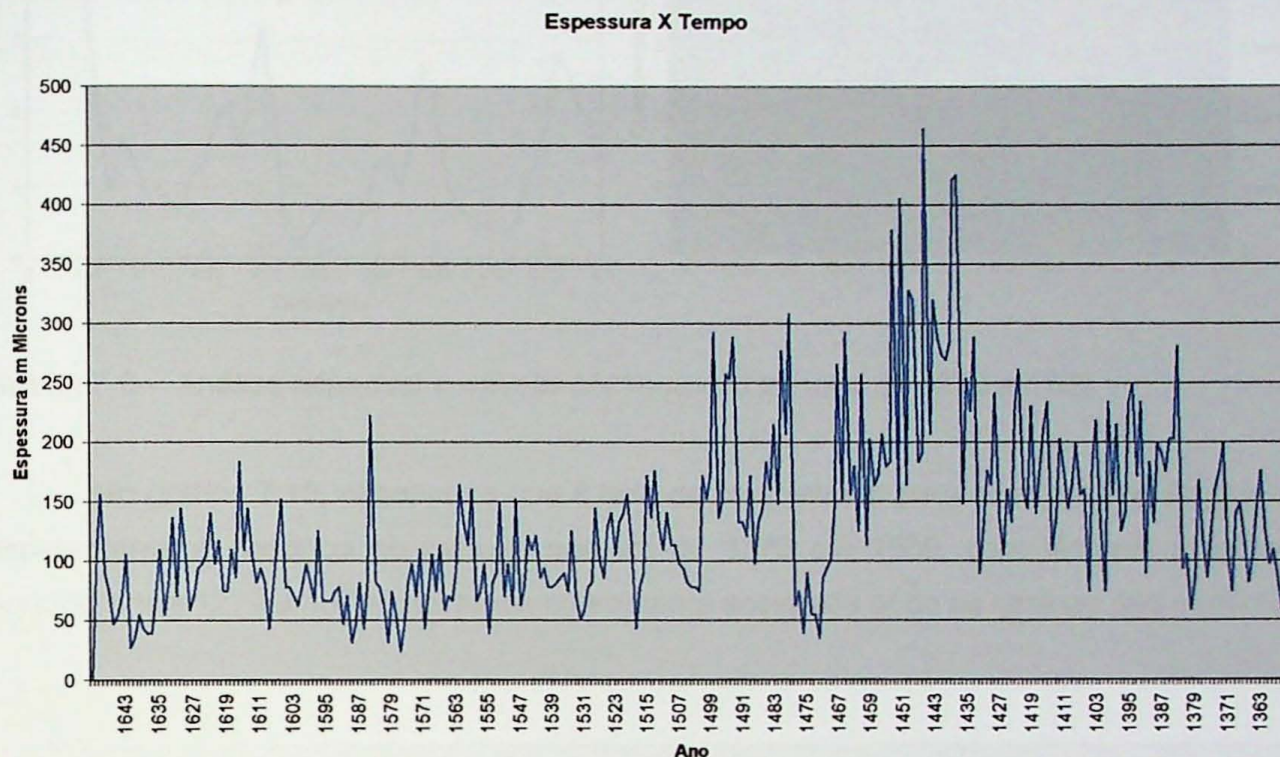


Gráfico 7.8 – Espessura em microns X Tempo.

Análise do Período de 1535 a 1279

O gráfico 7.9 apresenta, num intervalo de 256 anos, evidências de ciclos que ocorrem nas laminações no intervalo entre 4,9 e 8,7 cm a partir do topo do espeleotema, estes são evidenciados pelos picos de 5 e 50 pares de lâminas.

Os ciclos são pouco evidenciados nas análises de *wavelets* por apresentarem certa influência entre si, fato que pode resultar em possíveis dados falsos. Nessa análise observa-se forte tendência na formação das lâminas maiores, portanto procurou-se evidenciar melhor os sinais de 50 e 5 pares de lâminas.

Esses ciclos de pares de lâminas poderiam estar relacionados com fenômenos climáticos periódicos, tais como o “El Niño” (3-5 anos), e a periodicidade climática que ocorre a cada 50 anos na região da gruta de Pérolas (Seidel, 2004).

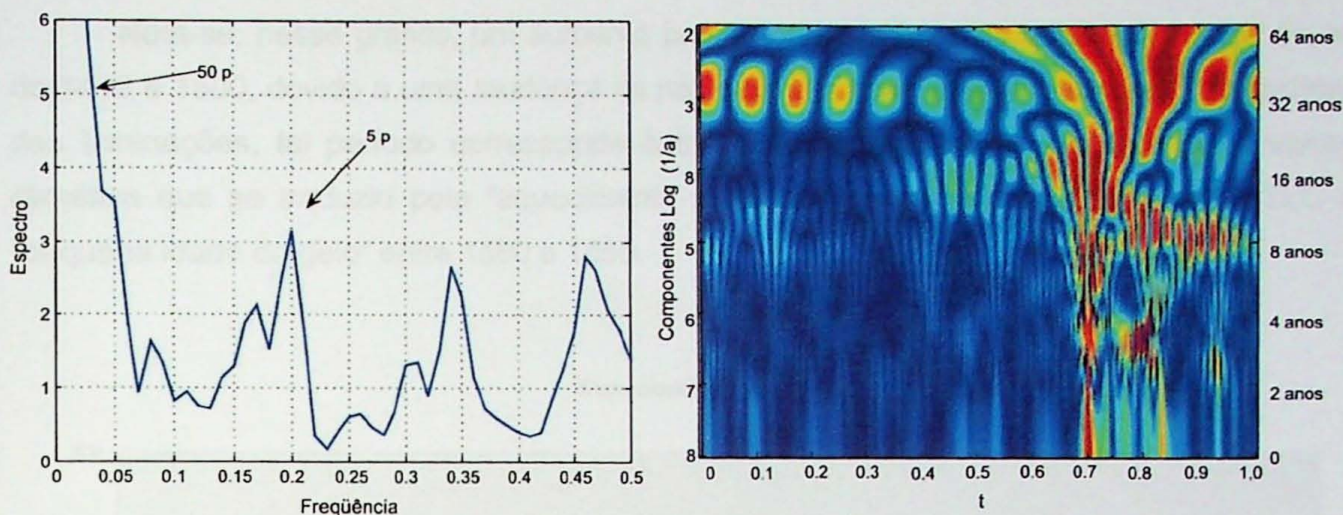


Gráfico 7.9 – Análise espectral e wavelets contínuas do período de 1279 a 1535

No gráfico 7.10, observa-se que a taxa de crescimento para esse mesmo fragmento do espeleotema é contínua no período que vai de 1370 até 1535, com lâminas menores, no período entre 1279 a 1370, ocorre um crescimento acelerado onde as lâminas são maiores.

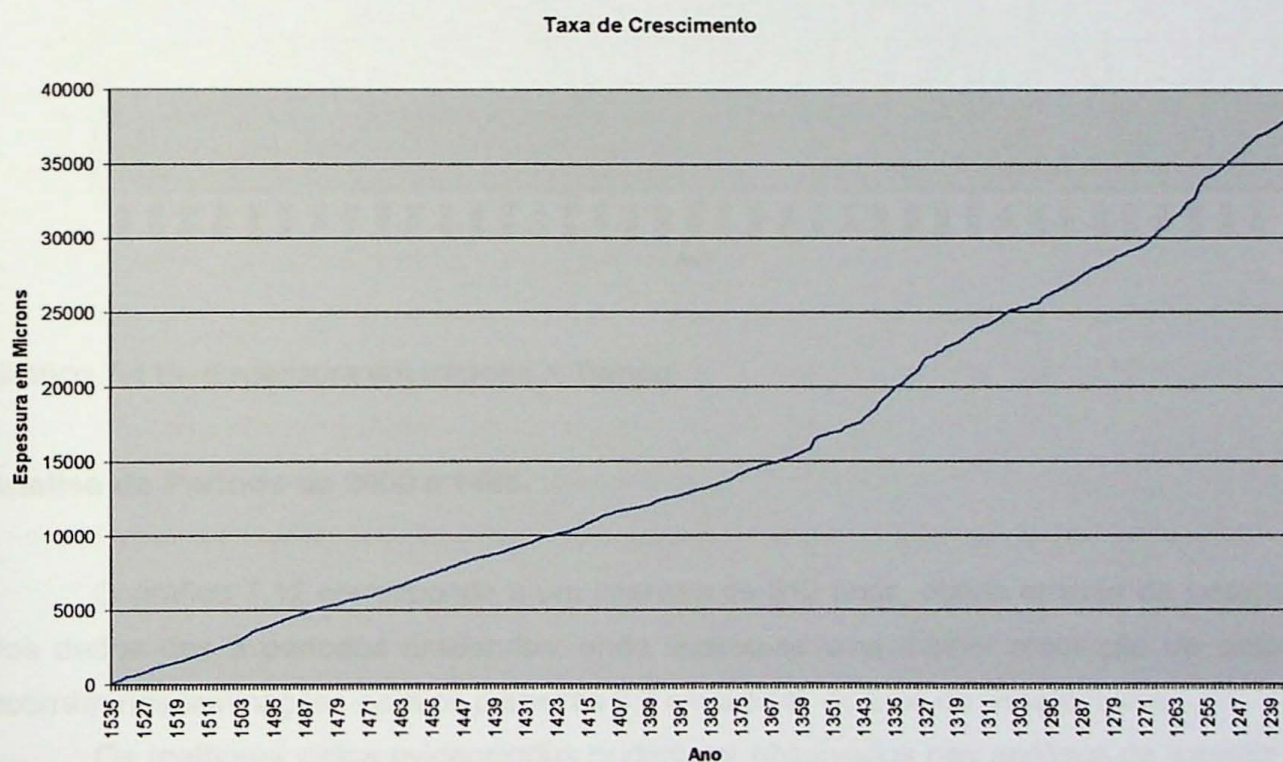


Gráfico 7.10 – Taxa de crescimento para os primeiros 3,8 cm (topo).

Esse fato também pode ser observado no gráfico 7.11, que mostra mais claramente a relação do crescimento da laminação x tempo. Neste gráfico observar-se a espessura aparente das camadas nos diferentes intervalos de tempo.

Nota-se, nesse gráfico, um aumento brusco na espessura da laminação entre os anos de 1419 e 1500, devido a uma mudança na natureza climática, a qual favoreceu o crescimento das laminações, tal período corresponde à transição no hemisfério norte, de uma variação climática que se traduziu pelo “aquecimento medieval” no período de 890 e 1170 D.C e a “pequena idade do gelo” entre 1580 e 1850.

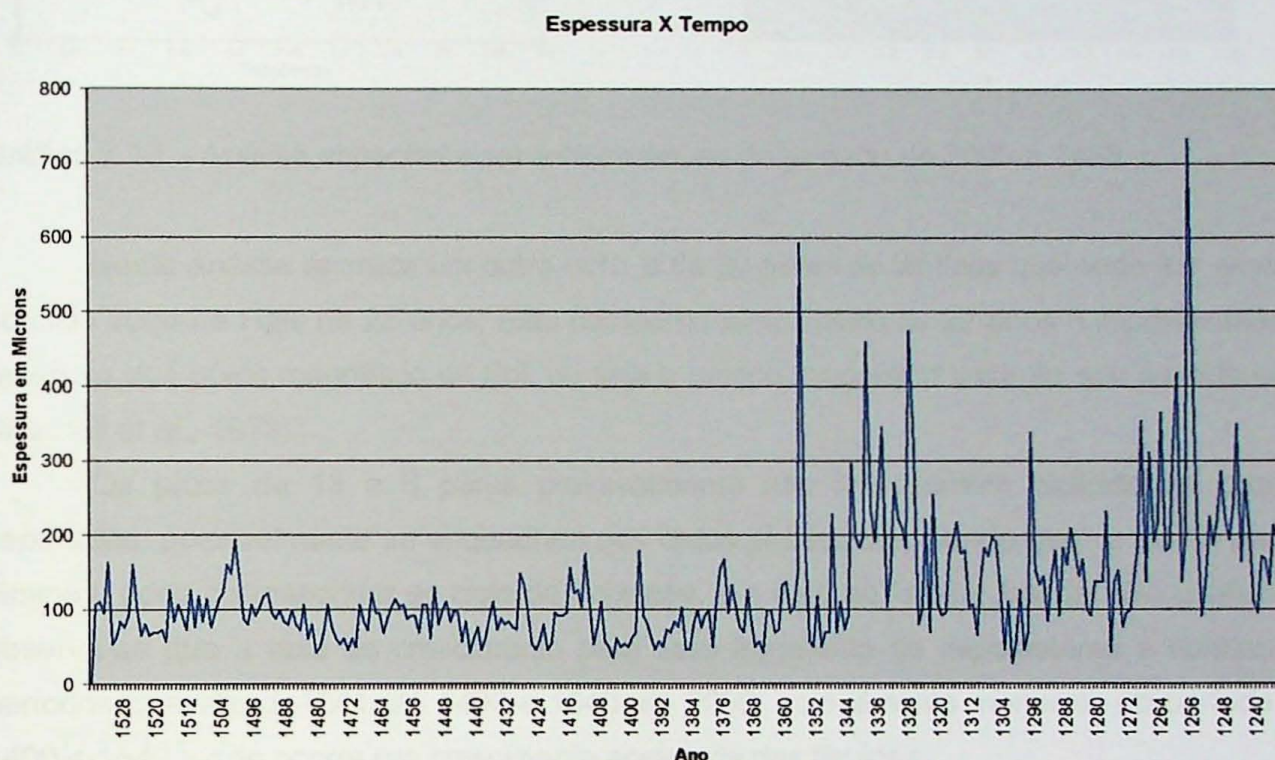


Gráfico 7.11 – Espessura em microns X Tempo.

Análise do Período de 2000 a 1488

O gráfico 7.12 corresponde a um intervalo de 512 anos, obtido através da justaposição dos dados dos 3 períodos analisados, onde buscou-se uma melhor resolução de ciclos que ocorrem nas laminações para os primeiros 8,7 cm a partir do topo do espeleotema.

Os melhores ciclos evidenciados podem ser observados nas análises de *wavelets* como sendo os picos que ocorrem no intervalo de tempo entre 5 e 64 anos, abaixo desse intervalo as ciclicidades de crescimento aparecem de maneira muito aleatória.

Os ciclos mais evidentes são os de periodicidade 50, 11, 7 e 5 pares de lâminas, referentes aos ciclos já descritos como a periodicidade climática que ocorre a cada 50 anos na região da gruta de Pérolas (Seidel, 2004), Ciclo de *Schwabe*, “efeito Joseph” e o El Niño.

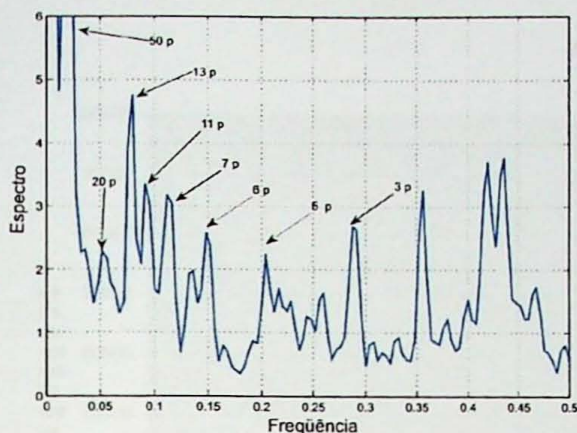


Gráfico 7.12 – Análise espectral e wavelets contínuas do período de 2000 a 1488

Nesta análise aparece um outro ciclo, o de 20 pares de lâminas que pode ser associado ao ciclo solar de Hale de 22 anos. Este comportamento cíclico de 22 anos é representado pela reversão dos pólos magnético do Sol, ou seja o campo magnético volta ao seu sentido original (Mitchell et al., 1979).

Os picos de 13 e 6 pares provavelmente não representem ciclicidades climáticas separadas, possivelmente se enquadram nos ciclos já descritos, sendo que o de 13 pares de lâminas pode corresponder ao ciclo de *Schwabe*, e o de 6 ao “efeito Joseph”. No Gráfico 7.13, observa-se que a taxa de crescimento para esse fragmento de espeleotema é contínua nos períodos que vão de 1241 até 1400 e 1540 até 2000, com lâminas menores, no período entre 1400 a 1540, onde ocorre um crescimento acelerado das lâminas.

No gráfico 7.14, é possível observar mais claramente a relação do crescimento da laminação x tempo. Neste gráfico observar-se a espessura aparente das camadas nos diferentes intervalos de tempo.

Pode-se dividir o gráfico em 3 períodos, sendo que em dois as laminações são menos expressivas, com uma taxa de crescimento menor e uma é intermediária com uma alta taxa de crescimento.

Nesse gráfico ocorre um aumento brusco na espessura da laminação entre os anos de 1400 e 1500, isso deve estar relacionado a uma mudança na natureza climática, a qual favoreceu o crescimento das laminações. Esse período é em parte correlacionado à transição no Hemisfério norte, de uma variação climática que se traduziu pelo “aquecimento medieval” no período de 890 e 1170 D.C e a “pequena idade do gelo” entre 1580 e 1850.

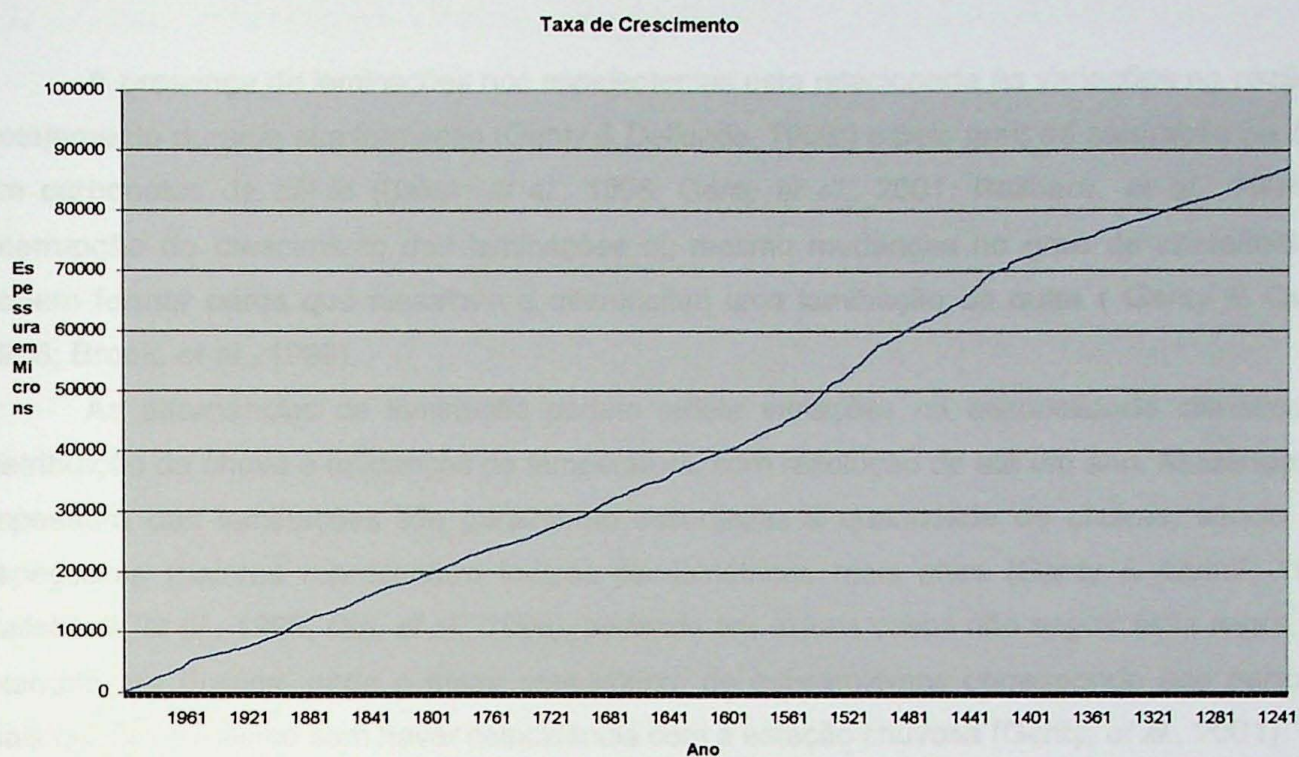


Gráfico 7.13 – Taxa de crescimento para os primeiros 8.7 cm.

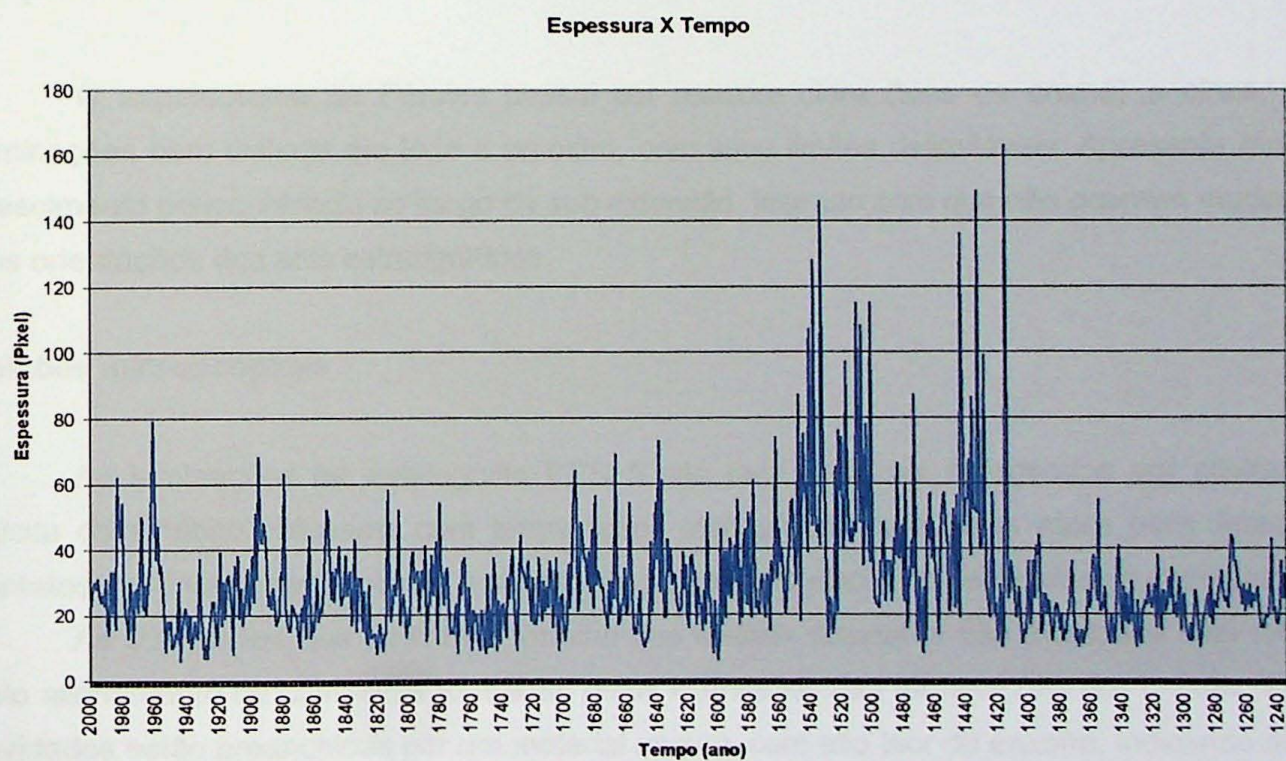


Gráfico 7.14 – Espessura em microns X Tempo.

7.4 MICROESTRATIGRAFIA

A presença de laminações nos espeleotemas está relacionada às variações na razão de gotejamento durante sua formação (Genty & Deflende, 1998;) e pelo grau de saturação da água em carbonatos de cálcio (Baker, *et al.*, 1998; Genty *et al.*, 2001; Railback, *et al.*, 1994). A interrupção do crescimento das laminações ou mesmo mudanças no grau de cristalinidade, podem formar poros que ressaltam e diferenciam uma laminação da outra (Genty & Quinif, 1996; Brook, *et al.*, 1999).

As alternâncias de laminação podem refletir variações na sazonalidade climática na distribuição da chuva e mudanças de temperatura, com resolução de até um ano. Mudanças na espessura das laminações são geralmente associadas à quantidade de chuvas, sendo que espessuras maiores representam índices pluviométricos mais altos (Genty & Quinif, 1996; Railsback, *et al.*, 1999; Qin, *et al.*, 1999), podendo em alguns casos não seguir essa regra, por exemplo, na Europa, onde o maior crescimento de espeleotemas corresponde aos períodos mais quentes, mesmo sem haver coincidência com a estação chuvosa (Genty, *et al.*, 2001).

Características Petrográficas

Feições Macroscópicas

O espeleotema de Pérolas possui cor marrom clara (tons de creme) a cinza, com laminações bem visíveis em toda a amostra, com seus limites delimitáveis. Apresenta eixo de crescimento pouco variado ao longo de sua extensão, fazendo com que não ocorram mudanças nas orientações dos sets estratigráficos.

Feições microscópicas

As laminações na estalagmite PER 5 são bem definidas e formadas por cristais de calcita com hábito colunares com terminações triangulares, com faces muito bem definidas, contatos predominantemente planos e orientação paralela ao eixo de crescimento do espeleotema.

As superfícies que limitam o término dos cristais colunares são marcadas com nitidez pelo alinhamento de cavidades formadas pelos interstícios das terminações dos cristais, essas cavidades estão preenchidas por um material escuro, com alto teor de enxofre, indicando assim uma injeção de material detrítico, podendo ser essa uma das causas do erro da datação.

Essa ritimicidade de deposição indica uma sazonalidade, onde as camadas escuras podem indicar uma mudança climatológica, onde há uma parada no gotejamento e as camadas claras indicam um gotejamento contínuo.

O material detrítico que entra no sistema (figura 7.15), provavelmente vem da decomposição da matéria orgânica na superfície, que chega ao sistema com a entrada de água que vai precipitar o espeleotema. As camadas claras indicam pouca quantidade de matéria orgânica e saturação em CaCO_3 .

As diferenças petrográficas nas estalagmites estudadas são importantes para a identificação e entendimento da ciclicidade na deposição de laminações. A amostra possui laminações rítmicas bem definidas.

Maior variação ou mesmo interrupção do fluxo ao longo do ano hidrológico interfere diretamente no crescimento dos espeleotemas, podendo resultar numa maior quantidade de defeitos cristalinos nos espeleotemas (Frísia, 2000). Dessa forma, locais com menor tempo de residência da água de percolação via meio fraturado ou menor espessura de rocha sobre a caverna, entre os pontos de recarga pela água da chuva e descarga pelos gotejamentos, são mais favoráveis para deposição de espeleotemas com estrutura laminada.

Esquema de deposição e Injeção de detritos nos espeleotemas

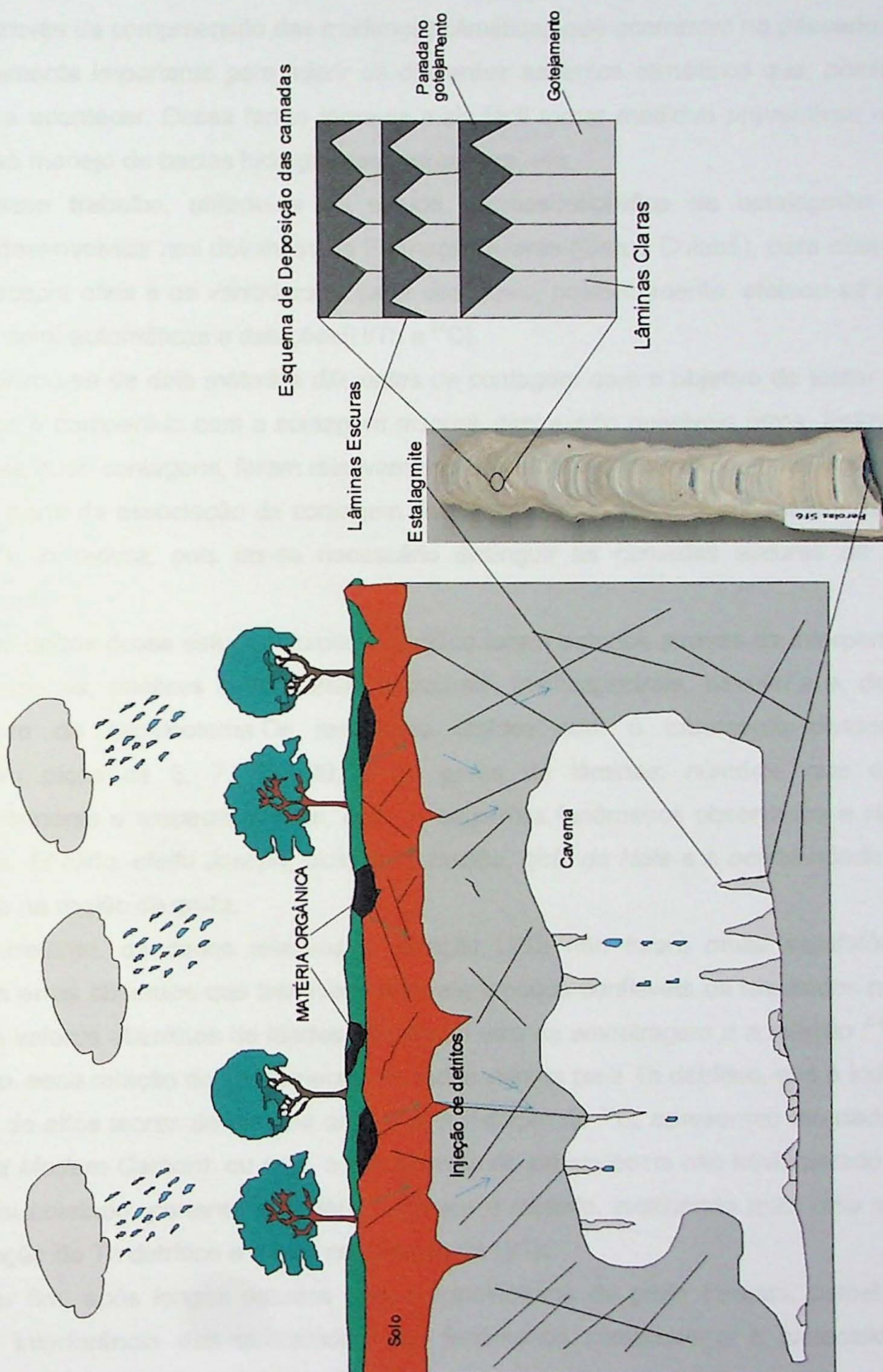


Figura 7.15 – Esquema de deposição das camadas dos espeleotemas (sem escala)

8. CONCLUSÃO

Através da compreensão das mudanças climáticas que ocorreram no passado, obtêm-se uma ferramenta importante para inferir os diferentes aspectos climáticos que, possivelmente, estão para acontecer. Dessa forma torna-se mais fácil tomar medidas preventivas no que diz respeito ao manejo de bacias hidrográficas, agricultura, etc.

Nesse trabalho, utilizou-se do estudo microestratigráfico da estalagmite da gruta Pérolas, desenvolvida nos dolomitos da Formação Araras (Grupo Cuiabá), para obter imagens de microscopia ótica e de varredura, à partir das quais, posteriormente, efetuou-se contagens manuais, semi-automáticas e datações (U/Th e ^{14}C).

Utilizou-se de dois métodos diferentes de contagem com o objetivo de testar o método automático e compará-lo com a contagem manual, diminuindo possíveis erros. Felizmente, os valores das duas contagens, foram relativamente semelhantes e os dados mais precisos foram obtidos à partir da associação da contagem das lâminas das imagens obtidas em microscopia ótica e de varredura, pois fez-se necessário distinguir as camadas escuras de possíveis discordâncias.

Os dados desse estudo microestratigráfico foram tratados através da interpretação das séries temporais, análises correlatórias, espectrais, multiespectrais, *wavelet's* e, de taxa de crescimento do espeleotema. Os resultados obtidos com o tratamento desses dados, forneceram picos de 5, 7, 11, 20, e 50 pares de lâminas, números que coincidem, aproximadamente e respectivamente, com os seguintes fenômenos observados e registrados na história: *El Niño*, *efeito Joseph*, *ciclo de Schwabe*, *ciclo de Hale* e a periodicidade climática observada na região da gruta.

Entretanto, os dados relativos a datação U/Th não foram muito satisfatórios pois, continham erros absurdos que tornavam inviáveis e pouco confiáveis os resultados no que diz respeito a valores absolutos de idades, devido ao erro na amostragem e a relação $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, no entanto, essa relação do Th, forneceu elevados valores para Th detrítico, que é indicativo da presença de altos teores de matéria orgânica. A datação do ^{14}C , apresentou atividade de 97% pMC (*post Modern Carbon*), ou seja, o crescimento do espeleotema não havia parado até o dia em que foi coletado, portanto a matéria orgânica é recente, explicando mais uma vez a alta concentração de Th detrítico e o erro na datação de U/Th.

Por fim, após longos estudos com o espeleotema da gruta Pérolas, percebeu-se as possíveis interferência das ciclicidades dos fenômenos climáticos e a sazonalidade que interferem no crescimento da estalagmite.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA F.F.M., 1964a – Geologia do centro-oeste matogrossense Brazil. Minist. Minas Energ., Dep. Nac. Prod. Miner., Bol. Div. Geol. Mineral. 215:1-137
- ALMEIDA F.F.M., 1964b – Glaciação Eocambriana em Mato Grosso, Brazil. Minist. Minas Energ., Dep. Nac. Prod. Miner., Notas Prelim. Est.. 117:1-10
- ALVARENGA C.J.S., 1990 – Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluids développés à la transition chaîne-craton. Exemple de la chaîne Paraguay d'âge protérozoïque supérieur, Mato Grosso, Brésil. Thesis doct. Univ. Aix-Marseille III, France, 177 p. inédita.
- ALVARENGA C.J.S., Saes G.S., 1992 – Stratigraphy and sedimentology of the Middle and Late Proterozoic in the southeast of the Amazonian Craton. Rev. Bras. Geociências, 22:493-499.
- ALVARENGA C.J.S., Trompette, R., 1993 – Brazilian Tectonic of the Paraguay Belt: The Structural development of the Cuiabá Region. Rev. Bras. Geociências. 23:18-30.
- ALVARENGA C.J.S., Moura C.A.V., Gorayeb P.S.S., Abreu F.A.M. 2000 - Paraguay and Araguaia Belts, Tectonic Evolution of South America 31 IGC–p.183-229.
- ALVARENGA C.J.S., Santos R.V., Dantas E.L. 2004 – C-O-Sr isotopic stratigraphy of cap carbonates overlying Varanger-Marionan-age glacial diamictites in the Paraguay Belt, Brazil. Precambrian Res.. 131:1-21.
- BAKER, A., Genty, D., Dreybrodt, W., Grapes, J., Mockler, N.J., 1998. Testing theoretically predicted stalagmite growth rate with recent annually laminated stalagmites: implications for past stalagmite deposition. Geochimica et Cosmochimica Acta 62, 393–404
- BAKER, A., Barnes, W.L., Smart, P.L., 1997. Stalagmite drip discharge and organic matter fluxes in Lower Cave, Bristol. Hydrological Processes 11, 1541–1555.
- BAKER A., Proctor C.J., Barnes W.L., 1999 – Variations in stalagmite luminescence laminae structure at Poole's Cavern, England, AD 1910-1996: calibration of a palaeoprecipitation proxy. The Holocene, 9(6): 683-688.
- BERTAUX J., Sondag F., Santos R., Soubiès F., Causse C., Plagnes V., LE Cornec F., Seidel A., 2002 - Paleoclimatic record of speleothems in tropical region : study of laminated sequences from a Holocene stalagmite in Central-West Brazil. Quaternary International, 89(1): 3-16.
- BOX G. E. P. & Jenkins G. M., 1976 - *Time series analysis, forecasting and control.*, Revised Ed. Holden Day, San Francisco, 575 p.

- BROOK G.A., Rafter M.A., Railsback L.B., Sheen S.W., Lundberg J., 1999 – A high-resolution proxy record of rainfall and ENSO since 1550, from layering in stalagmites from Anjohibe Cave, Madagascar. *The Holocene*, 9(6): 695-705.
- BURKE H. B., 1995 - *Ondes et ondelettes : la saga d'un outil mathématique.*, Pour la Science , 235 p.
- CAUSSE, C., Vincent, J.S., 1989. Th/U disequilibrium dating of middle and late Pleistocene wood and shelf from Banks and Victoria islands, Arctic Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26: 2718-2723.
- CRUZ Jr. F. W., Burns S. J., Karmann I., Sharp. W. D., Vuille M., Cardoso A.O., Ferrari J.O., Dias P.L.S. e Viana Jr. O., 2005 – Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, 434 : 63-65.
- DAOXIAM Y., Jiaming Q., Yushi L., Meilang Z., Bin L., 1997 – The 1100 Annual transparent microbands of the stalagmite from Beijing Shihua Cave. *PAGES Newsletters* 97/1.
- DAMON, P. E., EASTONE, C. J., HUGHES, M. K., KALIN, R. M., LONG, A. & PERISTYKH, A. N. - 1998 - Secular variation of $D^{14}C$ during the medieval solar maximum: a progress report. *Radiocarbon*, 40(1):343-350.
- DORALE, J. A., Edwards, R. L., Ito, E., and Gonz'alez, L. A. (1998). Climate and vegetation history of the mid-continent from 75 to 25 ka: Aspeleothem record from Crevice Cave, Missouri, U.S.A. *Science* 282, 1871–1874.
- DREYBRODT W., Eisenlohr L., Madry B., Ringer S., Precipitation kinetics of calcite in the system $CaCO_3-H_2O-CO_2$: The conversion to CO_2 by the slow process $Hp+HCO_3 \rightleftharpoons CCO_2+H_2O$ as a rate limiting step, *Geochem. Cosmochem. Acta* 61 (1997) 3897-3904.
- EDDY, J. A. - 1980 - The historical record of solar activity. *Proceedings of the conference on the ancient sun: fossil record in the earth, moon and meteorites*. 119-134.
- FIGUEIREDO, M.F.; Babinsk, M.; Alvarenga, C.J.S.; Pinho, F.E.C. – 2004 – Diamictites overlying Marinoan-Age carbonates of Araras Formation, Paraguay Belt, Brazil: Evidence of a New Glaciation?. *Symposium on Neoproterozoic – Early Paleozoic Events in SW Gondwana*, IGCP Project 478, Second Meeting, Brazil. P 18-19.
- FIGUEIREDO, M.F.; Babinsk, M.; Alvarenga, C.J.S.; Pinho, F.E.C. – 2005 a – Nova Unidade Litoestratigráfica: Formação Serra Azul, Faixa Paraguai, Mato Grosso. *IX Simposiom de Geologia de Centro Oeste. Brasil* p 23-15.
- FOURNIER, A.: *Introduction to Orthonormal Wavelet*

- Analysis with Shift Invariance: Application to Observed Atmospheric Blocking Spatial Structure. *J.Atmos.Sci.*, 57, 3856-3880, 2000.
- FRISIA, S.; Borsato, A.; Fairchild, I.J. & Mcdermott, F. (2000) – Calcite fabrics, growth mechanisms, and environments of formation in speleothems from Italian Alpas and Southwestern Ireland. *Journal of Sadimentology Research*, 70 (5): 1183-1196.
- GABOR, D.: Theory of Communication. *J.Inst.Elect.Eng.*, 93, 429-457, 1946.
- GAVEN, C. 1975. Déséquilibre dans les familles radioactives de l'uranium et du Thorium au cours des processus volcano-génétiques. Thesis, Pierre et Marie Curie Universite, Paris.
- GENTY D., 1994a - Corrélation entre l'épaisseur des lamines de deux stalagmites modernes et les données météorologiques. *Spleleochronos*, 6 :35-40.
- GENTY D., Bastin B., EK C., 1994b - Nouvel exemple d'alternance de lamines annuelles dans une stalagmite. *Speleochronos*, 6 :3-8.
- GENTY D., Deflandre, G., 1998. Dripo Flor variations Ander a stalactite of the Père Noel cave (Belgium). Evidence of sazonal variations anda ir pressure constraints. *Journal of Hydrology*, 211, 208 – 232.
- GENTY D., Quinif Y., 1996 - Annually laminated sequences in the internal structure of some Belgian stalagmites - Importance for paleoclimatology . *Journal of Sedimentary Research*, 66: 275-288.
- GENTY D., Barnes W.L., 1997 – Comparaison entre les lamines luminescentes et les lamines visiblesss de stalagmites. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 325, II: 193-200.
- GENTY D., Baker A., Vokal B., 2001 – Intra- and inter-annual growth rate of modern stalagmites. *Chemical Geology* , 176:191-212.
- GOEDE, A., and Vogel, J.C., 1991, Trace element variations and dating of a Late Pleistocene Tasmanian speleothem: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 88, p. 121-131.
- GREGEO-GSBM-BAMBUÍ, Guyot J.L. 1996 – Goiás 94 & 95. Inédito p.236.
- HENNIES, W.T. 1966. Geologia do Centro-Norte, Mato Grosso. São Paulo, 65p. Tese doutoramento – Institut Politécnico, Universidade de São Paulo.
- HOLMGREN, K., Karlžn, W., and Shaw, P.A., 1995, Paleoclimatic significance of the stable isotopic composition and petrology of a Late Pleistocene stalagmite from Botswana: Quaternary Research, v. 43, p. 320-328.

- HOLMGREN K., Karlén W., Lauritzen S.E., Lee-Thorp J.A., Partridge T.C., Piketh S., Repinski P., Stevenson C., Svanered O., Tyson P.D., 1996 - A 3000 year high resolution stalagmite - based record of palaeoclimate for northeastern South Africa. *The Holocene*, 9 (3): 295-309.
- HOLMGREN, K., Lee-Thorp, J.A., Cooper, G.R.J., Lundblad, K., Partridge, T.C., Scott, L., Sithaldeen, R., Talma, A.S., Tyson, P.D., 2003. Persistent millennial-scale climatic variability over the past 25,000 years in Southern Africa. *Quaternary Science Reviews* 22, 2311–2326.
- I.N.MET. 2005 – Instituto Nacional de Meteorologia. (www.inmet.gov.br)
- JENKINS G.M., Watts O.G., 1968: *Spectral analysis and its applications.*, Holden Day, San Francisco, 525p.
- KAUFMAN, A.; Wasserburg, G.J.; Porcelli, D.; Bar-Matthews, M.; Ayalon, A. & Halicz, L. (1998) - U-Th isotope systematics from the Soreq cave, Israel and climatic correlations. *Earth and Planetary Science Letters*, 156: 141-155.
- LI, W.X.; Lundberg, J.; Dickin, A.P.; Ford, D.C.; Schwarcz, H.P.; McNutt, R. & Williams, D. (1989) - High-precision mass-spectrometric uranium-series dating of cave deposits and implications for palaeoclimate studies. *Nature*, 339: 534-536.
- MANGIN A., 1975 – Contribution a l'étude Hydrodynamique des Aquifers Karstiques. Thèse – Laboratoire Souterrain du Centre National de la recherche Scientifique, Moulis.
- MANGIN A., 1984 - *Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrales.*, Journal of Hydrology, 67, pp 25-43.
- MANGIN A., 1998 - *L'approche hydrogéologique des karsts.*, Spéléochronos, n°9.
- MITCHELL, S. M. JR., Stockton, C. W. & Meko, D. M. - 1979 - Evidence of a 22-year rhythm of drought in the Western United States related to the Hale solar cycle since the 17th century. *Solar Terrestrial Influences on Weather and Climate*, Reidel, Dordrecht, Holland, 125-143.
- MING T., Tungsheng L., Xiaoguang Q., Xiaofeng W., 1998 – Signification chrono-climatique de spéléothèmes laminés de Chine du Nord. *Karstologia*, 32(2):1-6.
- MING T.; Baker A., Genty D., Smith C., Esper J. Cai B., 2006 – Applications of stalagmite laminae to paleoclimate reconstructions: Comparison with dendrochronology/climatology. *J. Quat. Res.*
- NOGUEIRA, A.C.R.; 2003 – A Plataforma Carbonática Araras no Sudoeste do Cráton Amazônico, Mato Grosso: Estratigrafia, contexto Paleoambiental e Correlação com os Eventos Glaciais do Neoproterozoico. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- PIMENTEL M.M., Fuck R.A., Alvarenga C.J.S., 1996 – Post-Brasiliano (Pan-African) high-k granitic magmatism in central Brazil: the role of late Precambrian-early Paleozoic extension. *Precambrian Res.* 80:217-238.
- QIAN, W. & Zhu, Y (2002). Little ice climates near Beijing inferred from historical records and stalagmite records. *Quaternary Research* 57: 109-119
- QIN, X; Tan, M.; Liu, T.; Wang, X.; Li, T. & Lu, J. (1999) – Spectral analysis of a 1000-year stalagmite lamina-thickness record from Shishua Cavern, Beijing, China, and its climatic significance. *The Holocene* 9, 6: 689-694.
- RAILSBACK L.B., Brook G.A., Chen J., Kalin R., Fleisher C.J., 1994 - Environmental controls on the petrology of late Holocene speleothem from Botswana with annual layers of aragonite and calcite. *Journal of Sedimentary Research*, A64: 147-155.
- ROBERTS M.S., Smart P.L., Baker A., 1998 - Annual trace element variations in a Holocene speleothem. *Earth and Planetary Science Letters*, 154: 237-246.
- SALGADO-LABOURIAU M.L., Casseti V., Ferraz-Vicentini K.R., Martin L., Soubiès F., Suguio K. and Turcq B., 1996 - Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. *Paleo*-3:38-45.
- SCHWARCZ H.P., 1996 - Geochronology and isotopic geochemistry of speleothems. In: *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry* (P.Fritz, J.Ch. Fontes, Eds.) Elsevier, Amsterdam : 271-304.
- SEIDEL, A.M. 2004 – Gênese e interpretação dos registros paleoclimáticos da gruta Péroals, Distrito de Bauxi – Mato Grosso. Tese de mestrado UnB.
- SOUBIÈS F., Seidel A., Mangin A., Genty D., Ronchail J., Plagnes V., Hirooka S., Santos R.V. (2005) . A fifty years climatic signal in three Holocene stalagmites' records from Mato Grosso, Brazil. *Quaternary International*, Vol.132 (no prelo).
- SUGUIO K., Absy M.L., Flexor J.M., Ledru M.P., Martin L., Sifeddine A., Soubies F., Turcq B., Ybert J.P. (1995) - The evolution of the continental and coastal environments during the last climatic cycle in Brazil (120Ky.B.P. to present). *Bol.IG/USP,Ser. Cient.*,24: 27-41.
- STUIVER, M. & Quay, P. D. - 1980 - Changes in atmospheric carbon-14 attributed to a variable Sun. *Science*, 207(4426):11-19.
- TALMA A.S., Vogel C.J., 1992 - Late quaternary paleotemperatures derived from a speleothem from Cango caves, Cape province, South Africa. *Quaternary Research*, 37 : 203-213.

- TOOTH, A.F., Fairchild, I.J., 2003. Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem-forming drip waters, Crag Cave, southwest Ireland. *Journal of Hydrology* 273, 51–68.
- VITINSKY, JU. I., KOPETZKI, M. & KUKLIN G. B. -1986 - Statistics of spot-generating activity of the Sun. Nauka, Moscow.

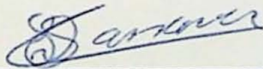
"DE ACORDO"

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

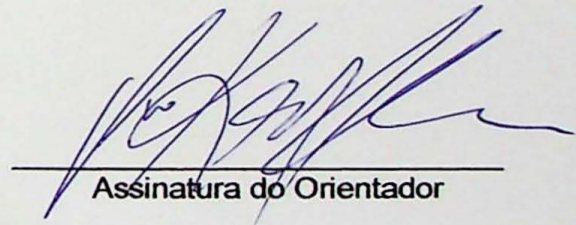
TF / 06-28

**Análise semi automática micro-estratigráfica das estalagmites da Gruta
Pérolas, Distrito de Bauxi – Mato Grosso, aplicada a reconstrução
paleoclimática do quaternário continental.**

Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA).



Assinatura do Aluno



Assinatura do Orientador

São Paulo, 07 de Novembro de 2006

DOAÇÃO

IGC-USP

Data: 07/05/08

