UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS
INSTITUTO DE QUÍMICA
PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - GEOQUÍMICA

RENATO DE ARAGÃO RIBEIRO RODRIGUES

INCÊNDIOS FLORESTAIS E MUDANÇAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA SUL. COMPARATIVO ENTRE ALTERAÇÕES RECENTES E REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS.

Niterói
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

RENATO DE ARAGÃO RIBEIRO RODRIGUES

INCÊNDIOS FLORESTAIS E MUDANÇAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA SUL. COMPARATIVO ENTRE ALTERAÇÕES RECENTES E REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS.

Tese apresentada ao curso de Pós graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental

Orientador: Renato Campello Cordeiro

Co-orientador: Bruno Jean Turcq

Niterói

2010

R696 Rodrigues, Renato de Aragão Ribeiro.
Incêndios florestais e mudanças ambientais na Amazônia Sul: comparativo entre alterações recentes e registros paleoclimáticos. / Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues. – Niterói: [s.n.], 2010.
f. : il ; 30 cm.

Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, 2010. Orientador: Prof. Dr. Renato Campello Cordeiro.

1. Paleoclima. 2.Paleoambiente. 3.Desmatamento. 4. Incêndio Florestal. 5.Mudança climática. 6. Tese. 7. Produção intelectual. I. Título.

CDD 574.5222

RENATO DE ARAGÃO RIBEIRO RODRIGUES

INCÊNDIOS FLORESTAIS E MUDANÇAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA SUL. COMPARATIVO ENTRE ALTERAÇÕES RECENTES E REGISTROS PALEOCLIMÁTICOS.

Tese apresentada ao curso de Pós graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental

Aprovada em 14 de junho de 2010

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Renato Campello Cordeiro– Orientador
Universidade Federal Fluminense – UFF

_____

Prof. Dr. Bastiaan Adriaan Knoppers
Universidade Federal Fluminense - UFF

_____

Prof. Dr. Sambasiva Rao Pathineelam
Universidade Federal Fluminense – UFF

_____

Prof. Dr. Pedro Leite da Silva Dias
Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC

_____

Prof. Dr. Heitor Evangelista da SIlva
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

_____

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dedico esse trabalho à minha família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por todos os dias da minha vida.

Agradeço a todos que participaram de alguma maneira e em algum momento da realização deste trabalho.

Ao meu orientador e amigo, prof. Dr. Renato Campello Cordeiro, por toda ajuda, todos os ensinamentos e amizade ao longo de todos esses anos, que contribuíram enormemente para o meu crescimento profissional.

Ao meu co-orientador, prof. Dr. Bruno Jean Turcq, por toda a ajuda, pelas análises realizadas no IRD, financiamento do trabalho, participação no trabalho de campo e pela amizade.

Ao prof. Dr. Abdelfettah Sifeddine, por toda ajuda com a interpretação dos dados, por todo ensinamento passado, pela participação na pré banca, e pela amizade.

Ao prof. Dr. Bastiaan Adriaan Knoppers, pela valiosa participação na pré banca e banca e pelos conhecimentos passados em sala de aula

Ao prof. Dr. Sambasiva Rao Pathineelam, pelos ensinamentos passados em sala de aula e pela participação na banca.

Ao prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva pelas análises realizadas em seu laboratório, por toda sua paciência e colaboração e pela participação na banca.

Ao prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane, pela participação no trabalho de campo, pelas conversas muito produtivas e pela participação na banca.

Ao prof. Dr. Pedro Leite da Silva Dias, pela participação na banca.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto.

À Capes pela concessão da bolsa nos dois primeiros anos do doutorado.

À Faperj pela concessão da bolsa nos dois últimos anos do doutorado.

Ao Instituto Internacional de Educação do Brasil pela concessão da bolsa BECA (Bolsa de Estudos para a Conservação da Amazônia) pela concessão de bolsa e financiamento de parte do projeto.

Ao International Association of Sedimentologists (IAS) pelo financiamento das análises de CN.

A todos os professores da Geoquímica por tudo que me ensinaram em sala de aula e pelos bons momentos vividos juntos.

Ao pessoal da secretaria, principalmente Meiber e Nivaldo pela amizade e sempre boa vontade para ajudar em tudo.

Ao pessoal da Biblioteca, em especial à Rosa, pela amizade, boa vontade e profissionalismo.

"Um pouco de ciência nos afasta de Deus. Muito, nos aproxima."

Louis Pasteur

Resumo

Nas últimas décadas os estudos e a preocupação sobre as mudanças climáticas transcenderam a esfera da ciência e ganharam destaque em outros campos, como política e economia. Diferentemente dos países desenvolvidos, onde a maior causa das emissões de gases de efeito estufa é a queima de combustíveis fósseis, em países em desenvolvimento que ainda possuem grandes áreas de florestas, como o Brasil, a maior causa é o desmatamento e os incêndios associados. Portanto, é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas sobre a dinâmica e os efeitos dos incêndios florestais, principalmente na Amazônia. Nesse sentido, esse estudo teve como objetivo principal fazer uma comparação entre a freqüência e a intensidade de incêndios florestais em duas escalas de tempo: - decadal, através do estudo das mudanças do uso da terra na região de Alta Floresta, Mato Grosso; e – milenar, através do estudo paleoambiental e paleoclimático de uma região no sul da Amazônia (Lago do Saci, Pará). Para realizar o estudo das mudanças do uso da terra foram coletados 7 testemunhos (entre 30 cm e 82 cm) em áreas alagadas próximas a estradas, num raio de 50 km, 100 km e 150 km e em várias direções. Cada testemunho foi fatiado a cada 2 cm e foram realizadas as seguintes análises: teor de água e densidade, granulometria, carbono orgânico total, nitrogênio total, razão CN, ^{13}C, ^{15}N, contagem microscópica de partículas de carvão, elementos traço e maiores, mercúrio (separadamente) e datação por ^{210}Pb. Foram analisadas também imagens de satélite do período de 1975 a 2008, com o objetivo de estudar o padrão de desmatamento na região e comparar com o registro de partículas de carvão dos testemunhos. Para o estudo de paleoclima e paleoambiente foi coletado um testemunho de 4 metros no Lago do Saci, sul do estado do Pará. Esse testemunho também foi fatiado a cada 2 cm e foram realizadas as mesmas análises feitas para os testemunho curtos (com exceção do método de datação, que foi ^{14}C por AMS), além das análises de clorofila e mineralogia. Os resultados das imagens de satélite e das concentrações e fluxos de partículas de carvão nos testemunhos curtos mostraram que a região de Alta Floresta sofreu o desmatamento típico da Amazônia, com o modelo “espinha de peixe”, onde o processo é iniciado pela construção de uma estrada, e em pouco tempo se alastra a partir de um núcleo central. O testemunho coletado no centro da região mostrou freqüência e intensidade de incêndios superiores aos demais e a ação antrópica de mudança do uso da terra se mostrou muito mais severa do que os eventos naturais de incêndios florestais registrados em escala milenar no testemunho do Lago do Saci.

Palavras-chave: Paleoclima, paleoambiente, desmatamento, incêndio florestal, mudança climática, Amazônia.

Abstract

In the last decades the studies and the concern about the climate changes transcended the scope of science and gained prominence in political, economical and social fields. Un developed countries, where the major cause of emissions of greenhouse gases is the fossil fuel combustion, in developing countries, that still have large areas of forest, like Brazil, the major cause is deforestation and associated fires. So, it's very important the development of research on the dynamics and the effects of forest fires, mainly in the Amazon. Thus, this study aimed to make a comparison between the frequency and intensity of forest fires in two time scales: - decadal, through the study of changes in land use in the region of Alta Floresta, Mato Grosso, and – millenarian, through the paleoclimatic and paleoenvironmental study of a region in southern Amazonia (Lago do Saci, Pará). To perform the study of the land use change, were collected seven cores (between 30 cm and 82 cm in lenght) in wetlands near roads within a radius of 50 km and 100 km and 150 km in various directions. Each core was sliced every 2 cm and were analyzed for the water content, density, grain size, total organic carbon, total nitrogen, CN ratio, ^{13}C, ^{15}N, counting microscopic particles of charcoal, trace and major elements, mercury (separately) and ^{210}Pb dating. Satellite images of the period from 1975 to 2008, were analyzed with the aim of studying the pattern of deforestation in the region and compare with the record of carbon particles of the cores. For paleoclimatic and paleoenvironmental studies a 4m- core was collected in Lake Saci, southern state of Pará The core also was sliced every 2 cm and the same analysis as above were performed (except the dating method, which was ^{14}C by AMS), besides the analysis of chlorophyll and mineralogy. The results of satellite images and the concentrations and fluxes of charcoal particles in short cores showed that the region of Alta Floresta suffered the typical deforestation in the Amazon, the model "fishbone", where the process starts by building a road, and soon spreads from a central site. The core collected in the center of the region showed a higher fire frequency and intensity than the other cores and the human action was much more intense than the natural events of forest fires recorded in millennial time scale recorded in the Saci Lake core.

Keywords: Paleoclimate, paleoenvironment, deforestation, biomass burning, climate change, Amazon.

Lista de Figuras

Figura 1 Variações orbitais propostas por Milankovitch. 23

Figura 2 Variações de deutério (δD), e as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa dióxido de carbono, metano e óxido nitroso provenientes de ar preso dentro de testemunhos de gelo da Antártida e das recentes medições atmosféricas. 26

Figura 3 Concentração de CO_2 e razão do isótopo estável $\delta^{13}C$ na estação Taylor Dome. 28

Figura 4 Reconstrução da queima de biomassa na América Central e do Sul para os ecossistemas tropicais. 29

Figura 5 Registros de carvão na América Latina. 30

Figura 6 Comparação da atividade do fogo no sul da América do Sul. 32

Figura 7 Diagrama C/N *vs*. $\delta^{13}C$ com as regiões representativas das principais fontes de matéria orgânica. Fonte 42

Figura 8 Emissões de CO_2 por setor no Brasil, 1994 48

Figura 9 Relação entre o Produto Interno Bruto Brasileiro (em US$) e o desmatamento na Amazônia Legal (em km^2/ano). 50

Figura 10 Concentrações de GEE na atmosfera nos últimos 1000 anos. IPCC, 2007 53

Figura 11 Temperatura média global dos últimos 150 anos. Com média anual, tendência linear, série suavizada e margem de erro decadal. 54

Figura 12 Localização no Brasil da área de estudo. 55

Figura 13 Variações das médias mensais da precipitação no período de 1994 a 2005, para o município de Alta Floresta. 56

Figura 14 Área de cobertura florestal (barras cinzas, % de cobertura florestal remanescente); (círculos sólidos, população humana); (triângulos sólidos, cabeças de gado) em Alta Floresta entre 1990 e 2004. 58

Figura 15 Comparação da área dos estabelecimentos agropecuários em 1996 e 2006 no município de Alta Floresta.. 58

Figura 16 Inserção dos cubos de acrílico para cálculo de densidade e teor em água. 60

Figura 17 Espectro de absorção da clorofila sedimentar mostrando o pico da clorofila e o procedimento de cálculo para a linha de base correspondente. 63

Figura 18 Mosaico Imagens Landsat Sensor MSS (Banda 6,4,5), Agosto/1975. 67

Figura 19 Mosaico Imagens Landsat Sensor TM (Bandas 3,4,5), Junho/1984. 69

Figura 20 Mosaico Imagens Landsat Sensor TM (Bandas 3,4,5), Agosto/2008. 70

Figura 21 Composição colorida, Landsat Sensores TM (mosaico), MSS e MSS (resolução espacial 80metros). 71

Figura 22 Composição colorida, Landsat Sensores TM(mosaico), MSS e MSS (resolução espacial 80metros). 72

Figura 23 Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolução espacial 30m). Zoom da região adjacente ao local de coleta do testemunho CEN-050, período de 1984 a 1999 (incluindo o mosaico de Ago/2008. 73

Figura 24 Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho LCEN050. 72

Figura 25 Perfil de decaimento de ^{210}Pb para o testemunho LCEN 050. 75

Figura 26 Modelo de sedimentação para o testemunho LCEN050 76

Figura 27 Valores de concentração de carbono e nitrogênio e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N para o testemunho LCEN050. 77
Figura 28 Valores de C/N VS. ^{13}C do testemunho LCEN050 plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte matéria orgânica. 79
Figura 29 Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho LCEN050 80
Figura 30 Concentração de partículas de carvão no testemunho LCEN050 81
Figura 31 Fluxo de deposição de partículas de carvão para o testemunho LCEN050. 82
Figura 32 Concentração de mercúrio no testemunho LCEN050. 83
Figura 33 Fluxo de mercúrio no testemunho LCEN050. 84
Figura 34 Fluxo de metais do testemunho LCEN050, destacando o período antes (abaixo da linha amarela) e depois (acima da linha amarela) do início da colonização humana da região (1978). 87
Figura 35 Análise de cluster para as concentrações dos elementos Hg, Ba, Cd, Co, Cu e Pb, mostrando a divisão entre as camadas do sedimento do testemunho LCEN050. 88
Figura 36 Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolucao especial 30 metros). 89
Figura 37 Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolução espacial 30 metros). 90
Figura 38 Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho SSW100. 91
Figura 39 Perfil de decaimento de ^{210}Pb para o testemunho SSW100. 92
Figura 40 Valores de concentração de carbono e nitrogênio e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N para o testemunho SSW100. 95
Figura 41 Valores de C/N VS. ^{13}C do testemunho SSW100. plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte matéria orgânica. 96
Figura 42 Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho SSW100. 97
Figura 43 Concentração de partículas de carvão no testemunho SSW 100. 99
Figura 44 Fluxo de deposição de partículas de carvão para o testemunho SSW 100. 99
Figura 45 Concentração de mercúrio do testemunho SSW 100 100
Figura 46 Fluxo de mercúrio do testemunho SSW 100 101
Figura 47 Distribuição dos metais no testemunho SSW 100. 104
Figura 48 Composição colorida, Landsat Sensores TM (mosaico), MSS e MSS (resolução espacial 80 m). 105
Figura 49 Composição colorida, Landsat Sensores TM, TM, TM (resolucao especial 30metros). 105
Figura 50 Composição colorida, Landsat Sensores TM, TM, TM (resolução especial 30 metros). 106
Figura 51 Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho WSW150. 107
Figura 52 Perfil de decaimento de ^{210}Pb para o testemunho WSW150. 108
Figura 53 Modelo de sedimentação para o testemunho WSW150. 109
Figura 54 Valores de concentração de carbono e nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio para o testemunho WSW150. 111

Figura 55 Valores de C/N VS. ^{13}C do testemunho WSW150 plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte da matéria orgânica 113
Figura 56 Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho WSW150. 114
Figura 57 Concentração de partículas de carvão no testemunho WSW 150. 115
Figura 58 Fluxos de partículas de carvão para o testemunho WSW 150 116
Figura 59 Concentração de mercúrio no testemunho WSW 150. 117
Figura 60 Fluxo de mercúrio no testemunho WSW 150. 118
Figura 61 Fluxo de metais do testemunho WSW150 121
Figura 62 Análise de cluster das concentrações de todos os elementos do testemunho WSW150. 122
Figura 63 Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolucao especial 30metros), TM (resolução 30 metros), e MSS (resolucao 80metros) 123
Figura 64 Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolucao especial 30metros). Zoom da região adjacente ao local de coleta do testemunho WNW-150, período de 1984 a 2007 (incluindo o mosaico de Ago/2008). 124
Figura 65 Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho WNW150. 125
Figura 66 Perfis de decaimento de ^{210}Pb e ^{226}Ra para o testemunho WNW150 126
Figura 67 Modelo de sedimentação para o testemunho WNW150. 127
Figura 68 Valores de concentração de carbono e nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio para o testemunho WNW150. 129
Figura 69 Valores de C/N vs. ^{13}C do testemunho WNW150 plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte matéria orgânica. 131
Figura 70 Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho WNW150. 132
Figura 71 Concentração de partículas de carvão no testemunho WNW 150. 133
Figura 72 Fluxo de deposição de partículas de carvão para o testemunho WNW150. 134
Figura 73 Concentração de mercúrio do testemunho WNW 150. 135
Figura 74 Concentração de mercúrio do testemunho WNW 150. 136
Figura 75 Fluxo de metais do testemunho WNW150. 139
Figura 76 Análise de cluster da concentração de todos os metais do testemunho WNW150. 140
Figura 77 Fluxo de mercúrio e carvão para o testemunho LCEN050. 144
Figura 78 Fluxo de mercúrio e carvão para o testemunho SSW 100. 145
Figura 79 Fluxo de mercúrio e partículas de carvão do testemunho WSW150. 146
Figura 80 Fluxos de partículas de carvão e de mercúrio no testemunho WNW150. 147
Figura 81 Fluxo de carbono grafítico em testemunho de sedimento em Alta Floresta (MT) e produto interno bruto brasileiro**.** 149
Figura 82 Relação entre o fluxo das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados e o Produto Interno Bruto brasileiro. 151
Figura 83 Relação entre o fluxo das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados e as taxas de desmatamento na Amazônia ao longo do tempo. 154
Figura 84 Relação entre o fluxo das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados e as taxas de desmatamento no estado de Mato Grosso ao longo do tempo. 155

Figura 85 Áreas das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados ao longo do tempo. 158
Figura 86 Modelo digital do terreno mostrando a localização do Lago do Saci e do Rio São Benedito. 159
Figura 87 Descrição das fácies sedimentares do testemunho Saci 2. 162
Figura 88 Razão C/N e idades calibradas do testemunho Saci 2. 163
Figura 89 Modelo de datação do testemunho Saci 2. 164
Figura 90 Teor de água, densidade e granulometria do testemunho Saci 2. 167
Figura 91 Perfis dos minerais determinados no testemunho Saci 2. 168
Figura 92 Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total e valores da razão CN do testemunho Saci 2. 171
Figura 93 Relação entre a razão C/N e o isótopo 13C do testemunho Saci 2. 172
Figura 94 Fluxo de carbono e nitrogênio do testemunho Saci 2. 173
Figura 95 Concentração de clorofila do testemunho Saci 2. 174
Figura 96 Fluxo de clorofila do testemunho Saci 2. 176
Figura 97 Concentração de partículas de carvão e área das partículas do testemunho Saci 2. 178
Figura 98 Fluxo de partículas de carvão do testemunho Saci 2, em duas escalas. O gráfico da esquerda representa todo o testemunho, enquanto que no gráfico da direita foi dado destaque ao Holoceno. 179
Figura 99 Concentração de elementos traço e maiores do testemunho Saci 2**.** 181
Figura 100 Fluxo de elementos maiores e traço do testemunho Saci 2: 183
Figura 101 Comparação entre os dados do testemunho SACI 2 e o testemunho GeoB 3104-13912 187
Figura 102 Comparação entre os fluxos de partículas de carvão em diversos sítios da Amazônia. 191

Lista de Tabelas

Tabela 1 Resumo das mudanças ocorridas nos ecossistemas brasileiros durante o Quaternário Tardio. 35
Tabela 2 Áreas estimadas para os maiores ecossistemas do Brasil em diferentes períodos. 35
Tabela 3 Estoque estimado de carbono para ecossistemas brasileiros em diferentes períodos. 35
Tabela 4 Principais ferramentas da geoquímica orgânica utilizadas em estudos de paleoclima. 41
Tabela 5 Tamanho dos grãos e classificação do sedimento. 61
Tabela 6 Divisão do testemunho LCEN050. Valores médios para cada fase. 78
Tabela 7 Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho LCEN050. 86
Tabela 8 Divisão do testemunho SSW 100. Valores médios para cada fase 94
Tabela 9 Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho SSW 100. 104
Figura 10 Divisão do testemunho WSW150. Valores médios para cada fase. 112
Tabela 11 Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho WSW150 120
Tabela 12 Divisão do testemunho WNW150. Valores médios para cada fase 130
Tabela 13 Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho WNW150. 138
Tabela 14 Resumo dos principais indicadores das mudanças do uso da terra na região de Alta Floresta. 142
Tabela 15 Relação das amostras para datação por ^{14}C. 162
Tabela 16 Valores máximos, médios e mínimos para as concentrações de C, N, 15N, Clorofila, e partículas de carvão, além da razão C/N do testemunho Saci 2. 184
Tabela 17 Valores máximos, médios e mínimos para concentrações de elementos maiores e traços testemunho Saci 2. 185

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 19

2 **OBJETIVOS** 21

2.1 OBJETIVO GERAL 21

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21

3 **BASE TEÓRICA** 23

3.1 MUDANÇAS PALEOCLIMÁTICAS 23

3.1.1 **Registros Paleoclimáticos Globais** 24

3.1.2 **Paleoincêndios e Paleoclima nas Américas do Sul e Central** 29

3.1.3 **Paleoclima no Brasil** 33

3.1.4 **Paleoclima na Amazônia** 36

3.1.5 **Ferramentas de geoquímica orgânica em estudos paleoclimáticos** 40

3.1.5.1 ***Carbono Orgânico Total (COT)*** 41

3.1.5.2 ***Razão C/N e ^{13}C*** 42

3.1.5.3 ***^{15}N*** 43

3.1.5.4 ***Pigmentos*** 43

3.1.5.5 ***Análise microscópica de carvão*** 44

3.2 MODELOS CLIMÁTICOS 44

3.3 MUDANÇAS DO USO DA TERRA 45

3.3.1 **As mudanças do uso da terra no contexto brasileiro** 46

3.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS ATUAIS 52

3.4.1 **Evidências das mudanças climáticas** 52

4 **ÁREA DE ESTUDO** 55

5 **MATERIAL E MÉTODOS** 59

5.1 COLETA DOS TESTEMUNHOS 59

5.2 ANÁLISE DE TEOR EM ÁGUA E DENSIDADE 69

5.3 GRANULOMETRIA 61

5.4 ANÁLISE MICROSCÓPICA DOS CARVÕES 61

5.5 DETERMINAÇÃO DAS IDADES DAS SEÇÕES SEDIMENTARES E TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO 62

5.6 ANÁLISE MINERALÓGICA DO SEDIMENTO 62

5.7 DERIVADOS DE CLOROFILA EM SEDIMENTO 62

5.8 DETERMINAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL E ISÓTOPOS (^{13}C e ^{15}N) 63

5.9 DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇO E MAIORES 64

5.10 DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO 64

5.11 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSTAT 64

6 **ESTUDO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA EM UMA REGIÃO DE INTENSA ATIVIDADE HUMANA – ALTA FLORESTA/MT.** 66

6.1 RESULTADOS 67

6.1.1 **Análise geral das mudanças do uso da terra de 1975 a 2008 na região de Alta Floresta/MT** 71

6.1.1.1 ***Testemunho LCEN050*** 71

6.1.1.1.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno* 71

6.1.1.1.2 *Densidade, teor de água e granulometria do testemunho LCEN050* 73

6.1.1.1.3 *Determinação das idades sedimentares e taxas de sedimentação.* 74

6.1.1.1.4 *Concentrações de carbono orgânico total e nitrogênio total; razão CN; e composição isotópica do carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).* 74

6.1.1.1.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.* 79

6.1.1.1.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.* 80

6.1.1.1.7 *Análise de mercúrio.* 82

6.1.1.1.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço.* 84

6.1.1.2 ***Testemunho SSW 100*** 89

6.1.1.2.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno* 89

6.1.1.2.2 *Densidade, teor de água e granulometria* 90

6.1.1.2.3 *Determinação das idades sedimentares* 91

6.1.1.2.4 *Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total, razão CN e composição isotópica de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).* 93

6.1.1.2.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.* 97

6.1.1.2.6 *Análise microscópica das partículas de carvão* 98

6.1.1.2.7 *Análise de mercúrio* 100

6.1.1.2.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço* 102

6.1.1.3 ***Testemunho WSW 150*** 105

6.1.1.3.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno.* 105

6.1.1.3.2 *Densidade, teor de água e granulometria.* 107

6.1.1.3.3 *Determinação das idades sedimentares e taxas de sedimentação.* 108

6.1.1.3.4 *Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total, razão CN e composição isotópica de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).* 109

6.1.1.3.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.* 114

6.1.1.3.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.* 114

6.1.1.3.7 *Análise de mercúrio* 116

6.1.1.3.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço.* 118

6.1.1.4 ***Testemunho WNW 150*** 123

6.1.1.4.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno* 123

6.1.1.4.2 *Densidade, teor de água e granulometria* 124

6.1.1.4.3 *Determinação das idades sedimentares e taxas de sedimentação* 125

6.1.1.4.4 *Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total, razão CN e composição isotópica de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).* 127

6.1.1.4.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.* 132

6.1.1.4.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.* 132

6.1.1.4.7 *Análise de mercúrio* 135

6.1.1.4.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço.* 137

6.2 DISCUSSÃO 141

7 **ESTUDO DAS MUDANÇAS PALEOCLIMÁTICAS E PALEOAMBIENTAIS EM UMA REGIÃO NO SUL DA AMAZÔNIA (LAGO DO SACI, PARÁ)** 159

7.1 RESULTADOS 160

7.1.1 **Fácies sedimentares** 160

7.1.2 **Idades ^{14}C, idades calibradas e taxas de sedimentação** 162

7.1.3 **Teor de água, densidade e granulometria** 165

7.1.4 **Mineralogia** 167

7.1.5 **Carbono orgânico total, nitrogênio total, razão C/N, ^{13}C e ^{15}N** 168

7.1.6 **Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total** 172

7.1.7 **Concentração de clorofila** 173

7.1.8 **Fluxo de clorofila** 175

7.1.9 **Partículas de carvão** 176

7.1.9.1 ***Concentração e área das partículas*** 176

7.1.9.2 ***Fluxo do número de partículas*** 178

7.1.10 **Concentração de elementos traço e maiores** 180

7.1.11. **Fluxo de elementos traço e maiores** 182

7.2 DISCUSSÃO 186

7.2.1 **Interpretação paleoambiental do testemunho Saci 2** 186

7.2.2 **Comparação dos fluxos de partículas de carvão em diversos sítios na Amazônia** 190

8 **CONCLUSÕES GERAIS** 192

9 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** 195

1 INTRODUÇÃO

O fogo é um processo crítico no sistema terrestre que promoveu conseqüências para a dinâmica da vegetação, para os ciclos biogeoquímicos e para a química da atmosfera. Variações na frequência de ocorrência de incêndios são importantes na reorganização da biota e são importantes agentes primários de mudanças em ecossistemas (OVERPECK *et al*., 2002). Na América do Sul, a ocorrência de incêndios catastróficos nos últimos anos, aumentou as questões sobre entendimento das ligações fogo-clima-vegetação e seu papel nas mudanças climáticas e na mudança do uso da terra (MORGAN *et al*., 2003). Em escalas secular e milenar, variações na frequência de ocorrência de incêndios são ligadas a mudanças na circulação atmosférica e marinha que afetam padrões regionais de vegetação. Atividades humanas no passado, presente e futuro também afetam (e irão afetar) as ligações fogo-clima-vegetação em todas as escalas espaciais (FOLEY *et al*., 2005).

O fogo é um importante agente de mudanças ecológicas nas Florestas de Terra Firme da Amazônia. Em tempos pré Colombianos, grandes áreas da Amazônia foram queimadas em intervalos de aproximadamente 400 a 700 anos, provavelmente associados a períodos de secas extremas. Porém, nas últimas décadas, as taxas de incêndios florestais aumentaram significativamente nas fronteiras de colonização do sul e leste da Amazônia através da influência da extração seletiva de madeira, fragmentação florestal e secas severas (ALENCAR, SOLÓRZANO e NEPSTAD, 2004).

Relacionar eventos paleoclimáticos com eventos recentes, provocados pelas mudanças do uso da terra pode contribuir significativamente para o entendimento da dinâmica entre floresta, clima e ciclo do carbono ao longo do tempo, e também permite entender o processo de deposição dos elementos estudados. De outra forma, os dados obtidos e suas relações, assim como os fluxos dos elementos estudados fornecerão subsídio ao entendimento dos processos ambientais relacionados à área de estudo e principalmente propiciarão o entendimento da

dinâmica dos ciclos climáticos e dos distúrbios relacionados a mudanças paleoclimáticas (CORDEIRO, 2000).

Nas últimas décadas houve um incremento significativo do interesse da comunidade científica a respeito do aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera e seu papel na condução das mudanças climáticas. Nesse sentido, cresceu também o interesse por estudos paleoclimáticos e de efeitos das mudanças do uso da terra, com o objetivo de entender como o clima e os ecossistemas se comportaram no passado e poder fazer projeções futuras (CORDEIRO *et al*. 2008, CORDEIRO *et al*. 2009).

À luz dessa afirmativa, esse trabalho compara os processos ocorridos através das mudanças do uso da terra em escala decadal com alterações das condições ambientais e climáticas em escala milenar.

Dessa maneira, o estudo é dividido em duas etapas: na primeira parte foi feito um estudo sobre a evolução da mudança do uso da terra, de 1975 a2008, em uma região que sofreu grande influência da ação humana, em diversos aspectos, como construção de cidades, expansão da fronteira agropecuária e garimpo de ouro. A segunda parte traz um estudo sobre as variações paleoambientais e paleoclimáticas ocorridas nos últimos 30000 anos, em uma região atualmente bem preservada, na Amazônia. O principal enfoque de ambos os estudos é a freqüência e intensidade dos incêndios florestais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Comparar a frequência e a intensidade de incêndios florestais e as alterações ambientais em um passado recente (mudanças do uso da terra ocorridas nos últimos 30 anos na região de Alta Floresta/MT) com as alterações paleoclimáticas e paleoambientais dos últimos 30 mil anos no Lago do Saci (PA).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Avaliar as mudanças do uso da terra (impactos causados pela ocupação humana, como queimadas, mudanças na vegetação, contaminação, etc.), através de marcadores físicos (densidade, teor de água e granulometria), orgânicos (carbono orgânico total, nitrogênio total, razão C/N, ^{13}C, ^{15}N, carvão) e inorgânicos (elementos traço e maiores);
- ✓ Identificar, através de imagens de satélite Landsat, a evolução do desmatamento na região de Alta Floresta, a partir de 1975, a fim de comparar esses resultados com os registros sedimentares;

- ✓ Avaliar as mudanças paleoclimáticas e as condições paleoambientais em escala milenar em ambiente lacustre deposicional (Lago do Saci) através de marcadores físicos (densidade, teor de água e granulometria), orgânicos (carbono orgânico total, nitrogênio total, razão C/N, ^{13}C, ^{15}N, carvão e clorofila) e inorgânicos (minerais, elementos traço e maiores);
- ✓ Comparar os registros sedimentares de uso da terra com os paleoclimáticos, a fim de elucidar a dimensão dos eventos de incêndios florestais;
- ✓ Identificar o principal indicador para a determinação da quantificação de incêndios florestais e comparação de eventos em escalas de tempo distintas.

3 BASE TEÓRICA

3.1 MUDANÇAS PALEOCLIMÁTICAS

As causas físicas para as mudanças climáticas naturais do planeta durante o quaternário são atribuídas em grande parte às alterações na insolação. Segundo a teoria proposta por Milutin Milankovitc em 1941 (Figura 1), existem três variações cíclicas na órbita da Terra em volta do Sol, que ocorrem a cada 100.000 (excentricidade), 41.000 (obliqüidade) e 23.000 anos (precessão dos equinócios). Estas variações modificam a quantidade de energia solar recebida, o que provoca mudanças no clima da Terra.

A excentricidade refere-se à forma da orbita da Terra em torno do sol, que pode torna-se mais excêntrica (elíptica) ou mais circular num ciclo de aproximadamente 100.000 anos. A obliqüidade é a inclinação do eixo de rotação da Terra, que no passado pode ter variado entre 22º e 24,5º, num ciclo de 41 mil anos. Nos períodos de baixa obliqüidade, mais radiação solar atinge latitudes mais baixas, em contraste com os pólos. A precessão dos equinócios é o nome dado à mudança na direção do eixo da Terra em relação ao Sol, que ocorre num ciclo de 19.000 a 23.000 anos (KUKLA e GAVIN, 2004).

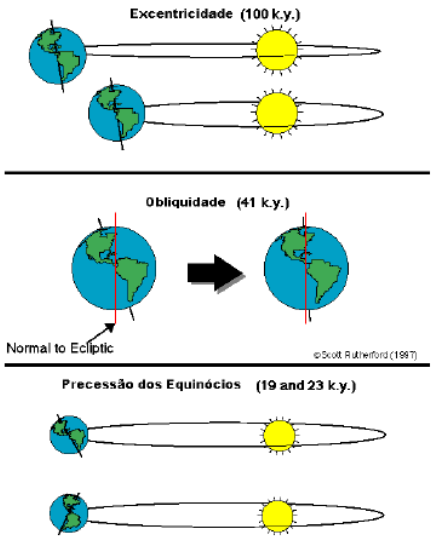

Figura 1. Variações orbitais propostas por Milankovitch.

Os dados referentes às concentrações de CO_2 e CH_4 obtidos nas análises do testemunho de gelo de Vostok coincidem com os ciclos de obliqüidade e de precessão de Milankovitch, conforme mostrado por Petit *et al*., 1997.

Ao se conhecer esses ciclos, assim como sua associação à concentração de gases de efeito estufa e à temperatura média do planeta em épocas passadas, revelados pelos estudos com testemunhos de gelo, foi possível verificar que as taxas de aumento das concentrações desses gases, principalmente CO_2, CH_4 e N_20, são muito provavelmente sem precedentes pelo menos nos últimos 650.000 anos, segundo dados do relatório do IPCC de 2007. As variações das concentrações desses gases observadas nos últimos 10.000 anos (levando-se em conta apenas o período anterior à Revolução Industrial) foram muito pequenas comparadas ao aumento sofrido nos últimos 200 anos, e foram devidas, em sua maior parte, a processos naturais.

É muito provável que as taxas médias de aumento na concentração de CO_2, assim como o aumento da forçante combinada dos gases CO_2, CH_4 e N_20, tenham sido pelo menos cinco vezes mais rápido no período de 1960 a 1999 do que qualquer outro período de quarenta anos durante os últimos dois milênios anteriores à Era Industrial (IPCC, 2007).

Além dos estudos feitos em testemunhos de gelo, as pesquisas em paleoclima são realizadas em diversas outras matrizes ambientais e utilizam diversas ferramentas diferentes. Existem diversas técnicas utilizadas para o estudo do paleoclima. Os indicadores ou marcadores do comportamento ambiental, os *proxies*, podem ser inorgânicos, orgânicos ou isotópicos. Além disso, algumas características físicas da matriz ambiental de estudo fornecem informações importantes (como por exemplo, densidade e teor de água de sedimentos; anéis de crescimento de árvores, etc).

Os estudos sobre paleoclimas são realizados em diversos ambientes: mares, oceanos, corais, gelo, lagos, rios, várzeas, solos, cavernas, árvores. E para cada ambiente há uma gama específica de *proxies* mais comumente utilizados. Além disso, cada matriz ambiental consegue fornecer informações sobre uma determinada escala de tempo.

3.1.1 Registros Paleoclimáticos Globais

Medidas diretas e sucessivas das concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera só foram iniciadas em 1958, no Observatório de Mauna Loa, no Hawaii, e mostraram um claro aumento de 315 ppm para 384 ppm em 2008 (KEELING, 2009). Esse aumento é causado, na sua maior parte, por queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra.

Entretanto, para um melhor entendimento do ciclo do carbono, é muito importante conhecer as concentrações históricas de CO_2 em várias escalas de tempo. Antes de 1958, essa história só pode ser estudada de forma confiável pela análise do ar contido em bolhas no gelo polar.

A análise de testemunhos de gelo, principalmente na Antártica, é o método que trouxe os melhores resultados em uma perspectiva global sobre as mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa e a temperatura do planeta nos últimos 650.000 anos. (IPCC, 2007).

Os testemunhos de gelo da Antártica são os mais propícios para esse tipo de estudo, devido às baixas temperaturas e à baixa concentração de impurezas, o que minimiza o risco de contaminação (SIEGENTHALER *et al*, 2005).

A extração de ar a partir de bolhas armazenadas no gelo polar tornou possível reconstruir a composição da atmosfera em épocas pretéritas. Dessa maneira foi possível estudar os registros dos gases de efeito estufa dos últimos milhares de anos e determinar fases importantes como a transição do Último Máximo Glacial para o Holoceno, o último período glacial e os últimos quatro ciclos interglaciais. Esses períodos forneceram informações importantes sobre as mudanças ambientais em resposta às variações climáticas regionais e globais. (SPAHNI *et al*., 2005).

Variações na concentração atmosférica de CH_4 são atribuídas à variações na extensão e produtividade de terras alagadas naturais, que constituem a principal fonte natural desse gás (CHAPPELLAZ e FUNG, 1993). Similarmente, dois terços das fontes naturais de N_20 são os solos e um terço provém de processos de nitrificação e denitrificação dos oceanos (FLÜCKIGER et al. 2004).

Uma compilação de diversos estudos com testemunhos de gelo na Antártica (PETIT *et al*., 1999; INDERMÜHLE *et al*, 1999; EPICA *community members*, 2004; SPAHNI *et al*., 2005; SIEGENTHALER *et al*., 2005) mostra que é muito provável que as atuais (referentes ao ano de 2008) concentrações atmosféricas de CO_2 (384 ppm) e CH_4 (1787 ppb) excedam em muito a variação natural dos últimos 650.000 anos. Os dados indicam que o CO_2 variou entre 180 e 300 ppm e o CH_4 entre 320 e 790 ppb entre períodos glaciais e interglaciais. Durante o mesmo período, a temperatura na Antártica e as concentrações de CO_2 apresentaram as mesmas variações, indicando uma correlação entre clima e ciclo do carbono (Figura 2).

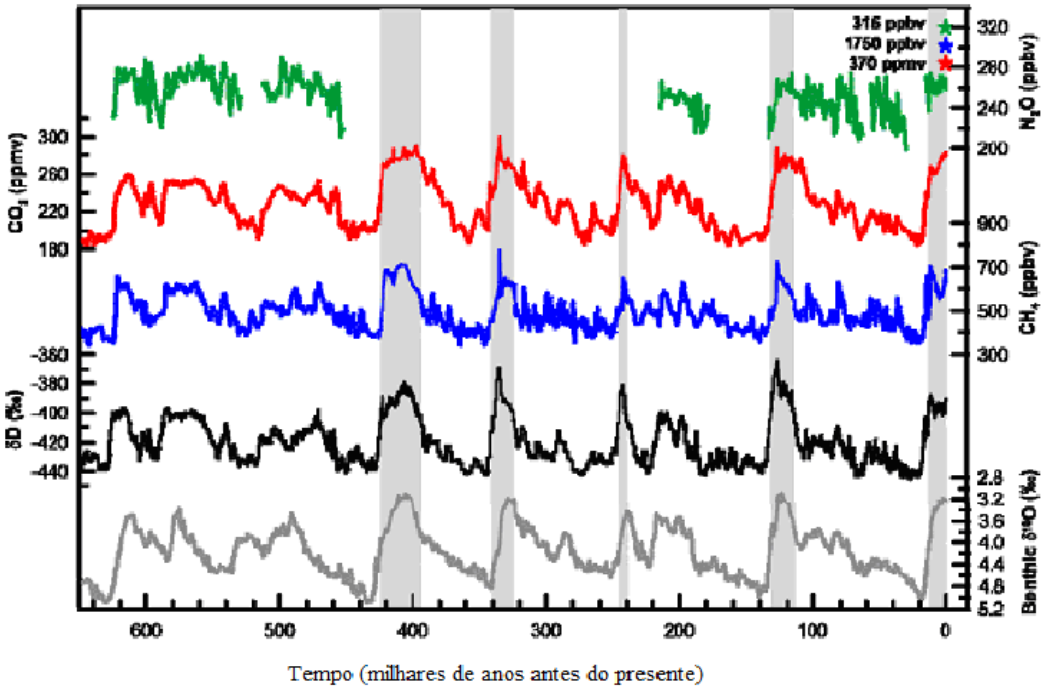

Figura 2. Variações de deutério (δD), e as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa dióxido de carbono, metano e óxido nitroso provenientes de ar preso dentro de testemunhos de gelo da Antártida e das recentes medições atmosféricas (Petit et al. 1999; Indermühle et al., 2000; membros da comunidade EPICA, 2004; Spahni et al., 2005; Siegenthaler et al. 2005ab). Registros marinhos de $\delta^{18}O$ (Lisiecki e Raymo, 2005), são exibidos na parte inferior da figura para comparação com os dados do testemunho de gelo.

Neftel *et al*. 1985 mostraram que a concentração de CO_2 na atmosfera antes do início da industrialização era de 280 ppm e que apenas pequenas variações na ordem de 5 ppm ocorreram durante a parte pré-industrial do último milênio.

Entretanto, a concentração atmosférica de CO_2 aumentou de aproximadamente 200 para 270 ppm durante a transição do Último Máximo Glacial (aproximadamente 20 kyr BP) para o início do Holoceno (aproximadamente 11 kyr BP). Durante o último período glacial, flutuações de 20ppm ocorreram entre 46 e 18 kyrBP (STAUFFER *et al*., 1998).

Um registro de alta resolução de CO_2 em testemunho de gelo, para o período do Holoceno (últimos 11000 anos) obtido por Indermühle *et al*., 1999 (figura 3), em Taylor Dome, Antártica, mostrou que a concentração de CO_2 diminuiu de 268ppm em 10,5 kyrBP (fim da transição do último glacial para o Holoceno) para 260ppm em 8,2 kyrBP. Durante os 7000 anos seguintes a concentração de CO_2 aumentou praticamente linearmente até aproximadamente 285ppm.

Os resultados apresentados por esse trabalho sugerem que as variações atmosféricas observadas durante o Holoceno foram governadas por uma combinação de crescimento (entre

11 e 7kyrBP) e decaimento da biomassa terrestre, e por um aumento na temperatura da superfície do mar de aproximadamente 0,5°C entre 9 e 6kyrBP.

Os autores exploraram quatro hipóteses para discutir se as variações atmosféricas durante o período estudado seriam governadas por:

H1 - somente por variações na biomassa terrestre;

H2 - uma combinação de mudanças terrestres mais variações na temperatura da superfície do mar;

H3 - ciclo do $CaCO_3$;

H4 – ciclo do carbono orgânico marinho.

Os autores calcularam que entre 7 e 1 kyrBP foram emitidos para a atmosfera cerca de 260GtC, sendo que essa quantidade está associada à perda de carbono através da diminuição na biomassa terrestre. Esse fato teria provocado o aumento de 25ppm na concentração de CO_2 e a diminuição do $\delta^{13}C$, sendo que a hipótese 1 (somente as forçantes da biosfera terrestre estariam atuando) explica consistentemente o ocorrido. Entretanto, para explicar as mudanças nas concentrações atmosféricas de CO_2 e $\delta^{13}C$ entre 11 e 6 kyrBP, mecanismos adicionais devem ser considerados.

A figura 3 mostra as variações nas concentrações atmosféricas de CO_2 e $\delta^{13}C$ registradas no testemunho de gelo de Taylor Dome.

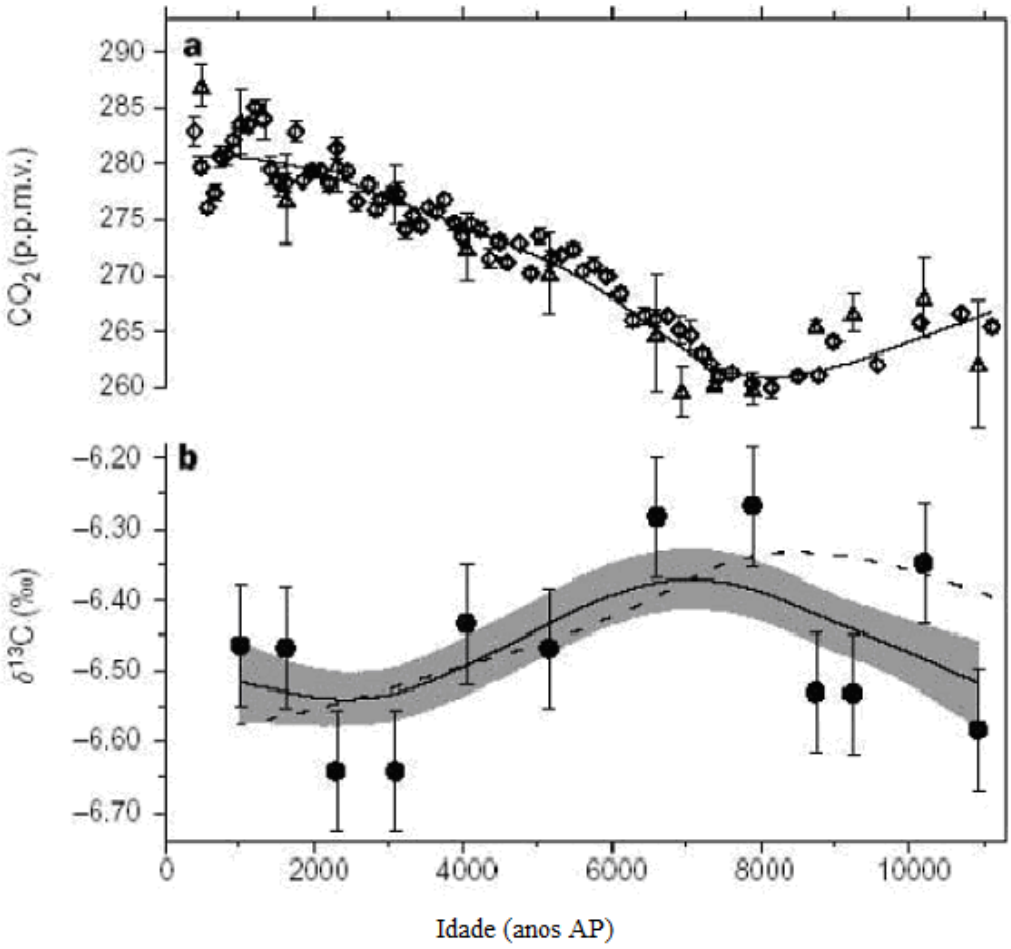

Figura 3: Concentração de CO_2 e razão do isótopo estável $\delta^{13}C$ na estação Taylor Dome. a) Concentração de CO_2. Losangos e triângulos representam as concentrações de CO_2 barra de erro 1 sigma da média. b) $\delta^{13}C$ medido e calculado. Círculos cheios valores de $\delta^{13}C$. Barra de erro estimada a partir da reprodutibilidade dos valores de $\delta^{13}C$. Linha solida e hachurada, entrada de valores de $\delta^{13}C$ para a simulação de Monte Carlo. Linha tracejada $\delta^{13}C$ calculado a partir de uma deconvolução simples. Fonte: INDERMÜHLE, *et al*., 1999.

Ainda segundo Indermühle *et al*., 1999, a taxa de mudança na concentração atmosférica de CO_2 durante o Holoceno é duas ordens de grandeza menor do que o aumento antropogênico de CO_2 desde a Revolução Industrial. Compreender modificações da distribuição de biomas devido às mudanças climáticas passadas ou futuras está se tornando cada vez mais importante e podem ser investigadas usando modelos de biosfera terrestre. Os registros de CO_2 e $\delta^{13}C$ de Taylor Dome podem ser importantes marcos de comparação para resultados derivados desses modelos.

3.1.2 Paleoincêndios e Paleoclima nas Américas do Sul e Central

O padrão de queima de biomassa nas Américas do Sul e Central varia de acordo com a localização (CARCAILLET et al., 2002). O padrão de queima de biomassa na América do Sul e Central durante o Holoceno parece ser latitudinal, podendo estar conectado com movimentos da Zona de Convergência Intertropical (MARTIN *et al*., 1997).

Segundo o estudo de Carcaillet *et al*., 2002, a área tropical norte entre 1º S e 10ºN (figura 4a) mostra pouca atividade de queima entre 11 e 9 ka, seguidos por 5 milênios de grande atividade de queima (7-3 ka). A intensidade da queima nos últimos mil anos parece baixa quando comparada ao Holoceno médio e parece mais similar ao padrão verificado no início do Holoceno.

As maiores concentrações de evidências de incêndios baseadas em dados de ^{14}C de carvões em solo das áreas entre 5°N e 5°S no norte da Bacia Amazônica são encontradas nos últimos 2000 anos (figura 4b). Entre 5° e 25°S, no sul da Bacia Amazônica, dados de ^{14}C cobrem a maior parte do Holoceno, com dois picos máximos de queima de biomassa entre 7500-6000 cal yr BP e entre 2000 e 500 cal yr BP, e um mínimo entre 3000 e 2000 cal yr BP (figura 4c).

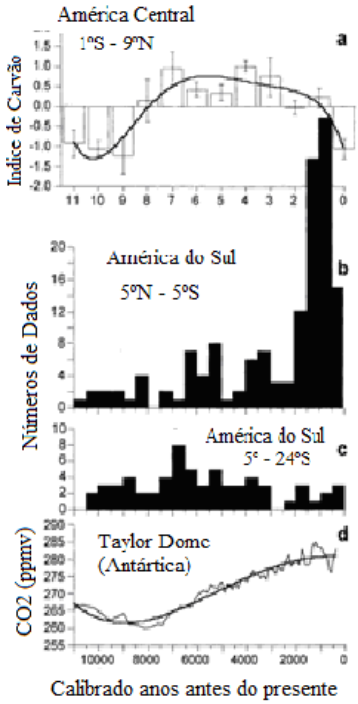

Fig. 4. Reconstrução da queima de biomassa na América Central e do Sul para os ecossistemas tropicais. (a) Índice de carvão deduzido a partir de séries temporais estratigráficas em áreas tropicais do norte da América; barras de erro correspondem ao erro padrão. O índice de carvão é deduzido a partir da série de carvão acumulado corrigido no que diz respeito ao número de lugares e, em média, por milênios [método de Anderson e Smith (1997)]. (b) Distribuição de dados de ^{14}C de carvão vegetal do solo do norte da Bacia Amazônica. (c) Distribuição de dados de ^{14}C de carvão vegetal do solo do sul da Bacia Amazônica. (d) curva de concentração de CO_2 de Indermühle *et al.* (1999). Fonte: Carcaillet *et al*. 2002.

Segundo Haberle e Ledru, 2001, na região das Américas do Sul e Central o período pós glacial foi caracterizado por incêndios regionais sem determinada freqüência que persistiram até 12,5 cal yr B.P., quando foram registradas as maiores concentrações de partículas de carvão nos sedimentos antes do início do Holoceno.

Segundo os autores, o impacto combinado da rápida mudança climática durante a transição do último glacial com a chegada de humanos à região pode ter contribuído para o aumento da queima da biomassa entre 12,5 e 11 cal yr B.P. (Haberle e Ledru, 2001), como mostra a figura 5. Esses dados são corroborados com o trabalho de Bush *et al*., 2008, que mostra a ação conjunta da atividade humana com períodos secos como um grande causador de incêndios florestais na Amazônia. Além disso, a forte correspondência entre os altos valores de carvão e o período do Younger Dryas sugere que as mudanças climáticas regionais contribuíram para o aumento da queima de biomassa.

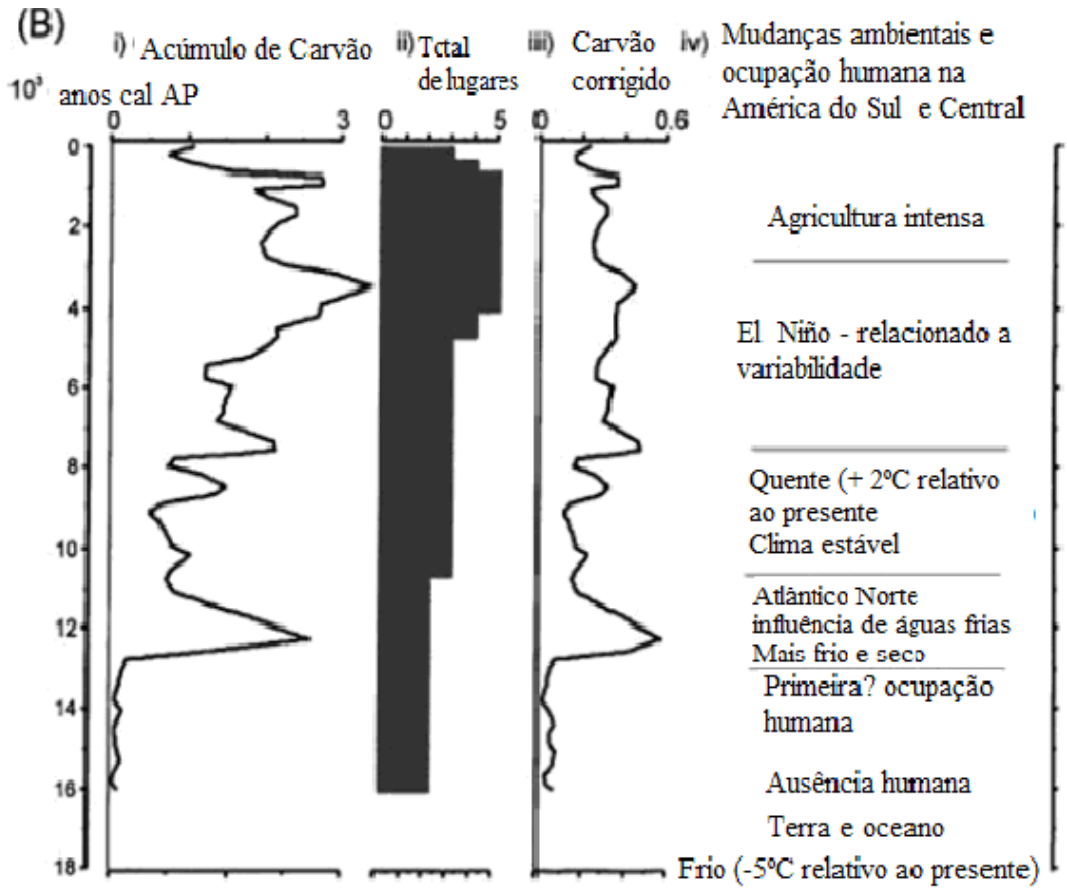

Figura. 5. Registros de carvão na América Latina (i) o registro cumulativo de carvão construídos pela soma dos valores de para cada local na região Central e Sul-americana. (ii) Número de núcleos com dados para cada período de 200 anos. (iii) Valor em (i) dividido pelo valor correspondente em (ii). (iv) Resumo das alterações climáticas e da ocupação humana na região Central e Sul-americana (após Markgraf (2000)). Fonte: Haberle e Ledru, 2001.

Registros de alta resolução de pólen (ISLEBE *et al*., 1995; VAN DER HAMMEM e HOOGHEIMSTRA, 1995) e testemunhos de gelo (THOMPSON *et al*., 1995, *apud* HABERLE e LEDRU, 2001) fornecem suporte à noção de um evento de rápido esfriamento, e possível seca, durante o Younger Dryas na América Central e no norte da América do Sul. No entanto, a forte correspondência entre o início da ocupação humana e a alta variabilidade climática com a influência do Younger Dryas provavelmente levou a um aumento na queima de biomassa nessa região, o que dificulta muito a separação desses dois fatores.

Whitlock *et al*., 2007, fizeram uma compilação de vários trabalhos para montar um perfil da queima de biomassa no sul da América do Sul. Os autores destacaram os seguintes registros:

1 – A primeira evidência de fogo no final do período pós glacial e altos níveis de partículas de carvão no sul da Patagônia e na Terra do Fogo em 12.000 cal yr BP;

2 – grande atividade de incêndios nos sítios abaixo da latitude 40°S no Holoceno Inicial;

3 – diferenças na atividade do fogo no Holoceno Médio entre sítios em baixa, média e alta latitudes;

4 – padrões espaciais variáveis no Holoceno Tardio.

Esses padrões podem ser explicados por mudanças no clima regional e na vegetação assim como a presença de populações humanas pré históricas.

O estabelecimento de florestas depois de 15000 cal yr BP no sul da América do Sul pressupõe climas mais quentes associados com deglaciação. Essas condições adequadas foram desenvolvidas entre 13300 e 11700 cal yr BP. Aumentos nos níveis de carvões depois de 13000 cal yr BP sugerem que o final do período glacial tardio foi árido suficiente ou possuiu variabilidade climática suficiente para provocar incêndios, especialmente nas altas latitudes (Whitlock et al., 2007).

No Holoceno Inicial os níveis de carvão foram maiores do que os atuais (500 yr cal BP) e aumentaram em relação aos níveis de 12000 cal yr BP em praticamente todos os sítios ao sul da latitude 40°S (figura 6B e 6F), mesmo nos sítios extremamente úmidos do Arquipélago de Chonos (44-46°S) (Whitlock et al., 2007).

O Holoceno médio foi um período de transição de aumento na insolação de verão e diminuição da insolação de inverno no Hemisfério Sul. Esse dado marca também o começo (MOY *et al*., 2002; MARKGRAF e DIAZ, 2000) ou o aumento da importância da variabilidade do El Niño Oscilação Sul (ENSO). O mapa de anomalias de carvão para 6000 cal yr BP revela grandes diferenças latitudinais (fig. 6C). A atividade do fogo foi maior do

que a do presente nos sítios acima da latitude 42°S, mas na maior parte dos sítios os níveis foram menores do que em 9500 cal yr BP (fig. 6G). Ao sul da latitude 50°S, a atividade do fogo também foi acima dos níveis presentes na maior parte dos sítios mas menor do que em 9500 cal yr BP. Em latitudes médias, a atividade do fogo foi menor ou similar em 6000 cal yr BP do que o presente. A regionalização da atividade do fogo ocorreu com a transição da aridez persistente do Holoceno Inicial para a grande variabilidade climática do Holoceno Tardio (Whitlock et al., 2007).

O Holoceno Tardio caracterizou um aumento nos contrastes sazonais na insolação, alta variabilidade interanual relacionada a eventos de ENSO e aumento das populações humanas. A atividade do fogo foi espacialmente variável com anomalias de carvão maiores do que o presente em alguns sítios, menores em outros, além de sítios que não apresentaram diferenças (fig. 6D). O padrão apresenta mais variabilidade geográfica no sinal das anomalias de carvão comparado aos níveis de 6000 cal yr BP (fig. 6H) (Whitlock et al., 2007).

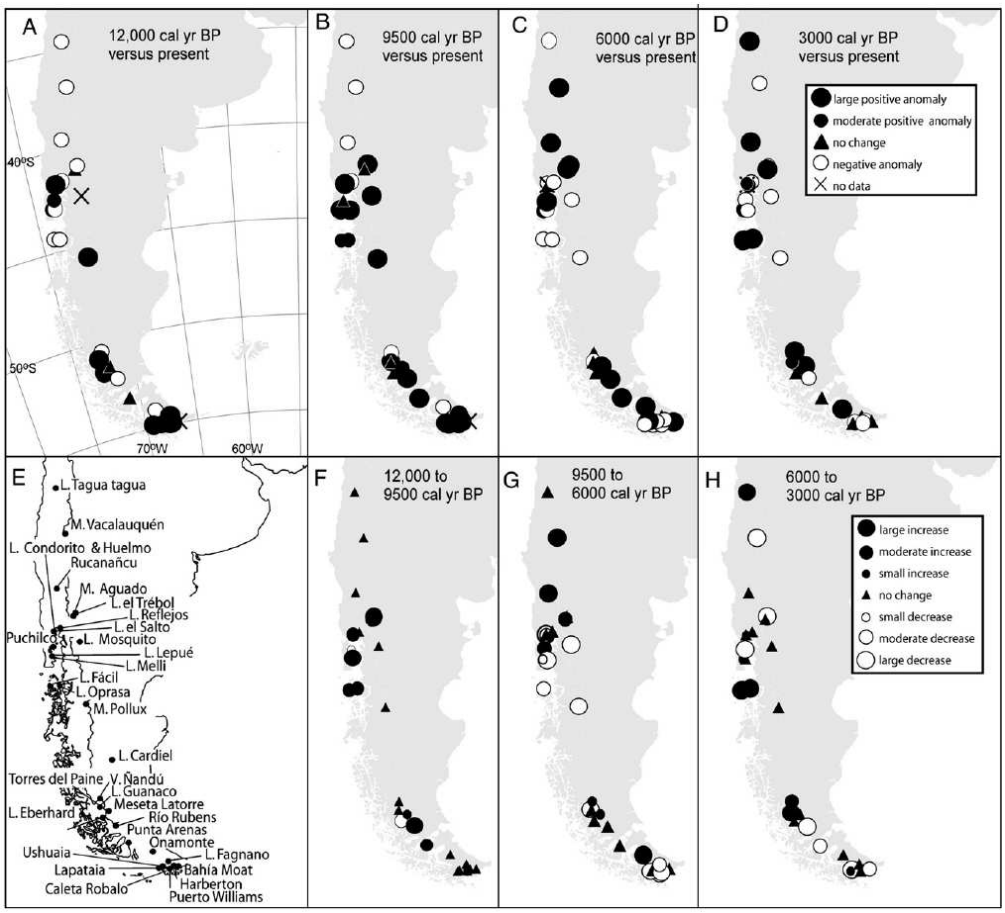

Figura 6. Comparação da atividade do fogo no sul da América do Sul. Mapas de A a D mostram anomalias entre os períodos alvos e os dias de hoje (500 cal yr BP) para (A) 12.000 cal yr BP (B) 9500 cal yr BP; (C) 6000 cal yr BP; e (D) 3000 cal yr BP. Os símbolos indicam anomalias positivas ou negativas em relação ao presente (ou seja, 500 cal yr BP); E Mapa mostra locais site. Mapas F a H: mapas diferença de Carvão (F) 12.000 a 9500 cal yr BP; (G) 9500-6000 cal yr BP; e (C) 6000-3000 cal yr BP. Símbolos nos diferentes mapas indicam o aumento ou diminuição dos níveis de carvão vegetal em relação ao período anterior. Fonte: Whitlock *et al*, 2007.

Baker *et al*., 2001, em um estudo no Lago Titicaca, na Bolívia registraram grandes variações climáticas nos últimos 25000 cal yr BP. Esse estudo mostrou que o nível do Lago Titicaca permaneceu alto de 26000 a 15000 cal yr BP, sendo seguido por um período seco entre 15000 e 13000 cal yr BP. O nível do lago aumentou novamente entre 13000 e 11500 cal yr BP, quando uma mudança rápida e de grande amplitude teve início no lago. Durante essa nova fase seca, pela primeira vez em todo o registro, os valores de $\delta^{13}C$ foram maiores que -23‰ e essa fase seca durou até 10000 cal yr BP. Esses dados contrapõem ao que foi observado por Haberle e Ledru, 2001, em que foi observado um período seco com as maiores concentrações de carvões antes do início do Holoceno.

O nível do lago aumentou mais uma vez entre 10000 e 8500 cal yr BP, quando caiu bruscamente, pelo fato do Altiplano Boliviano novamente ter se tornado seco. Uma inversão dessa tendência de seca ocorreu entre 7000 e 6000 cal yr BP, seguido novamente por um período extremamente seco entre 6000 e 5000 cal yr BP, quando o lago atingiu o menor nível dos últimos 25000 cal yr BP. Depois de 4500 cal yr BP o nível do lago voltou a subir e se manteve alto (com apenas algumas pequenas variações) até o presente (BAKER *et al*., 2001).

3.1.3 Paleoclima no Brasil

As mudanças climáticas registradas nos testemunhos de gelo na Groelândia e Antárctica mostraram que a variabilidade climática durante o Holoceno é menor quando comparada ao último período glacial (BLUNIER e BROOK, 2001). Entretanto, durante o Holoceno, várias mudanças climáticas significativas foram observadas em registros tropicais continentais (OVERPECK *et al*. 1996; CORDEIRO, 2000; HAUG *et al*, 2001; SIFEDDINE *et al*, 2001; TURCQ *et al*., 2002; PESSENDA *et al*., 2004; CORDEIRO *et al* . 2007, 2008; SAIA *et al*., 2008, dentre vários outros), incluindo mudanças na vegetação da América do Sul (BEHLING, 1996; LEDRU *et al*., 1998; BEHLING e COSTA, 2001; MAYLE *et al.* 2003). Modelos de circulação geral indicam que o clima durante o Holoceno foi regido por mudanças na insolação (KUTZBACH *et al*., 1998; VALDES, 2000).

Segundo Behling, 2002, a primeira metade do Holoceno (até aproximadamente 6-5 kyr ^{14}C BP) foi um período mais seco do que o período pós glacial e o Holoceno Tardio (Laguna Loma Linda, BEHLING e HOOGHIEMSTRA, 2000 e Carajás, ABSY et al., 1991). A distribuição da vegetação de cerrado durante o Holoceno Inicial foi muito maior do que durante o Holoceno Tardio.

Baseado em dados de pólen, Behling, 2002, verificaram que o limite da Floresta Amazônica do hemisfério norte, comparada ao potencial atual de distribuição natural, era provavelmente 200 km mais ao sul durante o Último Máximo Glacial (UMG) e 100km mais ao sul durante o Holoceno Inicial. No Hemisfério Sul, as alterações foram maiores, cerca de 300 km mais ao norte para o UMG e 100 km mais ao norte para o Holoceno inicial.

A área de floresta reduzida estimada nos dois hemisférios durante o UMG foi de aproximadamente 1.570.000 km^2 (2600x200 km no norte, substituída por savana do tipo Llanos e 3500x300 km no sul, substituída por savana do tipo cerrado). A área de floresta reduzida estimada no Holoceno Inicial, comparada com a área atual foi de aproximadamente 610.000 km^2 (2600x100 km e 3500x100 km, respectivamente). Houve pouca ou nenhuma redução na região oeste da Amazônia (fronteira andina) e na região costeira Atlântica (BEHLING, 2002) devido às altas taxas de precipitação nessas regiões (ADAMS e FAURE, 1998).

Dados de pólen da região sul do Brasil (BEHLING e NEGELLE, 2001) indicam que a fronteira da Floresta Atlântica foi deslocada ao menos em 500 km mais ao norte e em sua maior parte foi substituída por gramíneas durante o UMG. Dados do sudeste brasileiro (BEHLING, 1997) mostraram que o cinturão de Mata Atlântica era muito menor do que o atual devido às condições secas e foi, provavelmente, muitas vezes fragmentado. O testemunho marinho GeoB 3104-1 próximo à Fortaleza indica também condições secas no nordeste brasileiro durante o UMG (BEHLING *et al*., 2000). No sudeste do Brasil, a Floresta Atlântica provavelmente foi substituída parcialmente por florestas semi-decíduas e no nordeste por florestas semi-decíduas e caatinga. (BEHLING, 2002).

Baseado nos valores dos estoques totais de carbono de diferentes tipos de vegetação e a reconstrução das áreas do UMG e do Holoceno Inicial (tabela 1), Behling, 2002, calculou as áreas cobertas pelas diferentes vegetações (tabela 2), e os estoques de carbono nessas épocas (tabela 3).

Tabela 1. Resumo das mudanças ocorridas nos ecossistemas brasileiros durante o Quaternário Tardio.

Atual	*Passado (UMG e Holoceno inicial)*
Floresta Amazônica	Savana
	Tipo Llanos ao norte e cerrado ao sul
Floresta Atlântica	Floresta semi-decídua (oeste), caatinga
	(norte) e gramíneas (sul)
Floresta Semi-decídua	Cerrado (oeste) e gramíneas (sul)
Floresta de Araucária	Gramíneas

Tabela 2. Áreas estimadas para os maiores ecossistemas do Brasil em diferentes períodos. O aumento da área de floresta desde o UMG e Holoceno Inicial, em relação à área atual, em km^2 e % é mostrado entre parêntesis.

Ecossistema/período	*Atual*	*Holoceno Inicial*	*UMG*
Floresta Amazônica	5.600.000	4.990.000 (610.000; 12%)	4.030.00 (1.570.000; 39%)
Floresta Atlântica	320.000	260.000 (60.000; 23%)	150.000 (170.000; 113%)
Floresta Semi-decídua	770.000	500.000 (270.000; 54%)	250.000 (520.000; 208%)
Floresta de Araucária	200.00	20.000 (180.000; 900%)	20.000 (180.000; 900%)

Tabela 3. Estoque estimado de carbono para ecossistemas brasileiros em diferentes períodos. Valores em $x10^9$ tC. A base para o cálculo foi o potencial atual de cada área.

Ecossistema/período	*Atual*	*Holoceno Inicial*	*UMG*
Floresta Amazônica	168	156,7	139,7
Floresta Atlântica	13,8	12,2	8,9
Floresta Semi-decídua	20	16,7	13,7
Floresta de Araucária	6,6	3,2	3,2

Esses resultados mostraram que também durante o Holoceno, o aumento dos estoques de carbono nos trópicos foi grande. Os quatro ecossistemas florestais em questão podem ser considerados como sumidouros de carbono.

3.1.4 Paleoclima na Amazônia

A Amazônia é uma das regiões de maior produtividade do planeta, constituindo um dos maiores compartimentos de estocagem de carbono da Terra. Segundo estimativas feitas por Adams e Faure, 1998, a Amazônia estoca hoje aproximadamente 190 PgC, o que representa metade do estoque de carbono das florestas tropicais e cerca de 7 a 10% de todo o carbono do planeta.

A Floresta Amazônica cobre uma imensa área, localizada nas regiões Norte Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, além de diversos países. Possui diferentes tipos de formação vegetal, e vários microclimas diferentes. Todos esses fatores contribuem para dificultar um entendimento do clima da Amazônia em épocas pretéritas. Vários estudos, realizados principalmente nas últimas duas décadas, têm permitido conhecer melhor a dinâmica do clima na região.

Aqui será apresentado uma compilação de alguns resultados de paleoclima e paleoambiente para a região Amazônica, disponíveis na literatura, divididos por período de tempo:

Pré Último Máximo Glacial (antes de 21000 anos AP) e Último máximo glacial (cerca de 21000 a 18000 anos AP)

Esse período registra uma grande carência de estudos para a região Amazônica, o que dificulta uma conclusão mais simplificada do clima. A literatura aponta alguns pontos de concordância, mas há também conclusões divergentes entre os estudos.

Segundo Mayle et al., (2004), as evidências mostram que a maior parte da Bacia Amazônica estava florestada durante esse período, indo contra a hipótese de Haffer (1969) de crescimento das áreas de savana com refúgios florestais isolados. Entretanto, Turcq *et al*. (2002) consideram que esse foi um período mais frio, onde a concentração atmosférica de CO_2 diminuiu em cerca de 30% e o ciclo hidrológico global foi reduzido.

Colinvaux *et al*., (1996) e Bush *et al*., (2002), forneceram dados geoquímicos, sedimentares e palinológicos provenientes da Lagoa da Pata (estado do Amazonas, 0°16’N, 66°41W), mostrando que essa região permaneceu continuamente florestada nos últimos 170000 anos AP.

De Freitas *et al*., (2001) coletaram dados de isótopos de carbono do solo, na região entre Porto Velho (estado de Rondônia) e Humaitá (estado do Amazonas), em pequenas e isoladas “ilhas de savana” cercadas de floresta, e mostraram que durante o UMG essas “ilhas”

não eram maiores do que são hoje, indicando que não houve expansão da savana em relação à floresta durante esse período, nessa região.

Em contraste às áreas localizadas nas regiões centrais e oeste da Amazônia, registros em áreas próximas ao limite da Bacia Amazônica revelam mudanças na distribuição da floresta/savana entre o UMG e os dias de hoje. Como foi observado por Mayle *et al*.(2000) através de registro polínico, a contínua mudança da vegetação nos últimos 40000 anos AP na Laguna Chaplin (14°28'S, 61°04'W), no Parque Nacional Noel Kempff Mercado, na Bolívia, e mostraram que a fronteira da floresta estava localizada, no mínimo a 30 km ao norte do limite atual nessa região, e que essa área de ecótono era dominada por savanas abertas com espécies de Floresta Tropical restrita às margens dos rios.

Existem fortes indícios de que a floresta amazônica desenvolveu-se desde o UMG até os dias atuais, apresentando um crescimento de 39% (BEHLING *et al*., 2001). Este desenvolvimento implicou num aumento do estoques de carbono, que segundo Behling (2002), passou dos 139,7 × 109 toneladas para os atuais 168 × 109 ton.

Pós Glacial / Transição para o Holoceno (18000 a 9000 anos AP)

Existe considerável variação nos ecossistemas na Bacia Amazônica durante esse período (MAYLE e BEERLING, 2004). O registro de pólen de Laguna Chaplin, no ecótono floresta-savana, no leste da Bolívia, estudado por Mayle *et al*., 2000 mostrou que a savana ainda dominava a paisagem, mas as galerias de florestas continham *Podocarpus* e *Alchornea* (em adição à Moraceae), sugerindo stress hídrico reduzido e possivelmente temperaturas baixas.

No entanto, segundo De Freitas *et al*., (2001) a análise de isótopos estáveis de carbono no solo, entre Porto Velho e Humaitá, mostraram que para esse mesmo período, essa área possuía umidade suficiente para manter a floresta.

Nas savanas colombianas de *Llanos Orientales*, na fronteira norte da Amazônia, os dados de pólen indicam que a umidade não aumentou até 11500 anos AP ou ainda mais tarde (BEHLING e HOOGHIEMSTRA, 1998, 1999, 2001). Maslin e Burns (2000) analisaram isótopos de oxigênio de foraminíferos planctônicos dos sedimentos da foz do rio Amazonas, para mostrar que, durante a época do Younger Dryas (11000 a 10000 anos AP), a descarga do rio Amazonas era 60% menor do que a atual. É interessante que esse episódio de aparente aridez ocorre na mesma época que o início das condições mais úmidas nas savanas

colombianas e no nível máximo das águas do Lago Titicaca (BAKER *et al*., 2001), o que gera uma grande contradição entre os dados.

Esses dados marcam claramente a variabilidade espacial e temporal no padrão de mudanças dos ecossistemas, refletindo a complexa evolução climática durante a transição glacial-interglacial. Entretanto, os dados paleoecológicos, considerados como um todo indicam que a Bacia Amazônica foi mais florestada durante esse intervalo do que no UMG, devido ao aumento na precipitação, assim como o aumento na concentrações de CO_2 na atmosfera. Isso sugere um aumento na biomassa da Amazônia e, consequentemente, no estoque de carbono.

Para Behling (1998), a vegetação da Amazônia no período entre 11500 e 10000 anos AP era de floresta tropical úmida, com rara ocorrência de *Podocarpus*. Essa ocorrência de *Podocarpus* sugere resfriamento significativo em baixas latitudes.

Holoceno Inicial e médio (10000 a 3000 anos AP)

Existem várias evidências de que o clima do Holoceno Inicial e Médio na Amazônia foi mais seco e variável do que o registrado atualmente:

Dados de isótopos estáveis de carbono da matéria orgânica do solo mostraram a expansão de ilhas de savanas nos limites dos estados de RO e AM (PESSENDA *et al*., 1998; DE FREITAS *et al*., 2001). Em contraste ao que ocorreu durante o UMG, essa expansão das savanas, é claramente evidente pela aridez no sul da Amazônia, assim como pelos níveis de CO_2, que foram ao menos 60 ppm maiores que no UMG e portanto não mais limitante para as plantas C_3.

Os dados de carvão, que mostram picos de freqüência de incêndios entre 7000 e 3000 AP no Pará (TURCQ *et al*., 1998) corroboram esses resultados, assim como a presença de savanas e alta freqüência de incêndios no ecótono Floresta-Savana no leste da Bolívia (MAYLE *et al*., 2000).

Outras evidências da aridez climática regional no sul da Amazônia durante esse intervalo vêm dos testemunhos de sedimento do Lago Titicaca no Altiplano Boliviano, que mostra que nos últimos 25000 anos o período de menor nível do lago e máxima aridez foi entre 8500 anos AP e 4500 anos AP. Além disso, essa fase seca (entre 8500 e 4500 anos AP) foi bem marcada em vários sítios da América do Sul: - Carajás (ABSY et al., 1991 e CORDEIRO, 1995); - Magdalena Cauca-San Jorge, Colômbia (VAN der HAMMEN, 1991); -

Lago La Yeguada, Panamá (BUSH *et al*., 1992); - Lago Ayauch, Equador (BUSH e COLINVAUX, 1988).

Os dados de pólen, carvão, isótopos estáveis de carbono e nível do lago apontam para uma redução da precipitação na Amazônia, que causou a substituição da floresta por savanas nas regiões de ecótonos e aumentou a freqüência de incêndios. O desaparecimento dos táxons andinos nas terras baixas (verificado em todos os registros polínicos) também indica que esse aumento na aridez coincide com aumento nas temperaturas. Essa expansão das savanas em relação às florestas sugere que a biomassa amazônica (e por tanto, o reservatório de carbono) foi menor durante o Holoceno inicial e médio do que durante o período pós glacial.

Apesar destas fases mais secas na região amazônica, em outras regiões amazônicas foram observadas condições mais úmidas. Como no caso do Rio Curuá (350 km de Belém, Pára) (BEHLING e DA COSTA, 2000), nesse trabalho foi observado um aumento contínuo do nível de água no lago entre 6000 e 2500 anos ^{14}C AP, interpretado como reflexo de um clima mais úmido. Irion *et al.*, (2006) também determinaram a ocorrência de uma fase mais úmida no baixo Tapajós, a partir de 4300 anos cal AP.

Holoceno Tardio (desde 3000 anos AP)

No Holoceno Tardio, de maneira geral, as evidências apontam para um clima mais úmido. Mayle *et al*., (2004) mostraram uma expansão da área de floresta em relação às savanas e registraram um aumento da precipitação na região do Chaco boliviano; Cordeiro, (1995), Turcq *et al*., (2007) e Cordeiro *et al*, (2008) e registraram um pequeno fluxo de deposição de carvão em Carajás (PA). O estudo de Behling (2001) mostra que o estoque de carbono nesse período foi o maior dos últimos 21000 anos AP.

Dados de pólen da Laguna Bella Vista e Laguna Chaplin mostraram que a floresta se expandiu em direção ao sul, em substituição às savanas, no leste da Bolívia, nos últimos três milênios, alcançando seu limite geográfico em cerca de 1500 anos AP (MAYLE *et al*.,2000).

Os dados de isótopos estáveis de carbono de Rondônia e Amazonas (De Freitas *et al*., 2001), pólen (ABSY *et al*., 1991) e carvão (TURCQ *et al*.,1998) de Carajás corroboram a evidência de expansão da floresta em relação às savanas em cerca de 3000 anos AP.

Esses dados apontam claramente para o aumento da precipitação no sul da Amazônia nos últimos 3 milênios, também refletido no aumento do nível do Lago Titicaca (CROSS *et al*., 2000; BAKER *et al*., 2001)

Essa expansão da floresta em relação às savanas também ocorreu na fronteira norte da Amazônia, entretanto, essa expansão começou mais cedo, em aproximadamente 6000-7000 anos AP (BEHLING and HOOGHIEMSTRA, 1999, 2000, 2001).

Os dados gerados pelos estudos de paleoclima e paleoambientes mostram que o Holoceno foi marcado por diversas mudanças climáticas, sendo que as condições climáticas atuais, mais estáveis e úmidas, parecem ter sido estabelecidas por volta de 1500 anos cal AP (TURCQ *et al*., 2007).

Como foi visto, a América do Sul é uma região de particular interesse devido ao seu papel no sistema climático e sua alta biodiversidade. Muitos estudos paleoecológicos e paleoclimáticos foram realizados na América do Sul nas últimas décadas. Entretanto, a maior parte desses estudos foi feita na região oeste do continente Sul Americano, especialmente nos Andes (BEHLING, 1998).

Os estudos de paleoclima no Brasil são muito mais recentes, e limitados a apenas poucos grupos de pesquisa. Esses estudos, sobretudo na Amazônia são de extrema importância para a melhor compreensão das condições ecológicas e climáticas do passado.

Para estudos em florestas tropicais, como é o caso do presente trabalho, os principais locais de estudos são os lagos, (sendo que os mais interessantes são os lagos de altitude, pois minimizam a influência da deposição de material do solo da bacia, preservando um sinal mais "puro" do material depositado por via atmosférica), solos e várzeas. O estudo da matéria orgânica dos sedimentos dos lagos possibilita a reconstrução das mudanças ambientais e climáticas que ocorreram no passado (SIFEDDINE *et al*., 2004).

3.1.5 – Ferramentas de geoquímica orgânica em estudos paleoclimáticos.

Nos estudos de paleoclimas que utilizam perfis de sedimento, as análises mais comumente realizadas são de natureza física (densidade, teor de água e granulometria), inorgânica (metais e semi metais) e orgânica.

Nesse contexto, a geoquímica orgânica assume importante papel, com uma ampla gama de análises possíveis, que fornece informações importantes, como a origem da matéria orgânica (MO); o tipo de biota que existiu no local; a paleoprodutividade biológica; e a ocorrência e intensidade de incêndios florestais (MEYERS, 1994 e 2003). A tabela 4 ilustra as principais ferramentas da geoquímica orgânica utilizadas em estudos de paleoclima.

Tabela 4. Principais ferramentas da geoquímica orgânica utilizadas em estudos de paleoclima. Adaptado de Meyers 2003.

Propriedade Medida	Proxy
Concentração de carbono orgânico	Quantidade de matéria orgânica
Taxa de acumulação de carbono orgânico	Taxa de deposição de matéria orgânica
Razão C/N	Identificação das fontes de matéria orgânica
$\delta^{13}C$	Identificação das fontes de matéria orgânica, produtividade algal
$\delta^{15}N$	Identificação das fontes de matéria orgânica, evidências de fixação de N, produtividade algal
HPAs	Queima de biomassa
Black Carbon	Queima de biomassa
Levoglucosan	Queima de biomassa
Pigmentos	Origem da matéria orgânica, paleoprodutividade
Derivados de lignina Índice de Hidrogênio e Oxigênio (Pirólise Rock Eval)	Matéria orgânica de origem terrestre, diferenciação de plantas terrestres Origem da matéria orgânica
Petrografia da matéria orgânica	Origem da matéria orgânica

3.1.5.1 – *Carbono Orgânico Total (COT)*

A concentração de carbono orgânico total é importante para quantificar a MO nos sedimentos, pois representa a fração da MO que não sofreu remineralização durante a sedimentação. Entretanto, ela é influenciada pela produção inicial de biomassa e subseqüente degradação, portanto integra a MO de diferentes origens, caminhos traçados, processos deposicionais e estados de preservação e podem ser bem diferentes dentro de um mesmo lago (MEYERS, 2003).

A taxa de acumulação de carbono nos sedimentos lacustres permite fazer inferências sobre o nível de água do lago. As variações na coluna sedimentar correspondem a mudanças no nível do lago. Isso se deve principalmente ao maior *input* de nutrientes quando a descarga de água é maior e a melhor conservação da matéria orgânica quando o nível da água é mais

alto, favorecendo condições anóxicas próximas e acima da interface água-sedimento (TURCQ *et al*., 2002).

As concentrações de carbono orgânico total aumentam a medida que a granulometria diminui e isso pode causar uma "diluição" pela entrada de material clástico. Por essa razão, as taxas de acumulação de massa (MAR) de C_{org} são medidas mais úteis de preservação de MO do que os percentuais de TOC (TURCQ *et al*., 2002).

3.1.5.2 – *Razão C/N e ^{13}C*

A razão C/N é outra importante ferramenta para a identificação da origem da MO. Uma razão C/N entre 4 e 10 indica uma matéria orgânica rica em proteínas e pobre em celulose, típica de algas; uma razão C/N entre 10 e 20 pode representar uma vegetação típica de macrófitas ou uma mistura de fontes e; uma razão C/N acima de 20, é rica em celulose e pobre em proteínas, típica de matéria orgânica terreste (MEYERS, 1994.

A razão C/N é mais eficaz quando utilizada junto com o ^{13}C (sendo que o mesmo ainda permite estimar as fontes de matéria orgânica; reconstruir taxas de paleoprodutividade; e identificar mudanças na disponibilidade de nutrientes nas águas superficiais). Meyers (1994) sugere que análises complementares e comparativas simultâneas dos valores de $\delta^{13}C$ das plantas e da razão C/N identifica as principais origens da matéria orgânica sedimentar. Para o cruzamento dos dois parâmetros, é utilizado um diagrama, como pode ser visto na figura 7.

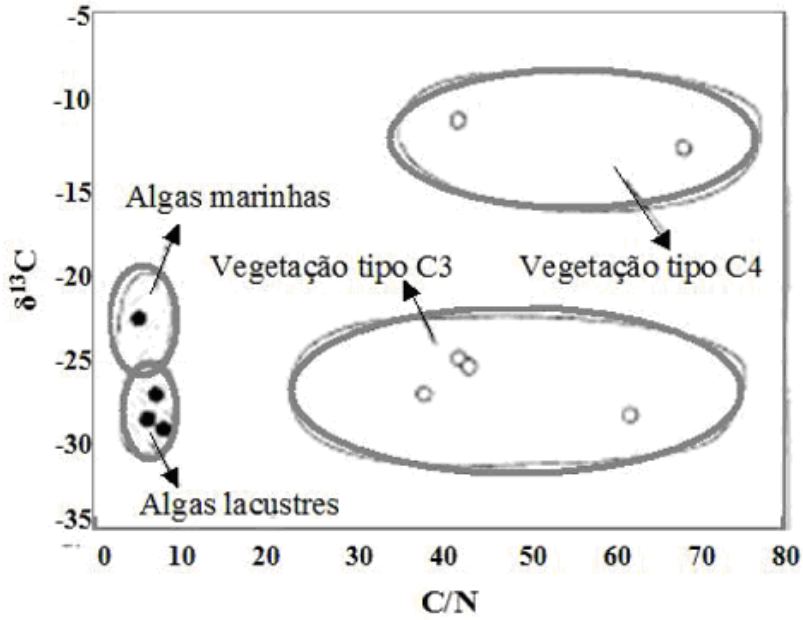

Figura 7. Diagrama C/N *vs*. $\delta^{13}C$ com as regiões representativas das principais fontes de matéria orgânica. Fonte: Adaptado de MEYERS , 1997.

3.1.5.3 – ^{15}N

Outra ferramenta utilizada, porém com menos freqüência que o ^{13}C, é o ^{15}N. O ^{15}N também ajuda a identificar fontes de MO para lagos e reconstruir taxas de paleoprodutividade e identificar alterações na disponibilidade de nutrientes; é fundamentada na diferença entre as razões $^{15}N/^{14}N$ de reservatórios de N_{inorg} disponíveis para plantas na água e na terra. Essa diferença na composição isotópica do nitrogênio é um indicador de alterações na utilização do nitrato, da denitrificação e fixação de N_2 (LEHMANN *et al*., 2002), o que permite avaliar modificações na produtividade de ambientes tanto marinhos quanto lacustres.

O DIN (nitrogênio inorgânico dissolvido, na forma de NO_3^-) usado por algas é 7-10‰ maior do que os usados por plantas terrestres, o que diferencia o sinal isotópico desses vegetais. (MEYERS, 1997 e MEYERS, 2003).

Como os valores do $\delta^{15}N$ em nitratos, forma mais usada por algas, é maior que os valores do $\delta^{15}N$ em N_2, usadas por plantas, essa diferença isotópica entre as duas fontes de nitrogênio é preservada nos valores de $\delta^{15}N$ da matéria orgânica algal (+ 8,5 ‰) e de plantas C_3 (+ 0,5‰). A maior presença de cianobactérias no meio, também é responsável por valores mais baixos de $\delta^{15}N$ (de -1 a 3‰) (MEYERS, 2003).

3.1.5.4 – *Pigmentos*

Uma interessante análise é a determinação das concentrações dos pigmentos no sedimento. Plantas superiores, algas e micróbios sintetizam uma série de compostos orgânicos pigmentados para a fotossíntese. A clorofila a é o mais importante, mas as plantas aquáticas desenvolveram compostos carotenóides que permitem a fotossíntese na ausência dos comprimentos de onda do vermelho, absorvidos pela mesma.

Tanto a taxa de sedimentação de pigmentos quanto sua abundância na superfície do sedimento têm sido correlacionadas com a produtividade primária (GUILIZZONI *et al*., 1982, GUILIZZONI *et al*. 1983, *apud* CORDEIRO, 2000). Devido às diferentes taxas de degradação entre clorofila e carotenóides (STEENBERGEN *et al*., 1994, *apud* CORDEIRO, 2000), a relação entre esses elementos é um importante indicativo da produtividade autóctone ou alóctone a medida que pigmentos de sistemas terrestre expostos a condições de oxidação apresentam menores valores do total de carotenóides (SWAIN, 1985, *apud* CORDEIRO, 2000).

3.1.5.5– *Análise microscópica de carvão*

Outro importante indicador paleoambiental é a análise microscópica da presença de carvões depositados em sedimentos. A queima incompleta da biomassa produz partículas carbonizadas que entram na circulação atmosférica, podendo percorrer grandes distâncias (partículas pequenas) ou serem depositadas próximas do seu local de origem (partículas grandes), dependendo do seu tamanho (CLARK and ROYALL, 1995, ALI, *et. al*., 2009). Essas partículas chegam ao sedimento por meio de deposição atmosférica direta ou por escoamento superficial.

A análise das partículas de carvão no sedimento juntamente com outros proxies paleoambientais são de extrema relevância, pois permite fazer inferências diretas a respeito do clima do local, baseando-se na intensidade e freqüência dos incêndios, sobre a interação fogo-clima-vegetação (CLARK and ROYALL, 1995 CAICAILLET, *et. al*., 2002; CORDEIRO, *et. al*., 2002, 2008; CLARK, *et. al*., 2006), práticas humanas pré-históricas (WICK e MOHL, 2006).

3.2 – MODELOS CLIMÁTICOS

Os estudos paleoclimáticos são importantes para se conhecer o clima no passado, entender suas variações e fornecer informações que poderão ser usadas na construção de modelos climáticos, para prever como o clima irá se comportar no futuro.

Modelos climáticos são usados para simular episódios de climas passados (por exemplo, Último Máximo Glacial, períodos interglaciais ou eventos climáticos extremos) e ajudar a entender os mecanismos das mudanças climáticas que ocorreram no passado.

Os modelos permitem investigar a ligação entre causa e efeito nos climas do passado. Os modelos também ajudam a preencher as lacunas entre as escalas global e local. Por exemplo, longos registros em testemunhos de gelo mostram uma forte correlação entre a temperatura local na Antártica e as concentrações de CO_2 e CH_4 da atmosfera, mas as conexões de causa dessas variáveis são melhores explicadas com a ajuda dos modelos.

Desenvolver um entendimento quantitativo de mecanismos é a maneira mais efetiva de aprender com o clima do passado para poder fazer previsões futuras, uma vez que provavelmente não há analogias diretas do clima futuro no passado. (IPCC, 2007).

3.3 MUDANÇAS DO USO DA TERRA

As mudanças do uso da terra compreendem a substituição da atividade principal que era exercida em uma determinada área por uma nova atividade. Geralmente, refere-se à substituição de uma vegetação natural (como uma floresta, por exemplo) para uma atividade humana (agropecuária, por exemplo).

As mudanças no uso da terra, principalmente quando florestas nativas são transformadas em áreas agrícolas ou de pastagem e vice-versa, causam mudanças no conteúdo de carbono nos solos (BRASIL, 2004).

Geralmente o tema aparece da seguinte maneira "Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Silvicultura", da sigla em inglês LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry). O Secretariado das Nações Unidas sobre Mudança do Clima define LULUCF como "um setor do inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) que cobre as emissões e remoções dos GEE resultantes de atividades de uso da terra, mudança do uso da terra e silvicultura diretamente provocadas pelo homem.

A maior parte das mudanças do uso da terra afeta a quantidade de carbono estocada na vegetação e no solo, seja pela emissão para ou pela remoção de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera. Os maiores fluxos de carbono resultam da conversão das florestas para áreas abertas (e vice versa). (HOUGHTON e GOODALE, 2004).

Como as mudanças do uso da terra podem emitir CO_2 e outros GEE (metano, CH_4 e óxido nitroso, N_2O) para a atmosfera, elas contribuem para o aumento das concentrações desses gases na atmosfera. O IPCC (2007) estima que a mudança do uso da terra (ou seja, conversão de um sistema florestal para agricultura) gere uma contribuição líquida de 1.6 ± 0.8 GtC por ano para a atmosfera. Para efeito de comparação, o setor que mais emite CO_2, queima de combustível fóssil e produção de cimento, emite cerca de $6,3 \pm 0,6$ GtC por ano.

Também segundo o IPCC (2007), de 1850 a 1998, cerca de 136 (±55) GtC foram emitidos provenientes de mudanças no uso da terra, principalmente de ecossistemas florestais. O setor de queima de combustível fóssil e produção de cimento emitiu cerca de 270 (±30) GtC no mesmo período. As concentrações atmosféricas de CO_2 aumentaram de 285 ppm, para 366 ppm nesse período (~28%), e aproximadamente 43% dessas emissões continuam retidas na atmosfera. As concentrações atuais de CO_2 na atmosfera estão em 384 ppm (KEELING, 2009). Importante salientar que a maior parte das emissões por LULUCF nesse período foram

provenientes de países do Hemisfério Norte, sendo que as emissões de países em desenvolvimento só se tornaram significativas a partir da segunda metade do século XX.

As principais atividades que modificam o uso da terra são:

1. Pecuária - através de corte e queima de biomassa. Pela conversão de florestas em pastos plantados (onde ocorre planejamento da vegetação que cobre a área), ou naturais (onde a vegetação de cobertura nasce naturalmente após a queima)

2. Agricultura - por conseqüência de corte e queima de biomassa. Pela conversão de florestas em áreas agrícolas para cultivo permanente ou temporário

3. A exploração madeireira, pela extração de vegetação nativa de valor comercial e pela conversão de florestas primárias em florestas plantadas, como é o caso do Eucalipto.

4. Crescimento urbano, incluindo construção de estradas, desenvolvimento de indústrias e cidades.

Cada um destes usos da terra difere em seu efeito na vegetação e solo e, portanto na quantidade de CO_2 liberada quando a floresta é convertida em cada um dos usos (DETWILER, 1986).

3.3.1 As mudanças do uso da terra no contexto brasileiro

O desmatamento na Amazônia começou no início dos anos 1970, com projetos de colonização da região promovidos pelo Governo Militar da época. O movimento se iniciou pelas fronteiras sul e leste, se estendendo pela década de 1980 para a região oeste, formando um “arco de desmatamento”, que continua se expandindo em direção ao cento da Amazônia.

Na região amazônica temos registros de sucessivas alterações no uso do solo, de forma a gerar grandes impactos ambientais decorrentes. Pode-se observar alterações cíclicas que se repetem em várias localidades da região (BARROS *et al*, 2002 e BONJOUR *et al*, 2008).

a) O madeireiro inicia o ciclo com a compra de áreas de floresta nativa para extrair a madeira e comercializá-la, ocorre construção de estradas e acessos para entrada de equipes e equipamentos para retirada da madeira que possuir valor comercial. Uma vez que as árvores de interesse econômico são retiradas essa área é vendida a pecuaristas ou produtores agrícolas

b) Corte das árvores menores, de cipós e de folhagens. Caso a área agora seja utilizada para pastagem, torna-se um campo aberto para o pasto. Se a área for utilizada pela agricultura,

principalmente de grãos, toda a vegetação menor e cortada, permanece no local e após secar, servirá de combustível para a realização da queimada.

c) Na estação seca de cada região ocorre a queima da área.

d) Ocorre o semeio que pode ser realizado de forma mecanizada em grandes propriedades e, manuais em pequenas, no início do período de chuvas.

e) O ciclo recomeça com a compra de outras terras de vegetação nativa pelo explorador de madeira.

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) divulgou em 2004, na Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o 1° Inventário Brasileiro das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal.

O Inventário foi feito por Gás de Efeito Estufa (CO_2; metano, CH_4, óxido nitroso, N_2O; hidrofluorcabonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre; e gases de efeito estufa indireto) e por setor (energia, processos industriais, uso de solventes e outros produtos, agropecuária, mudanças do uso da terra e florestas e tratamento de resíduos).

O setor de mudanças no uso da terra e florestas compreende quatro categorias: 1- Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras Formações Lenhosas; 2- Conversão de Florestas para outros Usos; 3- Abandono de Áreas Manejadas; e 4- Emissão e Remoção de CO_2 pelos Solos.

Na categoria Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras Formações Lenhosas consideraram-se somente as mudanças nos estoques de carbono de florestas plantadas, baseadas em dados reportados pela Associação Brasileira de Florestas Renováveis – ABRACAVE e pela Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose – ANFPC.

Para a categoria Conversão de Florestas para Outros Usos e Abandono de Áreas Manejadas utilizou-se uma abordagem objetiva com dados de satélite. À exceção da Mata Atlântica, a análise das imagens de satélite incluiu mudanças na cobertura da terra resultantes tanto da conversão efetiva de florestas para outros usos quanto de alterações decorrentes de práticas de manejo sustentável de florestas.

Desta forma, as emissões reportadas no Inventário sob a categoria Conversão de Florestas para Outros Usos incluem emissões por desflorestamentos, além daquelas que deveriam ser incluídas na categoria Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras

Formações Lenhosas. De forma análoga, na categoria Abandono de Áreas Manejadas incluem-se as remoções resultantes da rebrota por abandono das áreas desflorestadas e das áreas convertidas, bem como aquelas sob manejo sustentável.

A metodologia aplicada neste inventário pode resultar em uma super estimação das emissões de CO_2, em função dos seguintes fatores: 1-contabilização instantânea de todo o estoque de carbono na área convertida como emissão de CO_2, no lugar de sua distribuição ao longo do tempo, conforme o destino da biomassa (uso nas indústrias metalúrgica e energética, papel e celulose, mobiliário, construção civil e arquitetura, queima, decomposição dos resíduos florestais na área convertida); e 2- contabilização de emissões de CO_2 que ocorrem em outros países, devido à exportação de madeira e seus derivados pelo Brasil.

No Brasil, diferentemente dos países industrializados, a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO_2 é proveniente da mudança do uso da terra, em particular da conversão de florestas para uso agropecuário. Em função da elevada participação de energia renovável na matriz energética brasileira, pela geração de eletricidade a partir de hidrelétricas, pelo uso de álcool no transporte e bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal na indústria, a parcela das emissões de CO_2 pelo uso de combustíveis fósseis no Brasil é relativamente pequena (porém crescente) (BRASIL).

O setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas foi responsável pela maior parcela das emissões de CO_2 (75%), segundo inventário feito pelo MCT em 2004. (Figura 8). A Conversão de Florestas para outros Usos, em particular o agrícola, consistiu na maior parcela da emissão total do CO_2, tendo sido também incluídas as remoções de CO_2 pela regeneração de áreas abandonadas e a mudança no estoque de carbono nos solos.

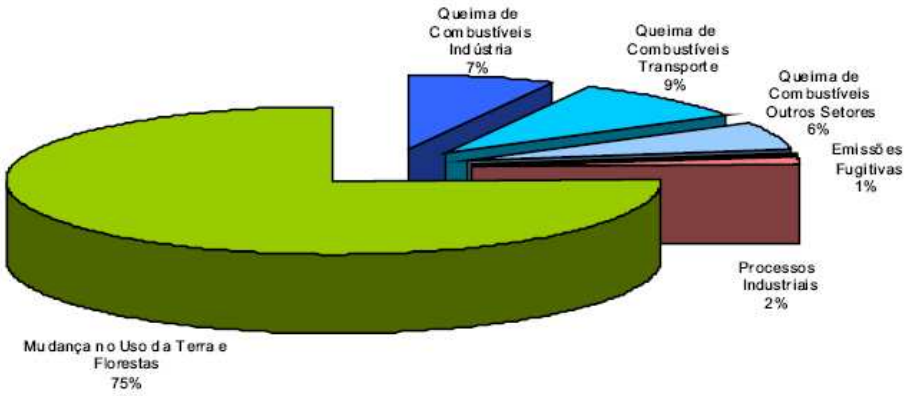

Figura 8: Emissões de CO_2 por setor no Brasil, 1994. Fonte: Brasil, 2004.

Impactos das Mudanças do Uso da Terra na Economia

Baseado na relação entre economia e mudanças do uso da terra foi feita uma comparação entre o PIB do país (dados colhidos no site do IBGE) e as taxas de desmatamento da Amazônia Legal (dados colhidos no site do INPE/PRODES). Entretanto, os resultados necessitam de uma interpretação mais detalhada, em função das profundas variações na política e na economia do Brasil nas últimas 2 décadas.

Durante a década de 1970, o Governo Federal (então constituído pelos Militares) incentivou a colonização da região Amazônica, com a abertura da floresta e a expansão da fronteira agrícola e a construção de rodovias e cidades. O resultado dessa política foi o início do desmatamento na Amazônia, sem, entretanto gerar riqueza para a população nem desenvolvimento para a região.

Durante o final do governo militar uma crise econômica surgiu no país, se agravando na década de 1980, com graves quadros de hiperinflação e desemprego, entretanto com o PIB ainda crescente. O país mergulha mais fundo na crise durante o governo de Fernando Collor de Mello (15/03/1990 - 29/12/1992), que interrompe a tendência de crescimento do PIB. Essa diminuição do PIB se reflete na mudança do uso da terra na Amazônia, e é bem documentada pelo estudo de Cordeiro *et al*. 2002 (figura 18), e pelas baixas taxas de desmatamento registradas no período.

A situação econômica só começa a melhorar no governo Itamar Franco (29/12/1992 – 01/01/1995), com a criação do Plano Real. Entretanto, o "re-aquecimento" da economia provocou também um aumento nas taxas de desmatamento na Amazônia Legal.

Após esse período, foi eleito presidente Fernando Henrique Cardoso que veio a ser re-eleito nas eleições seguintes, totalizando oito anos de governo (01/01/1995 – 01/01/2003). No seu primeiro mandato (1995-1998), a economia mostrou um grande crescimento no período. Entretanto, no segundo mandato, houve uma queda acentuada no PIB. Nesse período não foi desenvolvida uma política de redução de desmatamento, e o que se viu foi um crescimento muito grande do desmatamento, mesmo no período em que o PIB esteve baixo (1999-2003). (Figura 9).

O governo do presidente Luís Inácio Lula da Silva (desde 01/01/2003) manteve o ortodoxia da política econômica, e o país passa por um momento privilegiado da economia. A dívida externa foi controlada e o país ganhou independência dos organismos multilaterais.

O desmatamento no Brasil atingiu sua menor taxa histórica (desde o início do monitoramento pelo INPE, 7000km^2) em 2009. Essa tendência de diminuição do desmatamento, observada desde 2005 deve ser analisada como uma conjunção de diversos fatores: eficácia do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (programa do Governo Federal lançado em 2004); aumento da criação de Unidades de Conservação no país - desde 2004 foram criadas 32 Unidades de Conservação, totalizando 19.654.630ha (sendo 6.547.865ha de UCs de Proteção Integral e 13.106.765ha de UCs de Uso Sustentável) - apenas na Amazônia; redução dos incentivos governamentais a produtores agrícolas; e visão preservacionista dos governadores dos estados amazônicos (contudo, na sua maioria, por interesses econômicos na prestação de serviços ambientais).

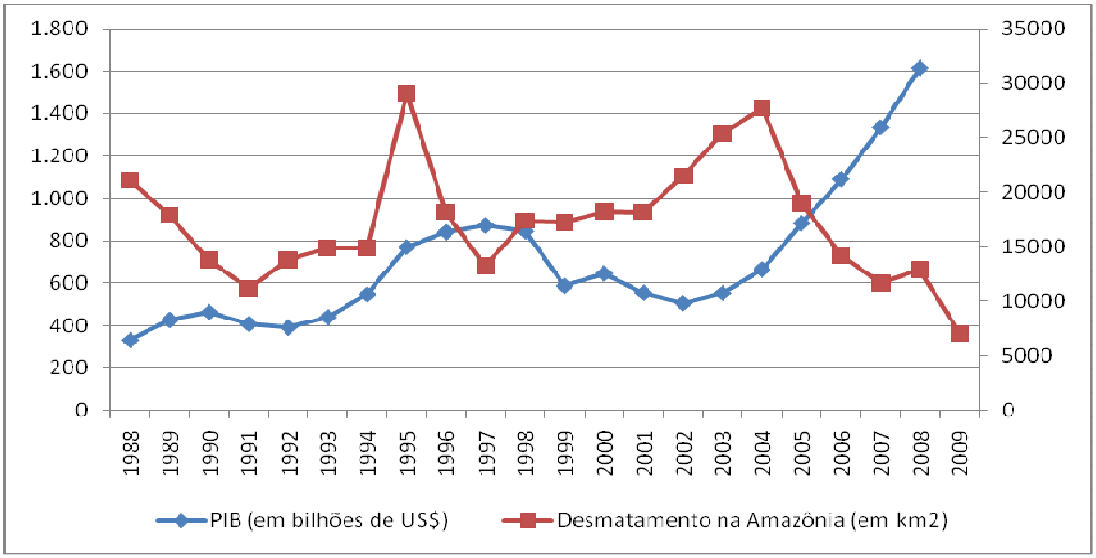

Figura 9: Relação entre o Produto Interno Bruto Brasileiro (em US$) e o desmatamento na Amazônia Legal (em km^2/ano). Os dados de PIB são do IBGE e os dados de desmatamento do INPE/PRODES.

Deve-se frisar que, obviamente, a situação econômica do país é apenas um dos fatores que podem contribuir para o aumento ou a diminuição das taxas de desmatamento. Quando se analisa apenas um ano, os fatores climáticos assumem maior importância. O que se quis mostrar nessa seção foram as tendências de aumento e diminuição do desmatamento e relacioná-las com a situação política e econômica do país.

Estudos relacionando efeitos das mudanças do uso da terra e as variáveis econômicas são escassos, mas se mostram cada vez mais importantes, uma vez que anualmente perdemos grandes áreas de floresta. Além disso, eles são fundamentais para nortear as políticas públicas de uso e ocupação da terra e os modelos de desenvolvimentos econômico e sustentável da região amazônica.

A Amazônia Brasileira abriga 40% de todas as florestas tropicais remanescentes do planeta (Laurance *et al*, 2001), desempenhando um papel vital na conservação da biodiversidade global, regulação do clima e dos ciclos biogeoquímicos. Uma média de 1,8 milhões de hectares de florestas foi perdida anualmente entre 1988 e 2008 por mudanças do uso da terra (INPE, 2008), correspondendo a aproximadamente um terço do desmatamento em áreas tropicais, gerando a emissão de 250 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera (FOLEY *et* al., 2005 e NEPSTAD *et al*. 2007). Ainda assim, a Amazônia é uma das regiões menos desenvolvidas do Brasil e a conversão de florestas em áreas de agricultura e pastagem (tipicamente precedida de corte e queima) é geralmente vista como o caminho mais prático para o desenvolvimento econômico (Schneider *et al*., 2000).

O padrão de desenvolvimento atual na Amazônia brasileira está longe do desejável em termos tanto de desenvolvimento humano quanto de conservação dos recursos naturais. O enorme desafio nessa região é como assegurar que os caminhos de desenvolvimento no futuro se traduzam em melhorias para o bem estar da população, minimizando a degradação da natureza e dos serviços ambientais que ela presta.

É improvável que exista uma solução simples. Ao invés disso, uma abordagem combinada incluindo um melhor uso das áreas que já foram desmatadas (através de intensificação da agropecuária); uma maior restrição a novos desmatamentos (através de áreas protegidas e zoneamento do uso da terra e reflorestamento de áreas degradadas); incentivos diretos que encorajem os habitantes da floresta a fazerem uso de práticas sustentáveis de exploração da floresta; e ações políticas para melhorar a alfabetização, a saúde e a segurança da posse da terra.

Pagamentos por serviços florestais, incluindo seqüestro de carbono, provavelmente irão desempenhar um papel chave na sustentabilidade financeira dessas abordagens, convertendo serviços ambientais de maior valor em incentivos econômicos para a preservação de longo prazo da Floresta.

Iniciativas desse tipo estão começando a ser realizadas em nível nacional (Programa Bolsa Amazônia do Governo Federal) e estadual (Bolsa Floresta do Governo do Amazonas, por exemplo).

Internacionalmente, um mecanismo financeiro global para reduzir as emissões de desmatamento e degradação florestal (REDD) em países em desenvolvimento está atualmente sendo negociado no âmbito da CQNUMC.

O Brasil, com seu imenso estoque de carbono e alta capacidade técnica para monitorar as mudanças nas florestas é passível de se beneficiar dessa iniciativa. Entretanto, o sucesso em longo prazo dessas iniciativas depende também de outras políticas regionais, como o incentivo governamental para a expansão da agricultura.

Novos mecanismos financeiros e políticos estão pavimentando o caminho para trajetórias de desenvolvimento mais sustentáveis e criando as condições nas quais a maior Floresta Tropical do mundo poderá ser reconhecida como mais valiosa em pé do que derrubada.

3. 4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS ATUAIS

3.4.1 Evidências das mudanças climáticas

A investigação científica sobre os processos climáticos de efeito estufa e aquecimento global começou há muito tempo. Precisamente 180 anos antes do 4º relatório do IPCC ser divulgado, o matemático e físico francês Jean Baptiste Fourier já havia calculado que a Terra seria muito mais fria se não existisse a atmosfera. Trinta e dois anos depois de Fourier, o irlandês John Tyndall descobriu, em 1859, que alguns gases, como dióxido de carbono e metano, aprisionam a radiação infravermelha, criando o efeito estufa. Em 1896, o químico sueco Svante Arrhenius (prêmio Nobel de química em 1903) apontou a queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) como produtora de dióxido de carbono (CO_2) e calculou que a temperatura da Terra aumentaria 5°C, caso a concentração de CO_2 na atmosfera dobrasse.

As medições científicas começaram em 1958, quando o americano Charles David Keeling pôs em operação uma estação de medições de dióxido de carbono no alto do monte Mauna Loa, no Havaí (a 3,4 acima km do nível do mar), e detectou a elevação anual de CO_2 atmosférico com o aumento do uso dos combustíveis fósseis.

Entretanto, foi só nas últimas décadas que um certo ceticismo da comunidade científica foi rompido. Primeiro porque passou a ser viável obter séries longas de dados climatológicos para diferentes regiões do globo, o que permitiu observar alterações significativas em escala planetária, e não apenas numa região específica. Também passaram a ser desenvolvidos computadores com a potência necessária para processar modelos de simulação dos processos físicos, químicos e biológicos que afetam todo o sistema climático.

Em 2001, um relatório do IPCC previu aumento de 1,4°C a 5,8°C na temperatura do planeta até 2100. Seis anos depois, o quarto relatório do IPCC defendeu que o aquecimento global é “inequívoco”, prevendo aumento médio de 3°C caso a concentração de gases-estufa dobre. Esse documento, elaborado por 1.200 cientistas independentes e 2.500 revisores, se tornou praticamente um consenso científico sobre as mudanças climáticas.

Em rigor, as recomendações científicas são hoje inequívocas e fornecem um fundamento robusto para as decisões coletivas e políticas que são imprescindíveis de serem executadas.

Desde a Revolução Industrial, as concentrações de gases de efeito estufa vêm aumentando significativamente (figura 10), em boa parte devido ao uso de combustíveis fósseis, mas também como conseqüência do desmatamento, assim como pelo incremento de outras atividades econômicas.

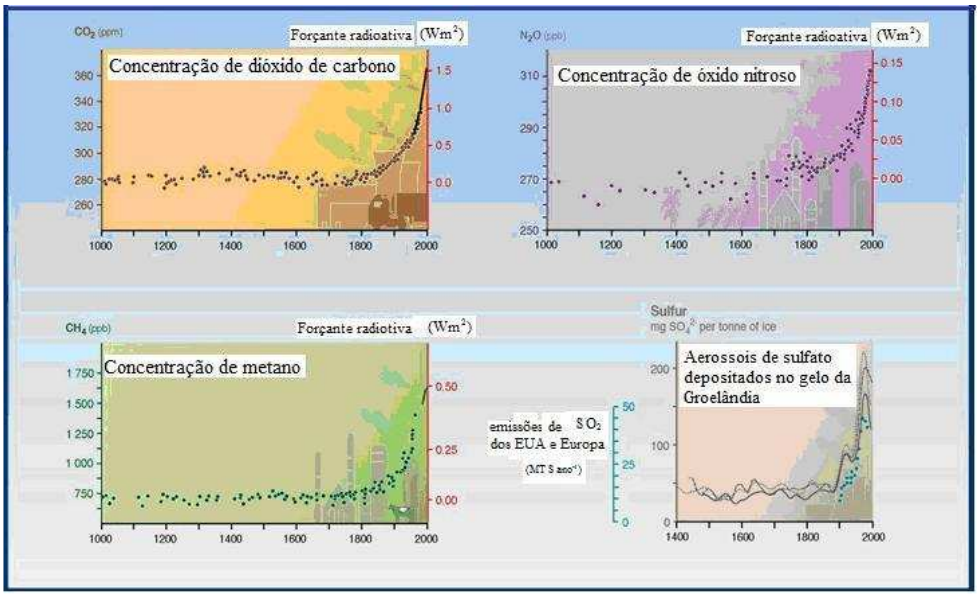

Figura 10: Concentrações de GEE na atmosfera nos últimos 1000 anos. IPCC, 2007.

Como conseqüência do aumento das concentrações de GEE na atmosfera, foi observado que dos últimos 12 anos, 11 deles estão entre os de temperatura mais elevadas nos últimos 150 anos (figura 11), sendo que o aquecimento atingiu todos os continentes e também os oceanos.

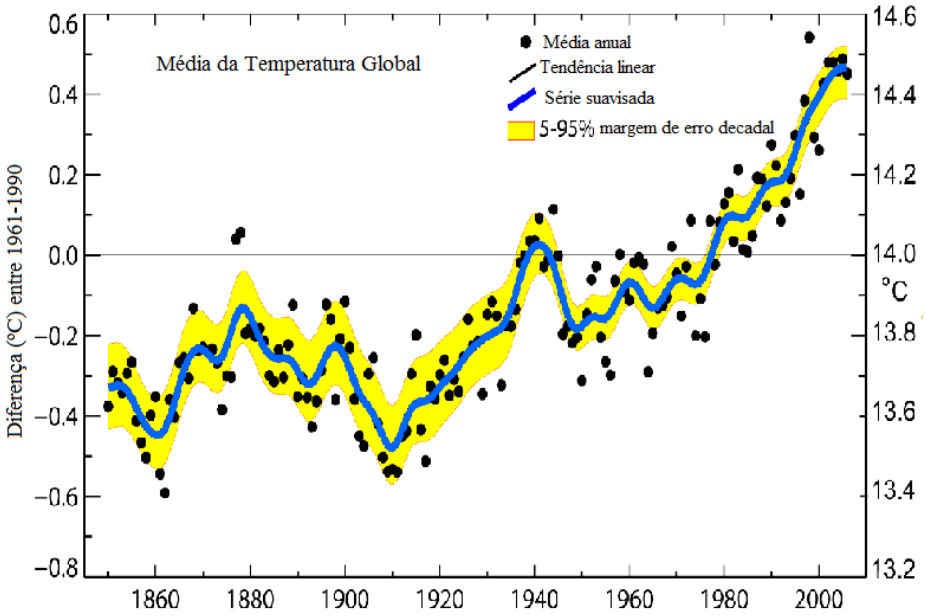

Figura 11: Temperatura média global dos últimos 150 anos. Com média anual, tendência linear, série suavizada e margem de erro decadal. IPCC, 2007.

4 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Alta Floresta (09°52’S; 56°06’, 288m) localiza-se no Norte do estado de Mato Grosso (figura 12), em região de relevo relativamente plano em área do Planalto Cristalino Brasileiro. A maior parte do município de Alta Floresta esta assentada sobre um embasamento composto por formações rochosas do Pré – Cambriano Médio e Superior (3,8 bilhões de anos – 570 milhões de anos), do Complexo Xingu (gnaisses, migmatitos, anfibolitos, dioritos, granodioritos, granulitos, metavulcânicas e metabasitos, granitos e granulitos).

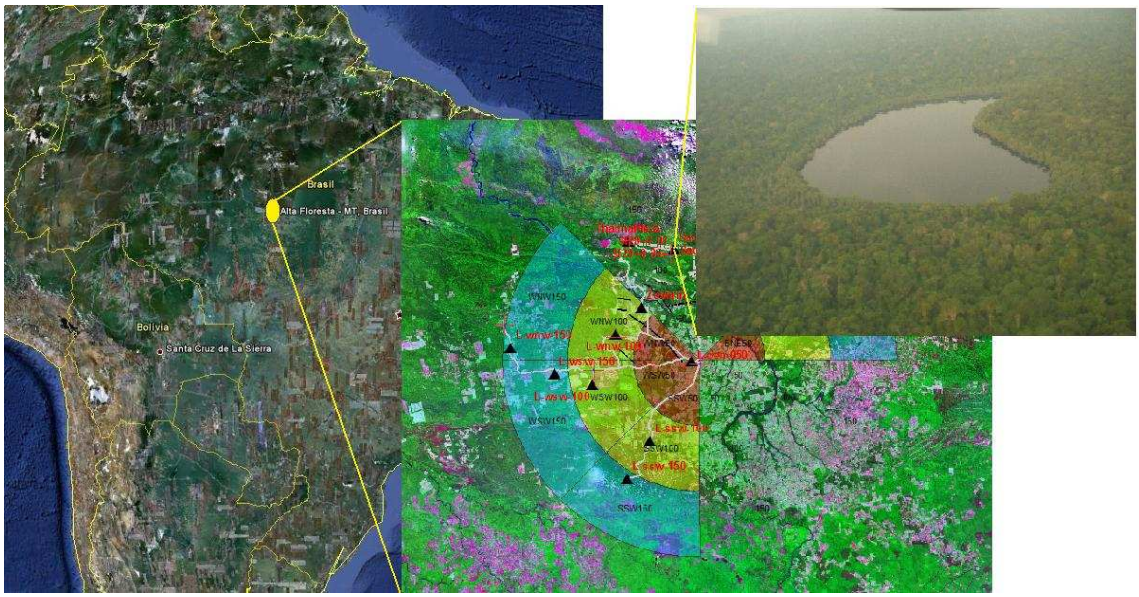

Figura 12: Localização no Brasil da área de estudo. A marcação em amarelo corresponde à área onde foram coletados os testemunhos curtos, em Alta Floresta (MT) e o testemunho no Lago do Saci (região de São Benedito, PA). A imagem intermediária em destaque mostra imagem de satélite georreferenciada, contendo os pontos de coleta dos testemunhos curtos e longos. O ponto central é a cidade de Alta Floresta, onde foi coletado o testemunho L-CEN050. A partir desse ponto, foram coletados os testemunhos AF SSW 100 e AF SSW 150 na direção Sudoeste, os testemunhos AF WSW 100 e AF WSW 150 na direção Oeste e os testemunhos AF WNW 100 e WNW 150 na direção Noroeste, totalizando sete testemunhos curtos, que estão identificados pelos triângulos pretos na figura. A outra imagem em destaque mostra uma foto aérea do Lago do Saci distante aproximadamente 100 km ao Norte de Alta Floresta, onde foi coletado o testemunho Saci 2.

O clima enquadra-se na categoria Am da classificação de Köopen, 1948, úmido com estação seca definida com duração de três meses (junho a agosto). As temperaturas anuais variam entre 20° e 30°C, com média de 26°C. O período entre Novembro e Março compreende o período de chuvas com precipitação maior que 900 mm. O período de seca ocorre entre os meses de Maio e Setembro com precipitação menor do que 300 mm. A figura 13 mostra as variações das médias mensais da precipitação no período de 1994 a 2005, para o município de Alta Floresta.

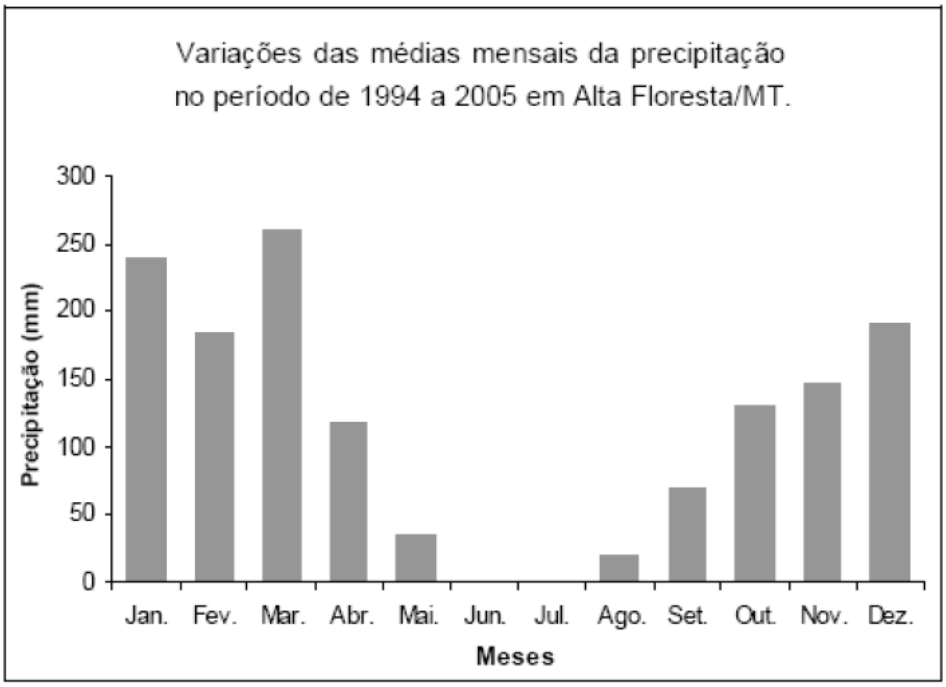

Figura 13. Variações das médias mensais da precipitação no período de 1994 a 2005, para o município de Alta Floresta.

Alta Floresta é uma região de intensa mudança do uso da terra. O processo de ocupação iniciou-se no começo da década de 1970, através do projeto de colonização da Empresa Integração Desenvolvimento e Colonização (INDECO S.A.).

Desde o início da colonização, a extração e exploração insustentável dos recursos naturais transformaram Alta Floresta em região extremamente marcada por impactos ambientais de origem antrópica. A região de floresta primária foi estressada severamente pela formação de clareiras e pela mineração de ouro (MAENHAUT *et al*, 2002) principalmente. Desde a década de 70, a terra ganhou usos diversos e impactantes, sem qualquer projeto de manejo sustentável, a agricultura, seguida de garimpo de ouro, exploração madeireira e pecuária são responsáveis pela atual conjuntura de desmatamento e intensos problemas

ambientais (perda de área florestada, perda de biodiversidade, alteração no microclima, efeitos de borda, dentre outros) (BOSCO, 2009).

A região começou a ser ocupada na década de 70 com objetivo de desenvolver um grande projeto agrícola. Entretanto a "corrida do ouro" no início dos anos 80 no entorno da bacia amazônica transformou o projeto sócio-econômico original da região completamente (HACON *et al*., 1997). A mineração de ouro atraiu um grande contingente populacional envolvido na atividade, e uma grande infra-estrutura foi criada para sustentá-la.

A mineração é uma atividade impactante em sua instalação, operação e manutenção, e por isso em 1984, 9,9% da área de floresta (dos 9310 km^2 que hoje constitui o município de Alta Floresta) já havia sido desmatada. Nessa época, a região purificava 25 toneladas de ouro por ano (HACON *et al*., 1997). Levando em consideração que para cada quilo de ouro extraído, era lançado na atmosfera 1,3 kg de mercúrio (Lacerda e Marins, 1997), a quantidade de Hg emitida por ano era em torno de 32,5 toneladas.

Hoje, a pecuária é a atividade mais importante do município, sendo responsável por uma grande parte do desmatamento regional. MICHALSKI (2008) aponta uma alta correlação negativa entre o total das cabeças de gado e as áreas de floresta remanescente no município de Alta Floresta desde 1990 até 2004 ($r = -0,952$, $p=0,001$, $n=8$).(figura 14). A pecuária transforma áreas de floresta fechada em pastos por meio do corte e da queima, se tornando a atividade mais impactante ao meio ambiente da região e que se encontra em constante crescimento. O rebanho bovino da região cresceu exponencialmente desde o início da década de 1980 e já alcançava 748.572 cabeças no ano de 2007 segundo a pesquisa pecuária municipal de 2008 do IBGE. A área ocupada pela atividade pecuária se comparada à atividade agrícola na região de Alta Floresta nos últimos 20 anos cresceu vertiginosamente, como explicitado na figura 15.

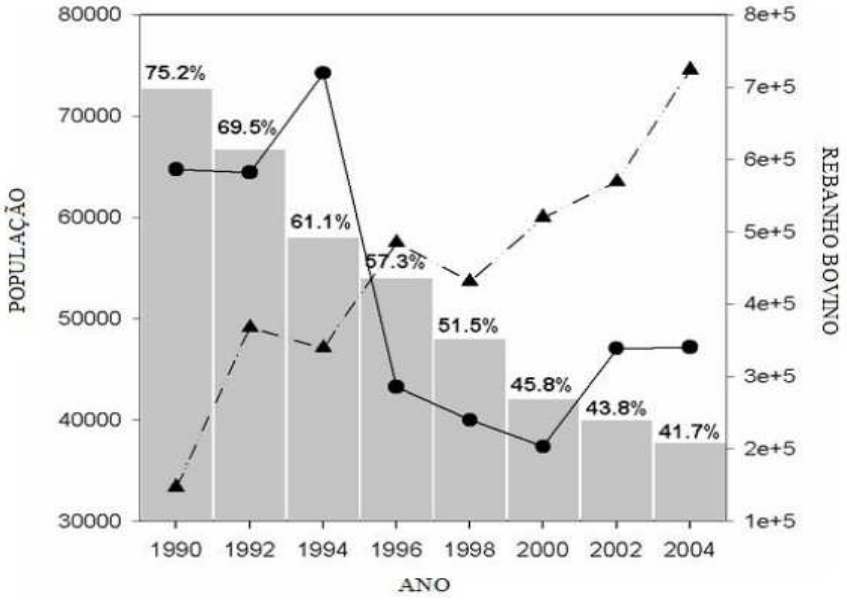

Figura 14. Área de cobertura florestal (barras cinzas, % de cobertura florestal remanescente); (círculos sólidos, população humana); (triângulos sólidos, cabeças de gado) em Alta Floresta entre 1990 e 2004.

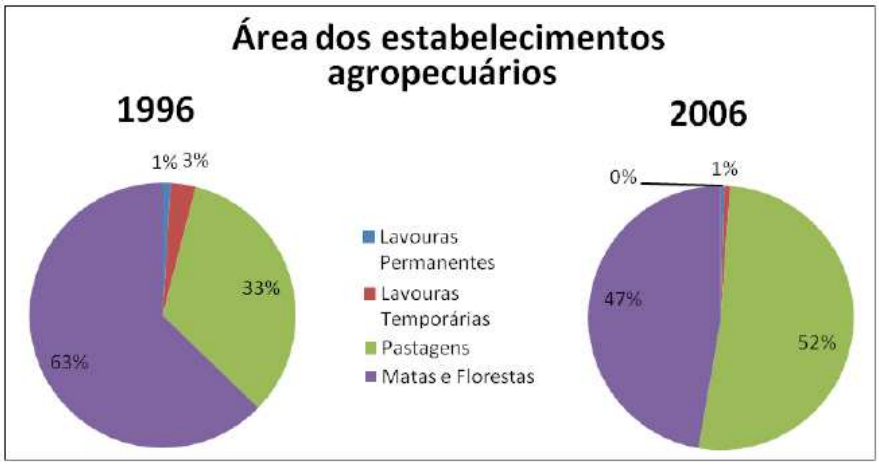

Figura 15. Comparação da área dos estabelecimentos agropecuários em 1996 e 2006 no município de Alta Floresta. Nesta plotagem observa-se que o crescimento percentual da área ocupada pelas pastagens foi superior ao crescimento das áreas de lavoura e, portanto responsável pela diminuição das áreas de matas e florestas. FONTE: (IBGE, 2008).

As estradas também contribuem no impacto ao ambiente da região. MICHALSKI (2008) demonstrou que há uma correlação positiva entre a distância da estrada mais próxima e a proporção de áreas de floresta remanescente. As grandes e médias estradas asfaltadas abrem caminho no meio da vegetação, construindo ilhas de vegetação que interferem na dinâmica da floresta. As estradas não pavimentadas abrem caminho para as empresas de exploração madeireira e para demais perturbações antropogênicas. Sendo assim, o desmatamento e a fragmentação florestal na Amazônia podem ser atribuídas, em sua maior parte, à atividade pecuária, à expansão de novas rodovias, aos projetos de colonização, ao cultivo da soja, (SOARES-FILHO *et al*., 2006) à agricultura e exploração madeireira.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1.COLETA DOS TESTEMUNHOS

Os testemunhos que foram utilizados nesse estudo foram coletados em uma expedição realizada em agosto de 2005, com recursos do Edital Universal, CNPq processo 477690/2003-(33). A partir da cidade de Alta Floresta, foram feitos transectos nas direções sudoeste, oeste e noroeste e 7 testemunhos curtos (entre 30 e 81cm) foram coletados a 50km, 100km e 150km de distância, com objetivo de avaliar os efeitos das mudanças do uso da terra causados pela ocupação desordenada da região a partir da década de 1970. Dois testemunhos longos (de 3 e 4 m) foram coletados na Lagoa do Saci, próximo ao Rio São Benedito, em área de floresta bem preservada. Nesses testemunhos foram estudados os registros paleoclimáticos e de incêndios holocênicos.

Todos os testemunhos foram fatiados a cada 2 cm, sendo que os testemunhos curtos foram abertos e fatiados no campo e os testemunhos longos foram abertos e fatiados no Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense.

5.2 ANÁLISE DE TEOR EM ÁGUA E DENSIDADE

No momento da abertura dos testemunhos, foi usada uma metade do testemunho para as análises de teor de água e densidade. São inseridos cubos acrílicos, de volume conhecido em toda a extensão do testemunho, como indica a figura 16. Esses cubos são pesados antes e após a retirada do testemunho e então são levados à estufa a 50°C até atingirem peso constante.

Figura 16. Inserção dos cubos de acrílico para cálculo de densidade e teor em água.

O teor em água é determinado através da diferença entre o peso úmido e o peso seco, conforme descrito em Hakanson e Jansson (1983) pela fórmula:

$$\mathbf{TH_2O = (PU - Ps/PU) \times 100}$$

Onde:

TH_2O = Teor em água expresso em %; PU = Peso úmido (sólidos + água); Ps = Peso seco (sólidos sem água)

A densidade foi obtida através da fórmula:

$$\mathbf{Da = Ps/Vt}$$

Onde:

Da = Densidade aparente (g/cm^3); Ps = Peso a seco (sólidos sem água); Vt = Volume total da amostra úmida

5.3 GRANULOMETRIA

Para a análise da granulometria, foram utilizados 3 gramas de sedimento úmido por amostra. Essa massa de sedimento foi atacada com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) até a retirada total da matéria orgânica. Para otimizar o processo, as amostras permaneciam em uma placa aquecedora a 80°C. Após a reação, o material restante foi lavado 3 vezes com água destilada para retirar o H_2O_2 e adicionou-se 30 mL de pirofosfato de sódio. As amostras com pirofosfato ficaram 24 horas na mesa agitadora para desagregar as partículas.

Após todo esse processo, as amostras foram analisadas em um analisador por difração a laser, modelo CILAS 1064.

A classificação do sedimento segue o padrão de tamanho mostrado na tabela 5.

Tabela 5. Tamanho dos grãos e classificação do sedimento.

TAMANHO DOS GRÃOS (µM)	**CLASSIFICAÇÃO DO SEDIMENTO**
>250	AREIA MÉDIA
125-250	AREIA FINA
63-125	AREIA SUPER FINA
31-63	SILTE SUPER GROSSO
16-31	SILTE GROSSO
8-16	SILTE MÉDIO
4-8	SILTE FINO
2-4	SILTE SUPER FINO
<2	ARGILA

5.4 ANÁLISE MICROSCÓPICA DOS CARVÕES

O sedimento foi atacado em solução alcalina (NaOH, 5M) para retirada de ácidos húmicos (0,1% de sedimento seco em água destilada). O ataque consistia na adição de 20mL de NaOH e depois a amostra ficava 1 hora na mesa agitadora. Esse procedimento foi repetido quantas vezes foram necessárias para a total retirada dos ácidos húmicos (até o sobrenadante ficar transparente).

Após o ataque alcalino, a amostra era lavada e se adicionava 50mL de água destilada para o preparo dos extratos.

Esses extratos foram filtrados em filtros de acetato de celulose 25mm (Millipore), previamente secos e pesados. Após a filtragem, os filtros eram novamente secos e pesados, a fim de se obter a massa de sedimento que ficou no filtro.

Os filtros foram então colados, com acetato de etila, em lâminas de acrílico. Tem-se então uma lâmina com a área do filtro e massa do material analisado conhecidos, permitindo a determinação da concentração dos elementos estudados, bem como medida de forma e

tamanho destas partículas através de programa de análise de imagem acoplada a microscópio ótico de imagem refletida e transmitida, acoplado a sistema de análise de imagem da National Instruments.

5.5 DETERMINAÇÃO DAS IDADES DAS SEÇÕES SEDIMENTARES E TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

As amostras secas foram armazenadas e pesadas em placas de Petri de 70 mL. Como a quantidade de amostra era insuficiente, não foi possível completar toda a placa de Petri com sedimento. Deste modo, adicionou-se amostra até atingir uma altura de 3 mm, com o objetivo de obter o mesmo volume para todas as amostras.

Em seguida as placas de Petri foram lacradas e enviadas para o laboratório de Radioeocologia e Mudanças Globais (LARAMG), na UERJ, para a determinação da atividade do ^{210}Pb e ^{226}Ra.

As amostras foram contadas individualmente por 24 h em detector de raios gama de alta resolução, modelo CANBERRA GX2018; Eficiência relativa de 20%; Resolução de 1,8 keV (FWHM) para 1,33 MeV e 0,850 keV (FWHM) para 122 keV, contando a emissão de raios gama do 210Pb em 46.5KeV e do 137Cs em 661KeV. A atividade do 210Pb suportado foi determinada através da quantificação do radioisótopo 226Ra, considerando equilíbrio secular entre estas duas espécies. A taxa de acumulação de sedimentos (g.cm-2.ano-1) foi calculada a partir da equação: S x _ onde S é a taxa de sedimentação (cm.ano-1) e _ é a densidade aparente (g.cm-3).

5.6 ANÁLISE MINERALÓGICA DO SEDIMENTO

As análises por espectrometria de infravermelho serão feitas pela transformação de Fourier (Bertaux, 1998). Esta técnica é baseada na proporcionalidade entre a absorbância e a concentração de moléculas no espectro infravermelho.

5.7 DERIVADOS DE CLOROFILA EM SEDIMENTOS

A partir da análise dos pigmentos derivados de clorofila (Swain,1985) no sedimento é possível reconstituir a alterações paleolimnológicas ocorridas nos ambientes estudados.

Para a extração dos pigmentos foi utilizado 1,0g de peso úmido de amostra. Adicionou-se 20 ml de acetona 90 % agitando-se por 20 minutos em ambiente semi-escuro por duas vezes consecutivas centrifugando e retirando-se o sobrenadante. A terceira extração realizou-se com 10 ml de acetona e os extratos apresentaram volume final de 50

ml. Uma alíquota de 10 ml foi separada e medida a absorbância em 667 nm para derivados da clorofila, 750 nm para derivados da bacterioclorofila. Outros compostos devem também contribuir aos picos de absorbância na leitura dos derivados da clorofila e bacterioclorofila, uma correção para o "background" de absorbância e subtraída dos picos de clorofila por uma curva de linha base feita entre 500 nm e 800 nm para eliminar a absorbância de componentes não clorofilados (Wetzel, 1970) (figura 17) .

Como as estruturas e, portanto, as massas atômicas dos produtos de degradação da clorofila não são conhecidos, os resultados não podem ser expressos em peso por unidade de peso do sedimento, mas em termos de unidades arbitrárias. As concentração de pigmentos são expressos como: Unidade de Derivados de Pigmentos Sedimentares (UDPS) por grama de matéria orgânica (Vallentyne, 1955). Uma UDPS e igual a uma absorbância de 1,0 em uma célula de 10 cm em 100 ml de solvente em 1,0 grama de matéria orgânica.

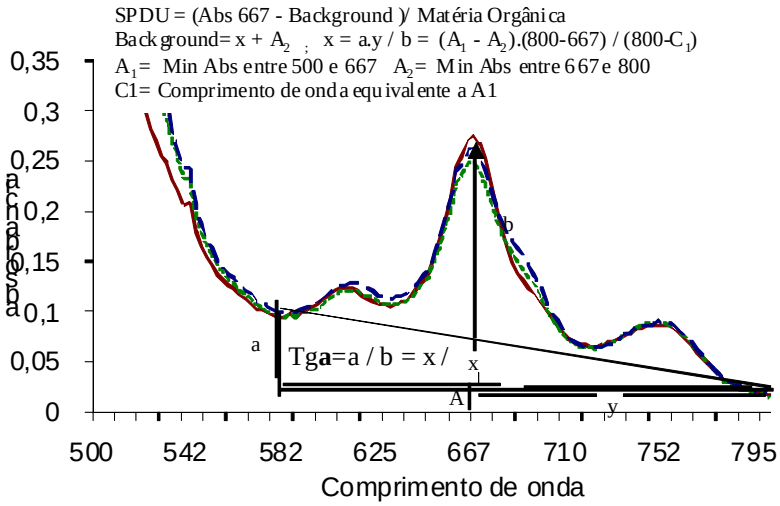

Figura 17: Espectro de absorção da clorofila sedimentar mostrando o pico da clorofila e o procedimento de cálculo para a linha de base correspondente

5.8 DETERMINAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NITROGÊNIO TOTAL E ISÓTOPOS (^{13}C e ^{15}N)

As amostras foram maceradas, pesadas e acondicionadas em cápsulas de estanho. Posteriormente foram enviadas para o *UC Davies Stable Isotope Facility, Departament of Agronomy*, Estados Unidos, onde os teores de carbono orgânico total e nitrogênio total depositados ao longo do testemunho foram avaliados através de um analisador automático CHN. Assim como a análise dos isótopos ($\delta\ ^{13}C$ e $\delta\ ^{15}N$) que foram determinados por espectrometria de massa acoplado ao CHN.

5.9 DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn, V).

O procedimento de dissolução das amostras foi efetuado através de ataque ácido (3 mL HF 48% + 9 mL HNO3 65% + 5 mL HCl 37%) de aproximadamente 1 g de sedimento seco. As amostras foram levadas ao microondas (modelo Mars , 40 tubos), segundo a metodologia EPA 3052. As concentrações dos elementos nos extratos ácidos foram determinadas por espectrometria de emissão ótica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) com colaboração do Prof Dr. Ricardo Erthall Santelli.

5.10 DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO

Para a extração de Hg foi retirada uma alíquota de aproximadamente 0,5 g de amostra previamente seca e macerada e colocada em um erlenmeyer de 125mL com dedo frio. Foi então adicionada uma solução de 20 mL de água régia 50% (HNO_3; HCl; H_2O, na proporção 1:3:4). As amostras ficaram em banho maria a 60°C durante uma hora.

A leitura da concentração de mercúrio é feita a partir do analisador Bacharach modelo COLEMAN – 50D, que utiliza a técnica de espectofotometria de absorção atômica por arraste de vapor frio.

De cada extrato foi retirada uma alíquota de 0,1 e 5 mL a qual foi adicionada 15 mL de água destilada. Durante a análise foi adicionada ainda ao extrato diluído uma solução de 5 mL de cloreto estanoso ($SnCl_2$) para redução do Hg^{2+} para Hg^0, que é gasoso. O mercúrio na forma de vapor é transportado até a célula de absorção pela bomba aeradora acoplada ao equipamento e então a concentração de mercúrio é dada na forma de absorbância.

A validação das medidas foi realizada através da análise simultânea de sedimento de referência San Joaquim, de 1,4 $\mu g.g^{-1}$, e a determinação do limite de detecção foi realizada através de desvio padrão obtido na leitura dos brancos analíticos.

5.11 PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS LANDSAT

O levantamento histórico das imagens Landsat (sensore MSS e TM) compreendeu o período de 1975 a 2008. Num primeiro momento, as imagens foram georeferenciadas na projeção UTM/SAD69 utilizando-se como referência as imagens Landsat de referência disponíveis no site da NASA (https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid) com acurácia de ± 50 metros. Em seguida, composições coloridas com as bandas 3, 4, 5 (para o sensor TM) e composições coloridas com as bandas 4, 5, 6 (para o sensor MSS) foram geradas. Esse tipo de composição mostra mais claramente os limites entre o solo exposto e água, com a vegetação mais

discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa no caso do sensor TM (vegetação: verde; solo exposto: rosa; água: preto), e em tonalidade de vermelho e cyan no caso do sensor MSS (vegetação: vermelho; solo exposto: branco e cyan; água: preto). O processamento das imagens foi efetuado com o software Envi 4.2, programa específico para manipulação e processamento de imagens de satélites. Essa análise foi efetuada pelo Dr. Eduardo Negri de Oliveira especialmente para esse trabalho.

6 ESTUDO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA EM UMA REGIÃO DE INTENSA ATIVIDADE HUMANA –ALTA FLORESTA /MT.

A região de Alta Floresta, situada na porção norte do estado de Mato Grosso, vem sofrendo desde a metade da década de 1970 intensos impactos devido à ação humana. Dentre as principais atividades de mudança do uso da terra na região, podemos citar: construção de estradas e desenvolvimento de áreas urbanas, garimpo de ouro e agropecuária.

Os objetivos principais desse estudo são: verificar como esse processo de substituição da vegetação florestal por outras coberturas de solo ocorreu ao longo do tempo e analisar a freqüência, intensidade e localização dos incêndios florestais.

Foram coletados 7 testemunhos nos arredores da cidade de Alta Floresta, em áreas semelhantes (áreas que foram alagadas por conseqüência da construção de uma estrada ou que já eram alagadas antes da construção das estradas, mas sofreram um processo de ampliação da área alagada) e receberam o mesmo tipo de tratamento. Os testemunhos foram abertos em campo e fatiados a cada 2 cm. Posteriormente foram acondicionados em freezer no Departamento de Geoquímica da UFF. As determinações de teor de água e densidade foram realizadas o mais rápido possível, a fim de minimizar as perdas de água das amostras, entretanto, alguma perda pode ter sido sofrida.

Além disso, foram feitas análises de granulometria, análises microscópicas de carvão, determinação de Hg, Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn, V e análise da matéria orgânica, por determinação de carbono total, nitrogênio total, ^{13}C e ^{15}N, para todas as amostras. As idades foram determinadas por medição da atividade de ^{210}Pb e foram feitas análises das imagens de satélite dos pontos de coleta e mosaicos englobando a região com os sete pontos de coleta.

Apesar de todas as análises terem sido feitas para todos os testemunhos coletados, apenas 4 testemunhos serão utilizados no presente documento. Os testemunhos WNW 100,

WSW 100 e SSW 150 apresentaram problemas em relação à cronologia e/ou em aspectos texturais que impossibilitaram a discussão dos resultados geoquímicos. Os pontos de coleta desses testemunhos serão utilizados apenas para integrar a discussão sobre a mudança do uso da terra em toda a região, na forma de mosaicos de imagens de satélite.

6.1 RESULTADOS

6.1.1 Análise geral das mudanças do uso da terra de 1975 a 2008 na região de Alta Floresta/MT.

Para a realização desse estudo, foram utilizadas diversas imagens de satélite LANDSAT da região. Essas imagens foram tratadas conforme metodologia descrita anteriormente e servem como base para a discussão da evolução das mudanças do uso da terra.

A figura 18, de agosto de 1975, fornece uma visão geral de toda a área de estudo (cobrindo os sete testemunhos coletados), antes do início da forte ação antrópica no local. Observa-se a presença de floresta ombrófila densa totalmente preservada em praticamente toda a região.

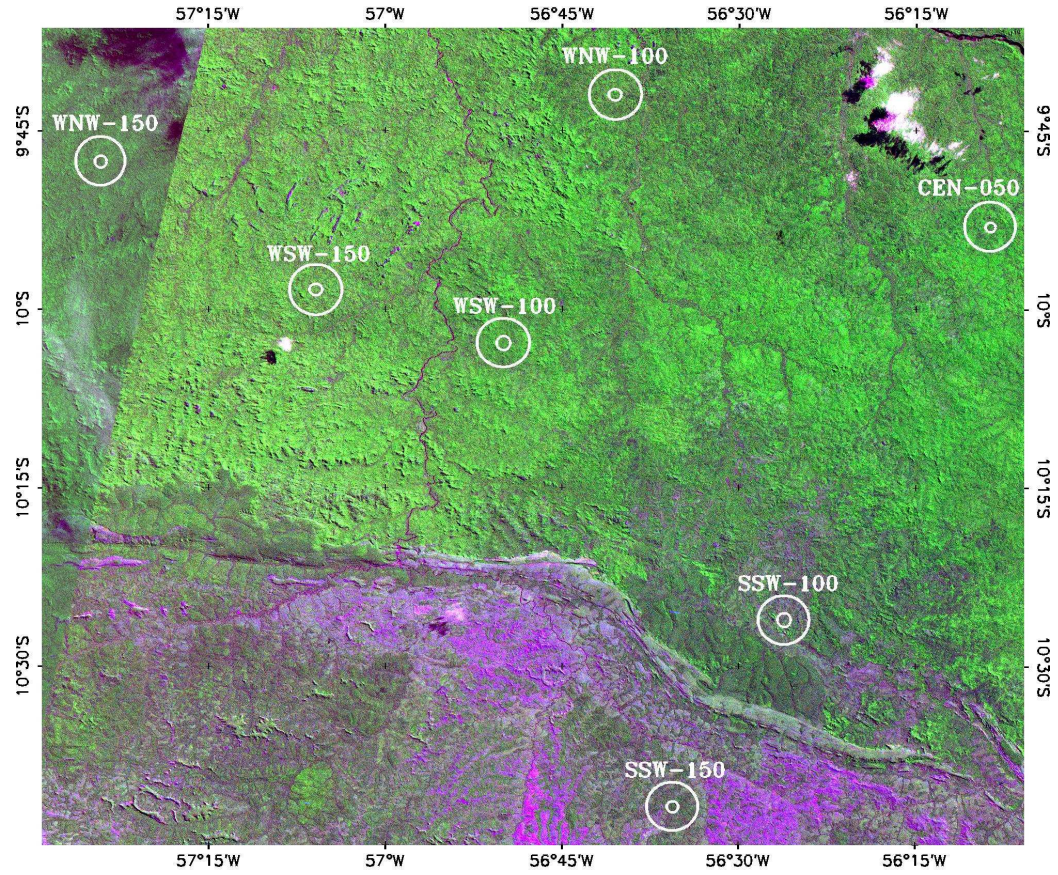

Figura 18 – Mosaico Imagens Landsat Sensor MSS (Banda 6,4,5), Agosto/1975.

A figura 19 apresenta o mosaico de todos os pontos de coleta a partir de uma imagem gerada em junho de 1984, e já podemos observar diversas áreas desmatadas (representadas pela cor rosa na imagem). Percebe-se que o desmatamento na sua forma mais peculiar na Amazônia é iniciado nos arredores do ponto de coleta LCEN050, que representa o ponto mais próximo ao centro da cidade de Alta Floresta. Vemos nitidamente (e também será mostrado em mais detalhes posteriormente) que o tradicional esquema de desmatamento “espinha de peixe” é o modelo observado na região.

A partir da construção de uma estrada principal, que provoca um desmatamento inicial, surgem diversas outras estradas, que vão ampliando a área desmatada. A partir da construção das estradas é possível fazer extração de madeira e escoar esse produto, desenvolver atividades de garimpo (possibilita a chegada de máquinas e trabalhadores e o escoamento da produção), expandir a área de agropecuária e construir núcleos urbanos.

É importante ressaltar que estamos tratando de grandes distâncias e, portanto uma imensa área de floresta foi perdida ao longo desse período. O desmatamento avançou, prioritariamente, a partir do ponto LCEN050 em direção aos pontos WNW 100 e WSW 100, entretanto diversos outros núcleos de desmatamento surgiram em paralelo em outras regiões. Próximo ao ponto WSW 100 observa-se uma imensa clareira na floresta, e várias parcelas menores são notadas em toda área, principalmente próximo ao ponto WSW 150. As regiões próximas aos pontos SSW 150 e WNW 150 são as que mantêm as menores taxas de desmatamento, por serem as regiões mais afastadas do centro da cidade de Alta Floresta.

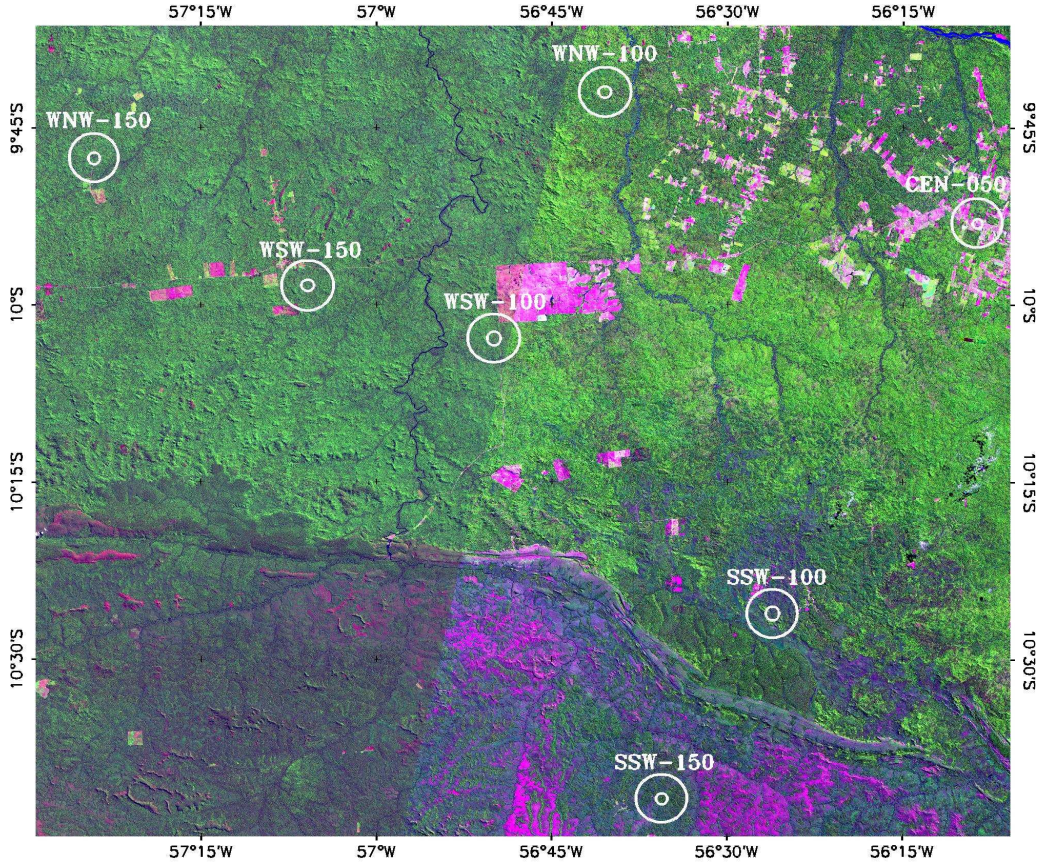

Figura 19 – Mosaico Imagens Landsat Sensor TM (Bandas 3,4,5), Junho/1984.

A figura 20 representa a região de estudo em uma imagem de agosto de 2008, e mostra que grande parte da região já se encontra desprovida de sua cobertura vegetal original. De maneira geral, já se torna muito difícil distinguir parcelas desmatadas isoladas. A região entre os pontos de coleta LCEN 050, WNW 100, WSW 100 e SSW 100 já se encontra praticamente toda desmatada, com apenas alguns pequenos fragmentos florestais. Observa-se também um novo núcleo de desmatamento entre os pontos WSW 150 em direção ao ponto WNW 150, de maneira que se não forem tomadas medidas urgentes de redução do desmatamento, esses remanescentes florestais irão desaparecer em pouco tempo. O ponto SSW 150 exibiu a região mais preservada de toda a área de estudo, entretanto, vários pontos de desmatamento já são verificados no seu entorno.

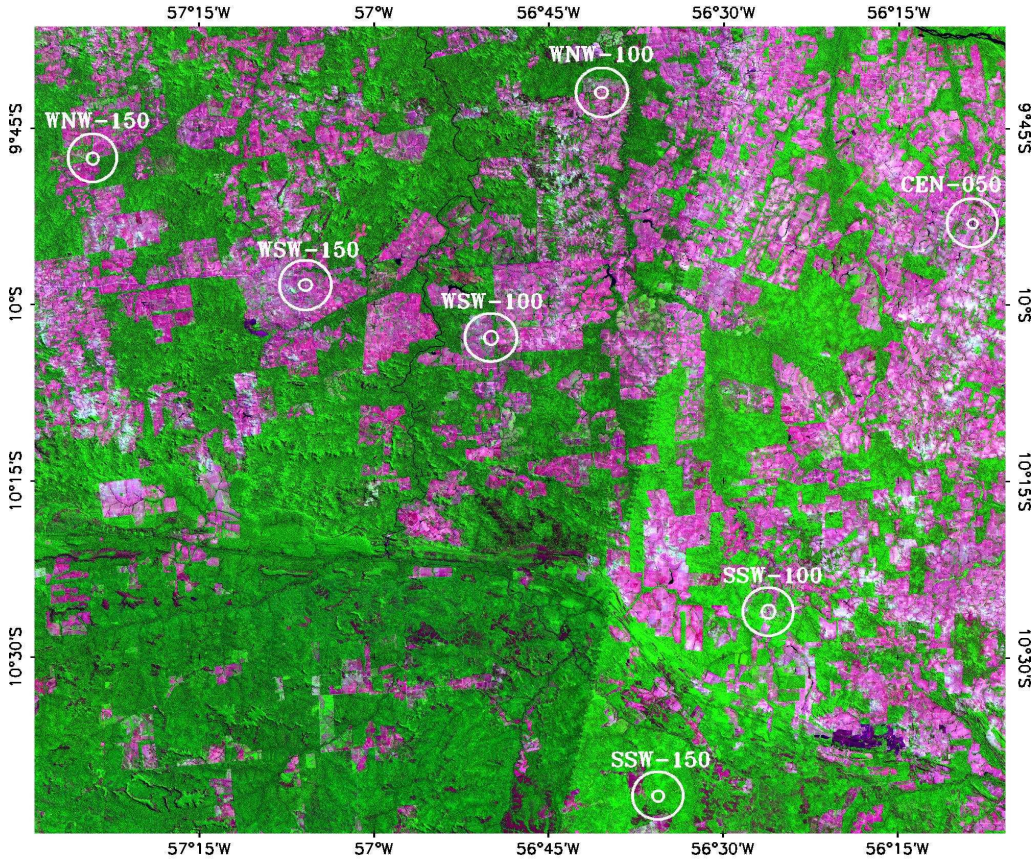

Figura 20 – Mosaico Imagens Landsat Sensor TM (Bandas 3,4,5), Agosto/2008.

A partir dessa análise geral, será apresentada uma análise individual de cada testemunho, com a discussão dos dados geoquímicos obtidos.

6.1.1.1 ***Testemunho LCEN050***

6.1.1.1.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno*

Esse testemunho foi coletado em uma região próxima ao centro da cidade de Alta Floresta em uma região adjacente a uma estrada. Com o intuito de verificar o ano referente à construção da estrada e as condições do ponto antes da construção da mesma, foram feitas análises de diversas imagens de satélite.

A figura 21 mostra que na cena de 23/06/1975 a região não apresentava nenhuma estrada, mas na cena de 30/05/1976, já se observa claramente a estrada passando pelo ponto de coleta. Portanto, pode-se afirmar que a estrada foi construída em algum momento entre essas duas datas. Devido à escassez de imagens boas da época, ao fato de que a construção da estrada é um evento que se prolongou durante um certo tempo e à precisão não muito alta do registro sedimentar, vamos considerar como a data de construção da estrada o ano de 1976. Observa-se também que o ponto de coleta já era uma região alagada antes da construção da estrada, mas após esse fato, houve um aumento na área alagada. À esquerda observa-se uma cena de agosto de 2008, que mostra o imenso crescimento do desmatamento na região, e o incremento ainda maior da área alagada.

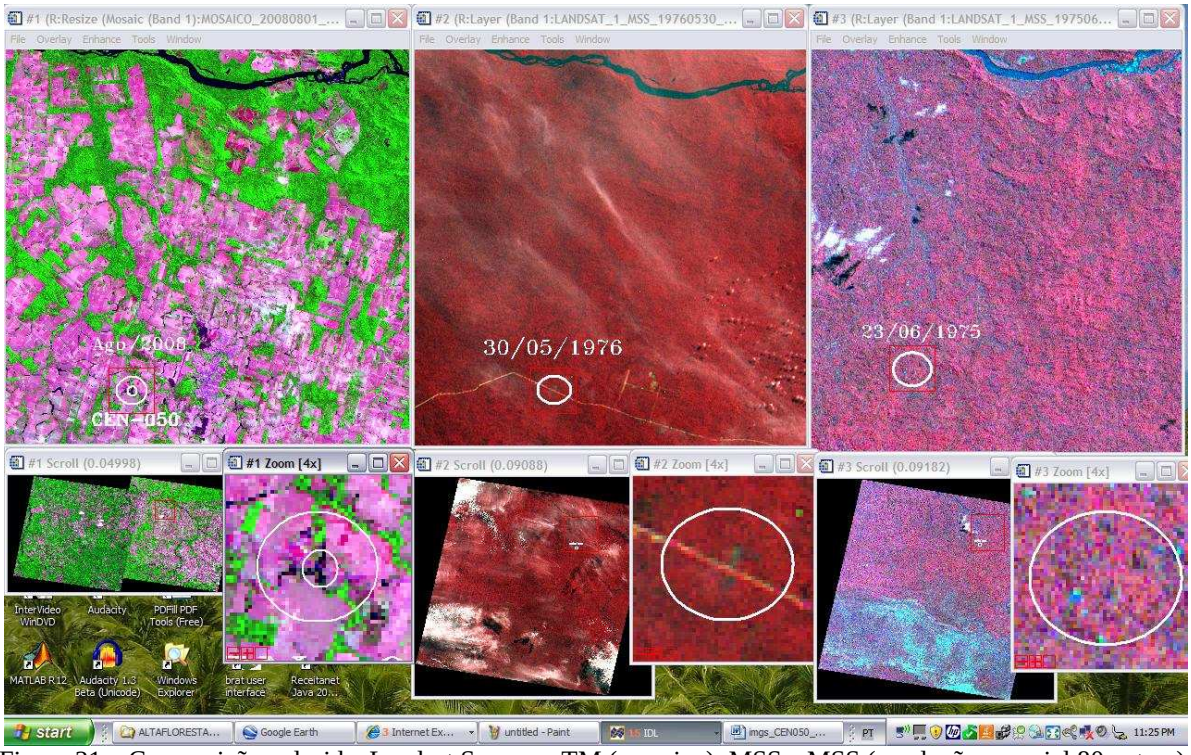

Figura 21 – Composição colorida, Landsat Sensores TM (mosaico), MSS e MSS (resolução espacial 80metros)

A figura 22 mostra a evolução do desmatamento na região após a construção da estrada principal, em 1976. Já na cena de 1977, observa-se um grande número de estradas secundárias e terciárias, que provocam o aumento no desmatamento, entretanto, ainda em taxas lentas. Já na cena de 1979, verifica-se que o desmatamento cresceu rapida e descontroladamente, com a construção de uma malha rodoviária. Portanto, pode-se definir que em 1976 ocorreu a construção da estrada principal da região, entretanto o desmatamento foi evoluindo de forma gradativa, até se tornar intenso a partir de 1977/1978. Pela análise conjunta de dados históricos sobre a construção da cidade de Alta Floresta e as imagens de satélite apresentadas, optou-se por considerar o ano de 1978 como o marco para o agravamento do desmatamento nessa região.

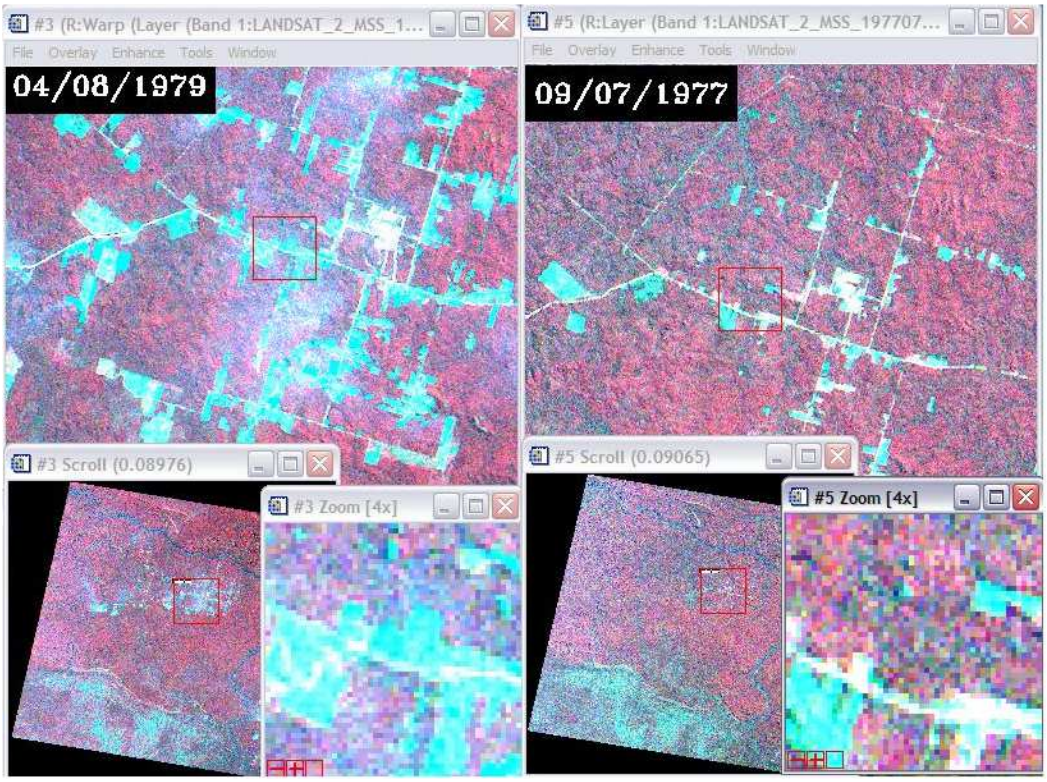

Figura 22. Composição colorida, Landsat Sensores TM(mosaico), MSS e MSS (resolução espacial 80metros).

O desmatamento permanece em ritmo intenso na região durante toda a década de 1980 e 1990, e o ponto de coleta tem a sua área alagada durante todo o período como mostra a figura 23.

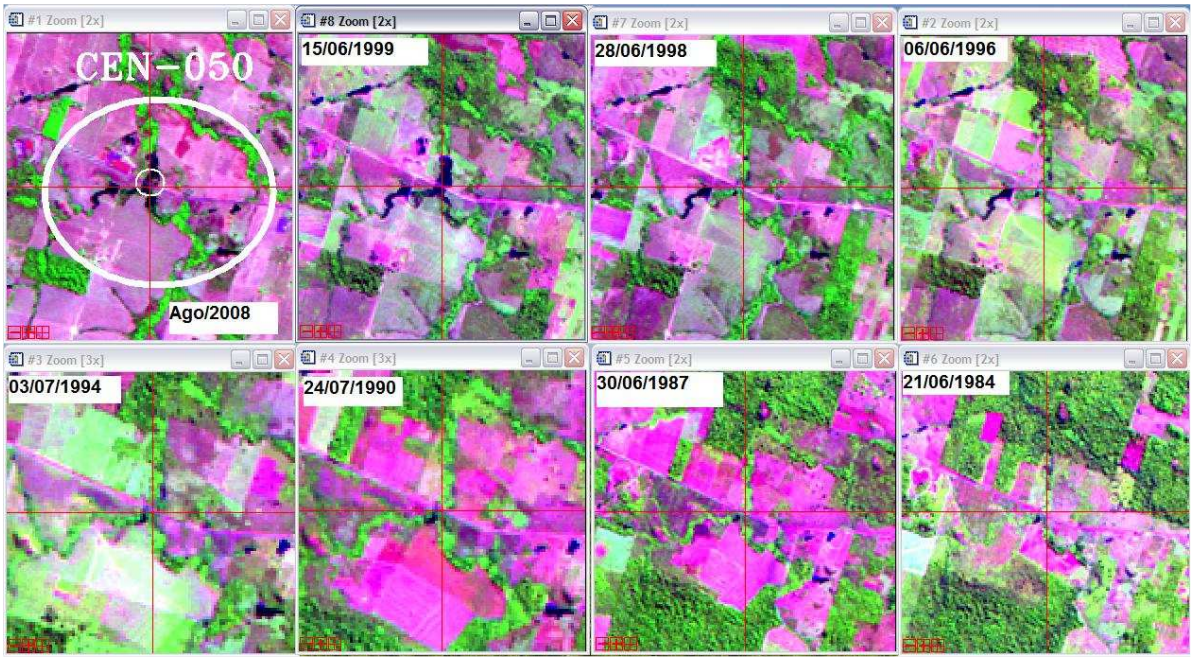

Figura 23 – Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolução espacial 30m). Zoom da região adjacente ao local de coleta do testemunho CEN-050, período de 1984 a 1999 (incluindo o mosaico de Ago/2008).

6.1.1.1.2 *Densidade, teor de água e granulometria do testemunho LCEN050*

O teor de água apresenta um aumento de 40% para 50% da base do testemunho até 35 cm e a partir dos 35 cm, uma tendência a diminuir, atingindo 32% em 19 cm. A partir dessa profundidade é registrada uma nova tendência de aumento, até atingir 50% em 13 cm e a partir de então até o topo do testemunho os valores se mantêm entre 45% e 50%, como indica a figura 24.

O comportamento oposto é verificado para a densidade: da base até 35 cm, os valores diminuem de 0,75 g/cm^3 para 0,6 g/cm^3 e a partir de então registram um aumento até os 19 cm (0,9 g/cm^3). Dos 19 cm até 13 cm os valores decrescem até atingirem 0,65 g/cm^3 e se mantêm entre 0,6 g/cm^3 e 0,8 g/cm^{3}até o topo do testemunho.

Da base do testemunho até 33 cm observa-se grande concentração de sedimentos grosso, e uma grande variação é registrada a partir de 31 cm, passando a ter uma maior entrada de sedimentos finos. A partir dessa profundidade não são registradas mais grandes alterações na granulometria e não há mais entrada de areia. Por esses dados, é possível sugerir que ocorreu uma significativa mudança na energia do sistema, no intervalo entre 35 e 31 cm.

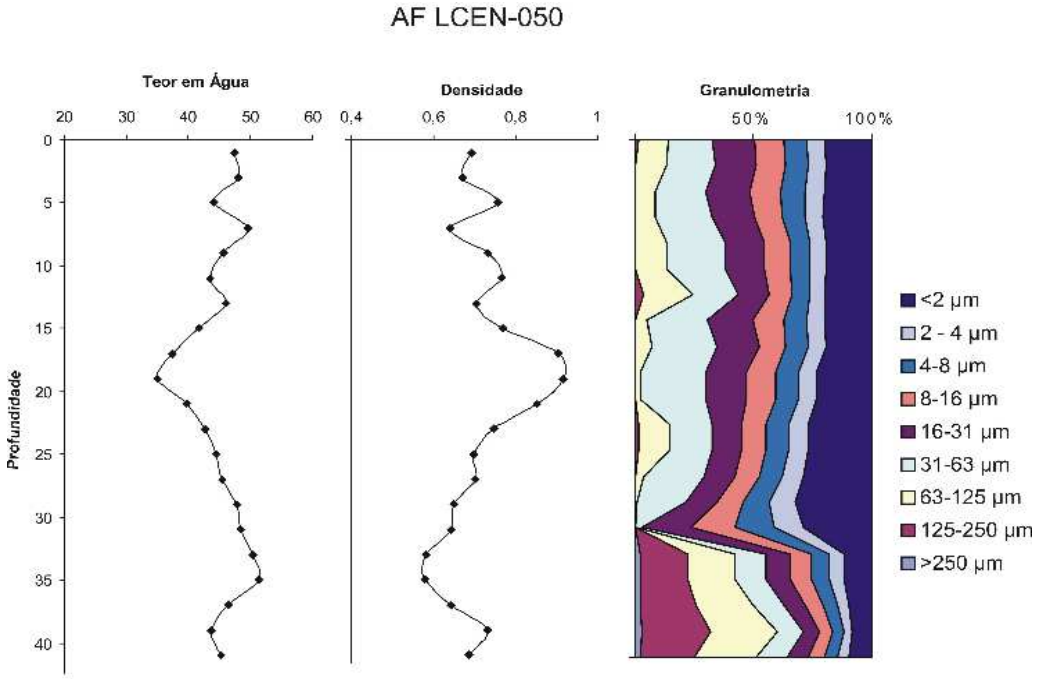

Figura 24: Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho LCEN050.

6.1.1.1.3 *Determinação das idades sedimentares e taxas de sedimentação.*

Para determinar as idades das amostras do testemunho LCEN050, foi feita a determinação das concentrações de ^{210}Pb em excesso. Entretanto, os valores de ^{210}Pb em excesso não apresentaram o perfil de decaimento típico de um testemunho de sedimento, apresentando um aumento dos valores na base, em relação ao valores acima (figura 25). Esses dados nos levam a crer que houve uma mudança significativa no ambiente nesse intervalo do testemunho. Por isso, as idades foram calculadas a partir de uma análise combinada dos dados de ^{210}Pb com as imagens de satélite, os dados de deposição de carvão, a granulometria e a matéria orgânica.

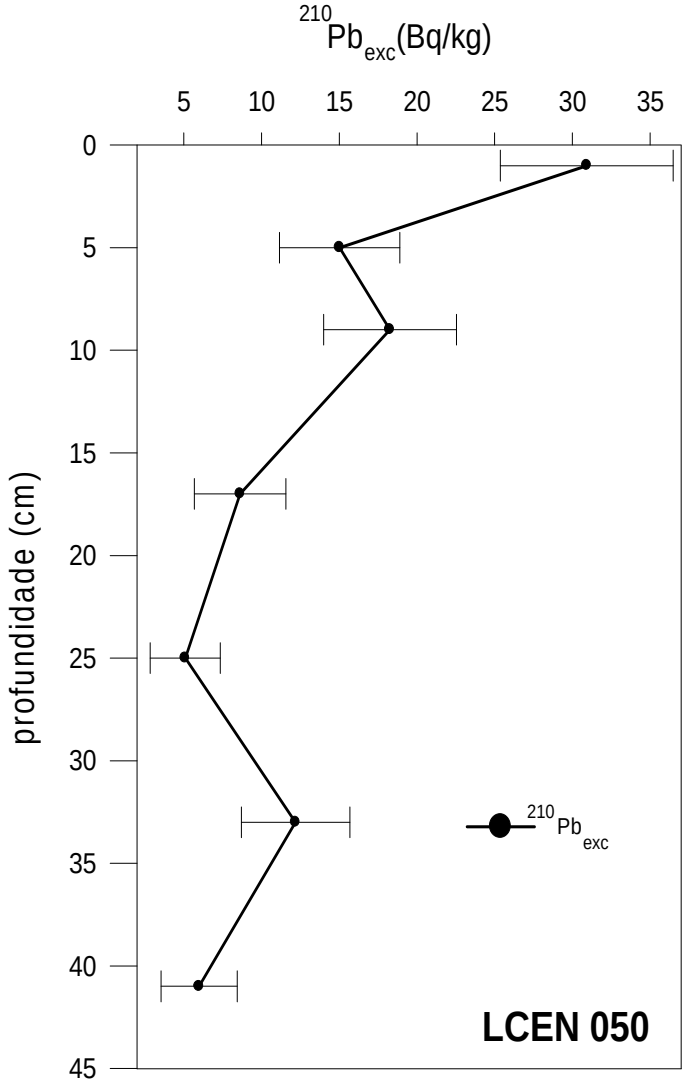

Figura 25. Perfil de decaimento de ^{210}Pb para o testemunho LCEN 050.

A partir de todos esses resultados, optou-se por considerar como a zona de sedimentação do testemunho LCEN050, a parte do testemunho de 31 cm até o topo. Apesar de não terem sido feitas as determinações de ^{210}Pb para as amostras 27, 29 e 31cm, consideramos, a partir da interpretação dos resultados da matéria orgânica, que a zona de sedimentação ocorreu a partir da profundidade 31cm, a uma taxa de sedimentação constante de 0,44cm/ano (figura 26). O cálculo das idades nos permitiu identificar a profundidade referente ao ano de 1978 (aproximadamente 12 cm), ano que remete ao início da colonização humana na região de Alta Floresta, e a partir daí tentar identificar as possíveis alterações decorrentes desse evento.

Com os valores da taxa de sedimentação, é possível calcular o fluxo de deposição de cada elemento por unidade de área em um determinado período de tempo, bastando multiplicar a concentração, pela densidade, pela taxa de sedimentação (fluxo = concentração x densidade x taxa de sedimentação).

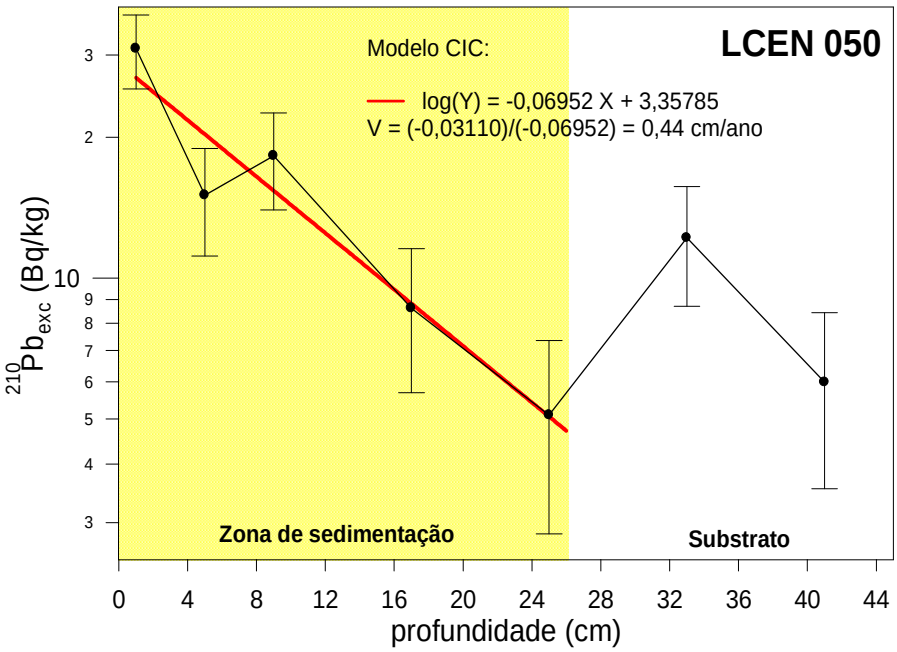

Figura 26. Modelo de sedimentação para o testemunho LCEN050.

6.1.1.1.4 *Concentrações de carbono orgânico total e nitrogênio total; razão CN; e composição isotópica do carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).*

Os valores de carbono orgânico total e de nitrogênio total são extremamente baixos da base até 35 cm (menores que 0,25% e 0,03%, respectivamente). Após esse ponto, observa-se um brusco aumento nas concentrações desses dois elementos (aumento de 204% para o carbono e 100% para o nitrogênio), para a amostra imediatamente acima (33 cm). As concentrações continuam aumentando em grande escala (142% para o Carbono e 115% para o nitrogênio) na amostra acima (31 cm), e a partir desse ponto, os valores se mostram relativamente estabilizados (com pequenas variações, mas sem grandes alterações nas tendências dos valores), como mostra a figura 27.

Os valores da relação C/N apresentam um aumento após 35 cm de profundidade, passando de valores abaixo de 7 para valores acima de 10, mantendo-se assim até o topo do testemunho e indicando um aumento do aporte de material de origem ligno-celulósico.

Os resultados dos isótopos de ^{13}C e ^{15}N mostram tendências e variações muito similares entre si e em comparação aos perfis de COT, NT e C/N, com aumento da base até 35 cm e estabilização após 31cm, com a zona de mistura bem marcada entre essas profundidades (figura 27).

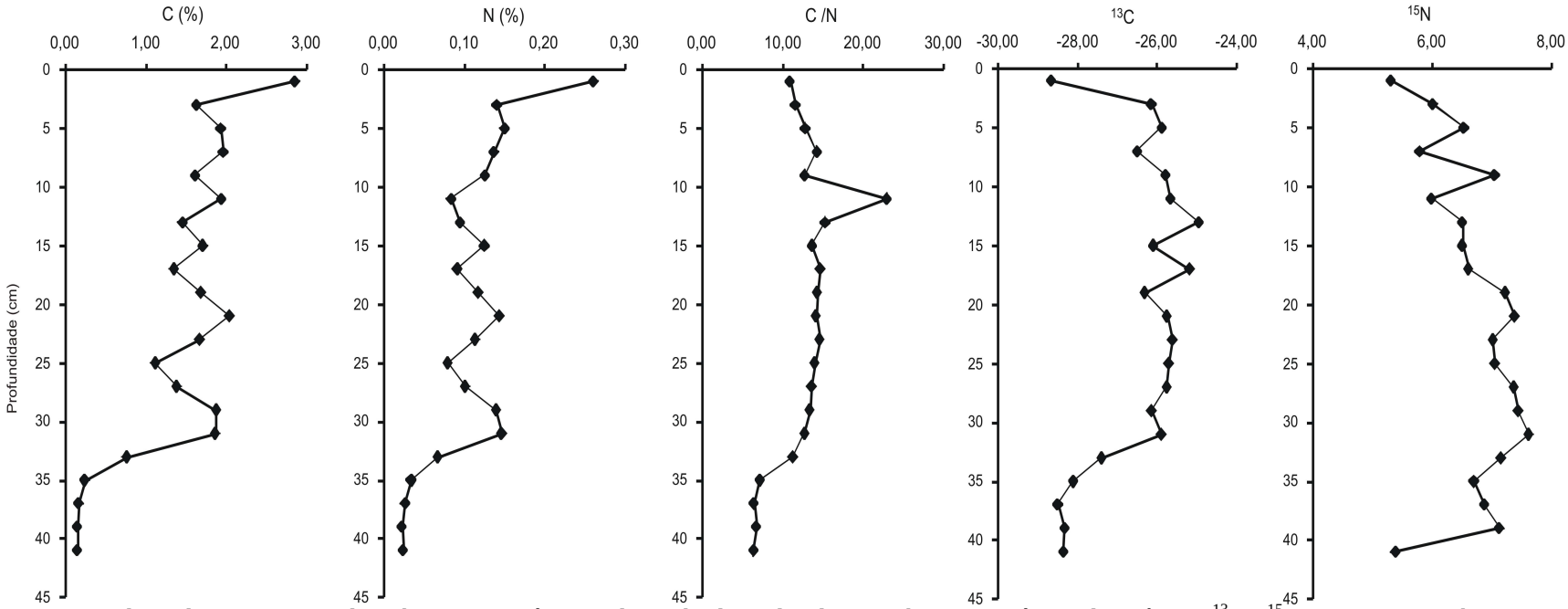

Figura 27. Valores de concentração de carbono e nitrogênio e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N para o testemunho LCEN050.

A partir da descrição dos resultados do testemunho LCEN050, apresentados até então, é possível dividir o mesmo em 3 fases, conforme a tabela 6:

Tabela 6. Divisão do testemunho LCEN050. Valores médios para cada fase.

	Granulometria	*%C*	*%N*	*C/N*	*^{13}C*	*^{15}N*
Fase 3 (topo-31cm)	Ausência de areia	1,75	0,13	14,14	-26,00	6,71
Fase 2 (31-35cm)	Diminuição progressiva da fração areia	0,96	0,08	10,42	-27,13	7,16
Fase 1 (35cm-base)	Grande presença de areia média e fina.	0,18	0,03	6,70	-28,32	6,52

Pelos dados acima, pode-se sugerir que a fase 1 é um ambiente não deposicional, com a presença de areia e baixa concentração de matéria orgânica. A relação C/N baixa combinada com valores mais negativos de ^{13}C sugerem a presença de matéria orgânica proveniente de algas lacustres, conforme mostra a figura 28. Os valores de ^{15}N são os mais baixos do testemunho. Pode corresponder a uma área alagada, porém com pouco volume de água, presença de solo, baixíssimas taxas de sedimentação e produtividade.

A fase 2 é uma zona de transição entre um ambiente não deposicional (da base até 35cm) para um ambiente deposicional. É a região do testemunho que apresenta as mudanças mais acentuadas em relação à fase anterior, para todos os indicadores analisados. A granulometria se torna, gradualmente, mais fina; os valores de %C e %N aumentam, assim como a relação C/N, que combinada com os valores de ^{13}C passa a apresentar influência de uma mistura de fontes (algas lacustres e plantas C_3) com valores mais positivos de ^{13}C, que indica uma tendência a uma alteração da fonte de matéria orgânica (figura 28), que é comprovada pela fase 3.

A fase 3 apresenta maiores proporções de sedimentos finos (silte e argila); são encontradas as maiores concentrações de carbono e nitrogênio do testemunho, a razão C/N apresenta um crescimento significativo (53%), mostrando influência de fontes de matéria orgânica provenientes de algas lacustres e vegetação tipo C3, conforme mostra a figura 28. O ambiente passa a apresentar valores mais constantes, o que indica uma tendência ao equilíbrio.

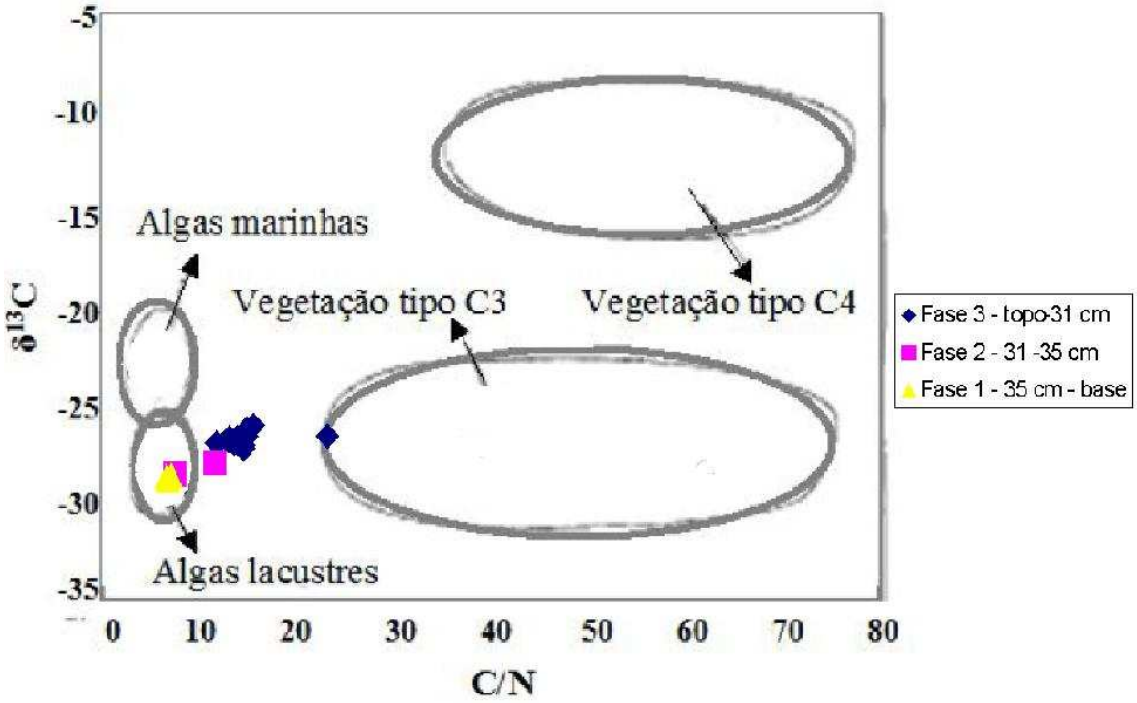

Figura 28. Valores de C/N VS. ^{13}C do testemunho LCEN050 plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte matéria orgânica. Adaptado de Meyers *et al*., 1994.

6.1.1.1.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.*

A figura 29 mostra o comportamento dos fluxos de COT e NT. Entre 31 cm e 25 cm há uma redução no fluxo de carbono e nitrogênio, que passam de 50 g/m^2/ano para 33 g/m^2/ano e de 3,8 g/m^2/ano para 2,2 g/m^2/ano. Após essa profundidade, os valores experimentam um rápido e expressivo aumento, atingindo valores de 75 g/m^2/ano para o fluxo de carbono e 5 g/m^2/ano para o fluxo de nitrogênio, em 21 cm.

Na sequência, ambos os fluxos sofrem uma queda contínua até 13 cm, chegando a valores de 45 g/m^2/ano de carbono e 3 g/m^2/ano de nitrogênio. Essa profundidade é datada como ano de 1978, que registra a consolidação das ações de mudança do uso da terra na região

Em 1978, com a construção de estradas, a região sofreu um novo alagamento, o que promoveu o carreamento de matéria orgânica da bacia para dentro da área alagada, gerando o aumento no fluxo de carbono e nitrogênio de diferentes fontes de matéria orgânica. Esse fato é corroborado pelo expressivo aumento na relação C/N na amostra imediatamente acima (11 cm) da profundidade em que ocorreu o novo alagamento. Essa amostra apresenta relação C/N superior a 23, que combinada com o ^{13}C de -25‰, indica matéria orgânica proveniente de plantas C_3. Os fluxos de carbono e nitrogênio seguem com tendência de aumento, até

atingirem os valores máximos no topo do testemunho (87 g/m^2/ano e 7,9 g/m^2/ano, respectivamente).

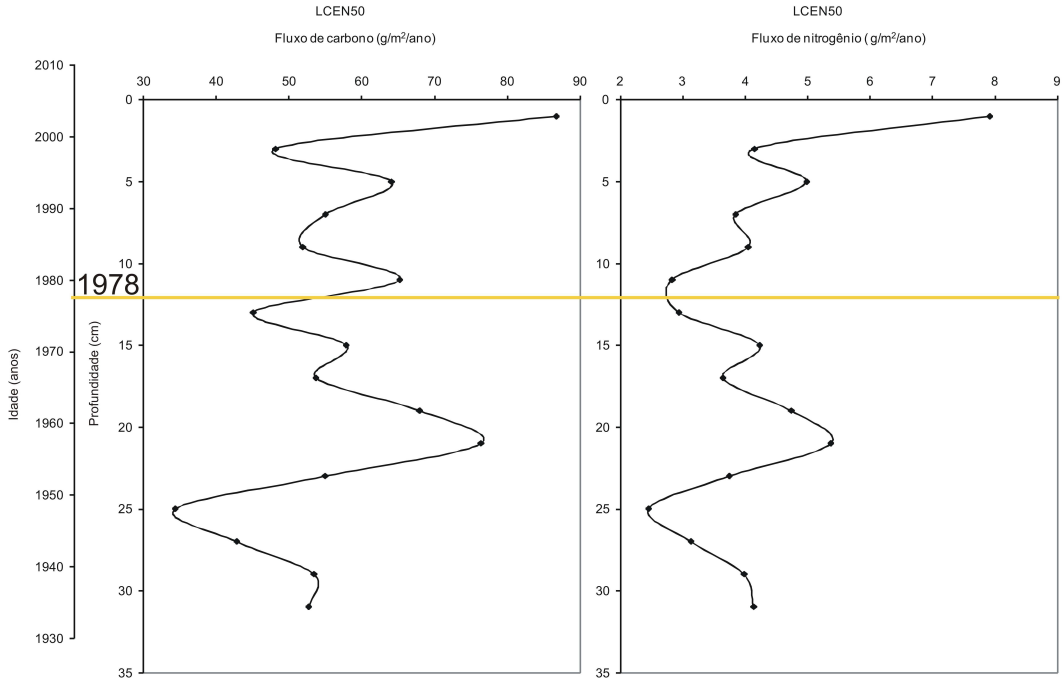

Figura 29. Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho LCEN050.

6.1.1.1.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.*

Os valores de concentração de partículas de carvão (figura 30) mostraram um grande aumento na concentração de partículas de carvão, da base do testemunho até 27 cm, com valores superiores a 4x10^6 partículas de carvão por grama de sedimento. Após essa profundidade há uma redução nos valores, que ficam próximos a 2x10^6 partículas/grama, até aproximadamente 11 cm. Em 9 cm observa-se uma expressiva queda na concentração, mas logo em seguida há um novo aumento e os valores se mantêm sem grandes variações até 5 cm, quando há uma nova queda e um posterior aumento até o topo.

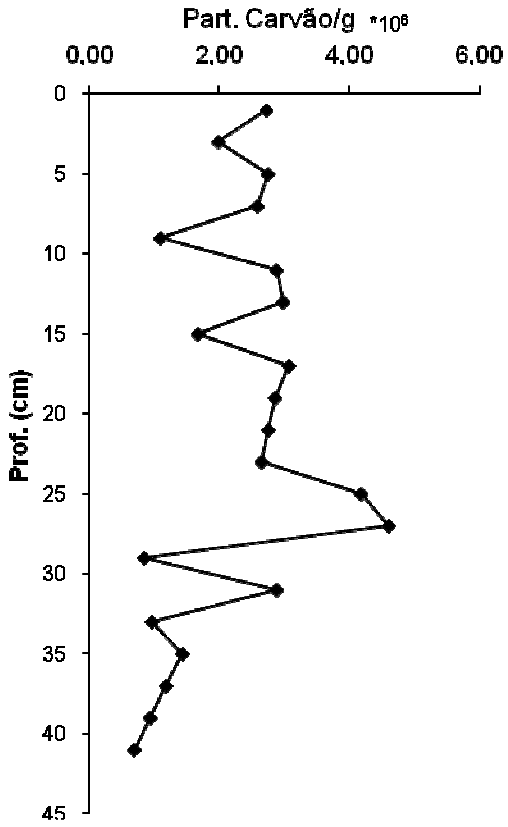

Figura 30. Concentração de partículas de carvão no testemunho LCEN050.

De 31 cm até 25 cm observa-se uma redução nos fluxos de partículas de carvão. A partir dessa profundidade e até 13 cm, observa-se uma contínua, porém suave tendência de aumento. Entre 13 cm e 11 cm, na profundidade correspondente ao ano de 1978, observa-se um forte aumento do fluxo de partículas, que dura até o ano de 1989. No início da década de 1990 observa-se uma brusca redução nos valores, entretanto os mesmo voltam a aumentar e permanecem em tendência de aumento até o topo do testemunho.

O testemunho LCEN050 apresentou um fluxo de partículas de carvão (figura 31) muito mais intenso a partir de 1978, o que significa que a ocupação da região de Alta Floresta provocou um aumento nas taxas de desmatamento da região. Esse indicador nos mostra claramente a divisão da fase 3 em duas novas sub fases: fase 3a (antes do início da ação humana direta) e fase 3b (após o início da ação humana direta na região).

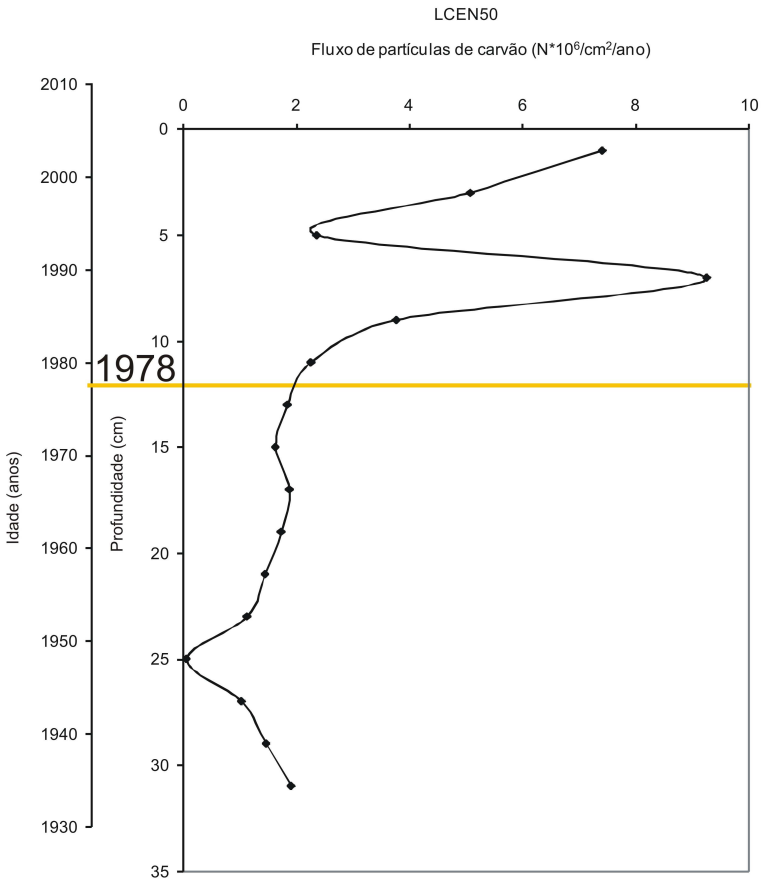

Figura 31. Fluxo de deposição de partículas de carvão para o testemunho LCEN050.

6.1.1.1.7 *Análise de mercúrio.*

A concentração de mercúrio nas amostras de sedimento do testemunho LCEN 050 mostrou, de maneira geral, uma tendência de aumento da base ao topo, onde apresentou valores cerca de 10 vezes maiores (figura 32). Da base até 35 cm os valores se mantêm baixos, sendo que entre 39 cm e 35 cm, se mantiveram praticamente constantes. Entre 35 cm e 31 cm há um forte aumento na concentração, com posterior redução até 25 cm. Em 23 cm observa-se um novo pico e os valores voltam a diminuir em 21 cm, permanecendo praticamente constantes até 9 cm, com exceção de um aumento na profundidade 15 cm. Em 7 cm os valores registram um aumento, se mantêm altos até 3 cm e voltam a diminuir no topo do testemunho.

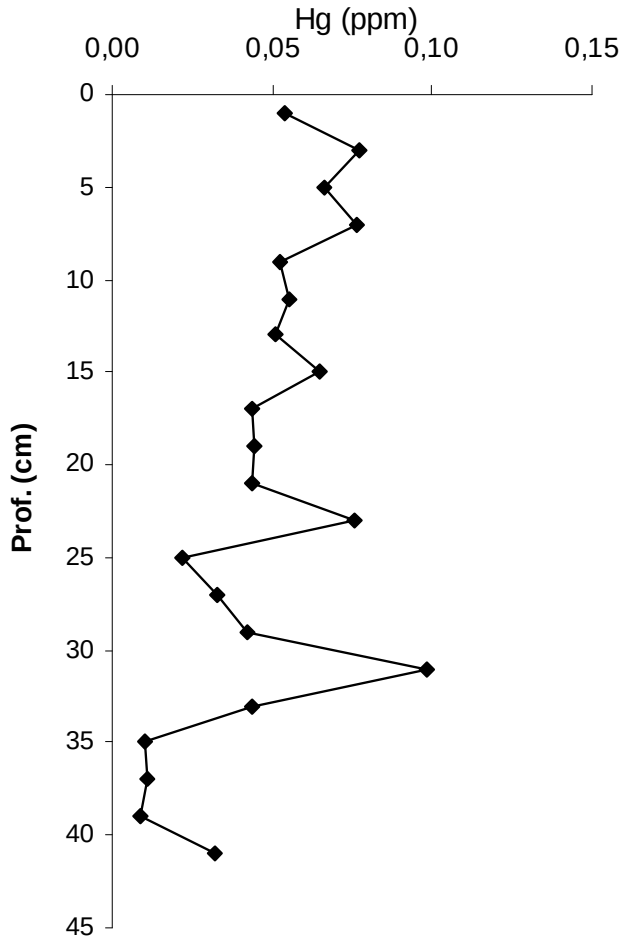

Figura 32. Concentração de mercúrio no testemunho LCEN050.

O fluxo de deposição de mercúrio no testemunho LCEN 050 se mantém praticamente constante e com baixos valores desde 1940 até o início da década de 1970 (figura 33). A partir de então, é apresentada uma forte tendência de aumento dos valores, principalmente entre o final da década de 1970 e o final da década de 1980. No início da década de 1990, observa-se uma redução nos valores, entretanto, um novo aumento é registrado, e a tendência de aumento é observada até o topo do testemunho, onde são verificados os valores mais altos de todo testemunho.

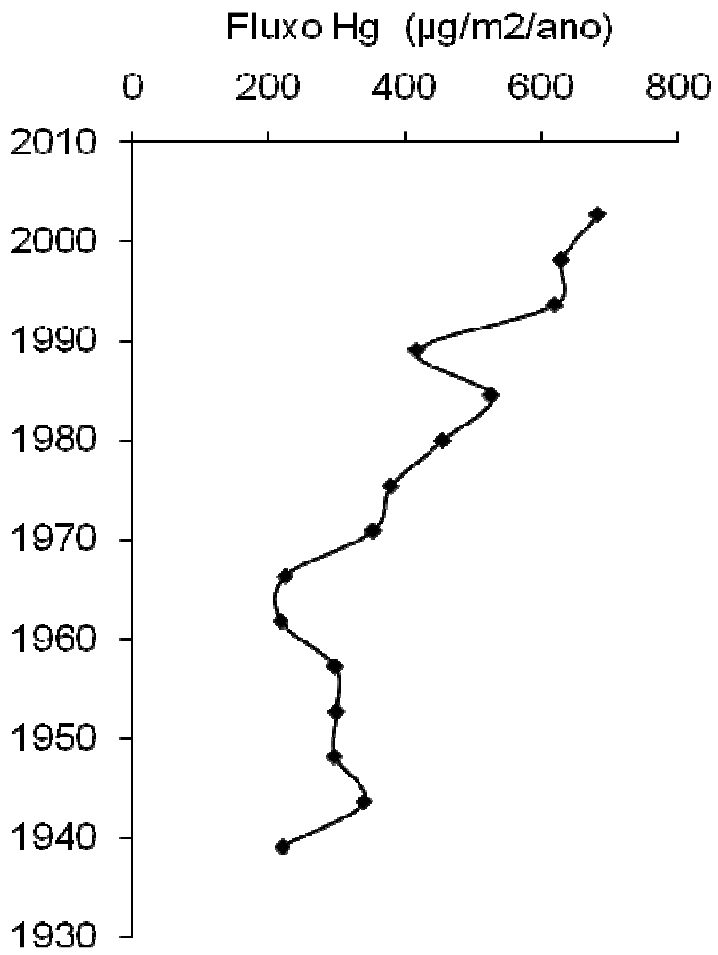

Figura 33. Fluxo de mercúrio no testemunho LCEN050.

6.1.1.1.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço.*

As concentrações dos elementos traço e maiores não exibiram grandes variações entre os períodos antes e depois da ocupação humana para a maior parte dos metais analisados. Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn permaneceram praticamente constantes, e o Ti e V apresentaram uma leve redução. Entretanto, as concentrações de Al e Ba sofreram aumento e as de Hg e Mn aumentaram expressivamente.

Para os demais elementos traço e maiores determinados para o testemunho LCEN050 foi observado de maneira geral que a maior parte dos elementos registrou aumento nos fluxos no período posterior à ocupação humana recente na região, como mostram a figura 34 e a tabela 7. Os gráficos referentes às concentrações desses elementos encontram-se em anexo.

Com a construção de rodovias e conseqüente alagamento da área, houve um grande carreamento de material da bacia para dentro da área alagada, o que explica o aumento do fluxo de elementos maiores, como alumínio, ferro e manganês.

Os elementos traço, principalmente mercúrio, bário, cobalto, e zinco também sofreram aumentos significativos nos seus fluxos, como mostram a figura 34 e a tabela 7. Esses elementos são encontrados em concentrações baixas nos solos da região e, portanto esses aumentos se devem à ação antrópica na região. Com o desenvolvimento da área urbana de Alta Floresta, construção de estradas, mudanças do uso da terra (áreas de florestas para áreas agrícolas e cidades), atividades garimpeiras, desenvolvimento de indústrias (maior parte voltada às atividades agrícolas), esses elementos foram introduzidos no ambiente. O fluxo de titânio, apesar de não ter apresentado diferença significativa em relação aos períodos antes e depois da ocupação humana, vinha apresentando uma tendência de queda antes da ocupação e sofreu uma inflexão na curva, passando a exibir uma tendência de aumento. Como o titânio pode ser proveniente de queimadas, essa mudança no comportamento provavelmente está ligada ao desmatamento na região.

A análise de cluster (figura 35) feita todos os elementos analisados mostra que há uma divisão entre as camadas de sedimento anteriores e posteriores à ocupação humana na região (1978), o que mostra que esses elementos foram introduzidos pelo conjunto de ações antrópicas na região.

Tabela 7. Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho LCEN050.

Fluxos em g/m^2/ano	**Hg**	**Al**	**Ba**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Ti**	**V**	**Zn**
Depois da ocupação humana local (1978)														
Valores máximos	0,0007	31,7898	0,0360	0,0015	0,0457	0,0950	0,0475	85,5051	2,7662	0,0359	0,0686	17,7607	0,2764	0,0756
Valores médios	0,0006	16,3050	0,0309	0,0011	0,0356	0,0834	0,0423	72,7121	1,5015	0,0305	0,0568	16,6441	0,2502	0,0592
Valores mínimos	0,0004	7,2424	0,0222	0,0006	0,0244	0,0661	0,0364	46,0422	0,7029	0,0260	0,0430	14,4484	0,2240	0,0478
Antes da ocupação humana local (1978)														
Valores máximos	0,0004	22,8416	0,0353	0,0023	0,0325	0,1085	0,0518	82,4125	1,0904	0,0369	0,0617	22,7383	0,3087	0,0639
Valores médios	0,0003	13,5919	0,0276	0,0012	0,0266	0,0854	0,0443	70,8010	0,6112	0,0315	0,0543	19,2957	0,2712	0,0541
Valores mínimos	0,0002	8,5093	0,0179	0,0006	0,0213	0,0614	0,0350	56,6420	0,3565	0,0243	0,0407	15,6068	0,2084	0,0398

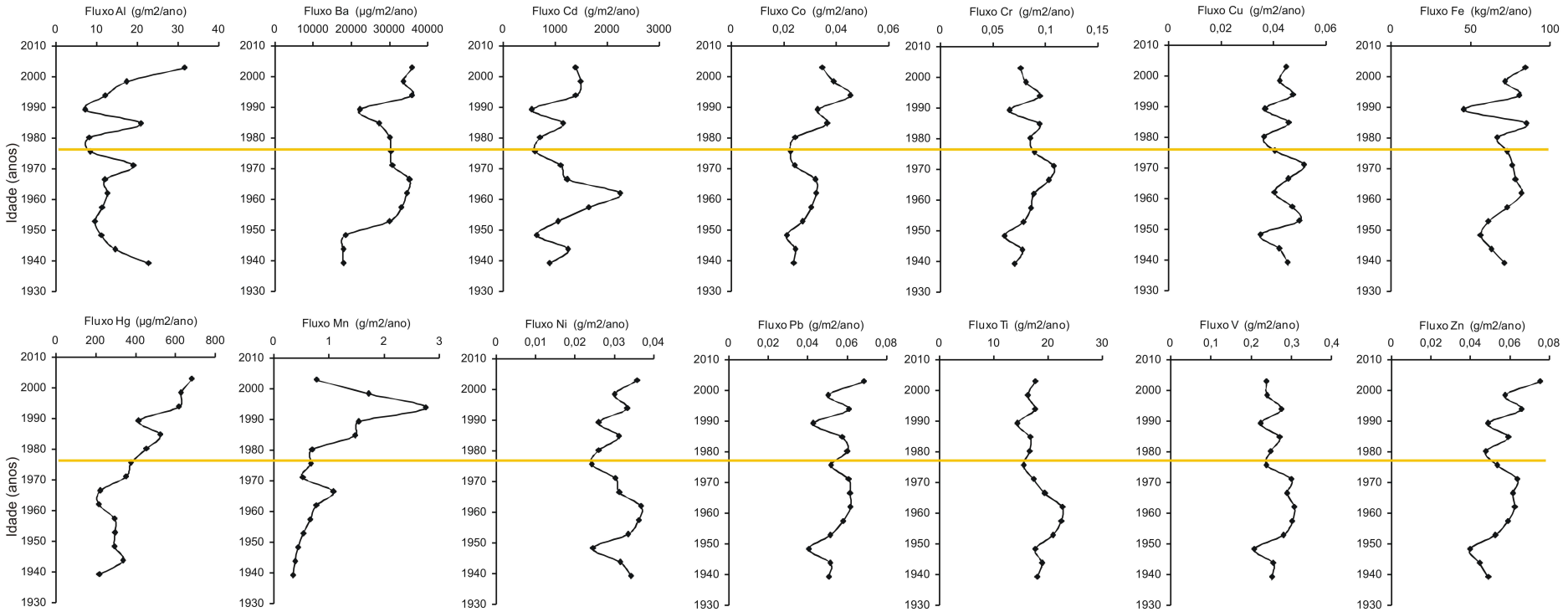

Figura 34. Fluxo de metais do testemunho LCEN050, destacando o período antes (abaixo da linha amarela) e depois (acima da linha amarela) do início da colonização humana da região (1978).

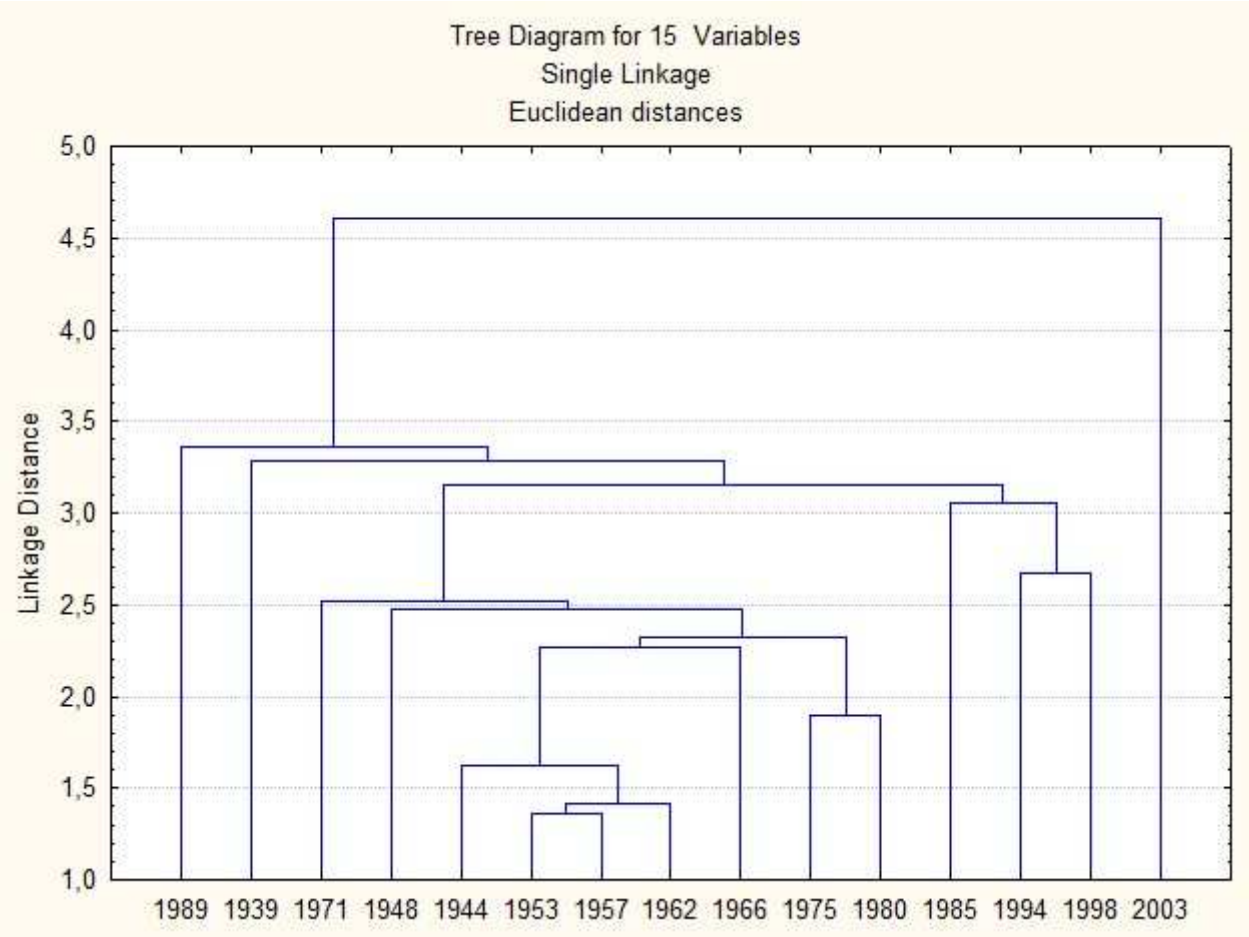

Figura 35. Análise de cluster para as concentrações dos elementos Hg, Ba, Cd, Co, Cu e Pb, mostrando a divisão entre as camadas do sedimento do testemunho LCEN050.

6.1.1.2 ***Testemunho SSW100***

6.1.1.2.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno*

Esse testemunho foi coletado em uma região distante 100 quilômetros na direção sul-sudoeste em relação ao centro da cidade de Alta Floresta. Esse testemunho apresenta a peculiaridade de ter sido coletado em uma cava abandonada de garimpo de ouro da região.

As imagens de satélite (figura 36) marcam o momento da construção da estrada, assim como a evolução do desmatamento na região. Em 1986 já se observa uma clareira na floresta e o início da construção de uma via de acesso. Em 1987 é possível observar a estrada com clareza, e também o aumento das áreas desmatadas.

Pela análise da figura 37, é possível observar que até 1990 o ponto de coleta se encontrava em uma região alagada, e que em 1994 um açude passa a existir nas adjacências do testemunho, provavelmente devido ao represamento do curso fluvial local. Comparando com as imagens de 1986 e 1987.

As figuras 36 e 37 permitem observar que houve um grande desmatamento na região a partir do momento da construção da estrada, em 1987 e, principalmente durante as décadas de 1990 e 2000.

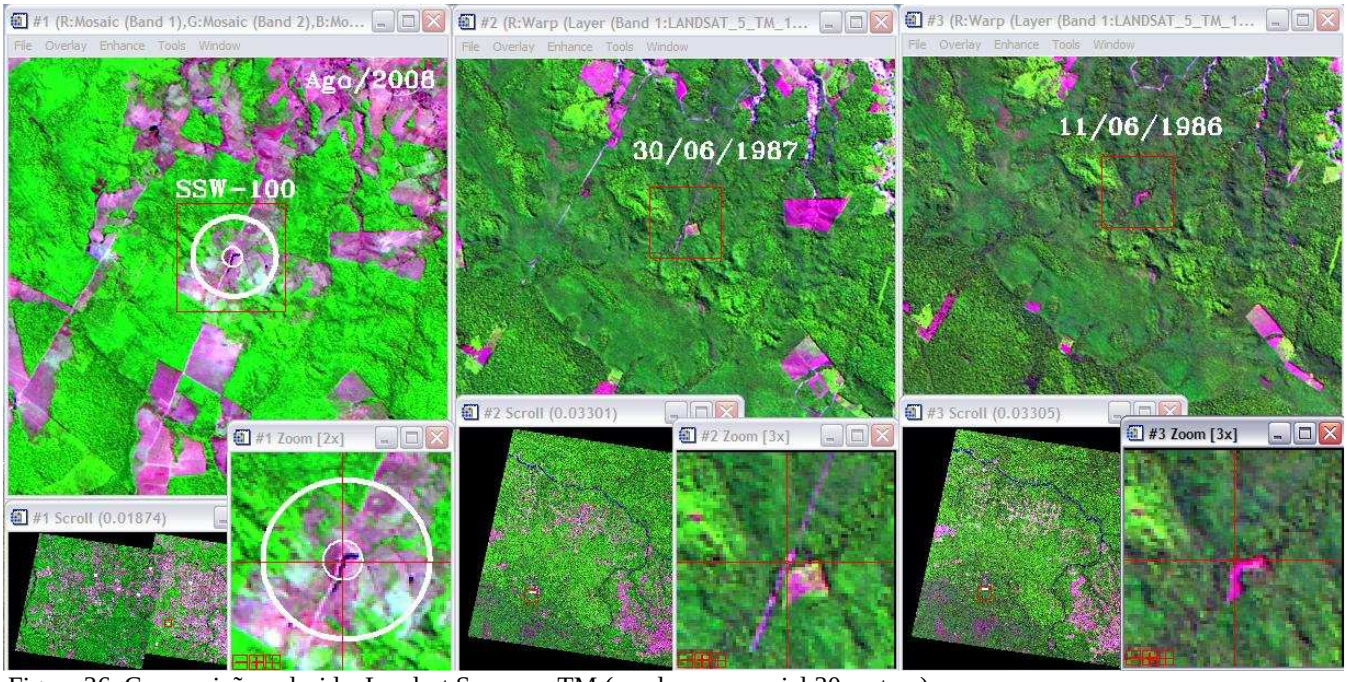

Figura 36. Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolucao especial 30 metros)

Figura 37 – Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolução espacial 30 metros).

6.1.1.2.2 *Densidade, teor de água e granulometria*

Os perfis de teor de água, densidade e granulometria (figura 38), não apresentaram grandes alterações ao longo dos 45 cm de sedimento coletados no testemunho SSW100. O teor de água se mantém entre 37% e 50% ao longo de todo testemunho, enquanto que a densidade varia entre 0,6 g/cm^3 e 0,9 g/cm^3. A granulometria é composta basicamente por sedimentos finos (abaixo de 63 µm), e apresenta em torno de 20% de argila.

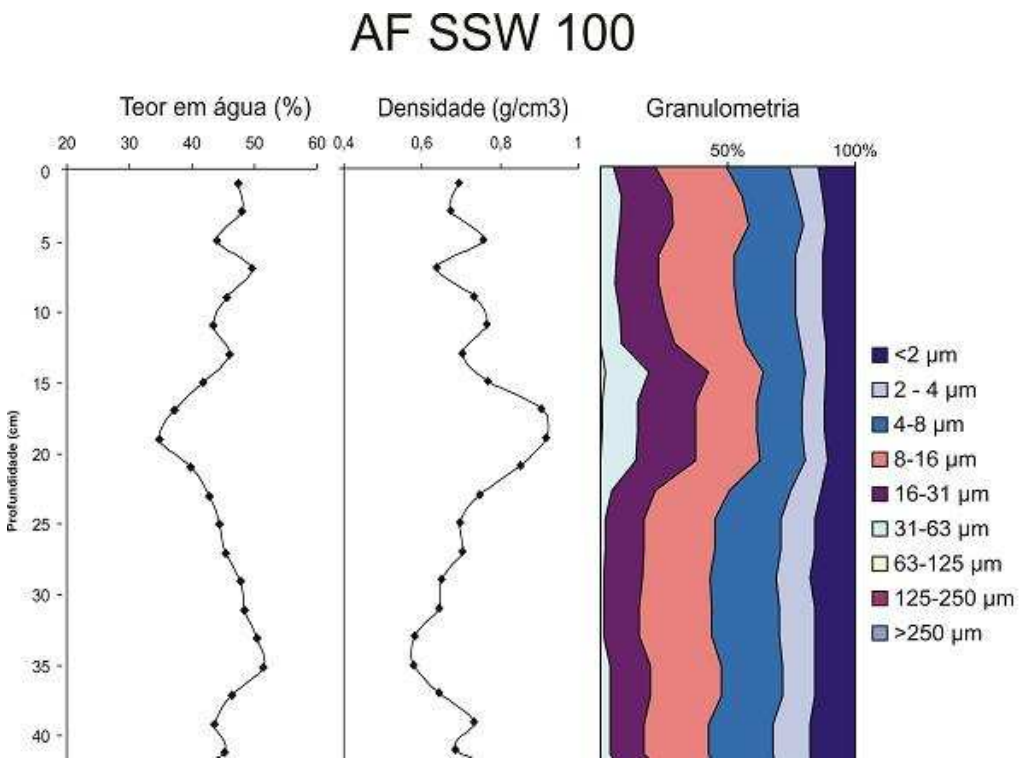

Figura 38: Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho SSW100.

6.1.1.2.3 *Determinação das idades sedimentares*

Para determinar as idades das amostras do testemunho SSW100, foi feita a determinação das concentrações de ^{210}Pb em excesso. Entretanto, os valores de ^{210}Pb em excesso não se mostraram eficientes para a determinação das idades, como mostra a figura 39.

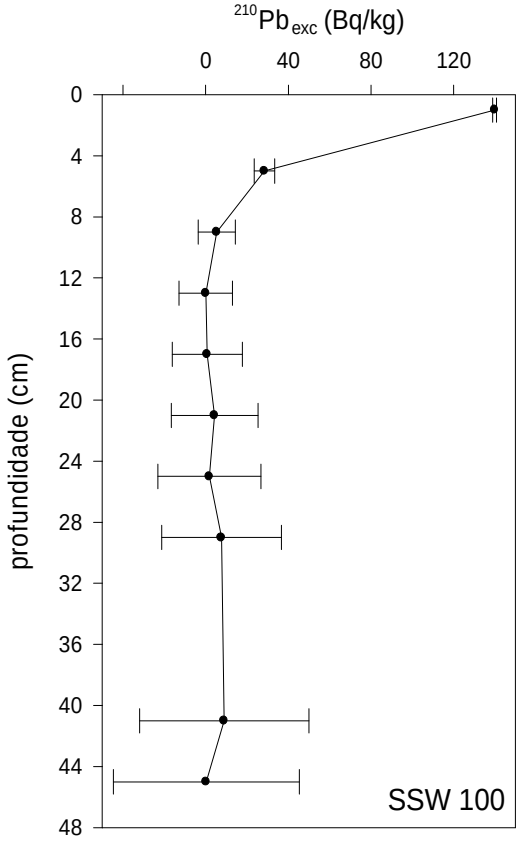

Figura 39. Perfil de decaimento de ^{210}Pb para o testemunho SSW100.

Como alternativa, foi feito o cálculo para a determinação das idades associadas às seções sedimentares do lago formado a partir das alterações no sedimento provocadas pelo início da ação humana na região. Para tanto, foram utilizados as concentração de partículas de carvão, uma vez que a região de coletada do testemunho SSW100 não sofreu grandes alterações granulométrica e tampouco nas concentrações de carbono orgânico total. Foi escolhida então a profundidade 21 cm como marco do início da colonização, devido ao grande aumento na deposição de partículas de carvão.

Devido à relativa proximidade com a cidade de Alta Floresta, ao fato de que o ponto de coleta encontra-se situado exatamente na direção prioritária do vento da região, que a área das partículas de carvão registradas nesse testemunho é reduzida (o que pode sugerir uma influência de incêndios regionais), que vários pontos de desmatamento foram registrados a partir de 1978 e considerando-se que o início da colonização da região de Alta Floresta se deu nesse ano e que o testemunho foi coletado no ano de 2005, a taxa de sedimentação foi calculada da seguinte forma:

Taxa de sedimentação = profundidade que registrou o início do aumento das partículas de carvão (21 cm) / idade decorrida desse ponto até a data de coleta do testemunho (2005 – 1978 = 27 anos) = 0,77cm/ano.

A taxa de sedimentação calculada dessa maneira pode apresentar incertezas em relação aos valores absolutos, entretanto se mostrou uma maneira eficiente de determinação das idades, e para o estudo do comportamento dos indicadores ao longo do tempo.

6.1.1.2.4 *Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total, razão C/N e composição isotópica de ^{13}C e ^{15}N.*

Os valores de carbono e nitrogênio se mantêm praticamente constantes (em torno de 2% e 0,17%, respectivamente), da base até 27 cm, quando sofrem um decréscimo gradativo até 21 cm (atingem valores de 1,5% e 0,11%, respectivamente) e a partir dessa profundidade até o topo permanecem sem grandes variações (entre 1,3% e 1,8% para o carbono e entre 0,09% e 0,15% para o nitrogênio) (figura 40).

Os valores da relação C/N apresentam uma tendência de queda da base até 27 cm (passa de 12,66 para 10,9), quando essa tendência é invertida, e os valores passam a aumentar nas camadas superiores do testemunho. Essa mudança indica que houve uma mudança na fonte da matéria orgânica. Os valores continuam subindo até os 19 cm (atingindo o valor de 13,88), quando novamente passam a apresentar tendência de queda, entretanto com valores maiores (mínimo de 11,82) que os da base.

Os valores de ^{13}C diminuem da base até 27 cm (passa de -27,86‰ para -26,74‰). Esse aumento se mostra ainda mais acentuado no intervalo entre 27 e 21 cm, quando chega a atingir o valor máximo de -25,72‰. Após 21 cm, o ^{13}C se comporta de maneira mais constante, com uma leve tendência de diminuição (-26,86‰ no topo do testemunho).

Os valores de ^{15}N se mantêm praticamente constantes da base até 27 cm, com valores médios de 5,40‰. Em 25 cm o ^{15}N apresenta um aumento (de 5,52‰ para 6,05‰), para depois diminuir e se manter em valores mais baixos e praticamente constantes (entre 5,10‰ e 4,27‰) até o topo do testemunho.

A interpretação dos dados de granulometria e matéria orgânica do testemunho SSW100 permitiu fazer a divisão do testemunho em três fases distintas, como mostra a tabela 8.

Tabela 8: Divisão do testemunho SSW 100. Valores médios para cada fase.

	Granulometria	*%C*	*%N*	*C/N*	*^{13}C*	*^{15}N*
Fase 3 (topo-21cm)	Diminuição de silte super grosso	1,62	0,12	13,08	-26,20	4,70
Fase 2 (21-27cm)	Entrada de silte super grosso	1,75	0,15	12,14	-26,28	5,29
Fase 1 (27 cm - base)	Até silte grosso	2,03	0,20	12,67	-26,75	5,69

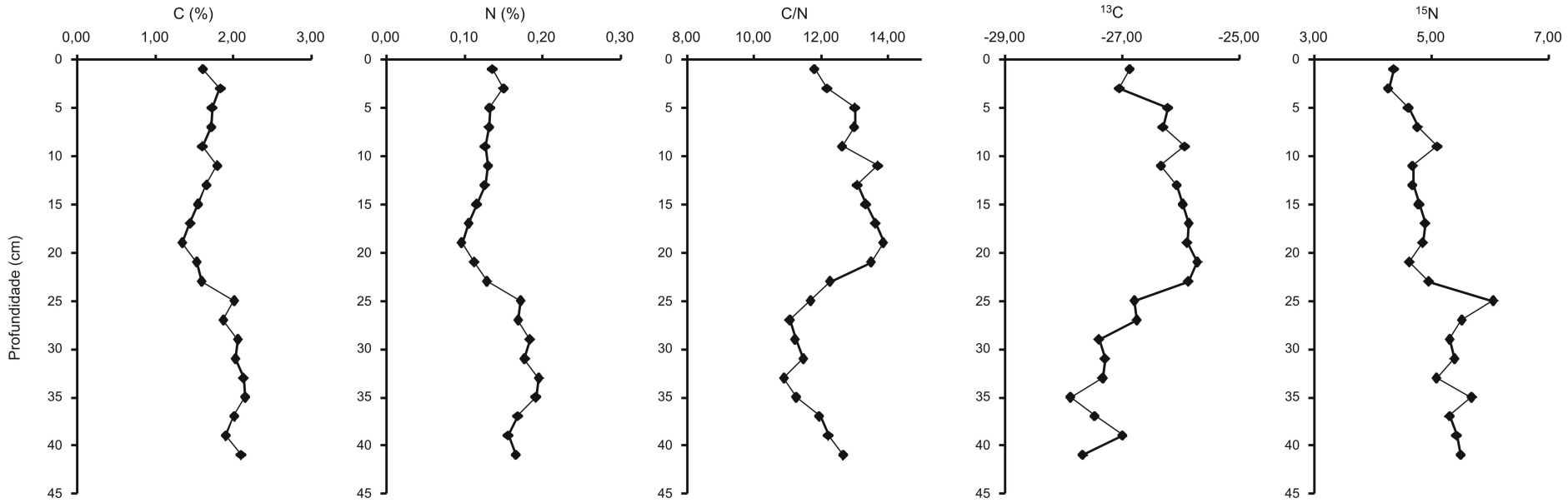

Figura 40. Valores de concentração de carbono e nitrogênio e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N para o testemunho SSW100.

A partir da análise dessas fases, foi possível fazer algumas inferências a respeito do ambiente: da base até 27 cm havia um ambiente brejoso, com baixa circulação de água, baixo potencial redox e menor energia. Houve denitrificação, o que tornou o ^{15}N mais baixo nas fases seguintes, de maior energia. A relação C/N é mais baixa e o ^{13}C mais negativo, o que mostra uma maior influência de algas terrestres do que nas fases posteriores. Por ser um ambiente de baixa energia, a deposição de carbono e nitrogênio é favorecida e, por isso essa fase mostra os valores mais altos de todo o testemunho para esses elementos.

A fase 2 (entre 27 cm e 21 cm) é uma fase de transição entre um ambiente de baixa energia para um ambiente de maior energia. Há aumento dos valores da relação C/N, ^{13}C e ^{15}N, o que mostra que houve entrada de matéria orgânica da bacia para a área. A relação C/N e o ^{13}C indicam um aumento da influência de matéria orgânica terrestre, como mostra a figura 53.

A fase 3 (de 21 cm até o topo) se caracteriza por ser uma fase de baixos valores de carbono e nitrogênio e valores mais altos da relação C/N, que combinados com os dados de ^{13}C indicam uma maior influência de matéria orgânica proveniente de plantas terrestres, como indica a figura 53. Não se nota grandes variações ao longo do testemunho, porém há uma maior influência de algas na base e plantas terrestres em direção ao topo. Os valores mais positivos de ^{13}C indicam que houve um menor retrabalhamento do carbono.

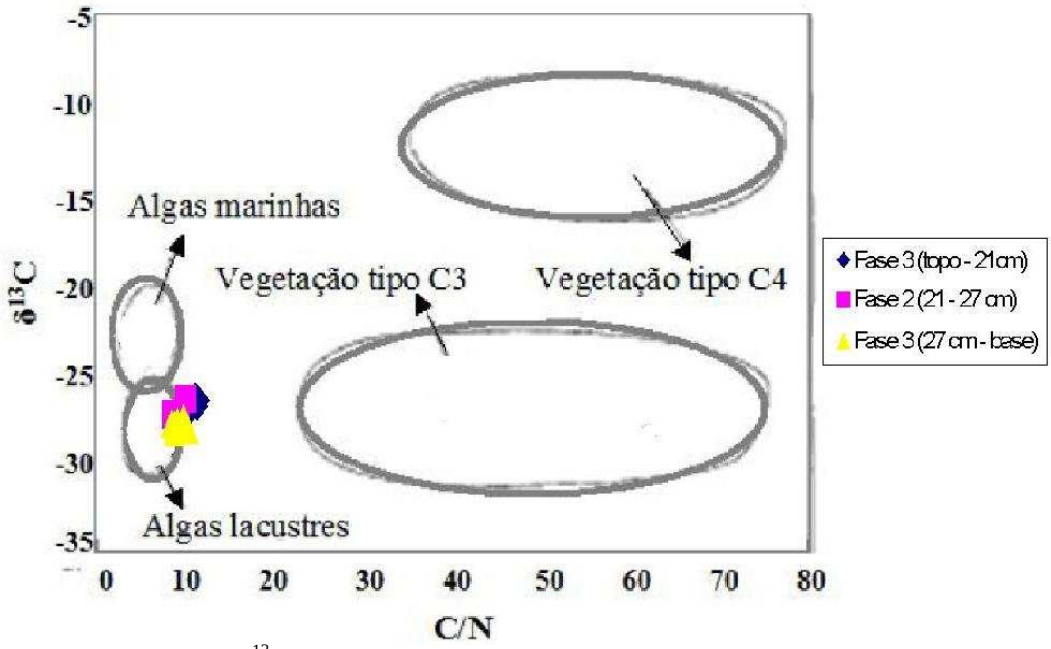

Figura 41. Valores de C/N VS. ^{13}C do testemunho SSW100. plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte matéria orgânica. Adaptado de Meyers., 1994.

6.1.1.2.5 *Fluxos de Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total*

Os fluxos de carbono e nitrogênio não apresentaram grandes variações ao longo dos últimos 30 anos, com valores variando entre 84 e 110 g/m^2/ano, com valores médios de 97 g/m^2/ano de carbono, e entre 6,4 e 9,2 g/m^2/ano e valores médios de 7,9 g/m^2/ano de nitrogênio, como mostra a figura 42.

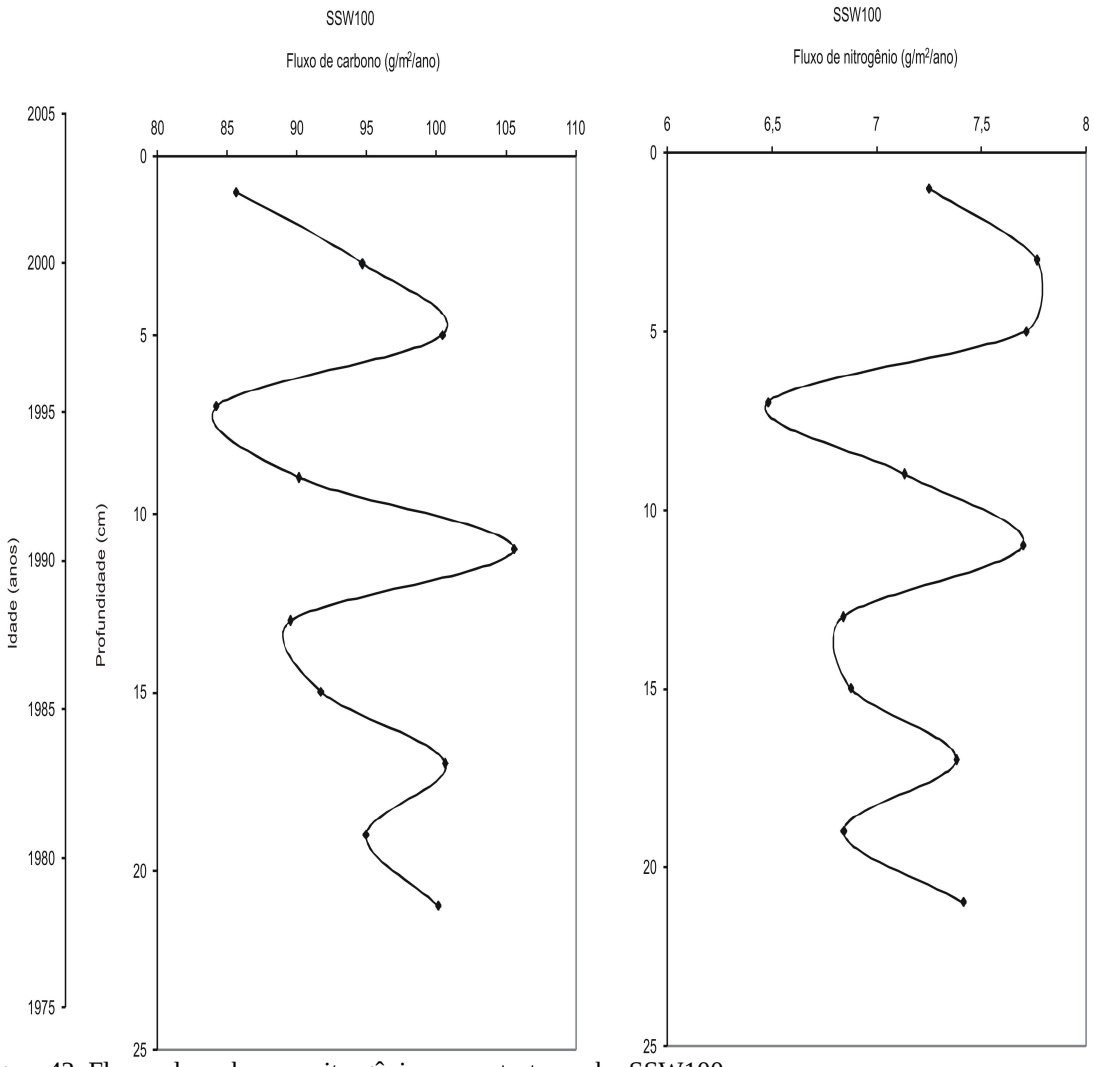

Figura 42. Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho SSW100.

6.1.1.2.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.*

Os valores de concentração de partículas de carvão do testemunho SSW 100 (figura 43) apresentam uma leve tendência de queda da base do testemunho até 39 cm, e entre 37 e 33 cm observa-se um período de incremento nos valores de concentração, atingindo valores superiores a $1{,}0x10^6$ partículas/grama. Entre 31 cm e 23 cm, os valores permanecem constantes, em torno de $0{,}5\ x10^6$ partículas/grama, e a partir dessa profundidade, apresentam um grande aumento até 17 cm e permanece com altos valores (acima de 1,5 partículas/grama) até 5 cm. No topo do testemunho há uma nova redução dos valores.

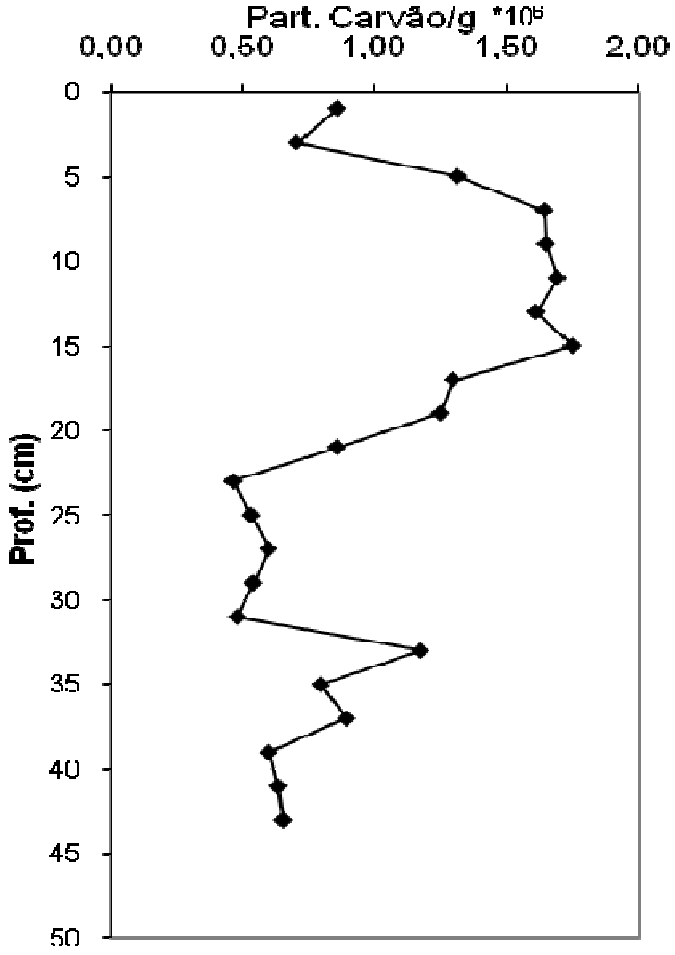

Figura 43. Concentração de partículas de carvão no testemunho SSW 100.

O testemunho SSW100 apresentou um fluxo de partículas de carvão (figura 44) mais intenso a partir de 1978, o que significa que a ocupação da região de Alta Floresta provocou um aumento nas taxas de desmatamento da região. É observado uma leve tendência de aumento entre 1978 e 1986, e a partir desse ano, há um forte incremento no fluxo de partículas, que persiste até 1995, quando são registrados os maiores valores de todo o testemunho (em torno de $4{,}5x10^6$partículas/cm^2/ano). Entretanto, durante esse período observa-se um redução nos valores entre 1990 e 1992. Entre 1995 e 2000 verifica-se uma nova tendência de redução, mas os valores voltam a subir desse ponto até o topo do testemunho.

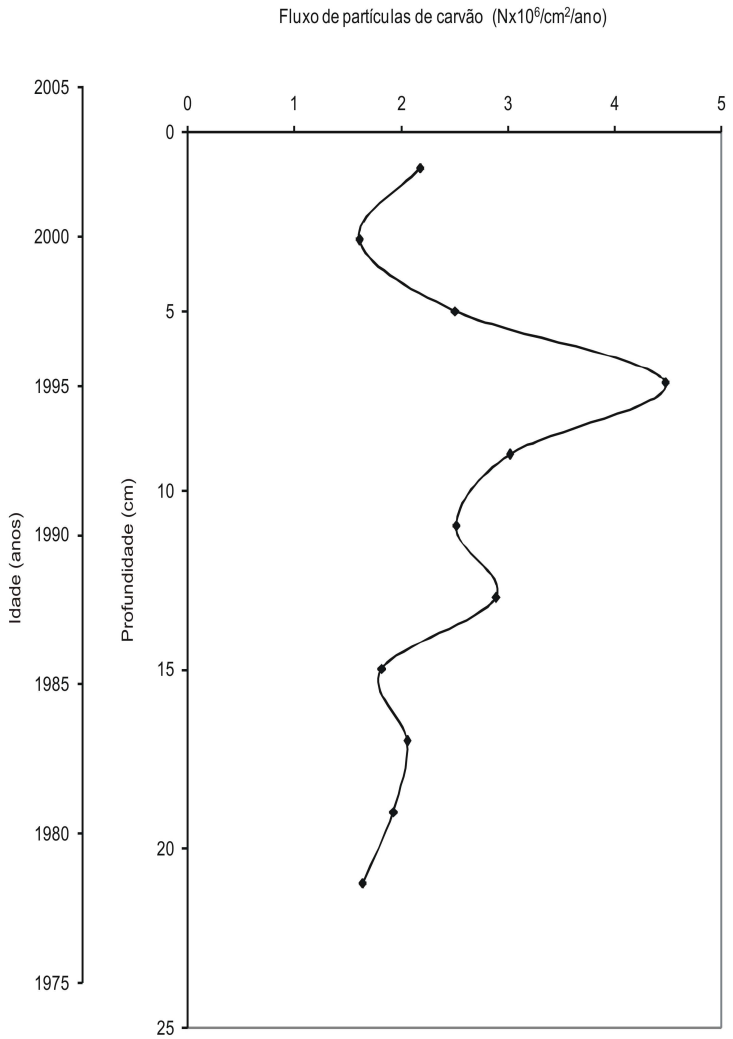

Figura 44. Fluxo de deposição de partículas de carvão para o testemunho SSW 100.

6.1.1.1.7 *Análise de mercúrio.*

A análise da concentração de mercúrio do testemunho SSW 100 revela, de maneira geral, que não houve grandes mudanças ao longo de todo o perfil (figura 45). Há um aumento da base do testemunho para a amostra 43 cm, e a partir daí observa-se uma tendência de diminuição dos valores até 33 cm. Entre 33 cm e 25 cm registra-se um forte aumento, atingindo o valor de 0,12 ppm. Há uma nova queda a partir dessa profundidade até 19 cm onde é observado o menor valor de todo o testemunho (0,0052 ppm). Entre 19 cm e 11 cm há outra tendência de aumento, e os valores novamente se encontram próximos a 0,1 ppm. A partir dessa profundidade e até 7 cm há uma nova queda forte nas concentrações seguida por valores mais altos entre 5 cm e 3 cm e uma nova redução no topo do testemunho.

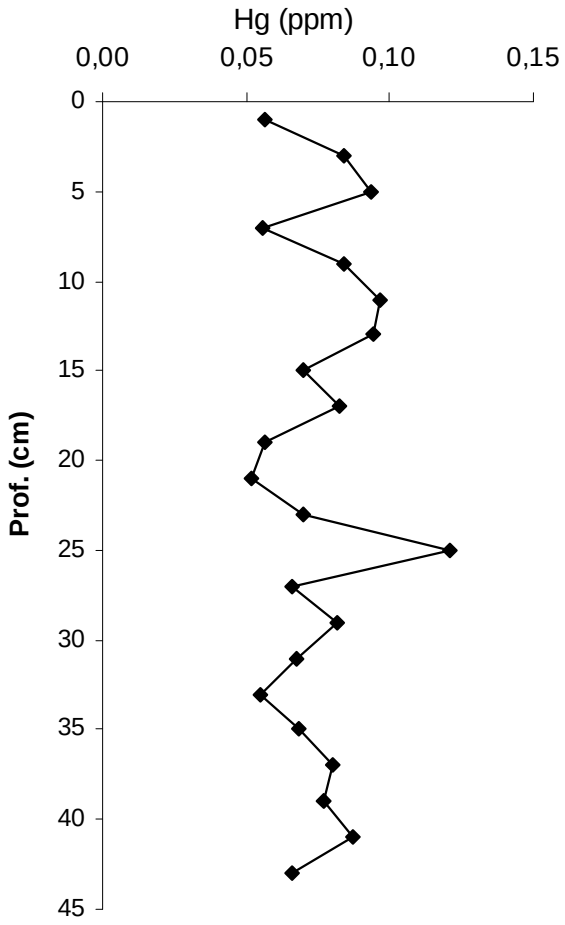

Figura 45. Concentração de mercúrio do testemunho SSW 100.

O fluxo de mercúrio (figura 46) do testemunho SSW 100 já se mostra elevado desde 1978. Um aumento é registrado entre 1978 e 1983, com valores passando de pouco mais de 200 μg/m^2/ano para aproximadamente 600 μg/m^2/ano, seguido por uma queda em 1985 (valores abaixo de 400 μg/m^2/ano). Um novo aumento é registrado até 1992, quando novamente os valores se tornam próximos de 600 μg/m^2/ano. Em 1995 os valores sofrem outra redução, mas logo voltam a crescer, atingindo mais de 500 μg/m^2/ano em 1998. A partir dessa profundidade até o topo do testemunho, observa-se uma redução nos valores (ficam abaixo de 300 μg/m^2/ano).

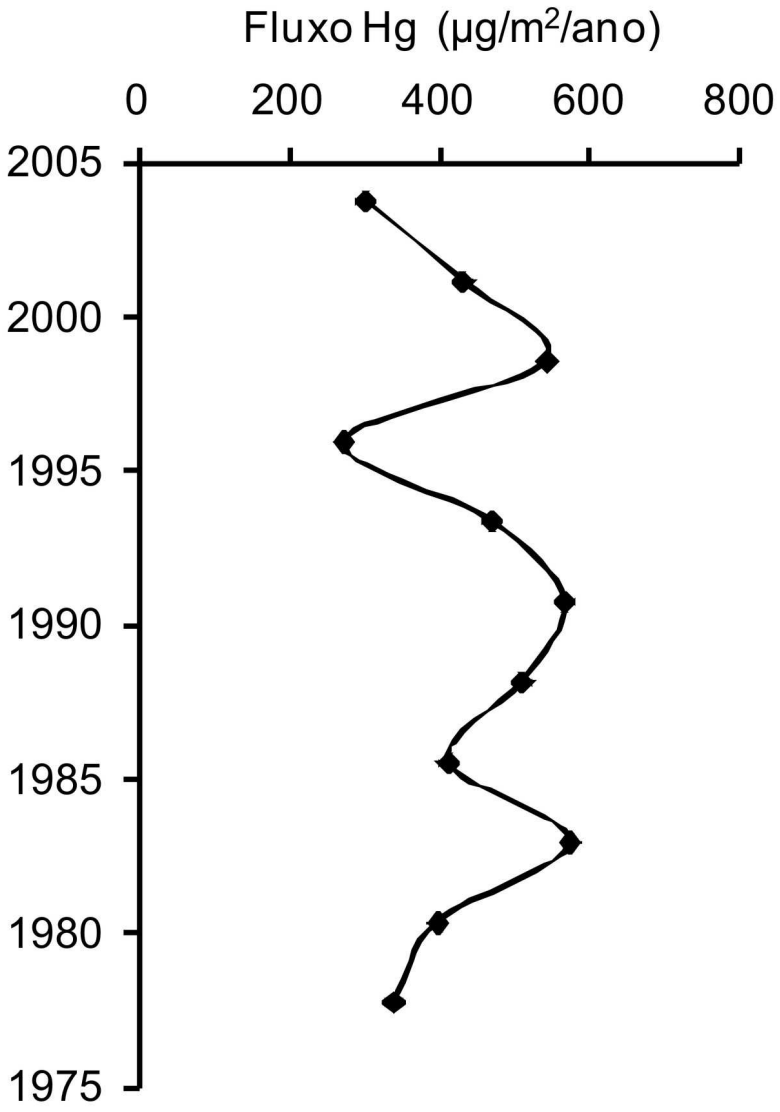

Figura 46. Fluxo de mercúrio do testemunho SSW 100.

6.1.1.1.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço.*

Todos os elementos analisados no testemunho SSW 100 mantiveram valores médios muito próximos entre os períodos anterior e posterior à ocupação humana. Cabe destacar que o mercúrio apresentou valores de base elevedas, que se mantiveram por todo o testemunho (tabela 9).

Os fluxos dos metais (figura 47) Co, Fe, Ni, Ti e V apresentaram valores baixos e pouco variáveis até o início da década de 90. A partir deste ponto o fluxo desses elementos aumentou ligeiramente caindo em 1995, e torna a aumentar em direção ao topo do testemunho (ano de 2005).

Os fluxos dos metais Ba e Mn apresentaram o mesmo comportamento com altos valores de fluxo na base do testemunho até a 1985, quando o fluxo desses elementos cai e só volta a aumentar em 1990 caindo novamente em 1995. A partir deste ponto o fluxo desses metais volta a crescer e atinge um pico máximo em 1998, com uma queda em direção ao topo do testemunho.

Para os metais Al, Cr, Cu, PB e Zn o fluxo variou muito ao longo do testemunho, com baixos valores até o início da década de 80, aumentando até meados de 1985, quando torna a diminuir até meados de 1990. A partir deste ponto o fluxo desses metais volta a aumentar e caem em 1995, onde mantém uma tendência de aumento em direção ao topo do testemunho.

Os valores de fluxo do Cd quase não variaram ao longo do testemunho, mantendo-se relativamente estável até 1985. A partir de 1985 o fluxo desse metal apresenta um pequeno aumento em direção ao topo do testemunho, onde apresenta o maior valor.

Tabela 9 Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho SSW 100.

	Hg	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
Depois da ocupação humana local (1987)														
Valores máximos	0,000568	20,16	0,1928	0,0045	0,0390	0,2483	0,0503	99,70	0,7038	0,0296	0,1113	21,45	0,2412	0,1206
Valores médios	0,000444	17,93	0,1311	0,0036	0,0355	0,2146	0,0451	93,27	0,5819	0,0267	0,0985	18,91	0,2168	0,11
Valores mínimos	0,000275	13,35	0,0975	0,0030	0,0321	0,1894	0,04	80,09	0,4639	0,0248	0,0807	16,98	0,1930	0,0965
Antes da ocupação humana local (1987)														
Valores máximos	0,000576	20,19	0,2073	0,0033	0,0358	0,2589	0,0533	89,10	0,7553	0,0246	0,1142	20,26	0,2180	0,1266
Valores médios	0,000432	18,58	0,19	0,0031	0,0348	0,2255	0,0505	87,14	0,7013	0,0231	0,1071	19,86	0,2149	0,1206
Valores mínimos	0,000341	17,90	0,1755	0,0028	0,0330	0,2075	0,0452	84,30	0,6714	0,0211	0,1038	19,21	0,2093	0,1103

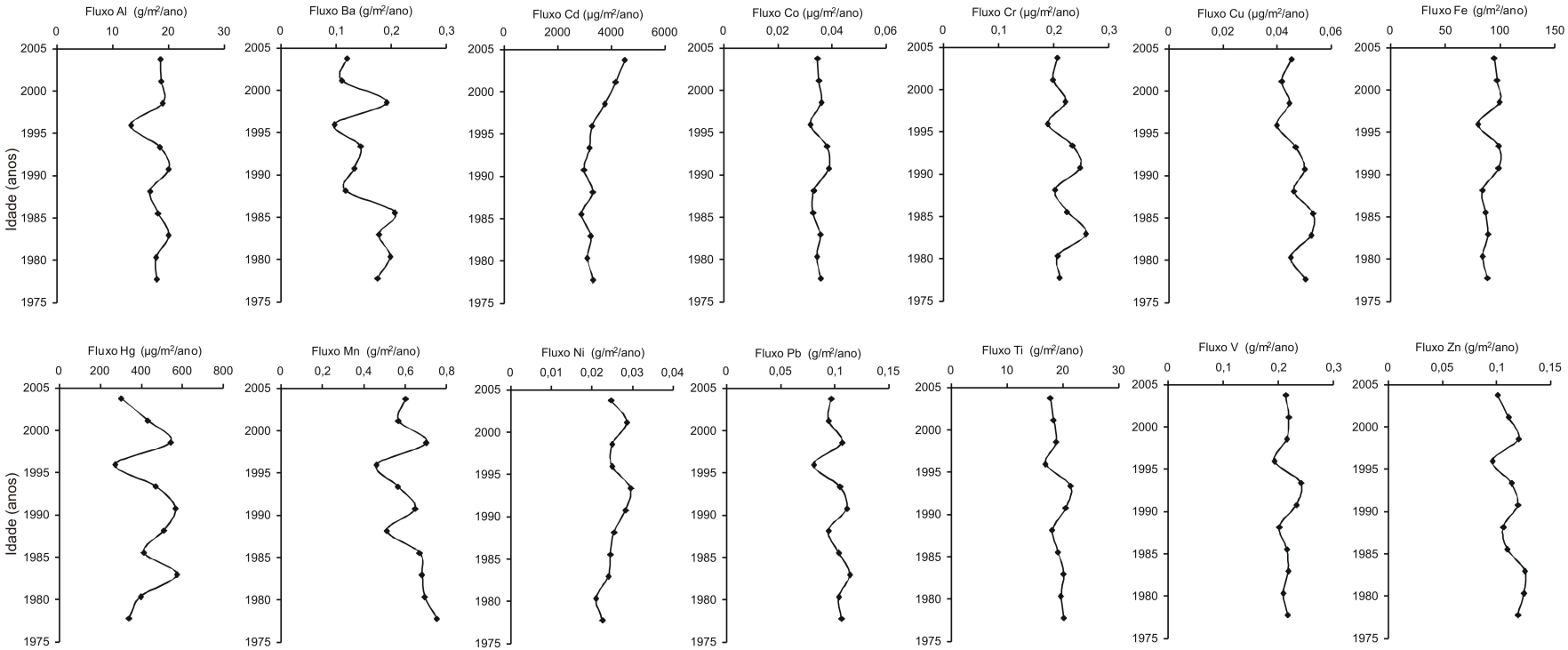

Figura 47: Distribuição dos metais no testemunho SSW 100.

6.1.1.3 ***Testemunho WSW150***

6.1.1.3.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno.*

Esse testemunho foi coletado em uma região distante 150 km do centro da cidade de Alta Floresta, na direção oeste-sudoeste. Na cena datada de 31/07/1978 (figura 48) observa-se que a estrada já se encontrava próxima à área de coleta do testemunho, mas apenas na imagem de 04/08/1979, a obra da estrada se prolongou até passar bem próximo do ponto de coleta.

Apesar da construção da estrada datar de 1979, o desmatamento na região só aparece a partir de 1984 (figura 49), em pequena escala e a uma certa distância do ponto de coleta e, até 1993 nota-se a expansão, ainda em pequena escala do desmatamento nessa região. Só a partir de 1994 (figura 50) é registrado um grande desmatamento na região adjacente ao ponto de coleta.

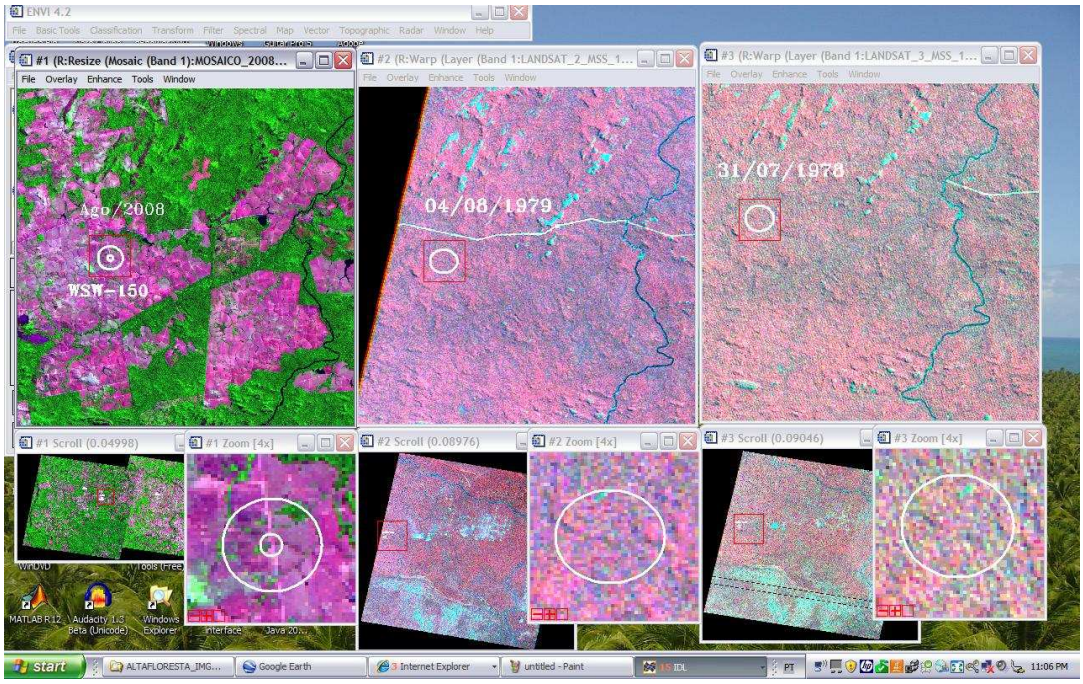

Figura 48 – Composição colorida, Landsat Sensores TM (mosaico), MSS e MSS (resolução espacial 80 m).

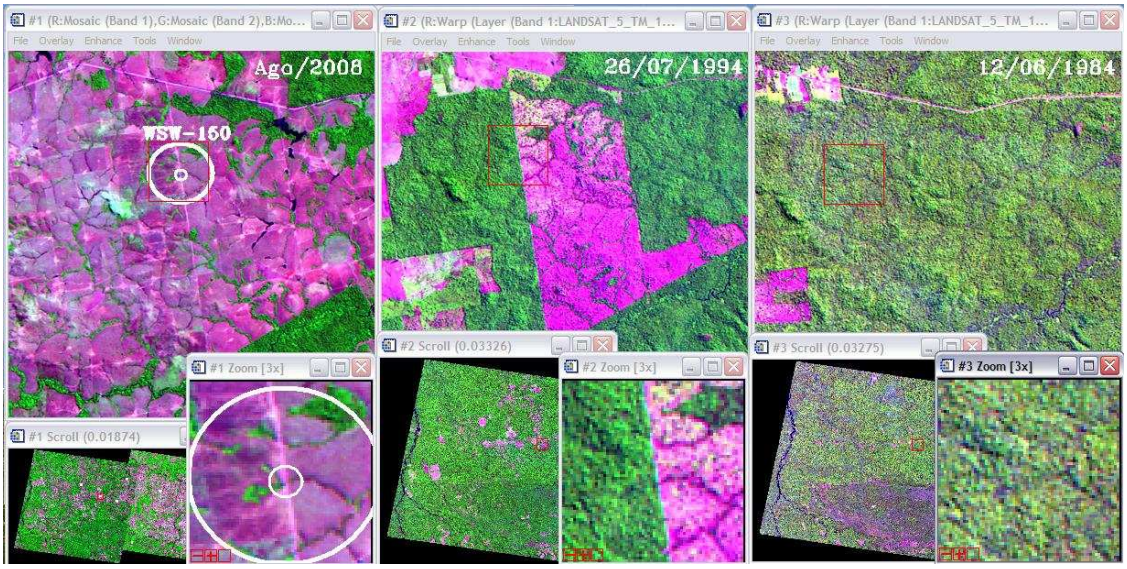

Figura 49. Composição colorida, Landsat Sensores TM, TM, TM (resolucao especial 30metros).

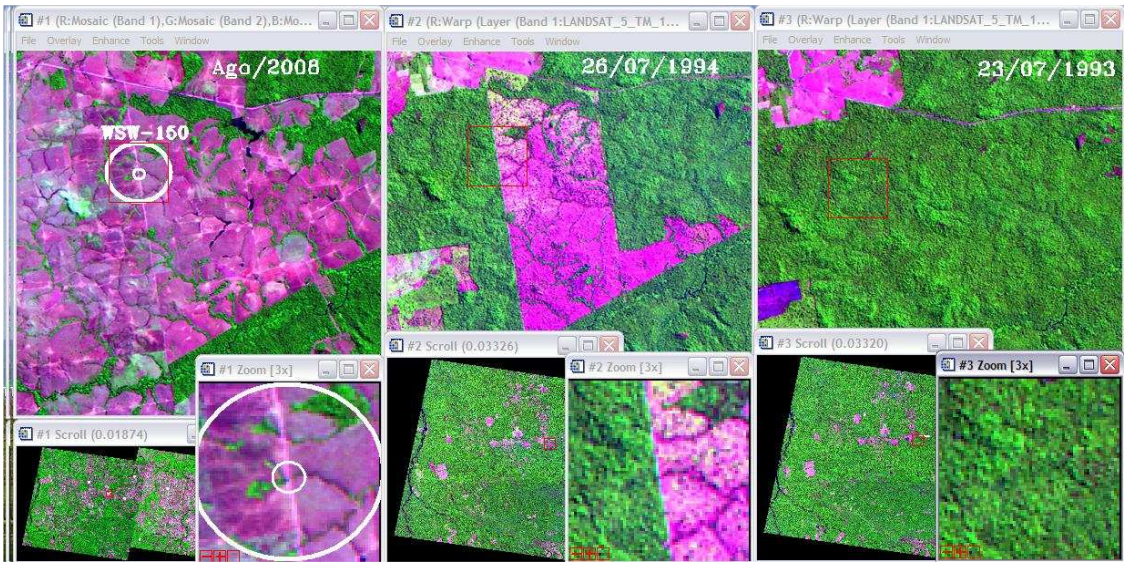

Figura 50. Composição colorida, Landsat Sensores TM, TM, TM (resolução especial 30 metros).

6.1.1.3.2 Densidade, teor de água e granulometria.

O perfil de teor de água (figura 51) mostra valores em torno de 20% da base até a profundidade 37 cm, nas camadas seguintes entre 35 e 29 cm, o teor de água sofreu um grande aumento, atingindo valores em torno de 70%. A partir de 27 cm, os valores retornam a 40% e se mantêm entre 40% e 50% até o topo do testemunho.

O perfil de densidade (figura 51) apresenta tendências inversas aos de teor de água, com valores mais altos (entre 1 g/cm^3 e 1,5 g/cm^3) da base até 37 cm. Entre 35 e 29 cm são registrados os valores mais baixos para a densidade em todo o testemunho (em torno de 0,3 g/cm^3). A partir de 27 cm, os valores permanecem sem grandes alterações até o topo do testemunho (entre 0,6 e 0,7 g/cm^3).

A granulometria registra altas concentrações de grãos mais grossos da base até 35 cm, onde a fração areia representa até 60% do total, parecendo indicar o solo da região, antes do início da sedimentação. A partir de 35 cm a areia média e a areia fina tornam-se ausentes e resta apenas uma pequena fração de areia super fina que logo desaparece. Em torno de 11 cm é registrada uma nova entrada de areia super fina, que se mantém baixa até o topo do testemunho (figura 51).

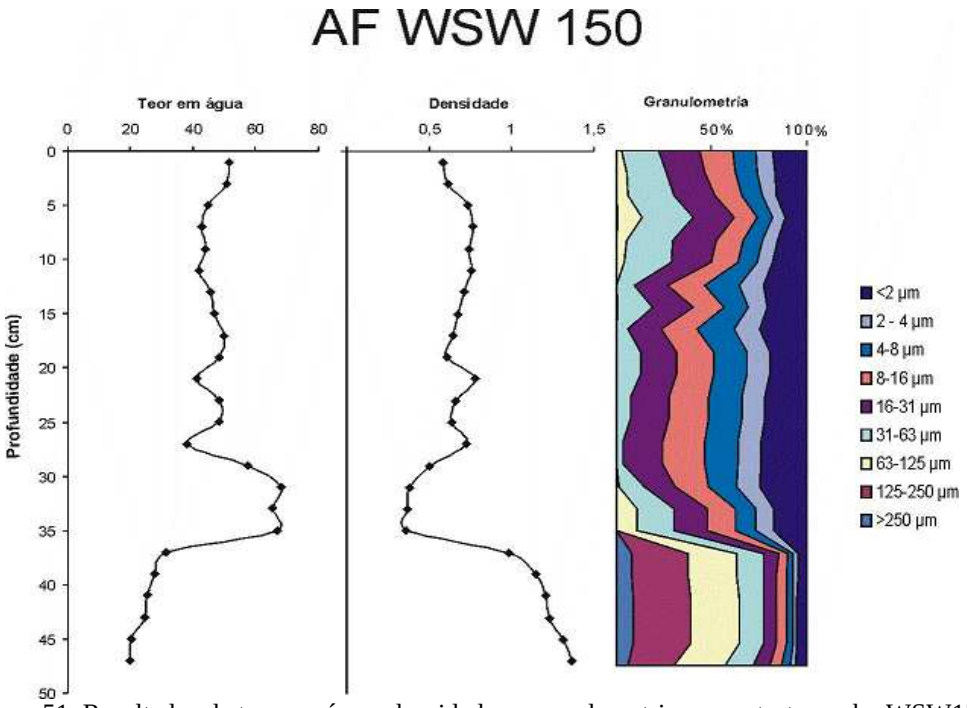

Figura 51. Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho WSW150.

6.1.1.3.3 *Determinação das idades sedimentares e taxas de sedimentação.*

Os resultados de ^{210}Pb (figura 52) corroboram a hipótese de que a camada abaixo de 41 cm de profundidade é representada por solo, devido aos valores mais altos encontrados nessa fase. Portanto, para efeitos dos cálculos para as taxas de sedimentação e transformação dos valores das concentrações me fluxo, os dados abaixo dessa camada foram descartados.

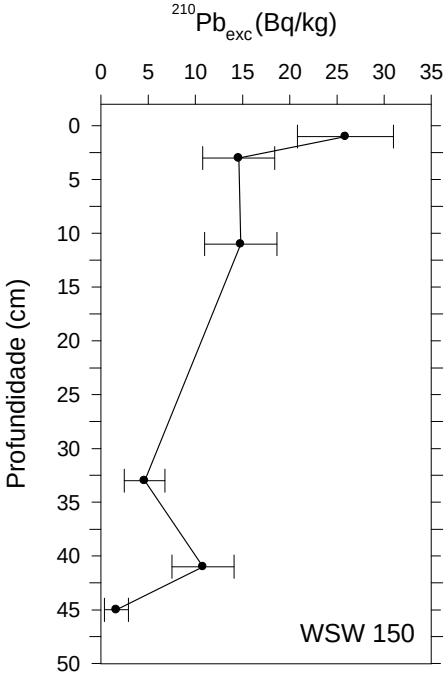

Figura 52. Perfil de decaimento de ^{210}Pb para o testemunho WSW150.

Esses valores permitiram calcular a taxa de sedimentação do testemunho WSW150, como mostra a figura 53. Uma vez que a reta usada no modelo CIC, em escala logarítmica se mostrou apropriada para todo o testemunho, optou-se por se trabalhar com apenas uma taxa de sedimentação, no valor de 0,75 cm/ano, constante para todo o período.

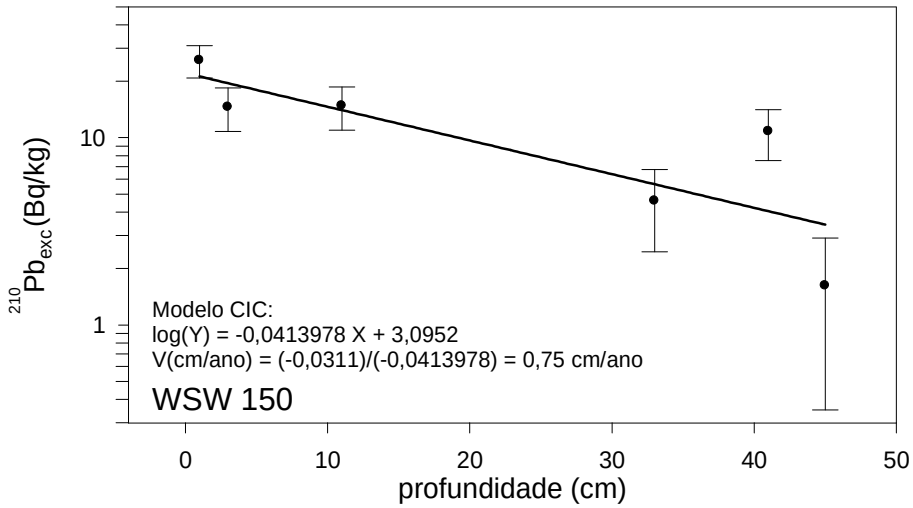

Figura 53. Modelo de sedimentação para o testemunho WSW150.

6.1.1.3.4 Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total, razão CN e composição isotópica de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).

Os perfis de concentração de carbono e nitrogênio (figura 54) apresentaram comportamentos extremamente semelhantes, com baixos valores (entre 04% e 1,14% e entre 0,03% e 0,09%, respectivamente) da base do testemunho até 41 cm, quando então apresentam um intenso aumento (atingindo valores de 8,11% para o carbono e 0,55% para o nitrogênio), e esses altos valores se mantêm no intervalo até 31 cm. A partir dessa profundidade os valores diminuem, entretanto permanecem mais altos (entre 2,05% e 3,58% para o carbono e entre 0,19% e 0,31% para o carbono) que os encontrados próximos à base.

Os valores da relação C/N apresentam uma tendência de diminuição da base até 41 cm de profundidade, passando de 14,2 para 12,2. Entretanto, a partir de 41cm há uma mudança na inflexão da curva e a relação C/N passa a apresentar um pico de valores altos entre 39 cm e 33 cm, atingindo o valor máximo de 14,57. A partir de 31 cm, essa relação não apresenta mais grandes variações, se mantendo praticamente constante até o topo, entretanto, apresentando os valores mais baixos de todo o testemunho (entre 10,2 e 12,2).

O isótopo ^{13}C apresenta uma leve tendência de diminuição da base do testemunho até 41 cm de profundidade, com valores entre -27,6‰ e -26,6‰. No intervalo entre 39 cm e 33 cm essa tendência de queda é acentuada e são encontrados os mais baixos valores de todo o testemunho (aproximadamente -30‰). Após a profundidade 33 cm, em direção ao topo, há uma inflexão na curva e os valores de ^{13}C se tornam cada vez menos negativos, sendo que uma queda mais acentuada foi registrada até os 23 cm e a partir daí os valores se mantiveram relativamente constantes (entre -22‰ e -24‰).

O comportamento do isótopo ^{15}N (figura 54) se mostrou semelhante ao do ^{13}C, com tendência de redução da base do testemunho até 41 cm, e a partir daí foram registrados os valores mais baixos de todo testemunho (em torno de 5,5‰ no intervalo entre 39 cm e 33 cm). Na camada superior o ^{15}N apresenta uma forte tendência de subida até os 23 cm (atingindo o valor de 9,36‰) e daí até o topo do testemunho, é registrado um comportamento mais constante.

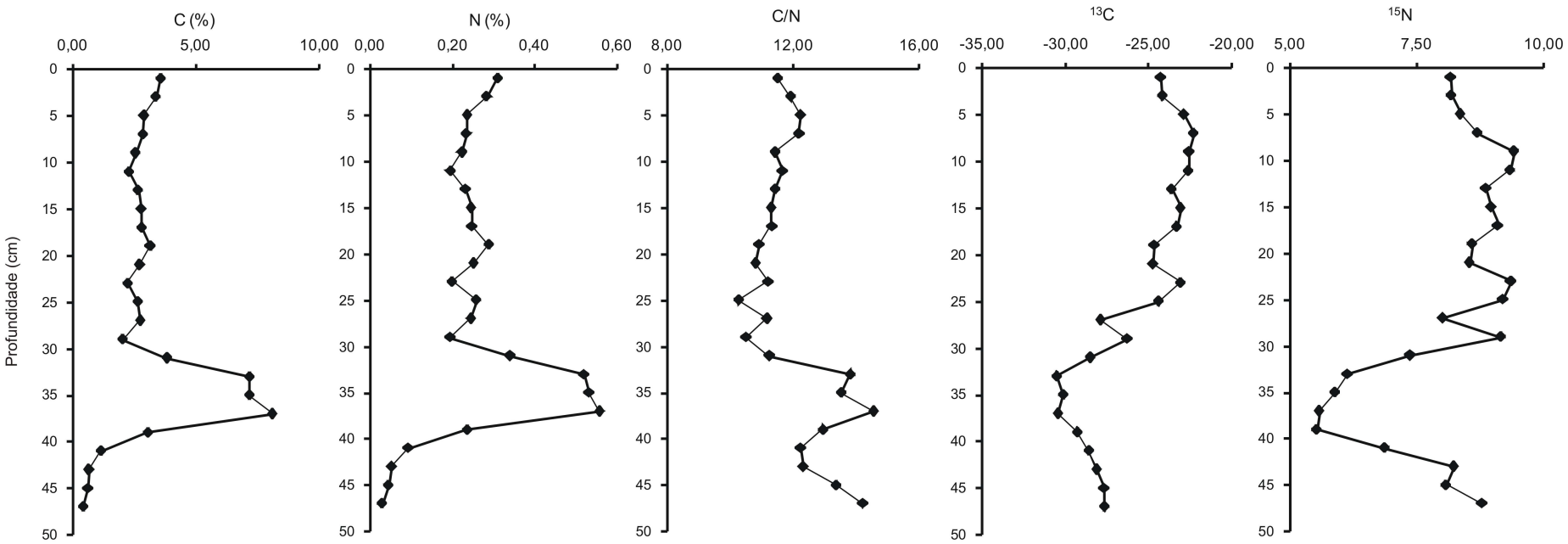

Figura 54. Valores de concentração de carbono e nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio para o testemunho WSW150.

A análise dos dados do testemunho WSW150 permite fazer uma divisão inicial do testemunho em 4 fases, como mostra a tabela 10.

Tabela 10. Divisão do testemunho WSW150. Valores médios para cada fase.

	Granulometria	*%C*	*%N*	*C/N*	*^{13}C*	*^{15}N*
Fase 4 (topo-5cm)	Predominância de grãos finos, com pequena presença de areia super fina	3,28	0,28	12,23	-22,87	8,37
Fase 3 (5 cm-31cm)	Predominância de frações finas, com entrada de areia super fina a partir de 13 cm	2,72	0,24	11,18	-24,36	8,83
Fase 2 (31 cm -41cm)	Presença de frações mais grossas, com tendência à redução dos grãos. Areia média e fina desaparecem em 35 cm	6,38	0,46	13,72	-30,09	5,80
Fase 1 (41cm – base)	Presença constante de sedimentos grossos, representando mais de 60% do total.	0,72	0,05	13,03	-27,99	8,00

A fase 1 mostra granulometria com predomínio absoluto de sedimentos grosso, principalmente areia média e fina, valores de carbono e nitrogênio extremamente baixos, altos valores de C/N e ^{15}N e valores baixos de ^{13}C. A análise conjunta da razão C/N com o ^{13}C (figura x) aponta para uma matéria orgânica com influência de plantas terrestres do tipo C3. Os altos valores da relação C/N, os baixos valores de carbono e nitrogênio e os baixos valores de ferro (que serão mostrados mais adiante), assim como o aumento do $^{210}Pb_{exc}$ (que também será mostrado adiante), leva a crer que essa fase do testemunho reflete o solo da região, num período anterior à formação do ambiente deposicional, assim como mostrado no testemunho SSW150. De acordo com os dados do RADAMBRASIL (1980), trata-se de um solo constituído por Areias Quartzozas Álicas e Podzólico Vermelho – Amarelo e Areias Quartzosas Hidromórficas.

A fase 2 registra uma drástica mudança no ambiente, com uma tendência de diminuição da participação dos sedimentos grossos, aumento significativo dos valores de carbono e nitrogênio, redução dos valores de ^{15}N, aumento dos valores da relação C/N e o ^{13}C se torna mais negativo. Os dados de C/N x ^{13}C mostram que ainda há uma forte influência de matéria orgânica proveniente de plantas terrestres. Pelo conhecimento do histórico do local, assume-se que a partir de 31 cm houve o alagamento dessa área, o que provocou um grande carreamento de matéria orgânica do entorno para dentro da área alagada. Esse carreamento justifica o grande aumento registrado nas concentrações de carbono e nitrogênio e nos valores da relação C/N.

A fase 3 caracteriza-se por uma tendência do ambiente em buscar o equilíbrio. Após a intensa mudança representada na fase 3, onde o ambiente foi inundado, transformando uma região de solo alagado em um ambiente deposicional, não foram registradas mais profundas alterações. Valores de carbono, nitrogênio e da relação C/N que haviam sofrido um grande aumento, diminuem e se mantêm praticamente constantes. Os valores de ^{13}C e ^{15}N mostram aumento, mas apresentam uma tendência a se manterem constantes. A análise do ^{13}C x C/N (figura 78) mostra que nessa fase passou a haver influência de matéria orgânica proveniente de algas terrestres e de plantas C4.

A fase 4 apresenta aumento nos valores de carbono e nitrogênio, além de aumento na razão C/N e valores mais positivos de ^{13}C. Os valores de ^{15}N sofrem uma pequena redução. A análise do ^{13}C x C/N se mostra muito parecida com a fase anterior.

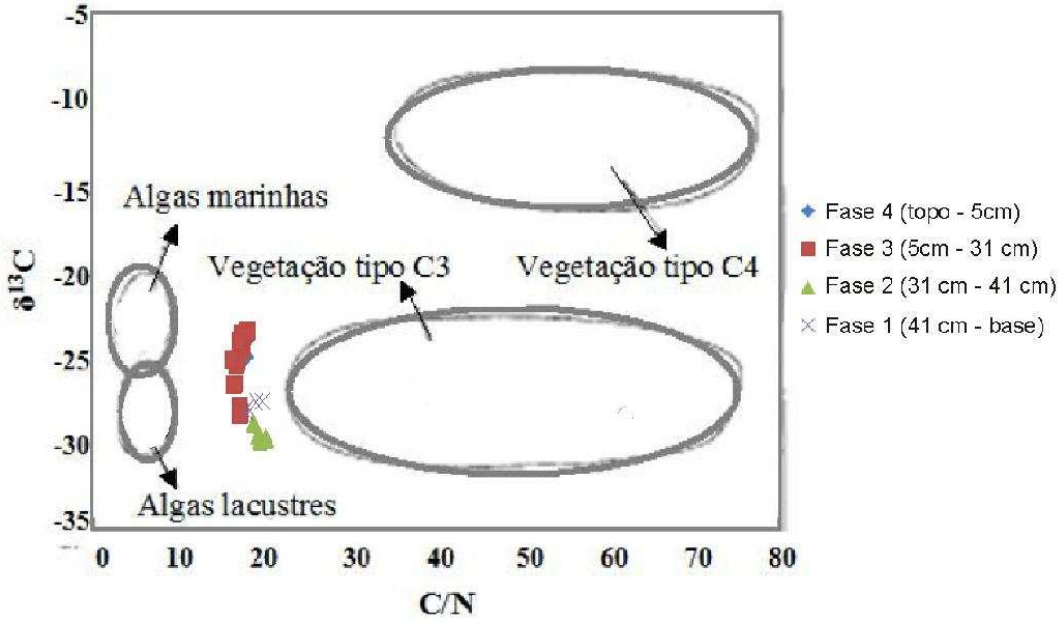

Figura 55. Valores de C/N VS. ^{13}C do testemunho WSW150 plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte da matéria orgânica. Adaptado de Meyers, 1994.

6.1.1.3.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.*

Os fluxos de carbono e nitrogênio (figura 56) apresentam tendência de aumento de 33 cm (1961) até 21 cm (1977), passando de 87 g/m^2/ano para 130g/m^2/ano e de 8,8 g/m^2/ano para 14,8 g/m^2/ano, respectivamente. De 1977 até 1990, ambos apresentam leves tendências de redução nos valores, atingindo 140 g/m^2/ano no caso do carbono e 12 g/m^2/ano para o nitrogênio. A partir de 1990 até o topo do testemunho, os valores dos dois novamente se elevam e se mantêm praticamente constantes, em torno de 150 g/m^2/ano e 13 g/m^2/ano, respectivamente.

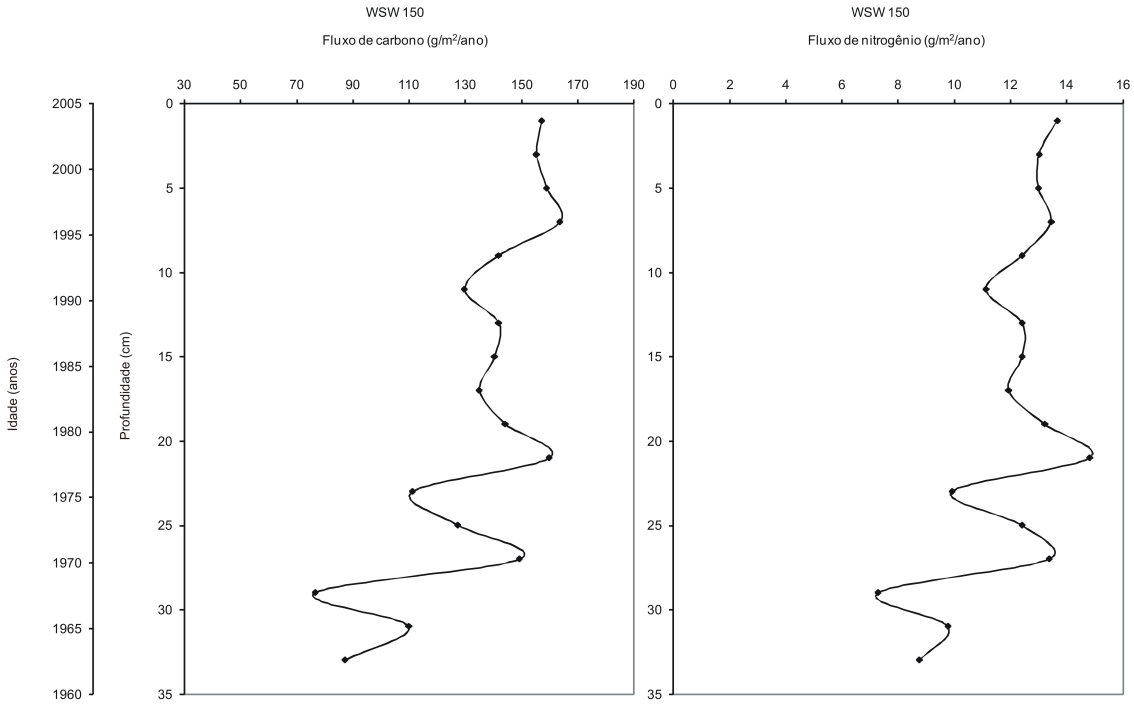

Figura 56. Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho WSW150.

6.1.1.3.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.*

A concentração de partículas de carvão (figura 57) apresentou de maneira geral uma tendência de aumento nos valores da base do testemunho até 31 cm, quando atingiu valores pouco acima de 4x10^6 partículas/grama. Entretanto, nesse intervalo do testemunho há um forte decréscimo nos pontos 37 cm e 33 cm. Entre 29 cm e 23 cm os valores permanecem constantes e acima de 3 x10^6 partículas/grama. Em 21 cm há uma queda e um novo aumento até 17 cm. Entre 15 cm e 11 cm os valores apresentam uma queda e se mantêm abaixo de 2 x10^6 partículas/grama. Entre 11 cm e 5 cm há um novo aumento, atingindo novamente 4 x10^6 partículas/grama. De 5 cm ao topo do testemunho há uma nova redução dos valores.

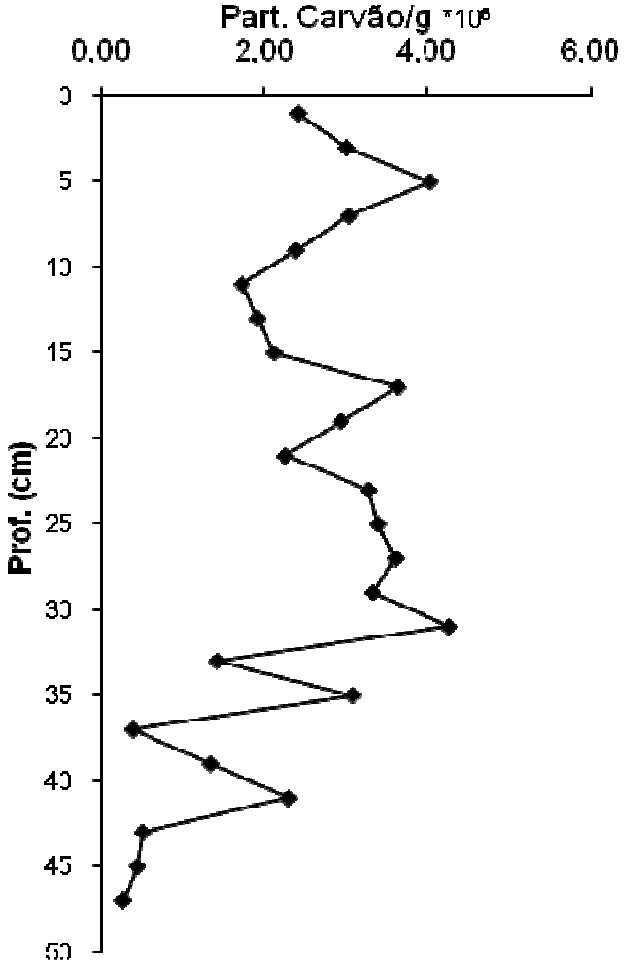

Figura 57. Concentração de partículas de carvão no testemunho WSW 150.

O testemunho WSW150 apresentou um intenso aumento no fluxo de deposição de partículas de carvão (figura 58) a partir de aproximadamente 1984 até 2004, sendo que são encontrados 2 grandes picos, em 1996 e 2004, e regiões com redução no fluxo de partículas (início da década de 1990, entre 1990 e 1992 e posteriormente no início da década de 2000). Esses grandes eventos são resultantes das intensas queimadas realizadas no período no estado de Mato Grosso e em toda a região amazônica e do intenso processo de desmatamento local, já mostrado pelas imagens de satélite.

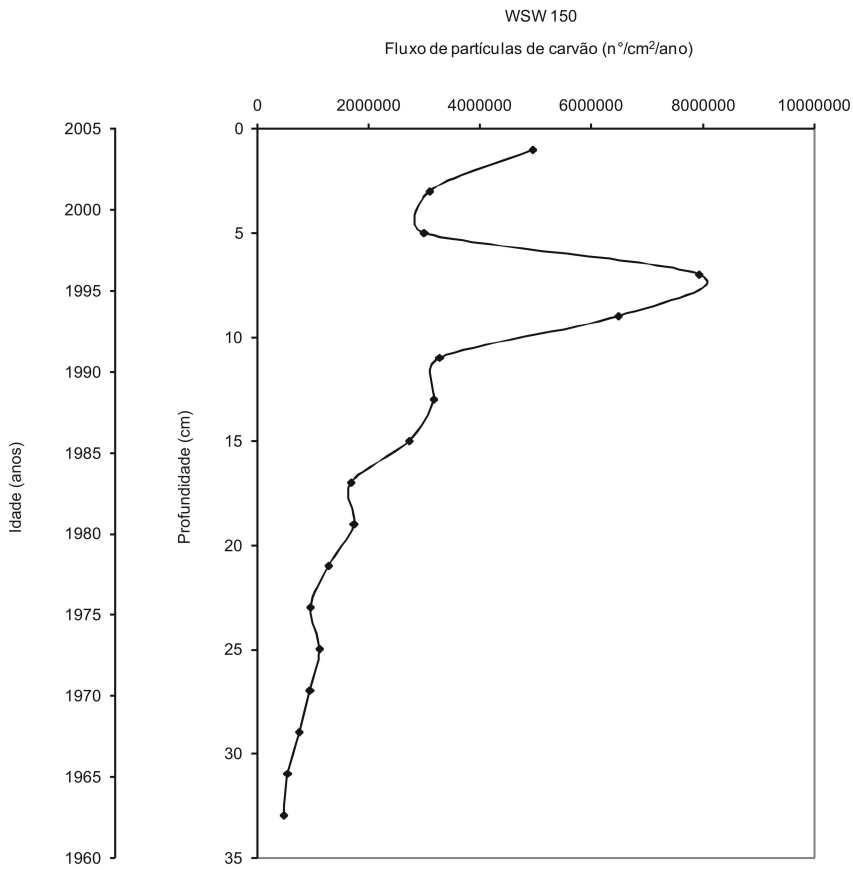

Figura 58. Fluxos de partículas de carvão para o testemunho WSW 150.

6.1.1.3.7 Análise de mercúrio.

A concentração de mercúrio no sedimento do testemunho WSW 150 (figura 59) apresentou valores baixos e constantes da base até 37 cm de profundidade. A partir de então, foi verificado um grande aumento nos valores e até 11 cm, foi observado uma leve tendência de aumento, com presença de picos de concentração entre 27 e 25 cm, 23 cm, 19 cm e 13 cm. Entre 9 cm e 3 cm há uma tendência de queda, com uma forte redução em 7 cm. No topo do testemunho há um novo aumento.

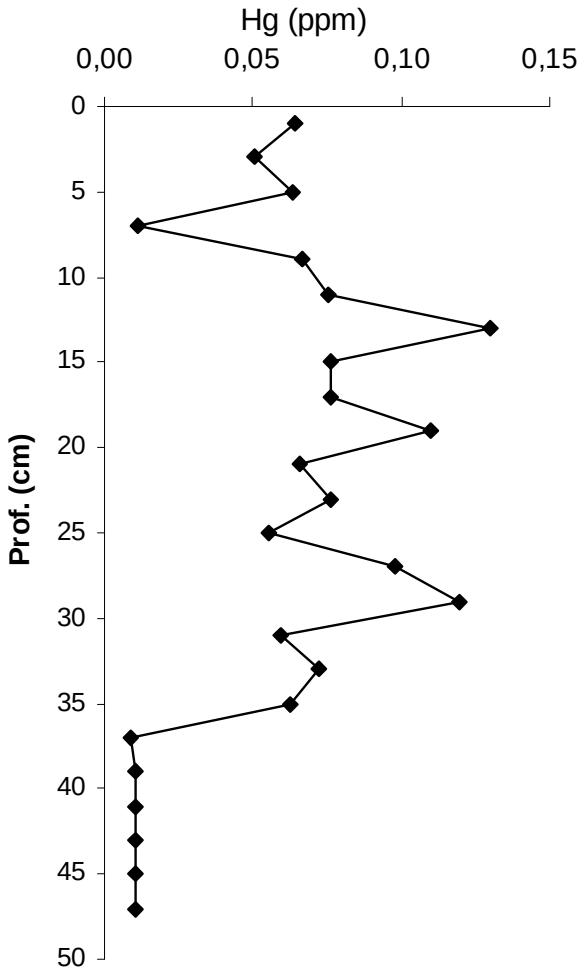

Figura 59. Concentração de mercúrio no testemunho WSW 150.

O fluxo de mercúrio (figura 60) apresenta uma tendência de aumento em direção ao topo do testemunho até aproximadamente 1968. A partir deste ponto, o fluxo cai drasticamente até 1972 e volta a crescer até 1980, com algumas variações. Entre 1980 e 1985 o fluxo volta a subir, apresentando uma grande queda em seus valores atingindo o menor valor em 1995, quando volta a subir até 2005.

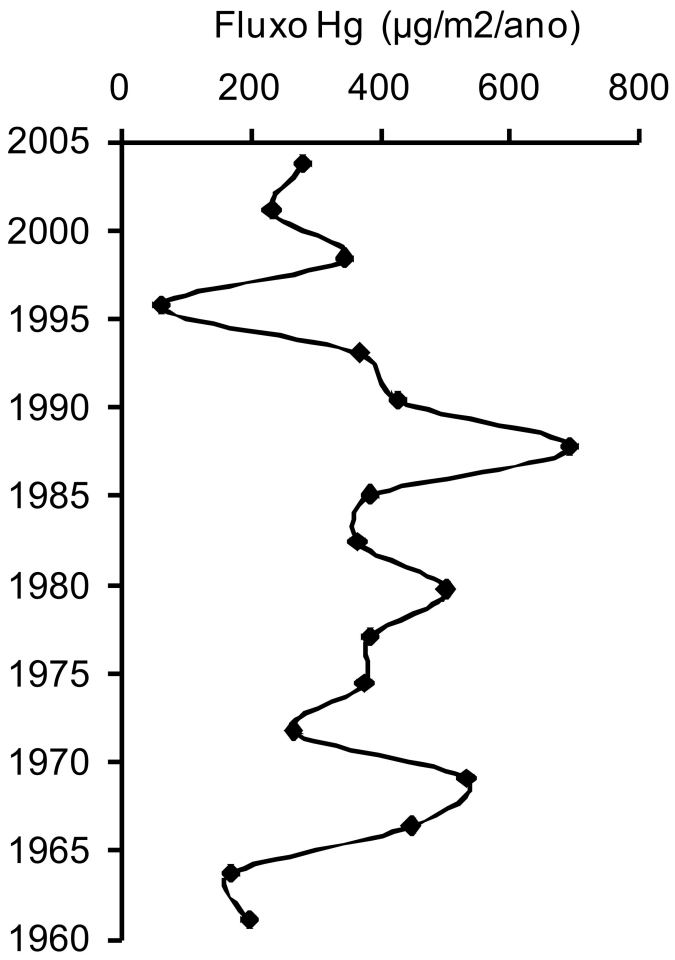

Figura 60. Fluxo de mercúrio no testemunho WSW 150.

6.1.1.3.8 Análise de elementos maiores e demais elementos traço.

Diferente dos demais testemunhos, o testemunho WSW 150 apresentou valores de concentração maiores no período pós ocupação para os elementos Hg, Al, Ba, Co, Cr, Fe, Mn e Pb. Os valores não variaram muito para Ti, Zn e V e os elementos Cd, Cu, Ni e Ti sofreram redução (tabela 11).

De maneira geral, pode-se afirmar que houve mudanças no fluxo de deposição de metais ao longo do testemunho WSW150 (figura 61 e tabela 11), entretanto, as mesmas são pequenas e não indicam ação antrópica forte no local. Essas variações podem ser mais atribuídas à granulometria que à ação humana.

Os metais: Ni, Pb, Ti, V e Zn se comportam da maneira semelhante, com uma tendência de aumento em direção ao topo do testemunho, um pico em aproximadamente 1970 e uma suave queda no fluxo até 1980, mantendo valores pouco variáveis até 1990. A partir

deste ponto os valores do fluxo caem mais um pouco até o ano 2000. Entre os anos de 2000 e 2005 os valores do fluxo desses metais voltam a crescer.

Para os metais Al, Ba, Co, Cr, Cu e Fe a distribuição de seus fluxos foi diferente dos metais citados acima. Entre 1960 e 1968 observa-se um aumento do fluxo de todos os metais, com exceção do manganês e cádmio, que mantém essa tendência de aumento até 1972. Entre 1968 e 1972, ocorre uma diminuição no fluxo dos metais. Já entre os anos de 1972 e 1975 o fluxo desses metais volta a aumentar. Esses fluxos caem novamente em 1975 mantendo-se estáveis até 1985. Observa-se uma tendência de aumento desses fluxos em direção ao topo do testemunho até o ano de 1995, com exceção do cobalto que apresenta uma queda entre 1990 e 2000 e depois um aumento até 2005, do ferro que cai entre 1990 e 2005 e do bário que mantém esse aumento até 2005. Para os outros metais seus fluxos entre 1995 e 2005 apresentaram valores pouco variáveis.

Os valores do fluxo do manganês sobem em direção ao topo do testemunho até 1972. A partir deste ponto os valores do fluxo caem significativamente até 1978, onde tornam a subir até 1990 e apresentam uma tendência de queda até 2005.

A análise de cluster feita com as variáveis reduzidas de todos os metais (figura 62) conseguiu agrupar as variáveis em dois grupos: antes e depois de 1984, com apenas os anos de 1990 e 1966 invertidos.

Tabela 11. Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho WSW150.

Fluxos em g/m^2/ano	**Hg**	**Al**	**Ba**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Ti**	**V**	**Zn**
Depois da ocupação humana local (1984)														
Valores máximos	0,000694	76,09	0,1190	0,0053	0,0695	0,4568	0,1492	164,10	1,30	0,1817	0,0831	36,27	0,5063	0,1198
Valores médios	0,000421	61,09	0,0660	0,0039	0,0601	0,4031	0,1253	143,12	0,86	0,1506	0,0764	30,61	0,4528	0,1070
Valores mínimos	0,000234	47,45	0,0287	0,0018	0,0488	0,3460	0,0898	88,50	0,65	0,1155	0,0696	24,41	0,3856	0,0963
Antes da ocupação humana local (1984)														
Valores máximos	0,000533	105,93	0,0424	0,0094	0,0730	0,4235	0,1747	187,64	1,23	0,2181	0,0914	40,40	0,6052	0,1247
Valores médios	0,000361	59,63	0,0274	0,0044	0,0577	0,3299	0,1312	132,16	0,74	0,1641	0,0686	31,24	0,4566	0,1033
Valores mínimos	0,000171	9,88	0,0124	0,0008	0,0406	0,1908	0,0879	28,31	0,23	0,1193	0,0340	21,21	0,3060	0,0799

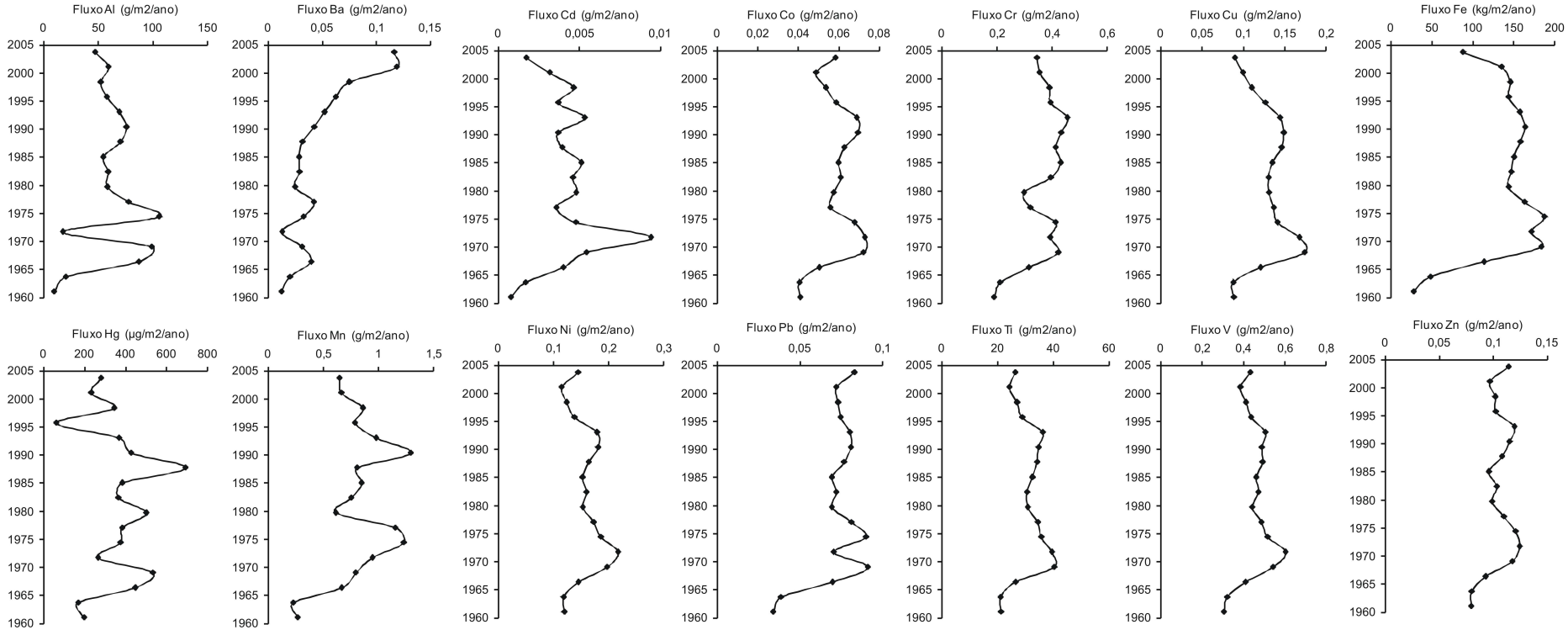

Figura 61. Fluxo de metais do testemunho WSW150.

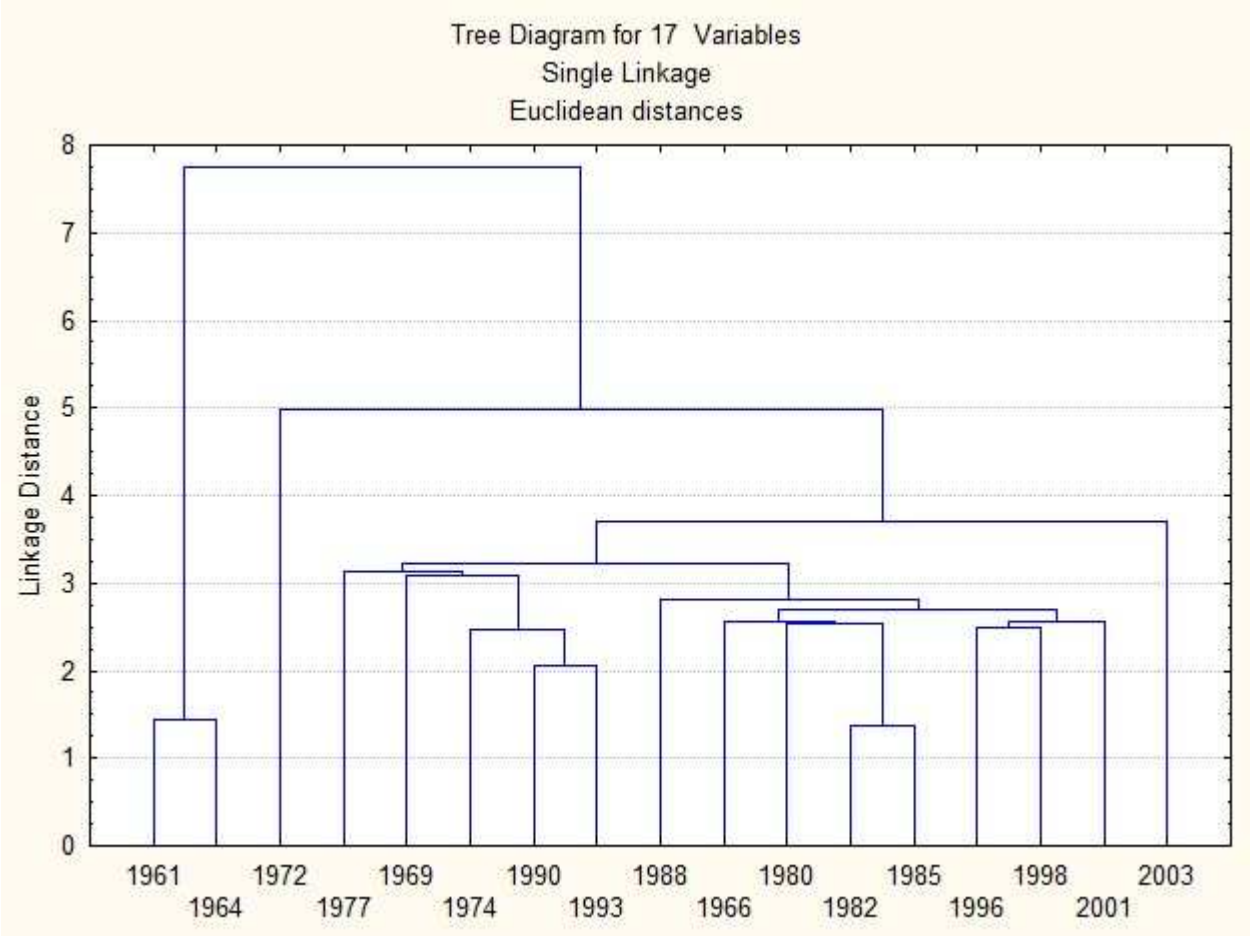

Figura 62. Análise de cluster das concentrações de todos os elementos do testemunho WSW150.

6.1.1.4 ***Testemunho WNW150***

6.1.1.4.1 *Evolução do desmatamento na região de entorno*

Esse testemunho foi coletado em uma região distante 150 km do centro da cidade de Alta Floresta, na direção norte-noroeste. A cena datada de 25/07/1981 (figura 63) mostra a região com uma densa cobertura florestal, ainda sem a ocorrência de nenhuma atividade antrópica. Para essa região foi observada uma lacuna de imagens para os anos de 1982 e 1983, e na imagem 12/06/2004 (figura 63) já é possível observar a presença da estrada passando muito próxima ao ponto de coleta. Portanto, não foi possível determinar com precisão o ano de construção da estrada, entretanto esse fato não provoca prejuízos às analises, pois não há sinais de desmatamento antes de 1984, mostrando-se gradativo desde então, até atingir uma grande área desmatada na cena de agosto de 2008. Portanto, o ano de 1984 será considerado como de início da colonização dessa região.

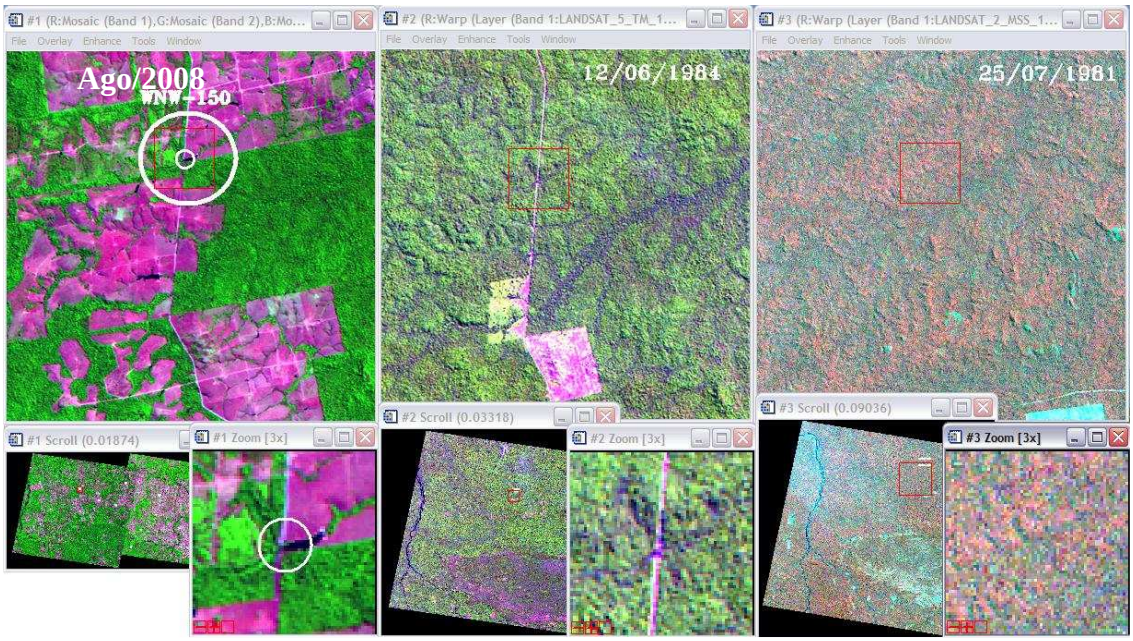

Figura 63. Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolução especial 30metros), TM (resolução 30 metros), e MSS (resolução 80metros).

É interessante notar a ampliação da área desmatada ao redor da região de coleta do testemunho WNW 150, durantes as décadas de 1980, 1990 e 2000, assim como a ampliação da área alagada pelo açude no qual foi coletado o testemunho. Esses fatos estão muito bem marcados pela sequência de imagens apresentadas na figura 64.

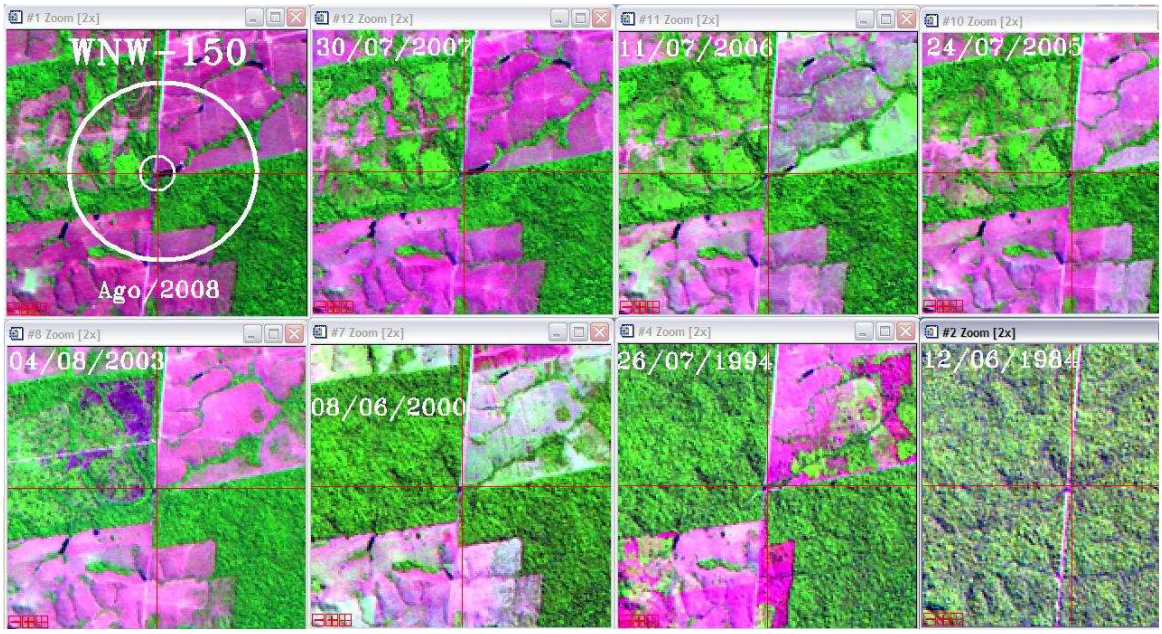

Figura 64. Composição colorida, Landsat Sensores TM (resolucao especial 30metros). Zoom da região adjacente ao local de coleta do testemunho WNW-150, período de 1984 a 2007 (incluindo o mosaico de Ago/2008).

6.1.1.4.2 *Densidade, teor de água e granulometria*

Os dados de teor de água e densidade (figura 65) apresentam uma excelente correlação negativa (r = -0,98). Da base até 33 cm os valores de ambos permanecem praticamente constantes, em torno de 20% e 1,2 g/cm^3 e a partir daí, há uma tendência de aumento dos teores de água e uma diminuição dos valores de densidade, até aproximadamente 13 cm, quando atingem 65% e 0,4 g/cm^{3}e se mantêm constantes até o topo.

O perfil granulométrico (figura 65) apresenta interessantes variações ao longo dos 58 cm do testemunho WNW150. Da base até 33 cm de profundidade, observa-se uma grande concentração de areia, representando aproximadamente 80% da composição dos grãos encontrados. Nessa fase, há uma forte presença de areia média e fina (em torno de 50%). Em 33 cm há diminuição significativa da fração areia, que passa a responder por aproximadamente 30% dos grãos. Entretanto, esse fato parece ser explicado por uma entrada pontual de sedimentos mais finos, pois logo em seguida a concentração de areia volta aumentar, embora uma presença bem reduzida de areia média. A partir de 31 cm até o topo do testemunho se observa uma diminuição gradativa da fração areia, sendo que só é observado apenas mais uma pequena entrada pontual de areia média (provavelmente decorrente de um evento de enxurrada, que carreou material do entorno para dentro da área. Nos 5 primeiros centímetros do testemunho a fração areia some completamente, e a fração argila passa a representar aproximadamente 10% dos grãos (a participação dessa fração era ínfima da base do testemunho até 33 cm, quando a partir de então passou a aumentar.

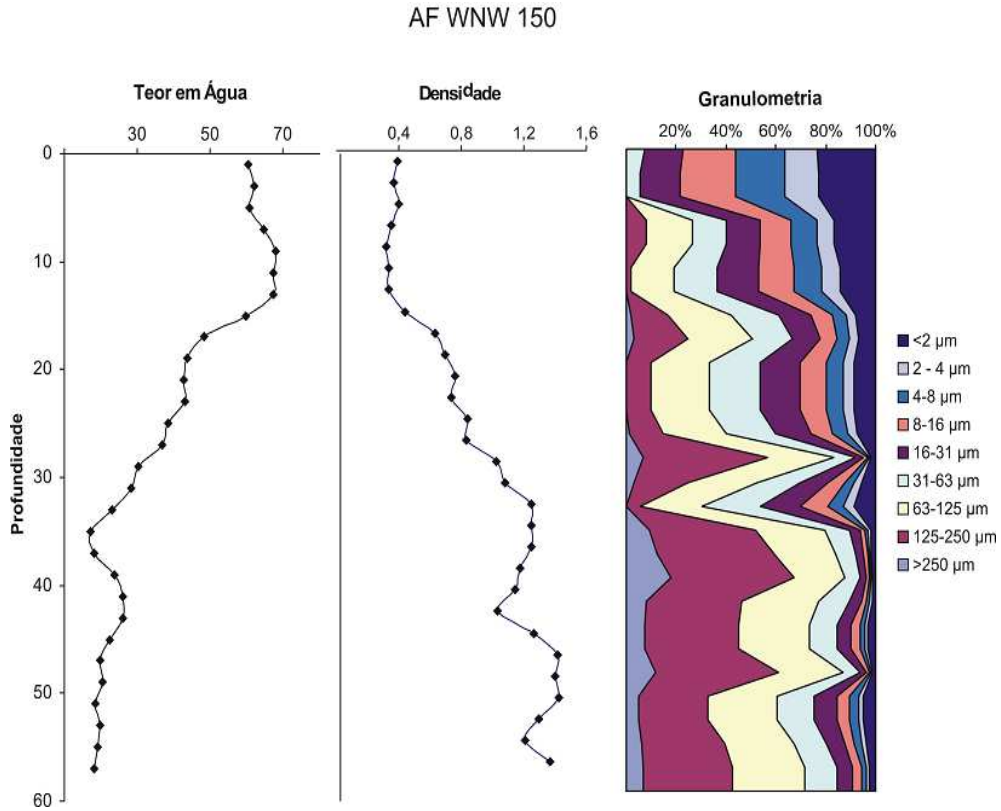

Figura 65. Resultados de teor em água, densidade, e granulometria para o testemunho WNW150.

6.1.1.4.3 *Determinação das idades sedimentares e taxas de sedimentação*

Os resultados de ^{210}Pb e ^{226}Ra (figura 66) mostram um baixíssimo decaimento entre 33 cm e a base do testemunho, levando a crer que essa região do testemunho apresenta o solo do região e, que a zona de sedimentação se localiza de 33 cm até o topo.

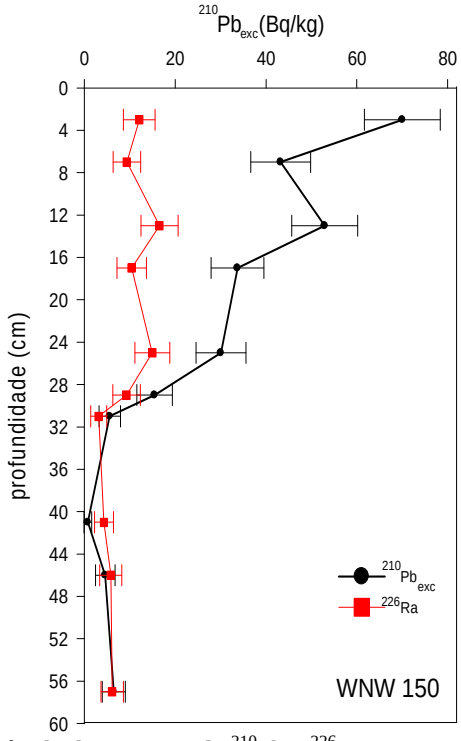

Figura 66. Perfis de decaimento de ^{210}Pb e ^{226}Ra para o testemunho WNW150.

Esses valores permitiram calcular as taxas de sedimentação encontradas no testemunho WNW150, como mostra a figura 67. Como não foram feitas as determinações de ^{210}Pb e ^{226}Ra de todas as camadas acima de 33 cm, foi feita uma aproximação das profundidades, baseada nos dados de granulometria e matéria orgânica. Foram calculados 2 modelos CIC para a determinação das taxas de sedimentação: o primeiro foi calculado com os valores medidos das amostras 3, 7, 13 e 17 cm e foi estendido até 19 cm. O segundo foi feito com as amostras 25, 29 e 31 cm e foi utilizado para o cálculo das idades da camada entre 19 e 33 cm. As taxas de sedimentação calculadas foram de respectivamente, 0,9 cm/ano e 0,12 cm ano.

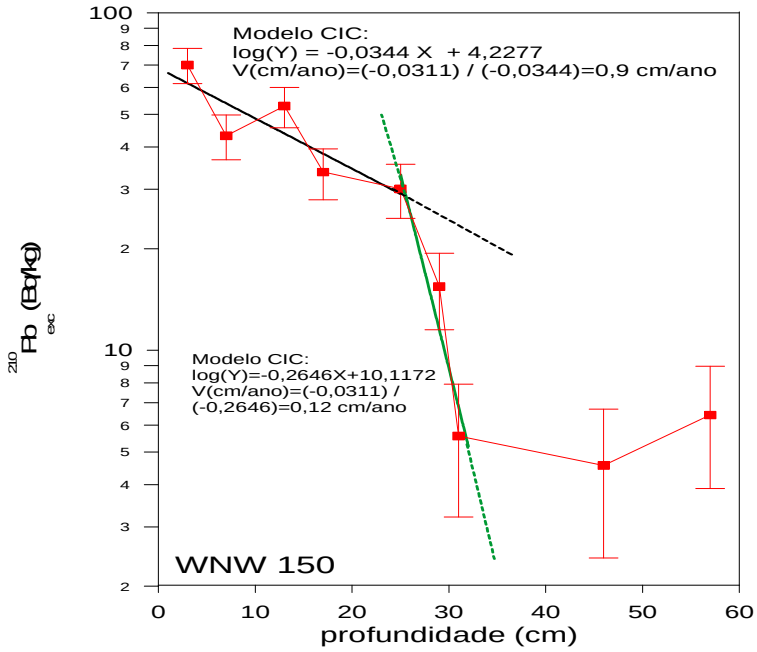

Figura 67. Modelo de sedimentação para o testemunho WNW150.

6.1.1.4.4 *Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total, razão CN e composição isotópica de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N).*

As concentrações de carbono e nitrogênio (figura 68) seguem o mesmo comportamento, apresentando uma correlação altamente significativa (r^2=0,99). Da base até 33 cm os valores são muito baixos (média de 0,56% para o carbono e 0,03% para o nitrogênio) e a partir dessa profundidade apresentam grandes aumentos até 9 cm de profundidade (o carbono aumenta de 0,38% em 33 cm para 10,64% em 9 cm, registrando um aumento de 2700%, enquanto o nitrogênio passa de 0,022% em 33cm para 0,817% em 9 cm, aumento de mais de 3600%). Em 7 cm, os dois elementos sofrem uma redução brusca para depois aumentarem novamente e apresentam uma tendência de estabilização nos primeiros 5 cm do testemunho. Essas mudanças tão intensas corroboram os dados de teor de água, densidade e granulometria que já haviam registrado uma mudança significativa a partir de 33 cm em direção ao topo do testemunho WNW150.

Os valores da relação C/N se mantêm altos e relativamente constantes da base até 33 cm, com valores variando entre 15,33 e 18,57. De 33 cm até 29 cm, o C/N sofre uma brusca redução, passando de 17,10 para 13,21 e a partir dessa profundidade mantém uma tendência de queda até o topo do testemunho, onde registra valores próximos a 10.

Os isótopos de ^{13}C e ^{15}N mantêm uma leve tendência de queda da base até 33 cm (com exceção de uma diminuição mais acentuada de ^{15}N entre 43 e 41 cm) e a partir de então passam a apresentar comportamentos inversos. O ^{13}C se torna mais negativo em 31 cm e se mantém praticamente constante até 19 cm, a partir daí sofre uma queda nos seus valore até 7 cm e se mostra mais constante nos 5 primeiros centímetros do testemunho. Já o ^{15}N apresenta uma tendência de aumento entre 33 e 19 cm, quando sofre uma queda e a partir daí passa a apresentar um leve aumento até o topo.

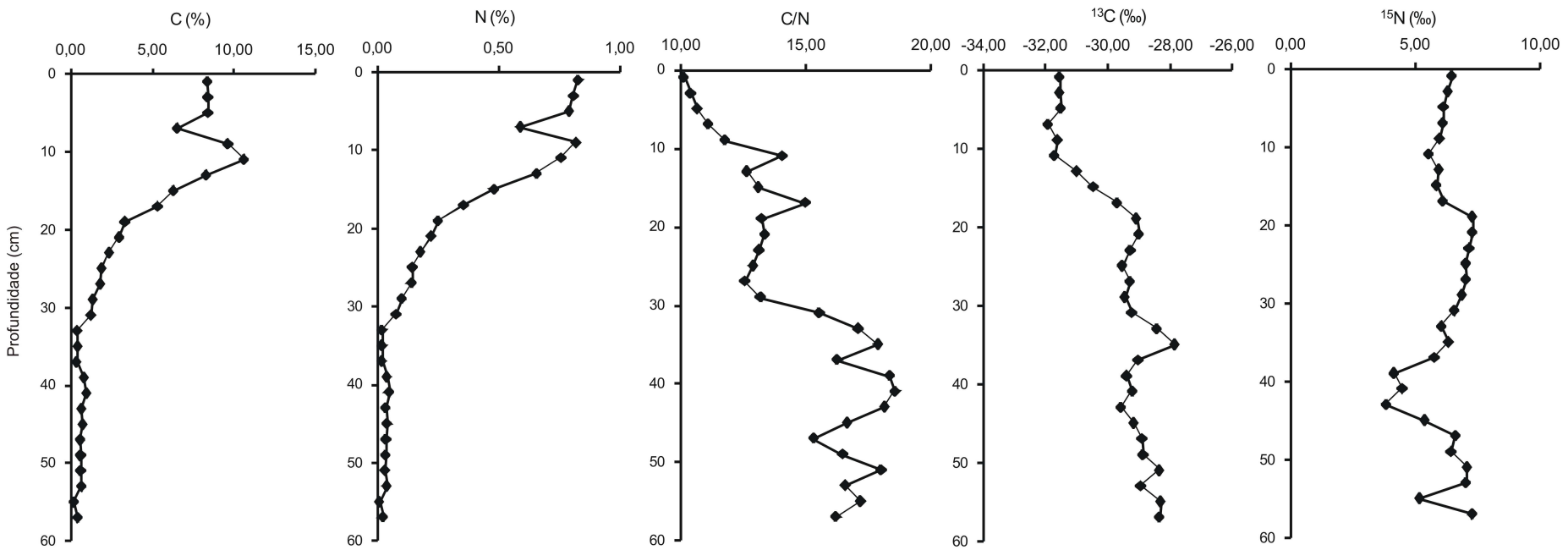

Figura 68. Valores de concentração de carbono e nitrogênio e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N e valores absolutos da relação carbono/nitrogênio para o testemunho WNW150.

A análise dos dados e dos perfis do testemunho WNW150 nos permite fazer uma divisão inicial do testemunho em 2 partes (da base até 33 cm e, daí até o topo). Quando se analisa a camada superior (de 33 cm ao topo), se observa comportamentos distintos dos elementos analisados, de 33 cm a 19 cm, de 19 cm a 11 cm e de 11 cm até o topo do testemunho. O testemunho encontra-se, portanto, dividido em 4 fases, como mostra a tabela 12.

Tabela 12. Divisão do testemunho WNW150. Valores médios para cada fase.

	Granulometria	*%C*	*%N*	*C/N*	*^{13}C*	*^{15}N*
Fase 4 (topo-11cm)	Queda acentuada dos sedimentos grossos até a ausência de areia. Argila passa a ser expressiva	8,28	0,76	10,84	-31,61	6,20
Fase 3 (11-19cm)	Diminuição gradativa da concentração de sedimentos grossos e aumento de sedimentos finos	6,78	0,50	13,63	-30,37	6,15
Fase 2 (19-33cm)	Presença ainda marcante da fração areia, mas com entrada de sedimentos finos	1,71	0,13	13,99	-29,16	6,86
Fase 1 (33cm – base)	Predomínio de areia	0,57	0,03	17,14	-28,80	5,80

A fase 1 mostra granulometria com predomínio absoluto de sedimentos grosso, principalmente areia média e fina, valores de carbono e nitrogênio extremamente baixos, ^{15}N baixo, altos valores de C/N e valores menos negativos de ^{13}C. A análise conjunta da razão C/N com o ^{13}C (figura 69) aponta para uma matéria orgânica com influência de plantas terrestres do tipo C_3.

A fase 2 registra uma forte diminuição da participação dos sedimentos grossos, aumento significativo dos valores de carbono e nitrogênio, aumento dos valores de ^{15}N, grande redução dos valores da relação C/N e o ^{13}C se torna mais negativo. Os dados de C/N x ^{13}C mostram que passa a haver uma influência de matéria orgânica proveniente de algas lacustres, o que mostra que em 33 cm, houve o alagamento da área, com o início da sedimentação (mostrado também pelo grande aumento de carbono e nitrogênio). Essa camada corresponde a

um ambiente de baixa energia, brejoso, com baixa circulação de água. A redução do ^{15}N na fase 3 indica que houve denitrificação na fase 2.

A fase 3 (11 cm - 19 cm) mostra um expressivo aumento de carbono e nitrogênio em relação à fase 2, e seus valores médios são 6,78% e 0,50%. A razão C/N continua caindo, porém exibe com picos de aumento, em 17 cm e 11 cm. A análise da relação CN *versus* o ^{13}C mostra maior influência de algas lacustres, em relação à influência de plantas C_3 observada na fase 1. Os valores de ^{13}C se tornam ainda mais negativos (média de -30,37‰) e os valores de ^{15}N apresentam queda.

Durante a fase 4 observa-se que as concentrações de carbono orgânico total e nitrogênio total continuam aumentando, atingindo valores máximos de 9,64% e 0,83%, respectivamente. A razão CN diminui expressivamente, e o ^{13}C também diminui, indicando influência ainda maior de algas lacustres. O ^{15}N não apresenta grandes variações, mas mostra uma leve tendência de aumento.

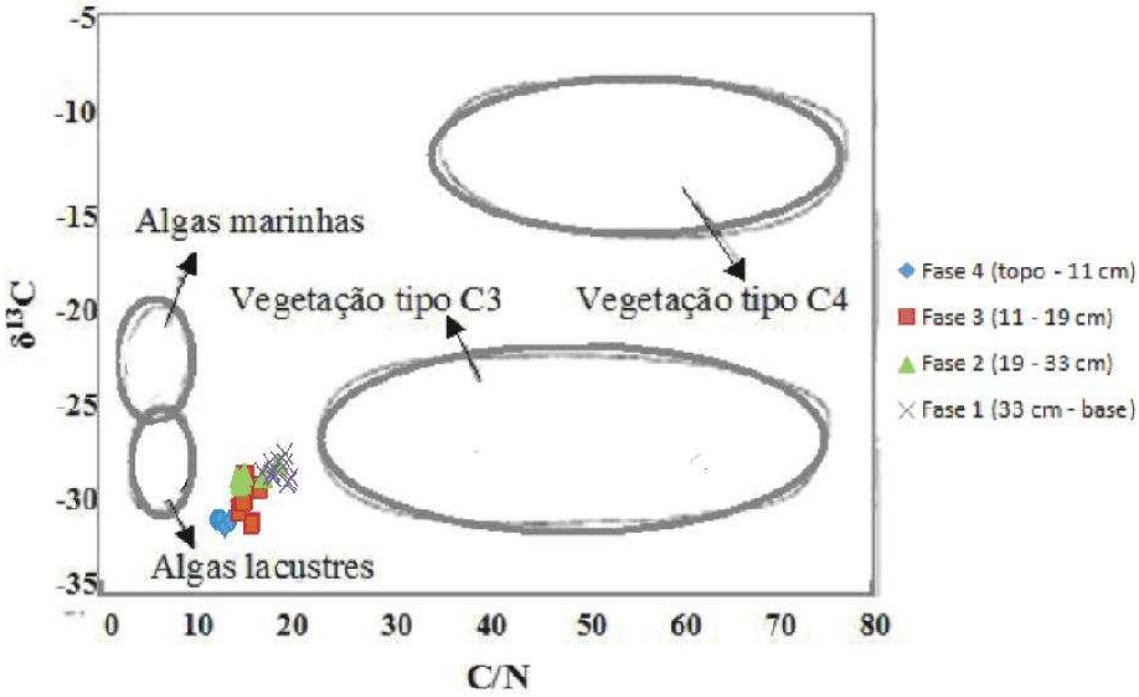

Figura 69. Valores de C/N vs. ^{13}C do testemunho WNW150 plotados contra valores de referência para caracterizar a fonte matéria orgânica. Adaptado de Meyers, 1994.

Valores altos da razão C/N próximos à base do testemunho sugerem que, assim como ocorreu em outros testemunhos, o ambiente era constituído de solo, provavelmente um Podzólico Vermelho – Amarelo associado a Areias Quartozas Álicas, que caracterizam uma grande amplitude dos valores da relação.

6.1.1.4.5 *Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total.*

Como as taxas de sedimentação são bem distintas nas fases 2 e 3, foi necessário fazer uma "quebra" do eixo das idades para colocar todas as idades no mesmo eixo sem distorcer a curva.

Os fluxos de carbono e nitrogênio (figura 70) se apresentam constantes de 33 cm (1867) até 21 cm (1964) e a partir dos 19 cm (1984) passam a registrar um grande aumento em direção ao topo. As análises das imagens de satélite mostraram que a construção da estrada data do ano de 1984. Esse fato provocou uma grande entrada de água na área, tornando um ambiente brejoso em um ambiente com maior sedimentação. O ambiente formado após 19 cm mostra-se altamente produtivo, sendo que grande parte dessa produção é proveniente de algas (como mostrado pela razão C/N).

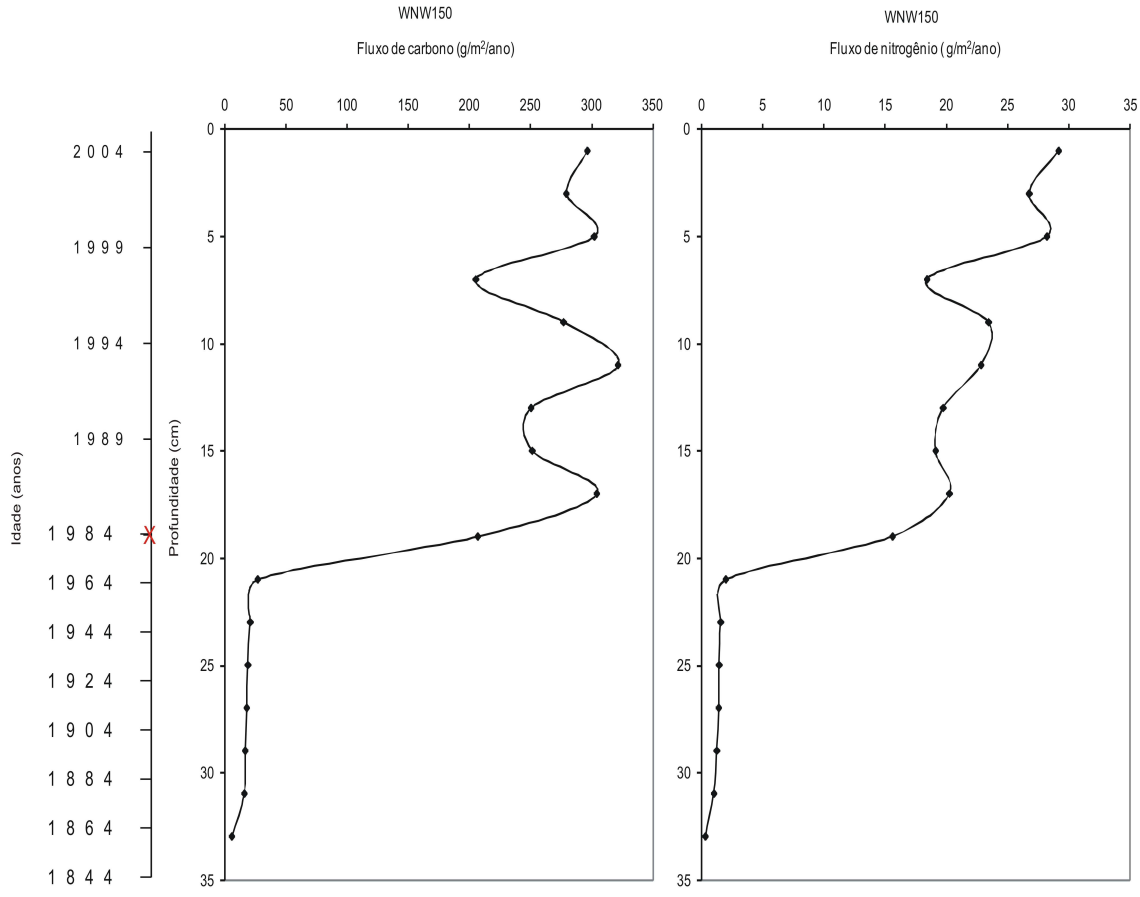

Figura 70. Fluxos de carbono e nitrogênio para o testemunho WNW150. O "X" indica a quebra no eixo.

6.1.1.4.6 *Análise microscópica das partículas de carvão.*

A concentração de partículas de carvão do testemunho WNW 150 (figura 71) se mantém muito baixa e constante da base do testemunho até 43 cm. A partir dessa profundidade e até 37 cm há um aumento nesses valores e eles voltam a diminuir desde então até 31 cm. Entre 31 cm e 21 cm há uma leve e constante tendência de aumento. Entre 21 cm e 15 cm há uma tendência de aumento mais forte que a anterior, e os valores de concentração chegam a 2 x 10^6 partículas/grama. Em 13 cm há uma nova queda e na sequência ocorre o maior aumento registrado no testemunho, quando a concentração atinge valores próximos a 8 x 10^6 partículas/grama, em 9 cm. Há uma nova queda até 5 cm, um outro pico de 6 x 10^6 partículas/grama em 3 cm e uma nova redução no topo do testemunho.

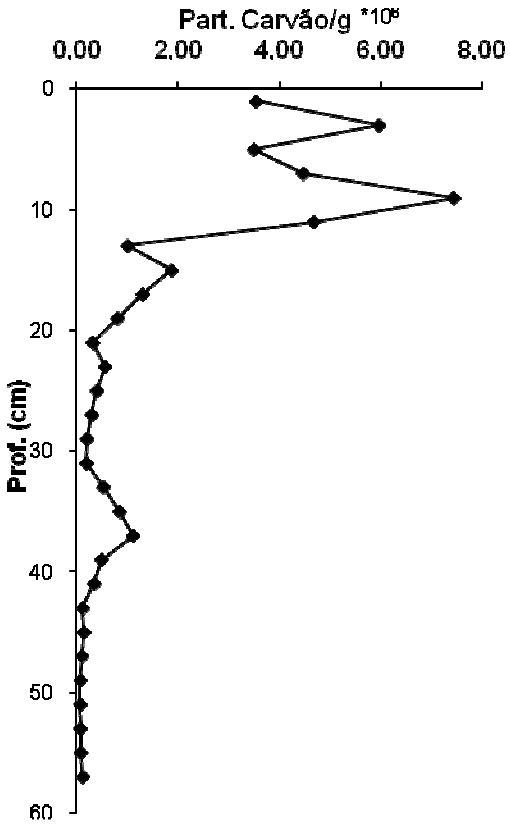

Figura 71. Concentração de partículas de carvão no testemunho WNW 150.

O testemunho WNW150 apresentou um intenso aumento no fluxo de deposição de partículas de carvão (figura 72) de 1984 até 2004, resultante das intensas queimadas realizadas no período no estado de Mato Grosso e em toda a região amazônica. Apesar de seguir o mesmo padrão de aumento no fluxo de partículas de carvão, o testemunho WNW150 apresenta valores muito inferiores aos registrados nos testemunhos LCEN050 e WSW150, fato que é explicado pela grande diferença de área queimada entre esses pontos.

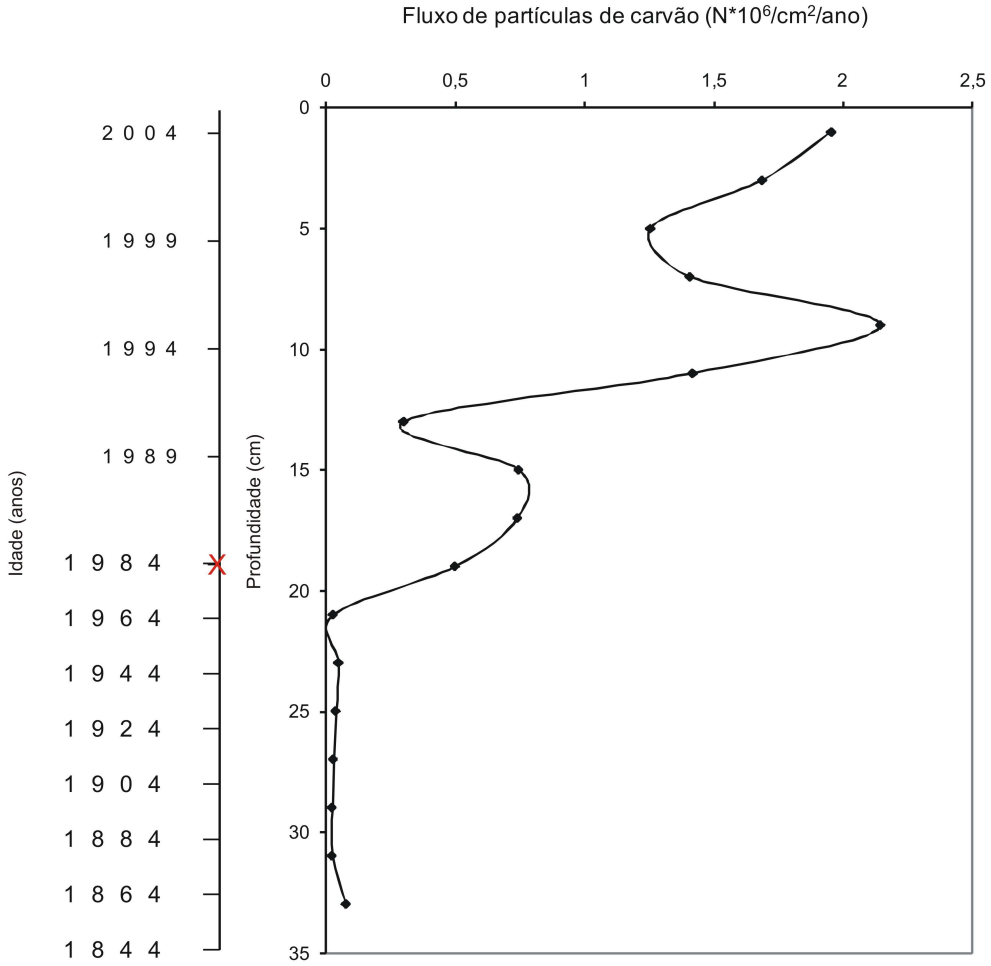

Figura 72. Fluxo de deposição de partículas de carvão para o testemunho WNW150.

6.1.1.4.7 *Análise de mercúrio.*

A concentração de mercúrio do testemunho WNW 150 (figura 73) apresenta comportamento constante e valores muito baixos da base até 33 cm. A partir dessa profundidade, observa-se um grande e contínuo aumento dos valores até 27 cm, quando a concentração de Hg atinge 0,11 ppm. De 27 cm até 17 cm é verificada uma diminuição nos valores, com exceção da amostra 19 cm, que apresenta um aumento pontual de concentração. Entre 17 cm e 11 cm há um novo aumento, com intensidade maior do que o verificado na camada abaixo, e o valor da concentração de Hg chega a 0,16 ppm em 11 cm. Em 9 cm é verificada uma forte queda, com valor de concentração chegando a 0,0054 ppm. A partir dessa profundidade e até o topo do testemunho observa-se um intenso aumento da concentração, atingindo os valores mais altos de todo testemunho (0,22 ppm).

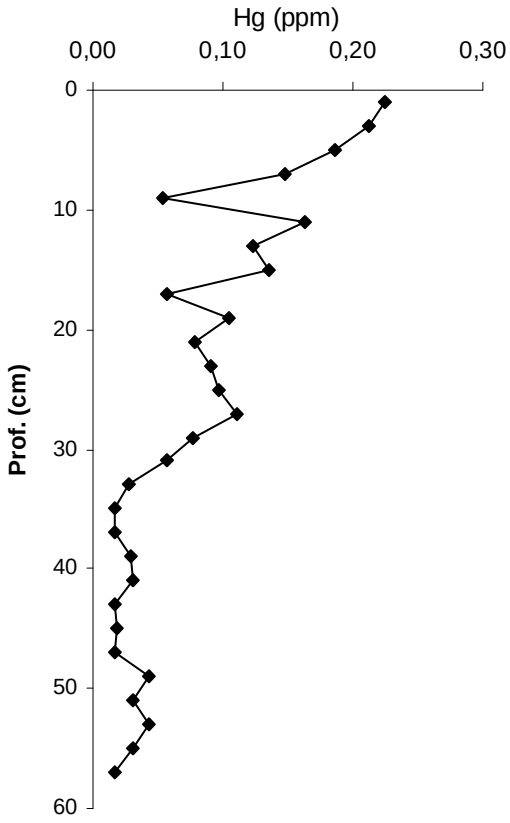

Figura 73. Concentração de mercúrio do testemunho WNW 150.

O fluxo de mercúrio do testemunho WNW 150 (figura 74) apresenta valores baixos e praticamente sem variações da base do testemunho até 21 cm, sendo que essa camada representa o período antes do início da ação humana na região de Alta Floresta. A partir de 1984 pode-se observar um grande aumento no fluxo de mercúrio, com valores passando de aproximadamente 70 μg/m^2/ano para valores ao redor de 500 μg/m^2/ano na camada do testemunho que representa o período entre os anos de 1984 e 1994. Em 1995 (9 cm) observa-se uma forte queda, com o valor do fluxo sendo reduzido a 155 μg/m^2/ano, mas a partir de 1997 verifica-se uma nova tendência de aumento até o topo do testemunho, atingindo valores de fluxo de quase 800 μg/m^2/ano.

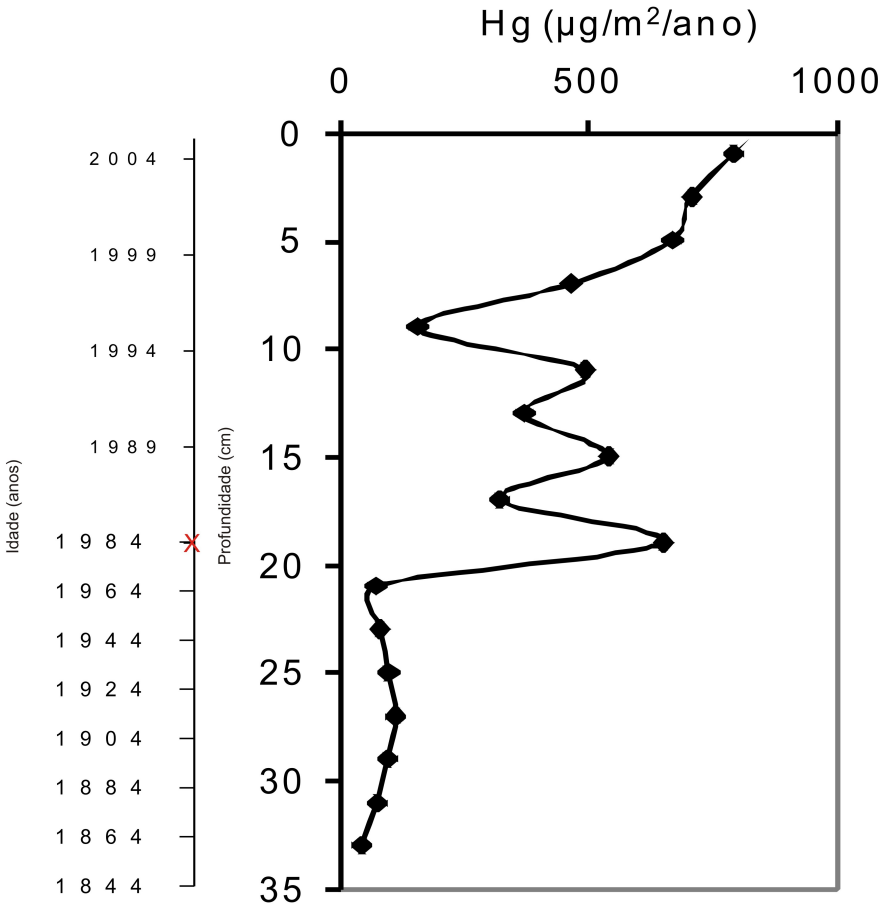

Figura 74. Concentração de mercúrio do testemunho WNW 150.

6.1.1.4.8 *Análise de elementos maiores e demais elementos traço.*

O testemunho WNW 150 foi o que apresentou maiores variações em ralação às concentrações de elementos traço e maiores de todos os perfis estudados. Todos os elementos analisados apresentaram concentrações muito superiores no período após a ocupação humana local (1984) do que no período anterior, como mostra a tabela 13.

De maneira geral, pode-se afirmar que houve mudanças significativas no fluxo de deposição de metais ao longo do testemunho WNW150 (figura 75 e tabela 13), podendo indicar que houve uma profunda mudança na dinâmica do sistema. A ação humana possivelmente se mostra presente nesse comportamento.

Os metais Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, PB, Ti, V e Zn apresentaram o mesmo comportamento, com um crescimento do fluxo em direção ao topo do testemunho. Em que os menores valores de fluxo foram de 1844 até 1950 anos. A partir da década de 50 o fluxo desses metais cresce abruptamente em direção ao topo do testemunho, onde o fluxo cai em 1999 e voltam a crescer até o topo do testemunho (ano de 2004), com exceção dos metais o Co, Cr, PB e Ti que apresentaram uma suave diminuição e mantiveram-se relativamente estáveis até 1993. A partir deste ponto tais fluxos crescem em direção ao topo do testemunho e tornam a cair em 1999, onde novamente voltam a crescer até o topo do testemunho.

Os fluxos do Al e Ba apresentam baixos valores da base do testemunho até a década de 50, onde sofre um abrupto aumento até a década de 70. A partir deste ponto os fluxos apresentam-se pouco variáveis até 1993, onde crescem novamente e tornam cair em direção ao topo do testemunho.

Com a análise de cluster feita com as variáveis reduzidas de todos os metais (figura 76) foi possível obter com clareza a divisão em dois grupos: antes e depois de 1984.

Tabela 13. Valores máximos, médios e mínimos das concentrações de elementos maiores e traços de antes e depois da ocupação humana em Alta Floresta, para os metais do testemunho WNW150.

Fluxos em g/m2/ano	**Hg**	**Al**	**Ba**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Ti**	**V**	**Zn**
Depois da ocupação humana local (1984)														
Valores máximos	0,000793	150,049	0,934	0,006	0,051	0,188	0,170	95,329	0,689	0,178	0,064	27,034	0,452	0,078
Valores médios	0,000516	94,623	0,497	0,003	0,032	0,148	0,092	59,358	0,422	0,104	0,048	17,507	0,259	0,052
Valores mínimos	0,000155	69,081	0,182	0,001	0,018	0,116	0,028	29,391	0,282	0,055	0,037	11,919	0,142	0,034
Antes da ocupação humana local (1984)														
Valores máximos	0,000110	27,320	0,182	0,00017	0,004	0,031	0,006	4,282	0,061	0,010	0,014	2,609	0,025	0,007
Valores médios	0,000082	17,586	0,121	0,00007	0,003	0,025	0,004	3,790	0,056	0,008	0,012	2,091	0,021	0,005
Valores mínimos	0,000042	12,908	0,090	0,00001	0,002	0,016	0,003	2,758	0,047	0,005	0,009	1,262	0,015	0,003

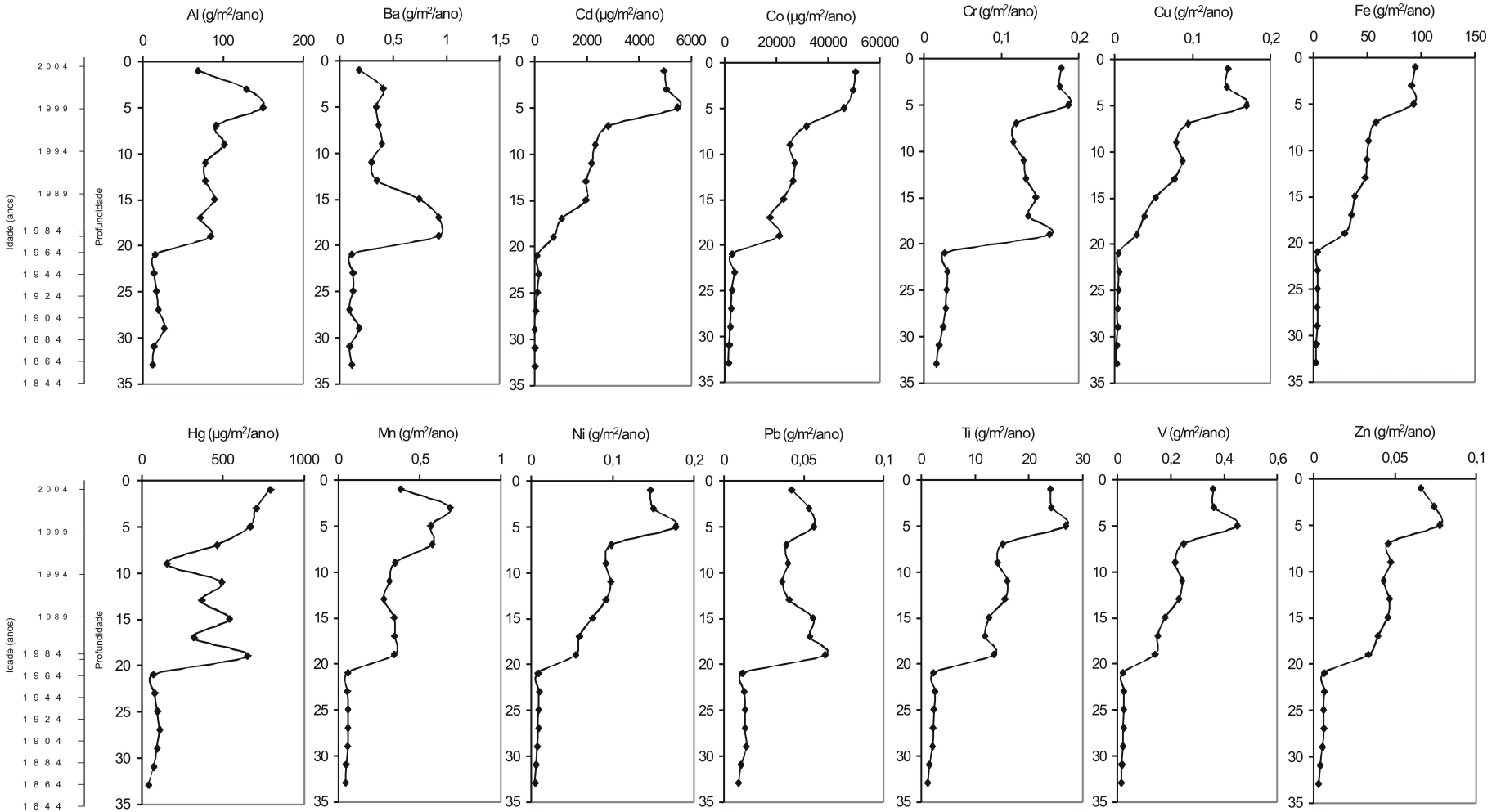

Figura 75. Fluxo de metais do testemunho WNW150.

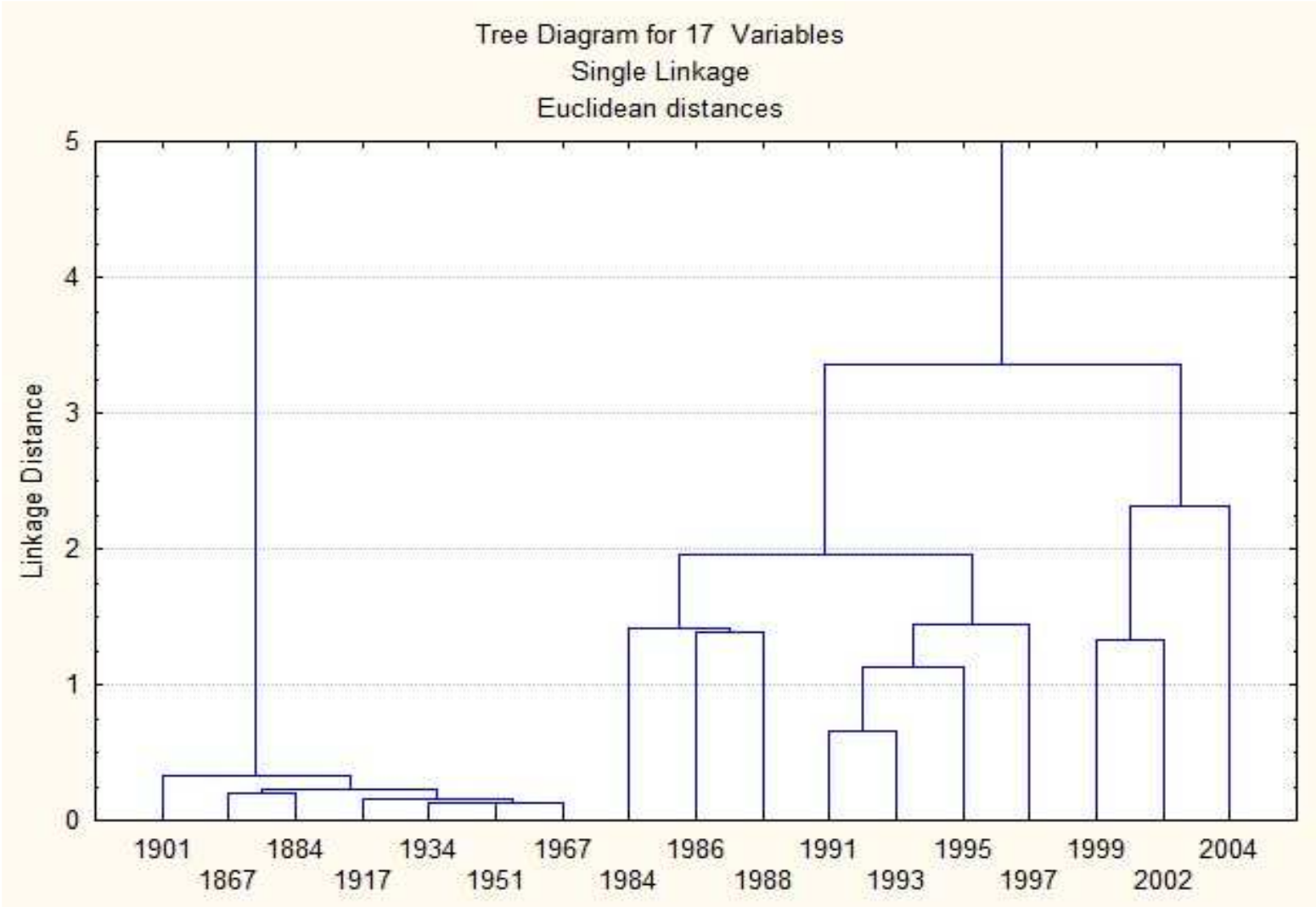

Figura 76. Análise de cluster da concentração de todos os metais do testemunho WNW150.

6.2 DISCUSSÃO

O estudo das mudanças do uso da terra na região de Alta Floresta, através das imagens de satélite no período de 1975 a 2008 e os registros sedimentares coletados nos pontos nos arredores da cidade, permitiu uma boa compreensão de como o processo de desmatamento ocorreu nessa região ao longo dessas 3 décadas.

A região de Alta Floresta, assim como diversas outras áreas da Amazônia Brasileira sofreram a partir da década de 1970 um intenso processo de colonização, com a construção de estradas, núcleos urbanos e atividades agropecuárias e extrativistas, como o garimpo de ouro.

Essa região apresentou o modelo clássico de desmatamento na Amazônia, conhecido como “espinha de peixe”. O processo se inicia com a abertura de uma estrada principal, e extração de madeiras nobres. Em seguida são construídas estradas secundárias e terciárias, formando uma malha rodoviária. A partir de então surgem atividades econômicas, como a agropecuária.

No caso da região estudada, o desmatamento ocorreu a partir de um núcleo central, a construção da cidade de Alta Floresta, e foi se ramificando. No primeiro momento, observa-se o avanço do desmatamento indo do núcleo central na direção oeste, a partir de 1978. Nesse momento já se pode observar também diversos núcleos isolados de desmatamento em diversos pontos da região.

A partir do surgimento de um marco inicial de desmatamento (nesse caso, o início da construção da cidade de Alta Floresta, em escala regional, e a construção de cada estrada próxima aos pontos de coleta, em escala local), vão surgindo diversos outros núcleos de desmatamento, como fazendas, áreas de agropecuária, extração de minerais, extração de madeira, criação de novas cidades, dentre outros.

O desmatamento na região de estudo experimentou um processo inicial, entre 1978 e 1984, mais limitado à região mais próxima ao centro de Alta Floresta e alguns pontos isolados. A partir de 1984 há um grande avanço nos índices de desmatamento em toda região, e esse comportamento aumenta significativamente desde então.

Essa sessão tem por objetivo aprofundar as discussões a respeito dos indicadores que apresentaram os resultados mais significativos para o estudo das mudanças do uso da terra através de testemunhos de sedimento.

A tabela 14 representa um resumo desses resultados de forma simples e concisa, ilustrando as principais variações temporais e espaciais observadas no presente estudo. Optou-se por fazer a seguinte divisão temporal: uma vez que o início da ocupação humana em abrangência regional significativa se deu a partir de 1978, considerou-se que o período anterior a esse ano representa apenas as variações naturais do ambiente e uma ação humana não muito intensa (fase 1). Sabendo que foi possível verificar, através das imagens de satélite, o momento exato da construção das estradas, e de um impacto local a cada ponto de coleta, considerou-se o período entre 1978 e o ano de construção de cada estrada como uma fase de impactos regionais (fase 2). Como foi verificado o impacto local sofrido a partir da ocupação mais localizada, o período após a construção das estradas foi considerado como uma fase de impacto local (fase 3).

Tabela 14. Resumo dos principais indicadores das mudanças do uso da terra na região de Alta Floresta. A fase 1 registra os valores médios durante o período de tempo anterior à colonização da região (1978), a fase 2 registra os valores médios registrados entre 1978 e o ano de construção de cada estrada próxima ao ponto de coleta (1987 para o testemunho SSW 100 e 1984 para os testemunhos WSW 150 e WNW 150.

	LCEN O50	**SSW100**	**WSW 150**	**WNW 150**
MERCÚRIO (em $\mu g/m^2$/ano)				
Fase 3 - Impacto local	555	444	350	501
Fase 2 - Impacto regional	X	432	434	321
Fase 1 – Sem impacto	292	X	340	82
CARVÃO (em milhões de partículas/cm^2/ano)				
Fase 3 - Impacto local	5,5	2,8	4,6	1,3
Fase 2 - Impacto regional	X	1,9	2,1	0,5
Fase 1 – Sem impacto	2,3	X	0,8	0,04
ÁREA DAS PARTÍCULAS DE CARVÃO (em μm^2)				
Fase 3 - Impacto local	53	36	285	127
Fase 2 - Impacto regional	X	38	223	91
Fase 1 – Sem impacto	36	X	182	32

Uma das principais atividades econômicas da região de Alta Floresta a partir do início da sua colonização (1978) foi o garimpo de ouro. Entretanto, essa atividade, realizada de forma inadequada na região, libera grandes quantidades de mercúrio para a atmosfera (numa proporção de 1,2kg de Hg emitidos para cada quilo de ouro extraído, segundo Lacerda *et al*., 2001).

Uma vez na atmosfera, o mercúrio pode ser transportado e depositado, em solos ou corpos d'água, a certa distância do seu ponto de origem. Devido à sua alta volatilidade, o mercúrio depositado em solos pode ser facilmente remobilizado e novamente ir para a atmosfera. Um fator primordial para o aumento da remobilização do mercúrio do solo é a temperatura. Solos expostos tendem a apresentar temperatura mais alta do que solos cobertos por vegetação. Portanto, o mercúrio pode ser introduzido no ambiente pelas atividades de garimpo de ouro, porém a sua remobilização pode ser largamente ampliada pelo desmatamento.

Lacerda *et* al. (1998), mostraram que solos expostos (como pastos) conseguem emitir muito mais mercúrio para a atmosfera do que solos de floresta, o que permite concluir que o desmatamento contribui em parte para a emissão de mercúrio.

Entretanto, em áreas de solos pobres em mercúrio, como o caso de Alta Floresta, essa emissão é muito reduzida, o que leva a crer que a participação do desmatamento na deposição de mercúrio em solos e corpos d'água é ínfima, quando comparada com as emissões provenientes do garimpo.

Nessa seção buscou-se fazer uma interpretação dos fluxos de mercúrio nos testemunhos estudados, bem como uma relação entre o fluxo de mercúrio e a intensidade de incêndios florestais, através da deposição de partículas de carvão.

O perfil de fluxo de Hg do testemunho LCEN050 mostra que a deposição desse elemento na região onde foi coletado o testemunho apresentou um grande aumento após o início das atividades humanas diretas (média de 292 $\mu g/m^2$/ano para antes de 1978 e de 555 $\mu g/m^2$/ano para depois de 1978) (tabela x).

A redução no fluxo no ano de 1989 pode ser explicada pela redução na produção de ouro na região para o ano de 1988 (Lacerda *et al*., 1998). Levando-se em conta que o Hg emitido pelos garimpos entra na circulação atmosférica e pode permanecer aproximadamente 1 ano na atmosfera (Dominguez, 2005), dependendo das condições atmosféricas, esse atraso na deposição pode ser perfeitamente justificado.

A relação entre o fluxo de mercúrio e o fluxo de partículas de carvão num primeiro momento se mostra significativa (r^2 = 0,60) e se for excluída a amostra correspondente ao ano de 1989, essa correlação se mostra ainda mais forte (r^2 = 0,80), o que nos leva a crer que há uma relação entre desmatamento e a deposição de mercúrio, como mostra a figura 77.

No entanto, devido ao tempo que o mercúrio permanece na atmosfera e à remobilização desse elemento dos solos, a relação entre esses dois indicadores pode sofrer uma decalagem, ou seja, um período de queimadas acentuadas pode gerar um aumento da deposição de mercúrio em um período posterior. Nesse sentido, o pico de fluxo de partículas de carvão registrado no ano de 1989 pode ter sido responsável pelo aumento no fluxo de deposição de mercúrio nos primeiros anos da década de 1990.

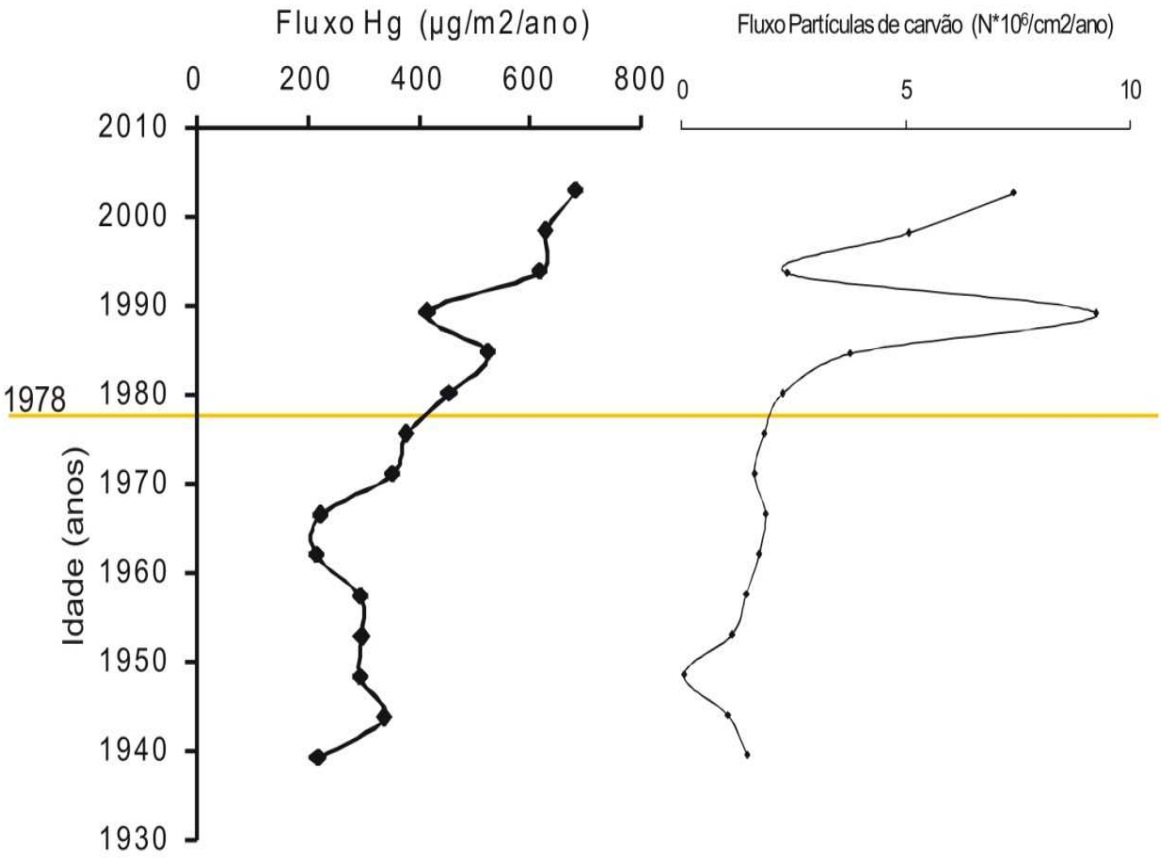

Figura 77. Fluxo de mercúrio e carvão para o testemunho LCEN050.

O testemunho SSW 100 mostrou altos valores de fluxo de mercúrio desde o início do processo de ocupação humana regional, com valores médios de 432 µg/m^2/ano para antes de 1978 e 444 µg/m^2/ano para depois de 1978. Esse fato já era esperado, uma vez que o ponto de coleta é localizado em uma antiga cava de extração de ouro.

A relação entre o fluxo de mercúrio com o fluxo de partículas de carvão (figura 78) não se mostra muito elevada quando se analisa diretamente os dois perfis (ano a ano). Entretanto, pela hipótese da decalagem entre a ocorrência de incêndios e a deposição de mercúrio, pode-se fazer interessantes inferências a respeito desse testemunho: nota-se que todos os picos de mercúrio (1983, entre 1988 e 1993 e 1999) são precedidos por picos de carvão em períodos semelhantes (1982, 1987 e entre 1995 e 1998).

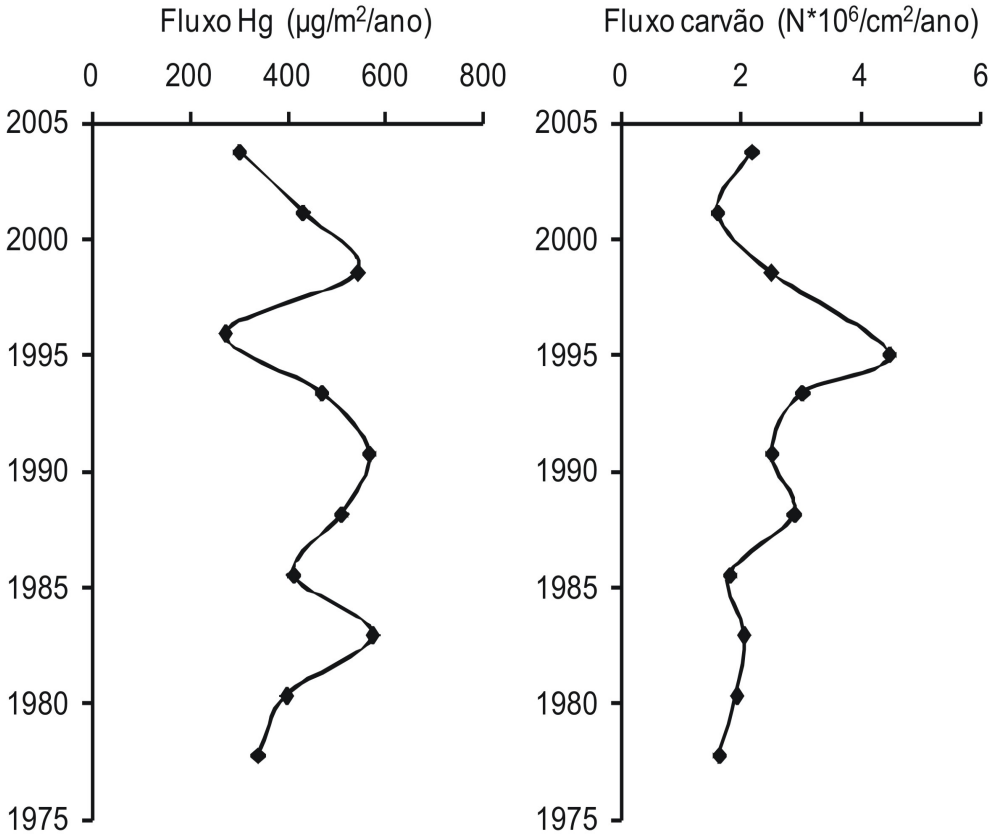

Figura 78. Fluxo de mercúrio e carvão para o testemunho SSW 100.

O testemunho WSW 100 apresenta valores altos desde a base do testemunho, mesmo antes do início da ocupação humana, sugerindo que essa seja uma região que apresente altas concentrações de mercúrio nos solos. Entretanto, a partir de 1978 observa-se aumento nos valores do fluxo de deposição, até o final da década de 1990, período de maior produção de ouro na região de Alta Floresta (figura 79).

É verificada uma possível correspondência entre o aumento do fluxo de partículas de carvão no final da década de 1970 com o aumento do fluxo de deposição de mercúrio em 1980. Relações semelhantes são registradas em outras profundidades do testemunho: aumento

do fluxo de carvão a partir de 1984 e pico de mercúrio em 1988; pico de carvão entre 1994 e 1997 e pico de mercúrio em 1998).

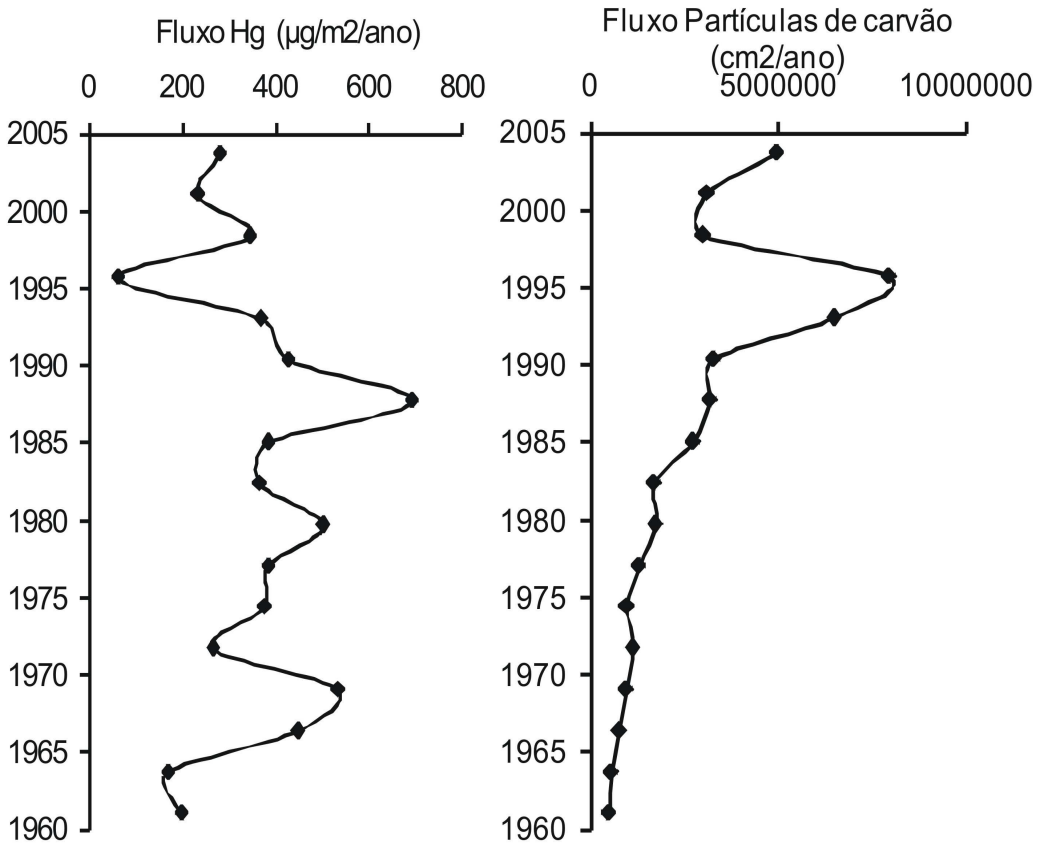

Figura 79. Fluxo de mercúrio e partículas de carvão do testemunho WSW150.

O perfil do testemunho WNW 150 revela que o fluxo de mercúrio se mantém extremamente baixo e constante até 1984, e a partir de então apresenta um grande incremento em seus valores, chegando a atingir mais de 700 µg/m^2/ano no topo do testemunho (o que sugere a ocorrência de atividades de garimpo em região muito próxima à área de coleta). Esse aumento no fluxo de mercúrio é claramente associado às atividades antrópica, principalmente as atividades de garimpo de ouro na região. O desmatamento também contribui para esse aumento pela remobilização, volatilização e posterior deposição do mercúrio dos solos (figura 80).

Apesar do grande aumento inicial no fluxo de mercúrio, observa-se uma tendência de redução dos valores entre 1984 e 1995. O fluxo de partículas de carvão também apresenta uma redução nos valores após o ano de 1989, porém apresenta forte aumento a partir de 1994 em direção ao topo do testemunho. Esse aumento na intensidade e freqüência de incêndios

florestais pode ter sido responsável pelo elevado aumento no fluxo de mercúrio registrado a partir de 1995.

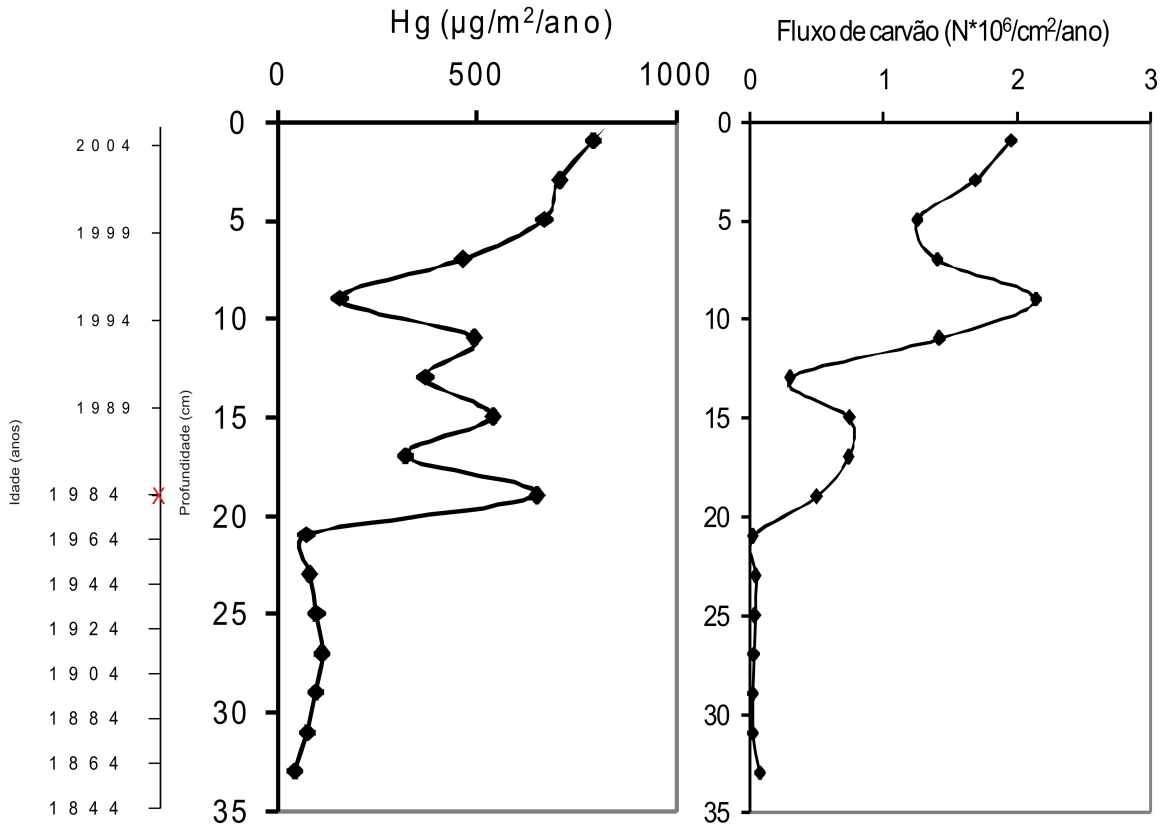

Figura 80: Fluxos de partículas de carvão e de mercúrio no testemunho WNW150.

A análise do fluxo de deposição de partículas de carvão mostrou claramente um grande impacto promovido pelo processo de colonização da região. A deposição de partículas se mostrou altamente dependente da localização dos eventos de incêndios florestais, mostrando que a influência local é muito mais elevada que a influência regional, entretanto essa última não pode ser menosprezada.

O testemunho LCEN 050, localizado mais próximo ao centro da cidade de Alta Floresta mostra um grande aumento no fluxo de partículas de carvão a partir do ano de 1978, enquanto os testemunhos SSW 100, WSW 150 e WNW 150 só mostram aumento nos fluxos a partir de 1984.

Observa-se também que o valor máximo atingido pelo fluxo do testemunho LCEN 050 data do ano de 1989, mostrando que o processe de colonização ocorreu antes nessa localidade, enquanto que para os testemunhos WSW150 e WNW 150 o desmatamento passa a ser mais significativo a partir de 1984 e os valores mais elevados datam dos anos de 1996 e 1995,

respectivamente. Já para o testemunho SSW 150, o processo de ocupação humana ocorre ainda mais tarde, com aumento das partículas de carvão apenas a partir de 1987 e o maior fluxo sendo registrado também em 1995.

Além disso, os valores absolutos encontrados no testemunho LCEN050 foram muito maiores do que os encontrados nos demais testemunhos, como resumido na tabela x. Vale destacar também, que anos nos quais foram verificados altos fluxos de partículas de carvão, como 1989, 1995 e 2004 coincidem com os anos de maiores taxas de desmatamento na Amazônia Brasileira.

A análise de deposição das partículas de carvão no sedimento mostrou ser o melhor parâmetro indicador de queimadas. Por ser inerte no solo, o carvão se mantém preservado, proporcionando um bom entendimento das mudanças do uso terra sofridas em uma determinada região.

Além disso, na região Amazônica, e especificadamente no município de Alta Floresta, segundo MICHALSKI (2008) existe uma correlação positiva entre a distância das estradas e as áreas desmatadas, visto que elas são responsáveis pelo acesso de empresas de exploração madeireira e de outras perturbações antrópicas, como a criação de áreas de pasto, a florestas remanescentes. Essa mesma correlação entre estradas e desmatamento foi abordada por KIRBY (2006), que afirmou que estradas pavimentadas impactam mais do que aquelas sem pavimentação, pois incentiva atividades como agricultura próxima a ela. Além disso, uma estrada principal pavimentada acarreta a construção de muitas outras secundárias, atuando no espaço como uma rede de desmatamento. O mesmo autor afirma que sem a construção de estradas que levam a áreas remotas não ocorre desmatamento nestas áreas.

Um interessante fator a ser estudado é a relação entre o desmatamento e o Produto Interno Bruto de um país. Historicamente, as mudanças do uso da terra no Brasil, sempre exibiram uma relação estreita de causa e consequência com a economia. De maneira geral, em momentos de economia “aquecida”, as mudanças do uso da terra são intensas, gerando queima de biomassa florestal.

Em um estudo de Cordeiro *et al*. 2002, essa relação se mostrou muito clara. Os autores estudaram o fluxo de deposição de mercúrio (Hg), partículas de carvão e carbono grafítico em um testemunho de sedimento, na região de Alta Floresta/MT. Esse testemunho foi coletado em uma represa formada pela construção de uma estrada.

Os autores acharam comportamentos semelhantes entre o fluxo de carbono grafítico depositado no sedimento e o Produto Interno Bruto Brasileiro, como mostrado na figura 81.

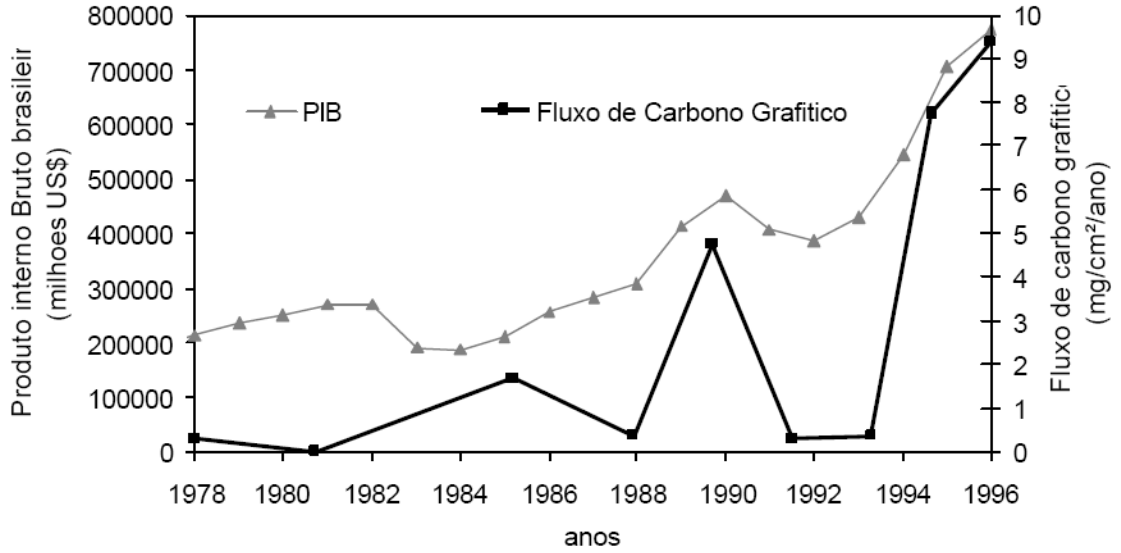

Figura 81. Fluxo de carbono grafítico em testemunho de sedimento em Alta Floresta (MT) e produto interno bruto brasileiro (Cordeiro, 2000).

À luz dessa relação, buscou-se entender o comportamento do fluxo de deposição de partículas de carvão dos testemunhos estudados e o PIB do Brasil durante o período dos registros sedimentares, como mostra a figura 82.

O testemunho LCEN050 apresentou um intenso aumento do fluxo de carvão a partir de 1978 e essa tendência permaneceu durante toda a década de 1980, até culminar no ponto máximo de deposição de partículas em 1989. Esse ano apresentou um aumento elevado no PIB, o que justifica as maiores taxas de desmatamento. Os anos posteriores sofreram acentuada queda nos valores de PIB, e essa tendência foi refletida nos fluxos de deposição de partículas de carvão no testemunho LCEN050. Interessante notar que mesmo com a queda do PIB em 2003, o fluxo de deposição aumentou, assim como o desmatamento em toda a Amazônia.

Assim como no testemunho LCEN050, o testemunho SSW100 apresentou um aumento no fluxo de carvão desde 1978 até o final da década de 1980. A grave crise financeira do início da década de 1990, com redução no PIB, gerou diminuição nas queimadas, e consequentemente na deposição de partículas de carvão, como mostra a figura 82.

De maneira geral, o fluxo de partículas de carvão do testemunho WSW150 se mostrou bem relacionado ao PIB brasileiro (figura 82). Entretanto, a crise financeira vivida pelo país no início da década de 1990 não pôde ser bem registrada pela deposição de partículas de carvão

devido à ausência de amostras nesse período. Em compensação, a redução no PIB vivida no inicio da década de 2000 foi bem marcada pela redução do fluxo de partículas de carvão.

O fluxo de partículas de carvão do testemunho WNW150 se mostrou muito bem relacionado ao PIB brasileiro (figura 82). A crise financeira vivida pelo país no início da década de 1990 foi bem registrada pela deposição de partículas de carvão, assim como demais variações registradas no período posterior, com destaque para os grandes fluxos registrados em 1995 e em 2004 (períodos de alta do PIB).

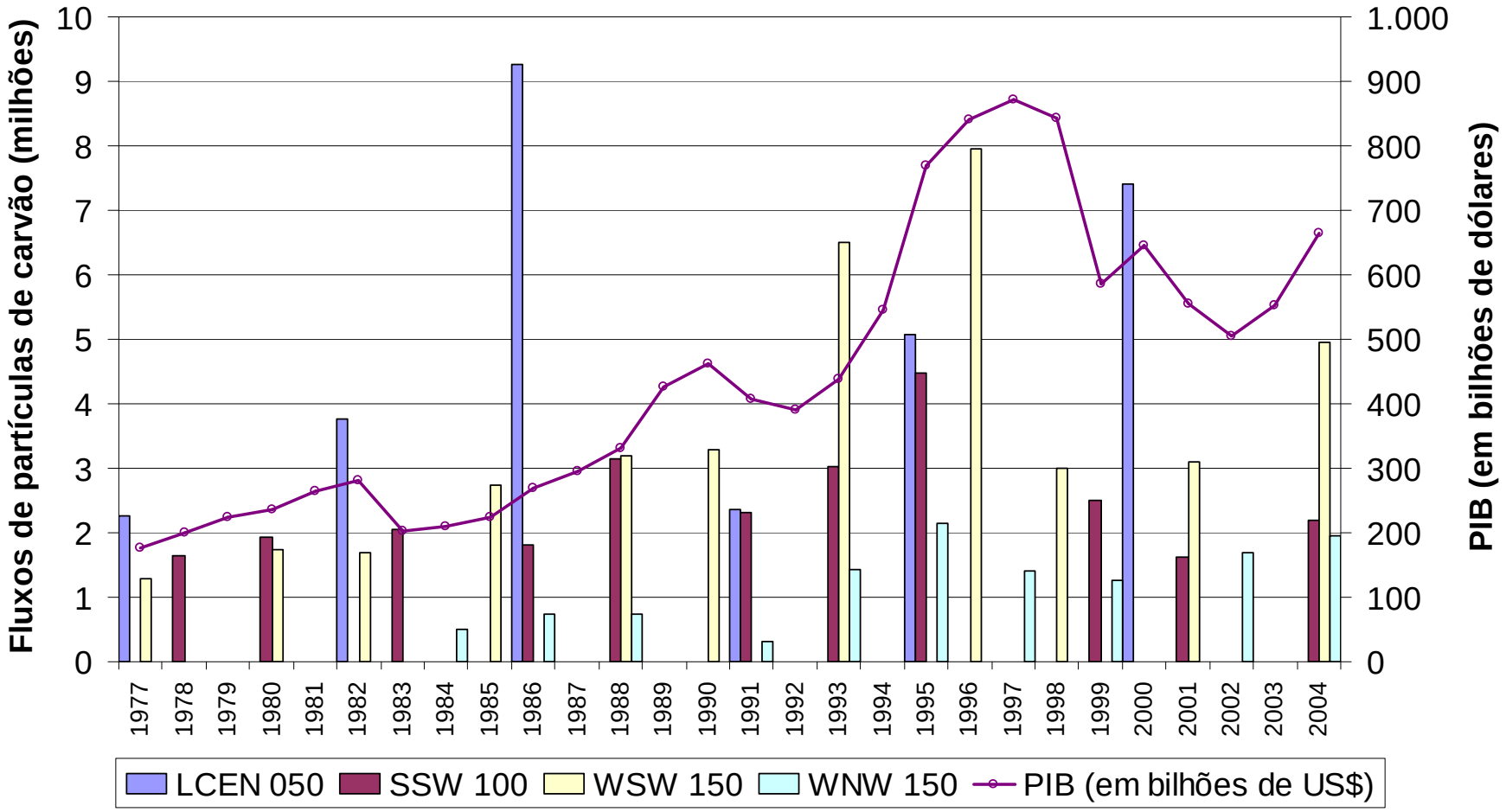

Figura 82. Relação entre o fluxo das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados e o Produto Interno Bruto brasileiro.

De uma maneira geral, os fluxos de deposição de partículas de carvão dos testemunhos estudados se mostraram bem correlacionados às variações no PIB brasileiro ao longo desse período, principalmente em eventos bem marcados de retração econômica, como a forte crise vivida no início da década de 1990.

Entretanto, essa relação nem sempre é muito nítida, podendo haver outros fatores que contribuam de forma mais direta nas taxas de desmatamento. Por exemplo, se durante um determinado ano houver uma forte queda no PIB, seria esperado uma baixa taxa de desmatamento, entretanto, se esse for um ano extremamente seco, esse fator pode aumentar a ocorrência de incêndios florestais. Por esse motivo, além da relação com o PIB, foram feitas relações entre os fluxos de deposição de partículas de carvão e as taxas de desmatamento na Amazônia Legal e no estado de Mato Grosso para cada testemunho estudado, conforme mostra as figuras 83 e 84 respectivamente.

Quando se compara os dados de fluxo de carvão do testemunho LCEN050 com o desmatamento da Amazônia como um todo, observa-se uma correlação bem interessante, e os dados de 2003 que não puderam ser muito bem explicados na comparação fluxo 83 PIB, revelaram estar em conformidade com os dados do desmatamento. Entretanto, o alto valor de fluxo registrado em 1989, não se apresenta bem correlacionado com as taxas de desmatamento de toda a Amazônia.

Com a comparação dos dados de fluxo de partículas de carvão com as taxas de desmatamento, foi possível fazer algumas considerações ainda mais específicas. Apesar da taxa de desmatamento em 1989 ter caído na Amazônia (figura 83) como um todo, no estado do Mato Grosso, houve um aumento em relação a 1988, como indica a figura 84. Os demais dados apresentam-se bem relacionados com o desmatamento no estado.

Após a crise, a economia foi reaquecida e as taxas de desmatamento voltaram a crescer, até atingir a área máxima histórica de desmatamento em 1995. Esse pico de queimadas nesse ano é muito bem registrado pelo testemunho SSW100. Na segunda metade da década de 1990 as taxas de desmatamento voltaram a cair, com valores relativamente mais baixos do que a média histórica. Essa tendência é refletida no fluxo de deposição de partículas de carvão. É possível observar que o fluxo de deposição em 2001 é 3 vezes menor do que em 1995. Após 2001 o desmatamento voltou a crescer e novamente observa-se um aumento no fluxo de partículas de carvão. Os fluxos seguiram as mesmas tendências tanto para o desmatamento na Amazônia, como em Mato Grosso.

Entre 1978 e 1986 observa-se um fluxo de partículas crescente, entretanto com valores ainda relativamente baixos (em torno de $2x10^6$partículas/cm^2/ano). Pela análise das imagens de satélite, pode-se observar que durante esse período prevaleceu a influência regional do desmatamento sobre o ponto de coleta do testemunho SSW 100. A partir de 1987 com a construção da estrada, passamos a observar a ocorrência de desmatamento em regiões mais próximas à área de coleta, o que se traduz no maior fluxo de partículas registrados entre os anos de 1986 e 1995.

Os fluxos de deposição de carvão nos testemunhos WSW150 e WNW 150 também apresentaram excelentes correlações com a área desmatada na Amazônia, como mostra a figura 83 e com o estado de Mato Grosso (figura 84).

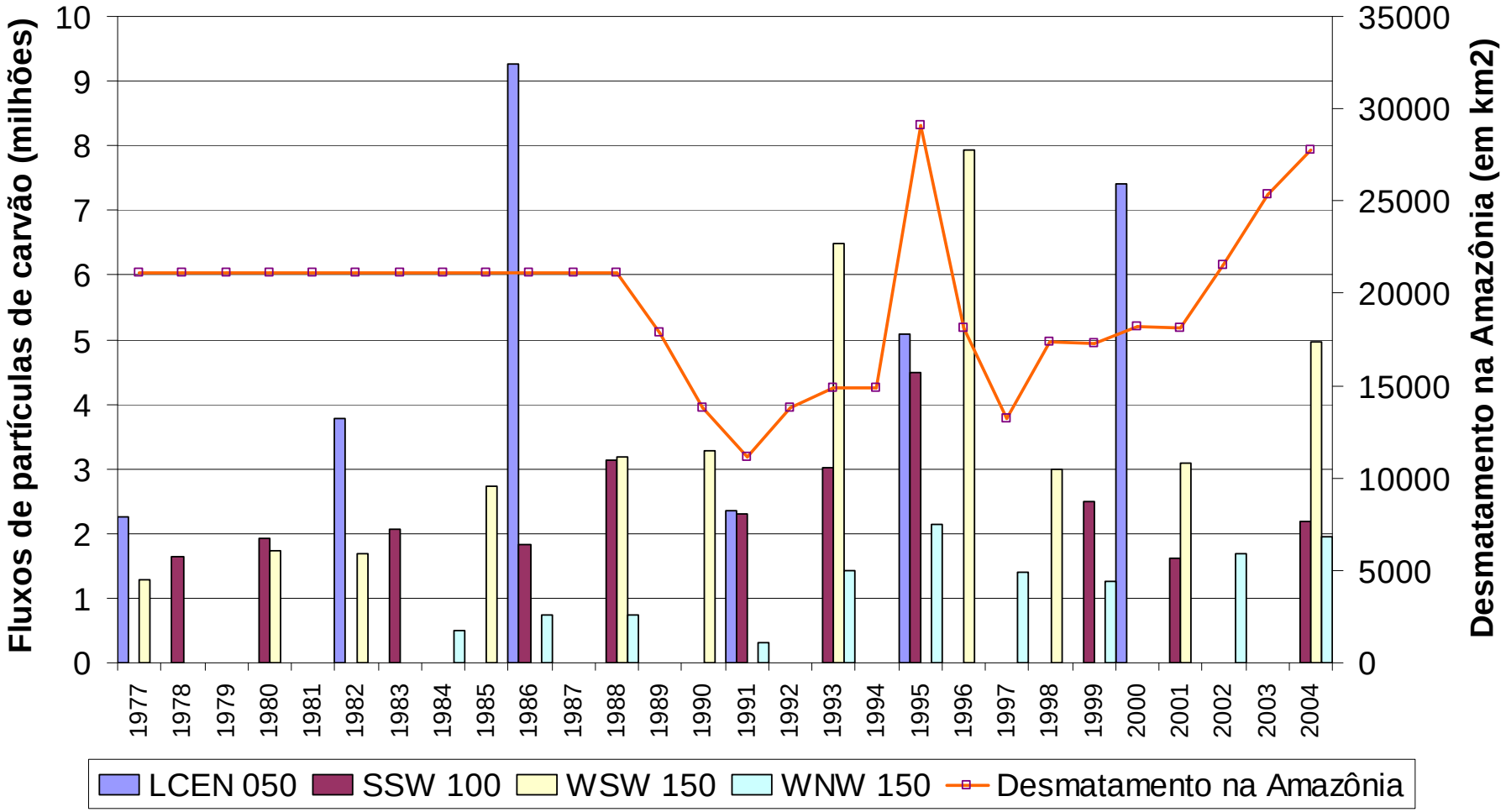

Figura 83. Relação entre o fluxo das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados e as taxas de desmatamento na Amazônia ao longo do tempo.

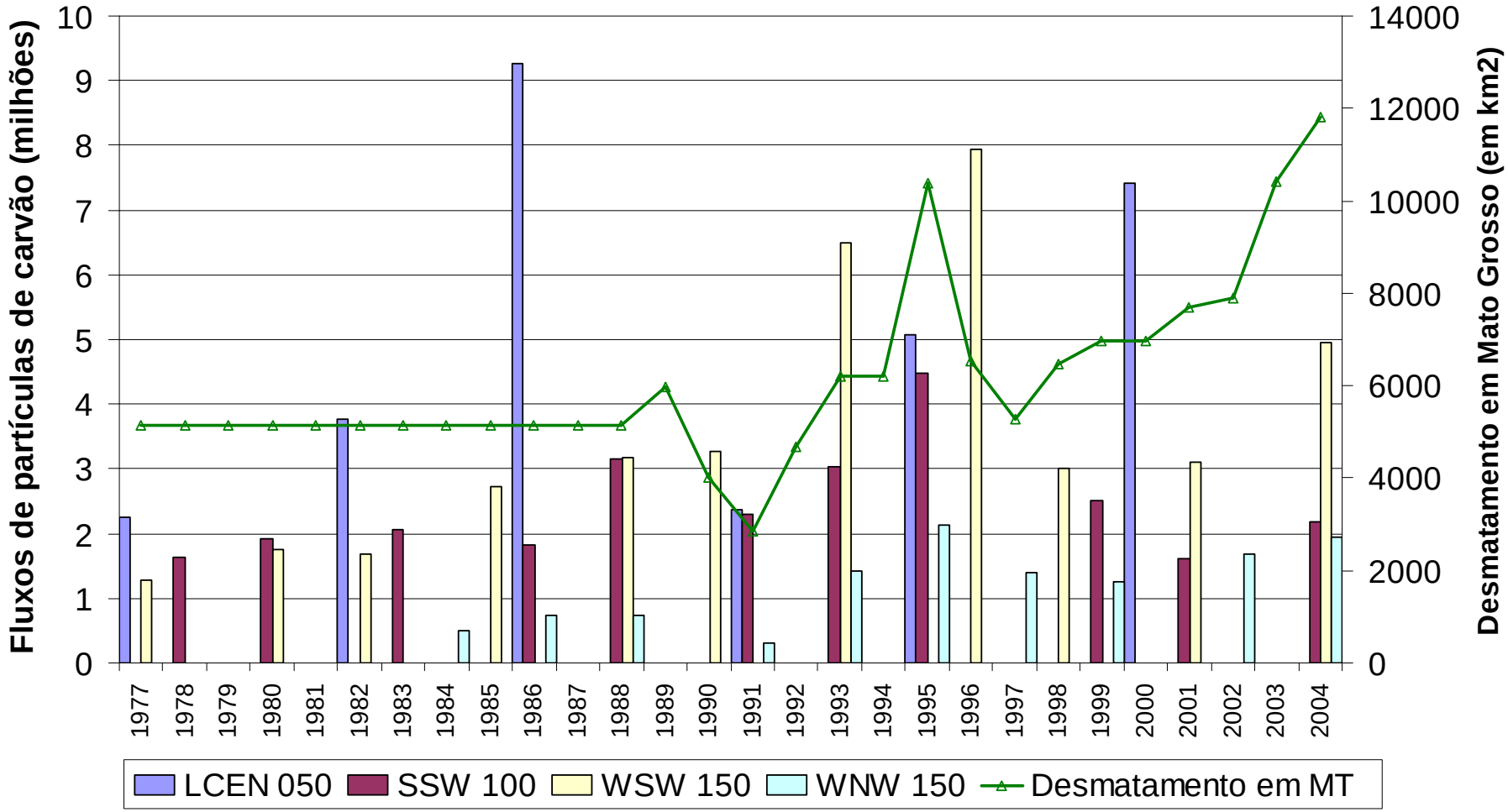

Figura 84. Relação entre o fluxo das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados e as taxas de desmatamento no estado de Mato Grosso ao longo do tempo.

Outro fator extremamente importante para o estudo de incêndios florestais a partir de testemunhos de sedimento é a determinação da área das partículas de carvão. Partículas de carvão com áreas reduzidas sugerem a ocorrência de incêndios mais regionais, com o transporte atmosférico em grandes distâncias, ao passo que partículas maiores sugerem incêndios mais locais, que devido à maior massa, depositam mais próximo ao local de origem.

Apesar da melhor explicação fornecida pela comparação entre o fluxo de partículas de carvão e o desmatamento em MT, os valores correspondentes ao ano de 1989 ainda permanecem intrigantes, pois se apresentam muito superiores aos demais. Foi preciso então, recorrer a uma escala mais local para obter uma explicação.

Para isso, foi feita então, uma interpretação a partir da determinação da área das partículas de carvão. Essa análise mostrou que as partículas dessa amostra eram muito maiores que as demais, e isso significa que grande parte dessas partículas foram provenientes de um incêndio muito próximo à área de coleta do testemunho, o que parece ter mascarado o resultado (figura 85). Esse fato é bem visível na composição de imagens da região do testemunho LCEN 050. Pela observação dessas imagens, verifica-se que o desmatamento entre os anos de 1987 e 1990 foi extremamente intenso na área adjacente ao ponto de coleta.

A análise do tamanho das partículas do testemunho SSW 100 revelou que ao longo de todo testemunho foram observadas partículas pequenas (figura 85), o que mostra que essa área, apesar de não apresentar uma alta taxa de desmatamento na região de entorno, sofreu grande influência regional, possivelmente, em sua maioria, proveniente da região próxima ao centro da cidade de Alta Floresta.

O testemunho WSW 150 apresenta características típicas de um ambiente que sofreu a ação de impactos locais em maior escala do que impactos regionais. Observa-se que o fluxo de partículas de carvão se mostra relativamente baixo de 1978 até 1984 (período de influência regional) e partir daí, os valores experimentam um grande aumento. Já em 1984, pode-se verificar duas grandes áreas de queimadas bem próximos ao local de coleta, o que provocou o aumento no fluxo de partículas.

Esse testemunho apresentou as maiores áreas de partículas dentre todos os testemunhos estudados, e esse fato é comprovado pela análise das imagens de satélite dos anos de 1993 e 1994, onde é possível observar que uma imensa área foi desmatada ao redor do ponto de coleta, o que se traduz nas maiores taxas de deposição de partículas de carvão em todo o testemunho.

Sabendo que a região onde foi coletado o testemunho WNW150 fica a 150 km de distância na direção norte-noroeste da cidade de Alta Floresta, que essa região mostrou uma taxa de desmatamento menor e posterior às demais áreas e que a direção prioritária do vento nessa localidade é sul-sudoeste, era de se imaginar que essa região fosse ser a menos influenciada pelas queimadas provenientes da construção da cidade a partir de 1978, e essa hipótese foi confirmada pelos resultados do fluxo de partículas de carvão, muito inferiores aos registrados nos testemunhos LCEN050, SSW 100 e WSW150.

Essa hipótese é corroborada pela análise da área das partículas, que mostra um aumento no topo do testemunho. Esse resultado leva a crer que os registros mais antigos de partículas de carvão são provenientes de incêndios mais regionais, enquanto que os mais recentes teriam uma proveniência mais próxima à área de coleta (figura 85).

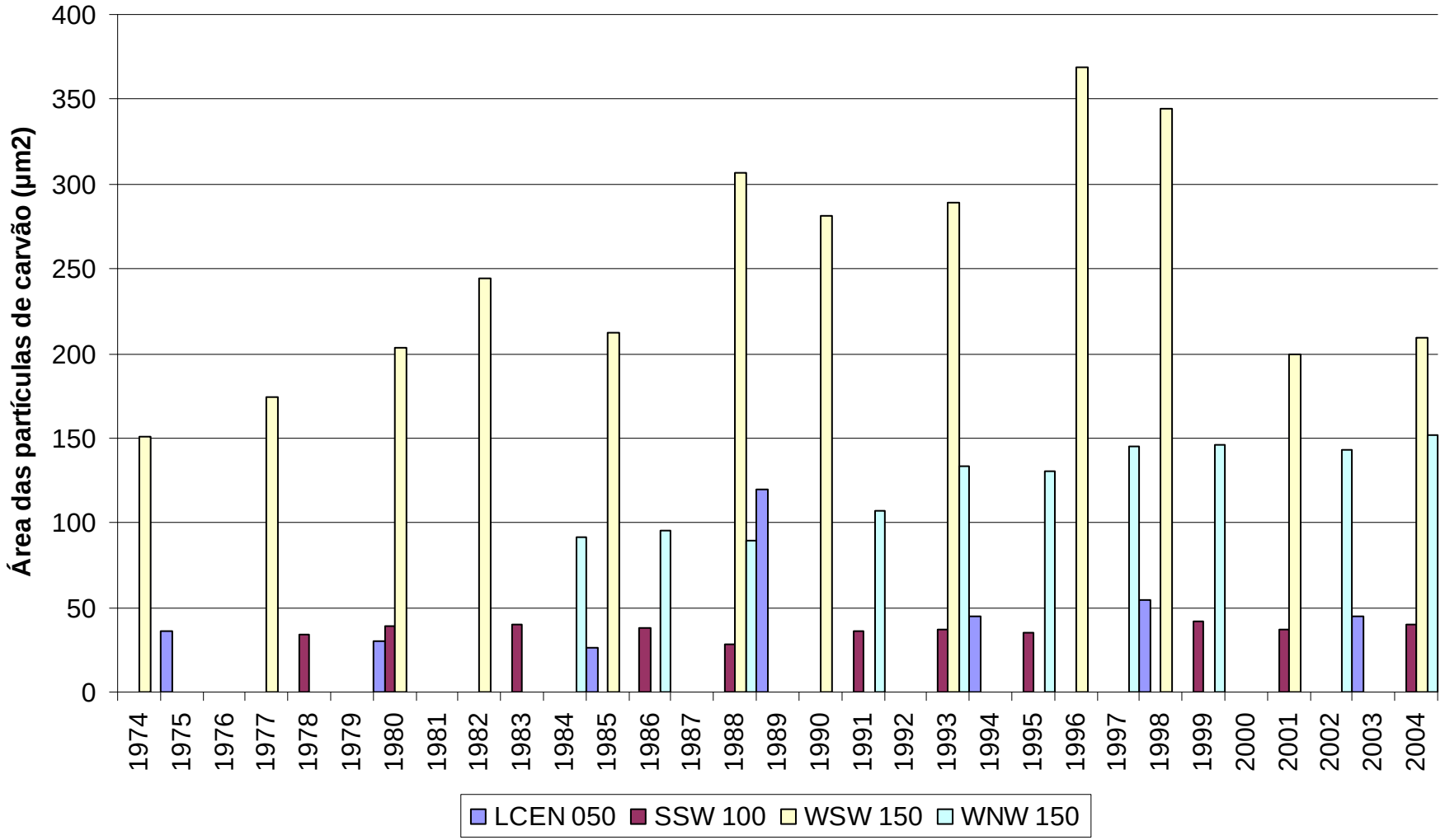

Figura 85. Áreas das partículas de carvão de todos os testemunhos estudados ao longo do tempo.

7 ESTUDO DAS MUDANÇAS PALEOCLIMÁTICAS E PALEOAMBIENTAIS EM REGIÃO NO SUL DA AMAZÔNIA (LAGO DO SACI, PARÁ).

O Lago do Saci está localizado no sul do estado do Pará em uma região de floresta bem preservada. Situa-se ao norte do Rio São Benedito, como indica o modelo digital do terreno, mostrado na figura 86.

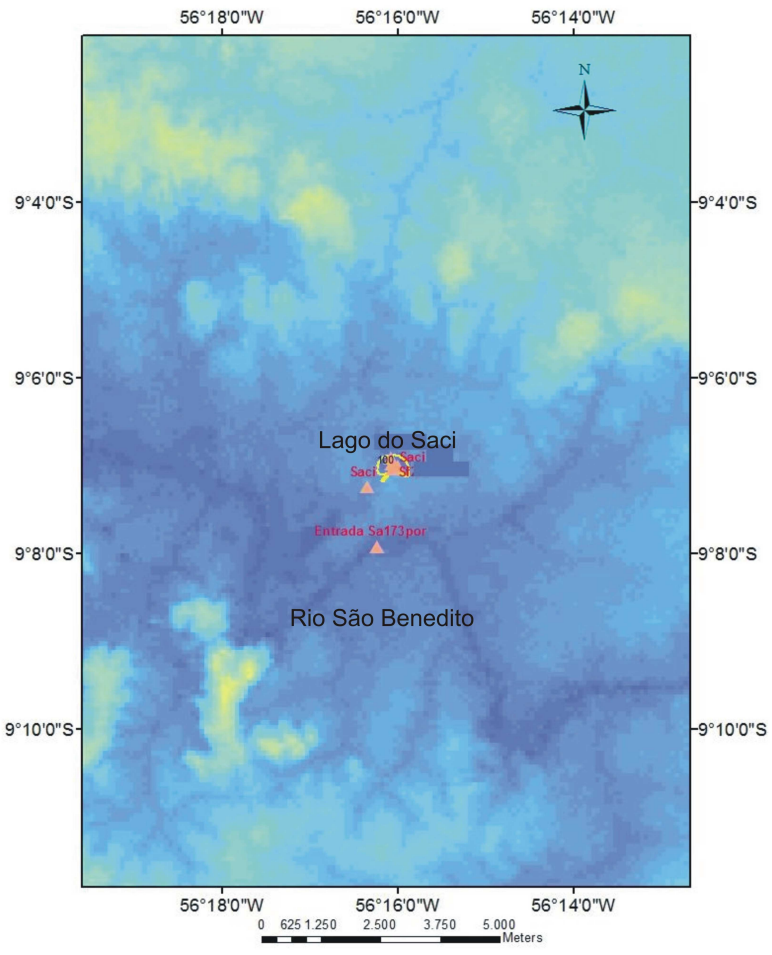

Figura 86. Modelo digital do terreno mostrando a localização do Lago do Saci e do Rio São Benedito.

O testemunho Saci 2 foi aberto no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense em janeiro de 2007 e fatiado a cada 2 cm. No momento da abertura, foram retiradas alíquotas de amostras em cubos plásticos de 8 cm^3 de volume para a determinação do teor de água e densidade, conforme procedimento já explicado.

Além disso, foram feitas diversas outras análises: granulometria, carbono orgânico total, nitrogênio orgânico total, $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, mineralogia, clorofila, análise microscópica de partículas de carvão, mercúrio e elementos traço e maiores, além da datação radiocarbônica (^{14}C).

7.1. RESULTADOS

7.1.1 **Fácies sedimentares**

A descrição da litologia do testemunho SACI 2 foi feita baseada no Munsell Soil Chart. Conforme é mostrado na figura 89 pode-se observar da base até 320 cm e no intervalo entre 320 e 290 cm que o sedimento é composto por areia argilosa de coloração 5YR 6/3. De 290 até 245 cm observa-se areia argilosa com a maior presença de matéria orgânica de coloração 5 YR 4/4.

O intervalo 245 e 225 cm é composto por argila siltosa de coloração marrom escura avermelhada (5 YR 2.5/2). Entre 225 e 209 cm o sedimento também é composto por argila siltosa, no entanto com uma coloração um pouco mais escura (marrom escura avermelhada - 5 YR 2.5/1) que na fácie anterior.

De 209 a 145 cm ocorre uma mudança na litologia do testemunho, em que o sedimento composto por predominantemente por argila apresenta coloração mais escura (10 YR 2/2 – Preta) que a fácie precedente. No intervalo entre 145 e 80 cm o sedimento também composto por argila volta a ficar um pouco mais claro (5 YR 3/1) quando comparado com a fácie anterior.

A partir de 80 cm em direção a ao topo do testemunho o sedimento vai ficando mais escuro culminando numa argila preta no topo do testemunho, todo esse intervalo possui duas fácies. Entre 80 e 21 cm o sedimento também argiloso apresenta coloração 10 YR 2/2 – Preta e de 21 cm até o topo do testemunho uma coloração 10 YR 2/1 – Preta.

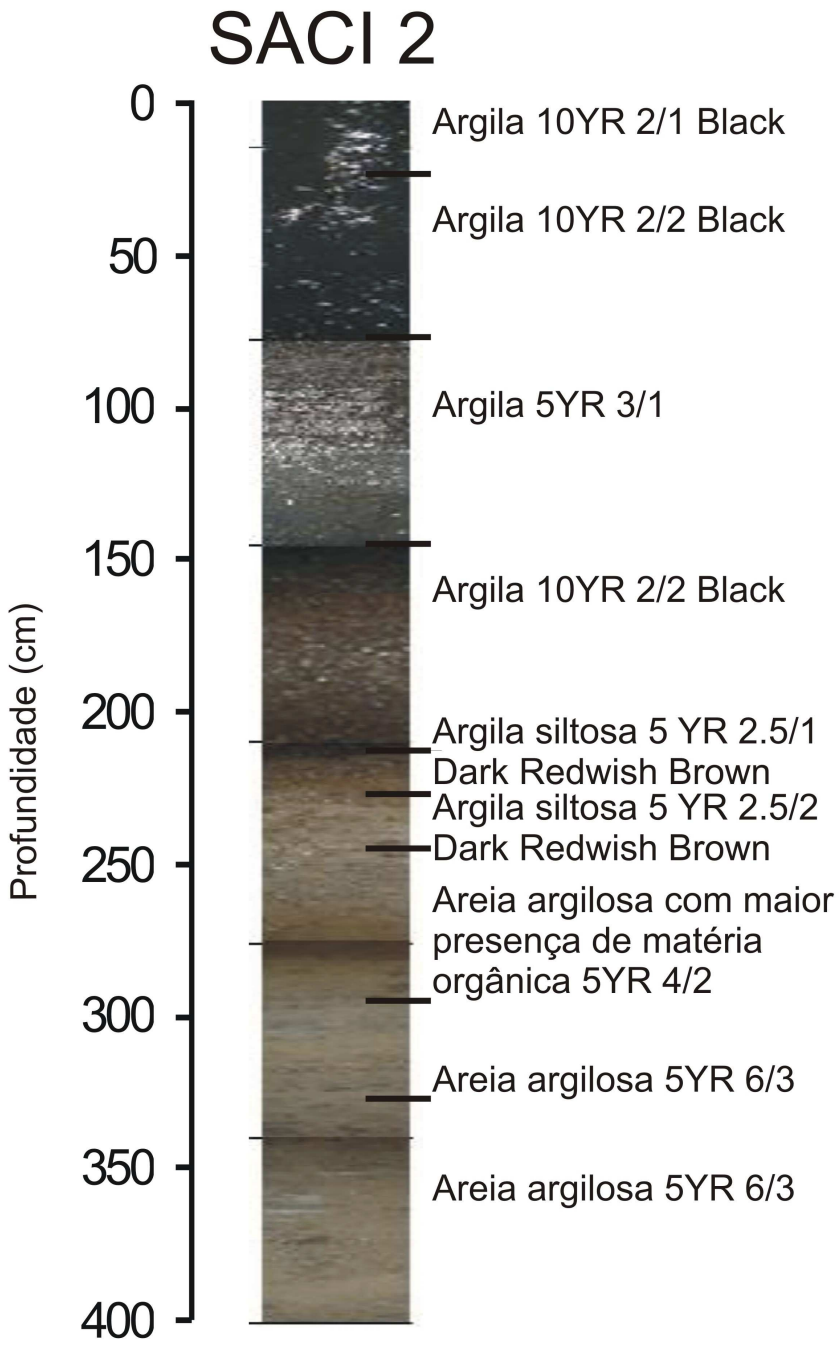

Figura 87. Descrição das fácies sedimentares do testemunho Saci 2.

7.1.2 **Idades ^{14}C, idades calibradas e taxas de sedimentação**

Foram selecionadas 12 amostras do testemunho Saci 2 (mostradas na tabela 15 – as idades usadas no modelo estão em negrito) para determinação das idades, com o intuito de construir um modelo de idades e calcular as diferentes taxas de sedimentação ao longo do testemunho. A determinação das idades ^{14}C foi realizada em dois laboratórios distintos: Arizona AMS Laboratory, dos Estados Unidos e Laboratoire de Mesure de Carbone 14, da França. As idades foram calibradas pelo programa CalPal – The Köln Radiocarbon Calibration and Paleoclimate Research Package, modo de calibração "Fairbanks August 2005", que é baseado na curva de calibração relacionada à datação Urânio/Tório de corais.

Tabela 15. Relação das amostras para datação por ^{14}C.

Profundidade (cm)	*Laboratório/referência*	*Idade ^{14}C*	*Desvio Padrão*	*Idade Calibrada*	*Desvio Padrão*
Saci 2 – 34-36	1/AA87751	6904	67	**7750**	**70**
Saci 2 – 110-112	2/SacA15005	14020	70	**16720**	**120**
Saci 2 – 210-212	1/AA88752	34090	640	39570	730
Saci 2 – 222-224	2/SacA15006	33620	470	38970	500
Saci 2 – 224-226	1/AA87753	26750	280	31740	180
Saci 2 – 228-230	2/SacA15007	24350	160	**28360**	**200**
Saci 2 – 254-256	2/SacA15008	40100	1000	44160	770
Saci 2 – 282-284	2/SacA15009	44100	1700	47670	1570
Saci 2 – 322-324	2/SacA15010	39100	910	43520	690
Saci 2 – 332-334	2/SacA15011	33270	450	38530	480
Saci 2 - 392-294	1/AA87754	23330	340	27400	290
Saci 2 - 394-396	2/SacA15012	28000	250	**32530**	**180**

Teoricamente, espera-se que em um modelo comum de sedimentação em um lago, as camadas mais antigas estejam depositadas em extratos mais profundos do sedimento, enquanto que as camadas mais recentes seriam depositadas posteriormente, ocupando extratos superiores do sedimento. Não é raro, entretanto, obter-se idades invertidas, ou seja, camadas mais antigas depositadas em extratos mais superiores que camadas mais recentes, mas geralmente são obstáculos passíveis de serem resolvidos.

No entanto, as idades do testemunho Saci 2 se mostraram altamente complexas, com inversões de idades em várias profundidades. A partir dessa constatação, tentou-se buscar uma solução, partindo da interpretação dos demais dados analisados no testemunho e uma hipótese extremamente interessante surgiu à tona: teria havido entrada de matéria orgânica mais antiga proveniente dos solos próximos ao lago em diversos momentos ao longo do testemunho.

Essa hipótese surgiu após a comparação das datações com os valores da razão C/N encontrados em cada amostra, como mostra a figura 90. O intervalo entre 335 cm e 211 cm foi marcado por várias fases de aumento e diminuição dos valores da razão C/N, e essas variações podem ter sido geradas pela entrada de material proveniente dos solos ao redor do lago. Com fortes eventos de enxurradas, grande quantidade de material superficial poderia ter sido erodida para dentro do lago, deixando camadas mais profundas e antigas expostas. Em um evento seguinte de erosão, matéria orgânica ainda mais antiga poderia ser carreada para dentro do lago.

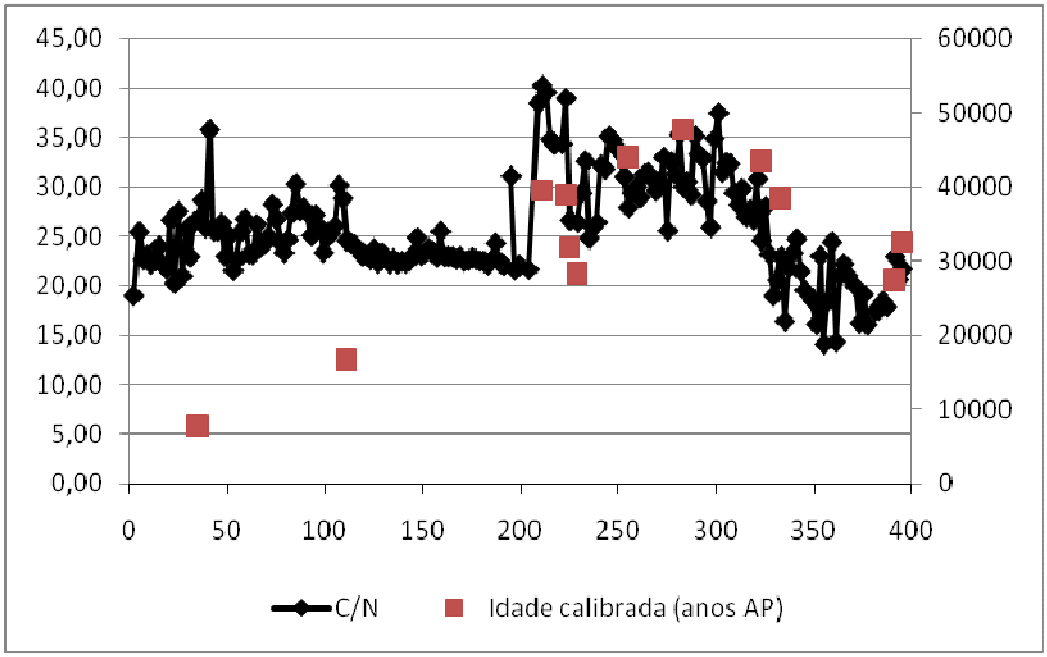

Figura 88. Razão C/N e idades calibradas do testemunho Saci 2.

No entanto, esse fato gerou uma enorme dificuldade para a construção de um modelo de idade para o testemunho Saci 2. Optou-se, portanto por utilizar apenas 4 das 12 datações: as duas mais recentes (35 cm – 7750 anos AP; 111 cm – 16720 anos AP), a datação mais recente da região do testemunho que mostrou-se comprometida pela entrada de material mais antigo da bacia (229 cm – 28360 anos AP) e a datação da base do testemunho (395 cm – 32530), conforme mostra a figura 91.

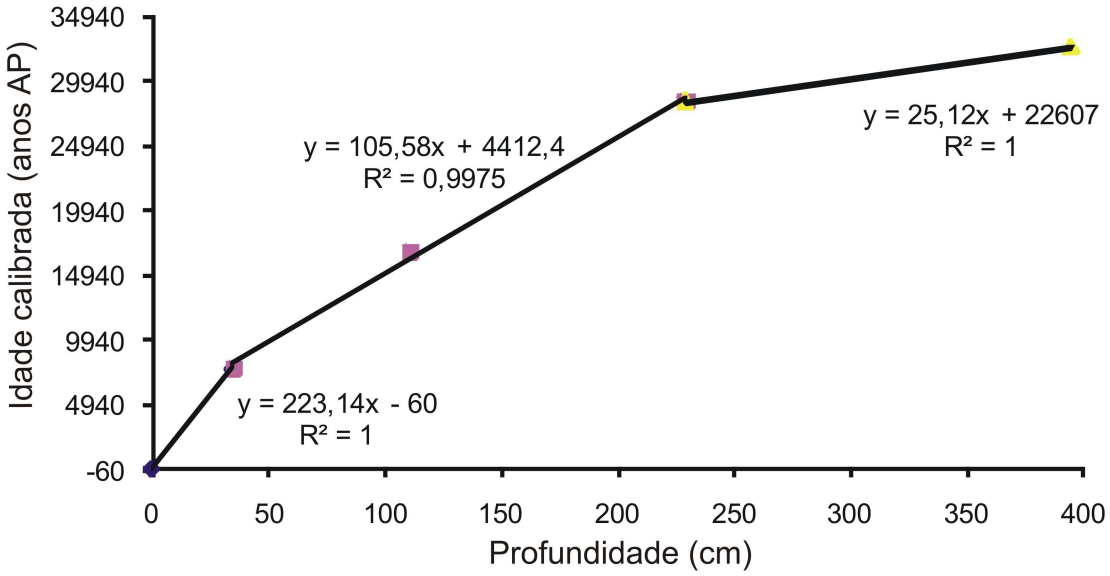

Figura 89. Modelo de datação do testemunho Saci 2.

A partir das equações das retas fornecidas pelo modelo de idades, foram obtidas 3 taxas de sedimentação distintas: da base do testemunho até 231 cm – 0,0398 cm/ano; de 231 cm até 35 cm – 0,0094 cm/ano; e de 35 cm até o topo – 0,0045 cm/ano. Com a determinação das taxas de sedimentação, é possível calcular o fluxo de deposição de cada elemento estudado.

A hipótese de que as idades foram influenciadas por entrada de material proveniente do entorno do lago (indicadas pelos altos valores da razão C/N) foi testada por meio de uma correlação entre a diferença das idades obtidas pelo modelo sedimentar utilizado e as idades calibradas contra os valores da razão C/N. O valor de correlação obtido foi de r=0,54, que foi considerado relevante para a análise em questão. Portanto, considerou-se adequado o uso do modelo de idades proposto.

7.1.3 **Teor de água, densidade e granulometria**

Esses indicadores mostraram modificações muito significativas ao longo do testemunho Saci 2, mostrando que o mesmo revela diversas variações ambientais ao longo do tempo, como mostra a figura 92.

Os valores de teor de água se mantêm abaixo de 20% da base do testemunho até 320 cm, enquanto que no mesmo intervalo são encontrados os valores mais altos de densidade de todo o testemunho (em torno de 1,4g/cm^3). A granulometria apresenta sedimentos grossos, com até 40% de areia, sendo que a fração argila representa menos de 20% do total dos grãos.

Em 320 cm ocorreu uma súbita mudança no ambiente, sem zona de transição, que durou até 290 cm. Os valores de teor de água aumentaram (aproximadamente 30%) e os de densidade diminuíram, passando de 1,4g/cm^3 para 0,9 g/cm^3; a granulometria passa a ser predominantemente de sedimentos mais finos (a fração areia desapareceu).

Entre 290 e 245 cm a análise do testemunho Saci 2 parece refletir uma mudança gradual das características do ambiente, com profundas alterações entre os valores máximos e mínimos. O teor de água apresenta um intenso aumento, passando de 30% para mais de 60%, a densidade apresenta o comportamento inverso e seus valores registram uma acentuada queda, atingindo valores de 0,3 g/cm^3. A granulometria também muda e a fração areia volta a se tornar significativa e, somada ao silte grosso, representam 50% do total.

No intervalo entre 245 e 225 cm ocorre uma intensa mudança no ambiente, porém de maneira gradativa. Há uma nova entrada de sedimentos grossos, sendo que no final dessa fase, é registrada a menor concentração de argila de todo testemunho (abaixo de 10%). Essa alteração provoca uma diminuição dos valores de teor de água (passam de 65% para 38%) e um aumento nos valores de densidade (de 0,3 g/cm^3 para 0,8 g/cm^3).

A partir de 225 cm e até 209 cm, é verificada uma nova mudança drástica no sistema. Essa fase se comporta como uma nítida fase de transição para um sistema em maior equilíbrio que é verificado na fase acima. O teor de água volta a aumentar (atingindo 72%) e a densidade a diminuir (até 0,25 g/cm^3). A fração argila desaparece e o silte grosso apresenta uma expressiva redução, o que permite que a fração argila aumente significativamente, passando a representar 20% do total.

Entre 209 e 120 cm observa-se uma fase com valores mais constantes de teor de água, densidade e granulometria, apesar da abrupta mudança nos valores verificada na fase abaixo.

Os altos valores de teor de água (em torno de 70%) e os baixos valores de densidade (em torno de 0,3 g/cm^3) se mantêm praticamente constantes em toda fase, assim como a granulometria, que apresenta mais de 20% de argila e registra apenas uma pequena entrada de areia no final da fase.

A transição da fase entre 209 e 120 cm para a fase entre 120 e 49 cm se dá de forma abrupta, porém, essa última apresenta um comportamento que evolui de forma gradual ao longo da mesma. O teor de água aumenta de 55% para 70% e a densidade diminui de 0,5 g/cm^3 para 0,3 g/cm^3. A granulometria se mantém praticamente constante e semelhante à fase anterior, porém com maior presença de areia.

Em 49 cm há uma nova mudança abrupta no sistema, que se prolonga até 21 cm. Os valores de teor de água diminuem de 70% para 60% e os de densidade aumentam de 0,3 g/cm^3 para 0,45 g/cm^3, fato que se deve a uma nova entrada mais expressiva de areia (chegando a 7%).

De 21 cm até o topo do testemunho, o teor de água apresenta um grande acréscimo em relação à fase anterior (atinge mais de 80% - maior valor de todo testemunho) e diminui gradativamente até o topo, e a densidade apresenta o comportamento inverso (atingindo 0,2 g/cm^3 – menor valor de todo testemunho). A granulometria mantém a prevalência de grãos finos, com exceção de uma entrada pontual de areia em 4 cm.

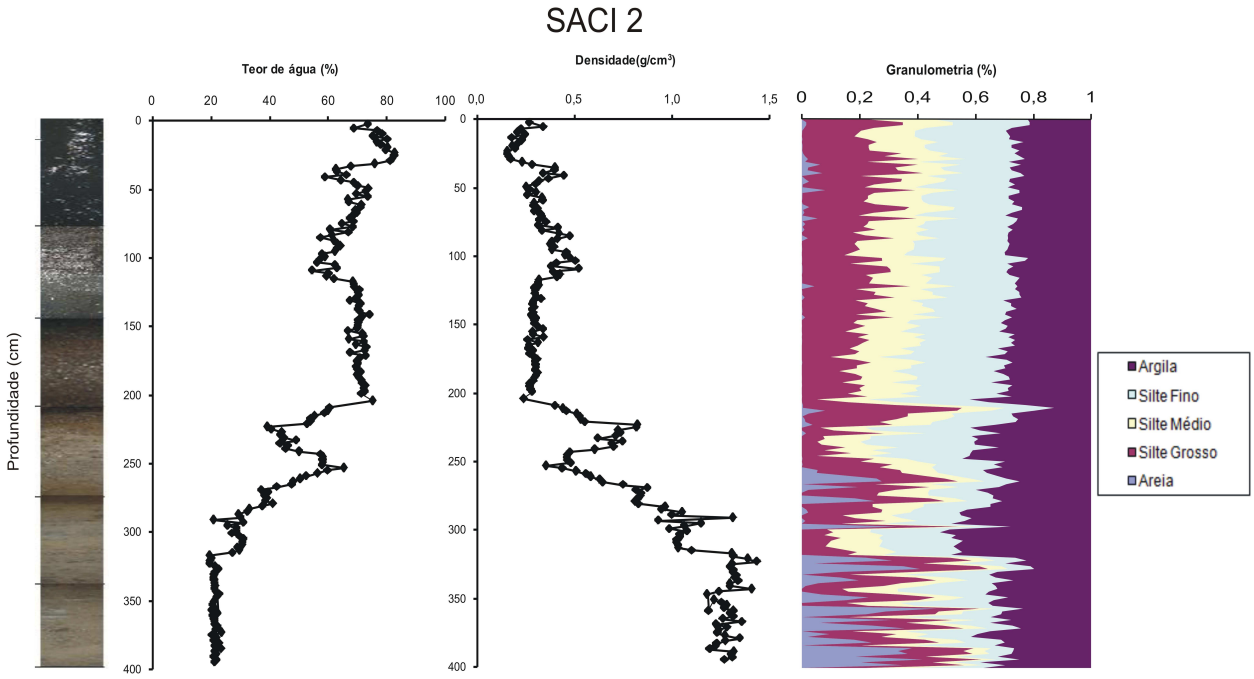

Figura 90. Teor de água, densidade e granulometria do testemunho Saci 2.

7.1.4 **Mineralogia**

A análise da mineralogia (figura 93) não foi feita para todas as amostras do testemunho Saci, diferentemente das demais análises realizadas. Portanto, a descrição da concentração dos minerais não seguirá a divisão por fases propostas para os demais *proxies*.

Os valores de quartzo para a base do testemunho se encontram próximos a 10%, em 260 cm os valores atingem um pico de 27%, voltando a valores de 10% entre 250 cm e 220 cm, até alcançar o maior valor registrado para o testemunho (37%), em 210 cm. Entre 200 cm e 80 cm, os valores variam entre 5% e 12%. A partir de então, a concentração tende a subir, com picos acima de 20% em 60 cm e 7 cm.

A gibsita e a caolinita apresentam comportamentos semelhantes. As concentrações das mesmas apresentam uma redução da base do testemunho até 340 cm, passando de 17% para menos de 5% e de 75% para 15%, respectivamente. A partir dessa profundidade, os valores voltam a crescer e a gibsita volta a 17% em 270 cm e a caolinita atinge valores de 50%. De uma maneira geral, de 270 cm até o topo do testemunho, tanto a gibsita quanto a caolinita apresentaram uma tendência de redução nas concentrações, entretanto, com grande variabilidade. Em 225 cm há um pico de ambos os minerais, sendo que a gibsita registra o maior valor de todo testemunho (20%), e a caolinita fica acima de 60%.

A calcita não foi registrada na maior parte das análises realizadas, com exceção das profundidades 320 cm (1,7%), entre 260 cm e 230 cm (entre entre 2,3% e 4,7%), um grande pico em 60 cm (10%) e uma pequena entrada em 30 cm).

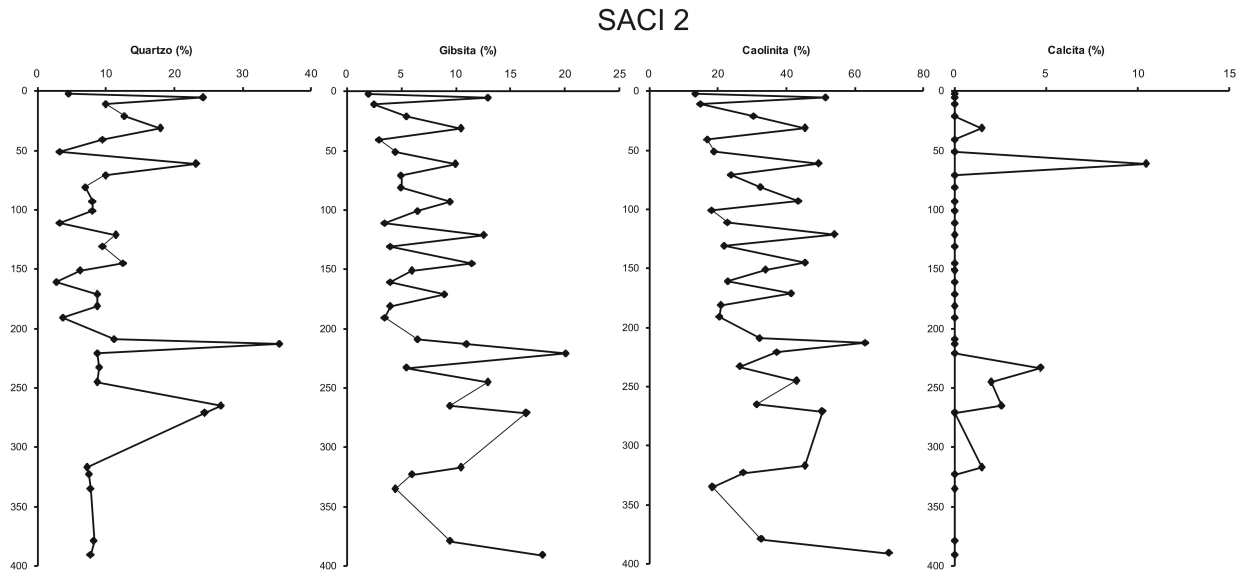

Figura 91. Perfis dos minerais determinados no testemunho Saci 2.

7.1.5 **Carbono orgânico total, nitrogênio total, razão C/N e isótopos ^{13}C e ^{15}N.**

A hipótese que tenha ocorrido mudanças ao longo do tempo no clima, ambiente de entorno e nível do lago do Saci, é sugerida pelo comportamento extremamente variável da matéria orgânica (figura 94) ao longo dos 394 cm do testemunho Saci 2.

Os isótopos de carbono e nitrogênio (figura 94), assim como a análise combinada do ^{13}C com a razão CN (figura 95), são importantes proxies na identificação das fontes da matéria orgânica presentes no sedimento, e se mostraram ferramentas eficazes na interpretação paleoambiental do testemunho Saci 2.

Da base do testemunho até 320 cm de profundidade, o carbono orgânico total e o nitrogênio total apresentaram valores extremamente baixos (médias de 0,64% e 0,03%, respectivamente), e a razão CN apresenta os mais baixos valores de todo o testemunho (mínimo de 14,17 e média de 20,57). Os valores de ^{13}C variam entre -30‰ e -25‰. Os valores de ^{15}N apresentam grande variabilidade, com mínimo de -11‰ e máximo de -1‰. A análise conjunta dos valores de C/N e ^{13}C indica que há influência predominante de vegetação C_3.

A partir de 320 cm, até 290 cm, os valores médios de carbono e nitrogênio aumentaram, atingindo valores de respectivamente 6,15 % e 0,18 %; a razão C/N aumenta

consideravelmente (de 25,96 para 37,53, com média de 30,59). Essa mudança significativa, provavelmente está associada a uma maior produtividade do lago, sugerindo um clima mais úmido que o registrado na fase anterior. Esses valores sugerem que o início do período de sedimentação lacustre tenha ocorrido em 320 cm. Os valores de ^{13}C se tornam muito mais negativos, atingindo -31,7 ‰, e os de ^{15}N aumentam expressivamente (chegam a 0,52 ‰); a matéria orgânica se mostra principalmente de vegetação C3, com pouca ou nenhuma influência de algas lacustres (figura 95).

A fase entre 290 cm e 245 cm apresenta modificações intensas e constantes nos valores de matéria orgânica. O carbono orgânico total passa de 1,02% para 20,08% e o nitrogênio passa de 0,03% para 0,65%. Como o carbono e o nitrogênio apresentam as mesmas taxas de aumento (20 vezes), a razão CN permanece sem grandes variações em relação à fase anterior (média de 31,40). O ^{13}C varia entre -30,41‰ e -23,88‰, com valores médios de -28,20‰. Os valores de ^{15}N aumentaram de -4,06‰ para 2,78‰ (valor mais alto de todo perfil). Nessa fase, a matéria orgânica mostra grande influência de plantas terrestres.

Entre 245 cm e 225 cm o teor de carbono cai de 20,08% para 3,64%, e os valores de nitrogênio passam de 0,64% para 0,14%. A razão C/N diminui, atingindo o valor mínimo de 24,85. Os valores de ^{13}C aumentam drasticamente e apresentam os valores menos negativos de todo testemunho (-21,48‰). O ^{15}N apresenta uma redução, com valores médios de 0,20‰. Há uma nítida mudança na fonte da matéria orgânica, que passa a sofrer influência de plantas do tipo C_4.

No intervalo entre 225 e 209 cm há uma nova mudança drástica no sistema: os teores de C e N aumentam rapidamente, atingindo 17,69% e 0,82%, respectivamente (com valores médios de 12,83% e 0,38%). Merece grande destaque, o aumento expressivo da razão C/N, que atinge o valor de 40,28 (o maior de todo testemunho) e, apresenta valor médio de 35,34. Nesse intervalo, o ^{13}C cai drasticamente, apresentando valores muito negativos (média de -30,80‰), enquanto que o ^{15}N passa de -2‰ para 1,5‰. A análise da razão C/N x ^{13}C volta a indicar matéria orgânica originária de plantas C_3.

Entre 209 e 120 cm os valores de carbono variaram entre 9,67% e 17,69%, com valor médio de 14,32%. Os valores de nitrogênio oscilaram entre 0,31% e 0,82%, com média de 0,62%. A razão CN variou entre 21,66 e 31,14, com valor médio de 23,11. Essa fase apresenta valores médios para os isótopos ^{13}C e ^{15}N de -29,74‰ e 0,71‰, respectivamente. A matéria orgânica continua sendo prioritariamente proveniente de plantas C_3.

Os valores de carbono e nitrogênio aumentam entre 120 cm e 49 cm, passando de 8,19% para 24,21% e de 0,31% para 1,12%, respectivamente. Os valores médios foram de 13,90 para o COT e 0,55 para o NT. A razão C/N variou entre 21,58 e 30,36, com valores médios de 25,47. O ^{13}C se mantém praticamente constante, com valores médios de -30,00 ‰. O ^{15}N sofre algumas modificações mais intensas variando de -0,56 ‰ para 1,78‰. A matéria orgânica possui uma mistura de fontes, com contribuição de algas lacustres, porém ainda mostra domínio da influência de plantas C_3.

Entre 49 cm e 21 cm os valores de carbono e nitrogênio diminuíram, atingindo valores mínimos de 12,99% e 0,38%, respectivamente. Entretanto, dois picos de aumento são registrados, em 29 cm e 23 cm. A razão C/N apresenta uma tendência de queda, porém com alta variabilidade (os valores variaram entre 20,31 e 35,82). Nesse intervalo o isótopo ^{13}C não apresentou variações significativas, com valores entre -31,26‰ e -28,83‰. Entretanto, os valores de ^{15}N variaram entre 0,57% e 2,10%. A análise do C/N x ^{13}C mostra uma maior influência de algas lacustres.

De 21 cm até o topo do testemunho os valores de COT e NT apresentaram uma intensa variabilidade (entre 16,48% e 26,82% para o carbono e 0,65% e 1,27% para o nitrogênio), mas de maneira geral há tendências de redução dos valores. A razão C/N mostra comportamento semelhante, variando entre 19,05 e 25,47.O ^{13}C e o ^{15}N apresentam baixa variabilidade, quando comparado às demais fases do testemunho. A matéria orgânica tem influência ainda maior de algas lacustres.

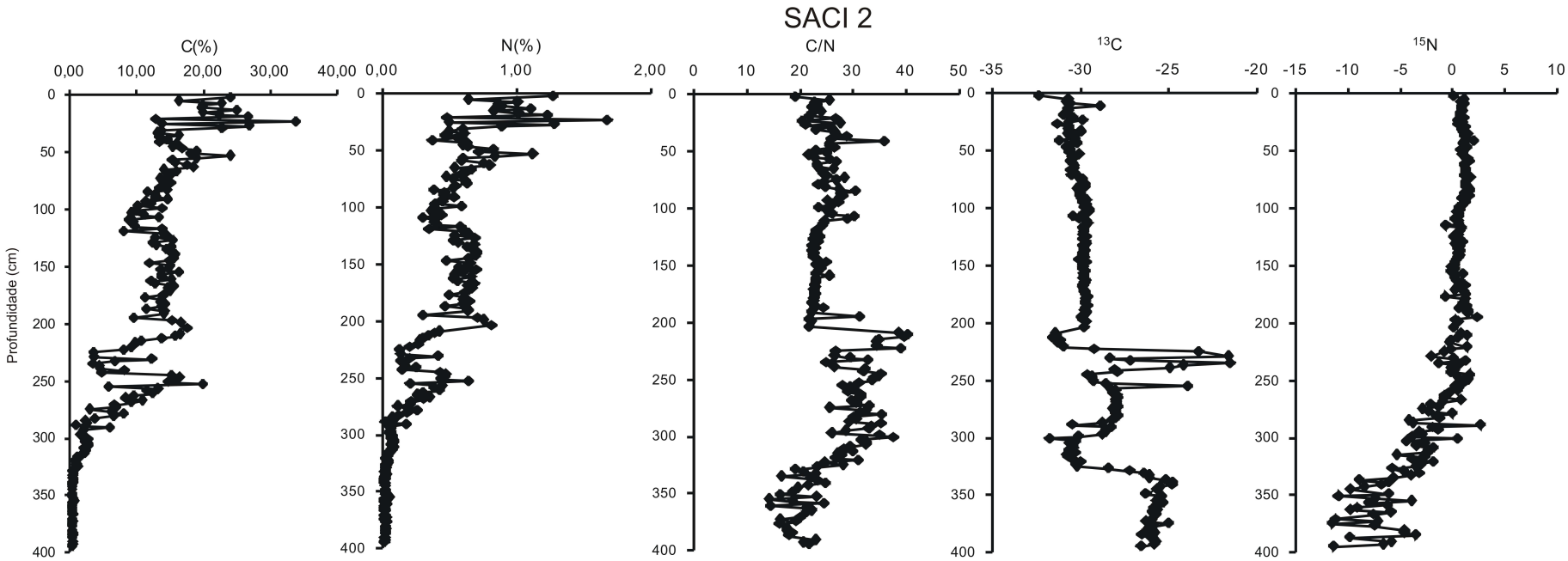

Figura 92. Concentração de carbono orgânico total e nitrogênio total e valores da razão CN do testemunho Saci 2

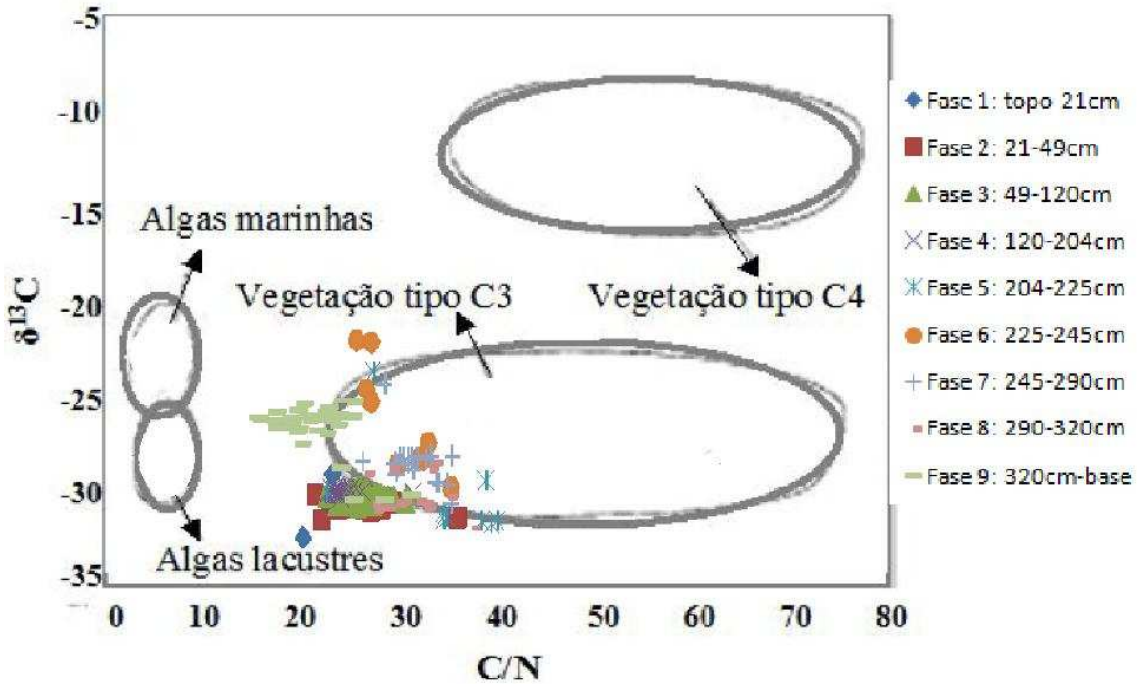

Figura 93. Relação entre a razão C/N e o isótopo ^{13}C do testemunho Saci 2.

7.1.6 – **Fluxos de carbono orgânico total e nitrogênio total**

Da base do testemunho (32500 anos AP) e 30800 anos AP verifica-se um baixo fluxo de carbono e nitrogênio (aproximadamente 5 g/m^2/ano e 0,2 g/m^2/ano, respectivamente) (figura 96). A partir de 30800 anos AP até 29967 anos AP há um aumento intenso e constante dos fluxos de carbono orgânico total (passando para valores de fluxo próximos a 10 g/m^2/ano) e nitrogênio total (0,3 g/m^2/ano).

A partir de 29967 anos AP há um intenso aumento no fluxo de carbono e nitrogênio, sendo que os mesmos apresentam grande variabilidade. Essa fase do testemunho que dura até aproximadamente 28400 anos AP representa a região com o maior fluxo de carbono orgânico total e nitrogênio total de todo o testemunho, com valores máximos de 35,19 g/m^2/ano e 1,19 g/m^2/ano, respectivamente).

Na fase imediatamente acima, entre 28200 e 26800 anos AP os valores de fluxo de carbono e nitrogênio sofrem uma intensa redução, atingindo valores de 2,62% e 0,17%, mas voltam a aumentar, até atingirem fluxos em torno de 6% e 0,20%.

No período entre 24300 e 9200 anos, os valores de carbono e nitrogênio permanecem praticamente constantes, em torno de 4 g/m^2/ano e 0,2 g/m^2/ano, respectivamente. Entre 9200 e

8300 anos AP houve um leve aumento dos fluxos de carbono e nitrogênio. Entre 8300 anos AP e 7300 anos AP observa-se uma redução nos fluxos de carbono e nitrogênio. As amostras compreendidas entre 7300 anos AP e 2000 anos AP apresentaram valores de fluxos de carbono e nitrogênio baixos e praticamente constantes, e a partir de 2000 anos AP até o topo do testemunho verifica-se um aumento dos fluxos de carbono e nitrogênio

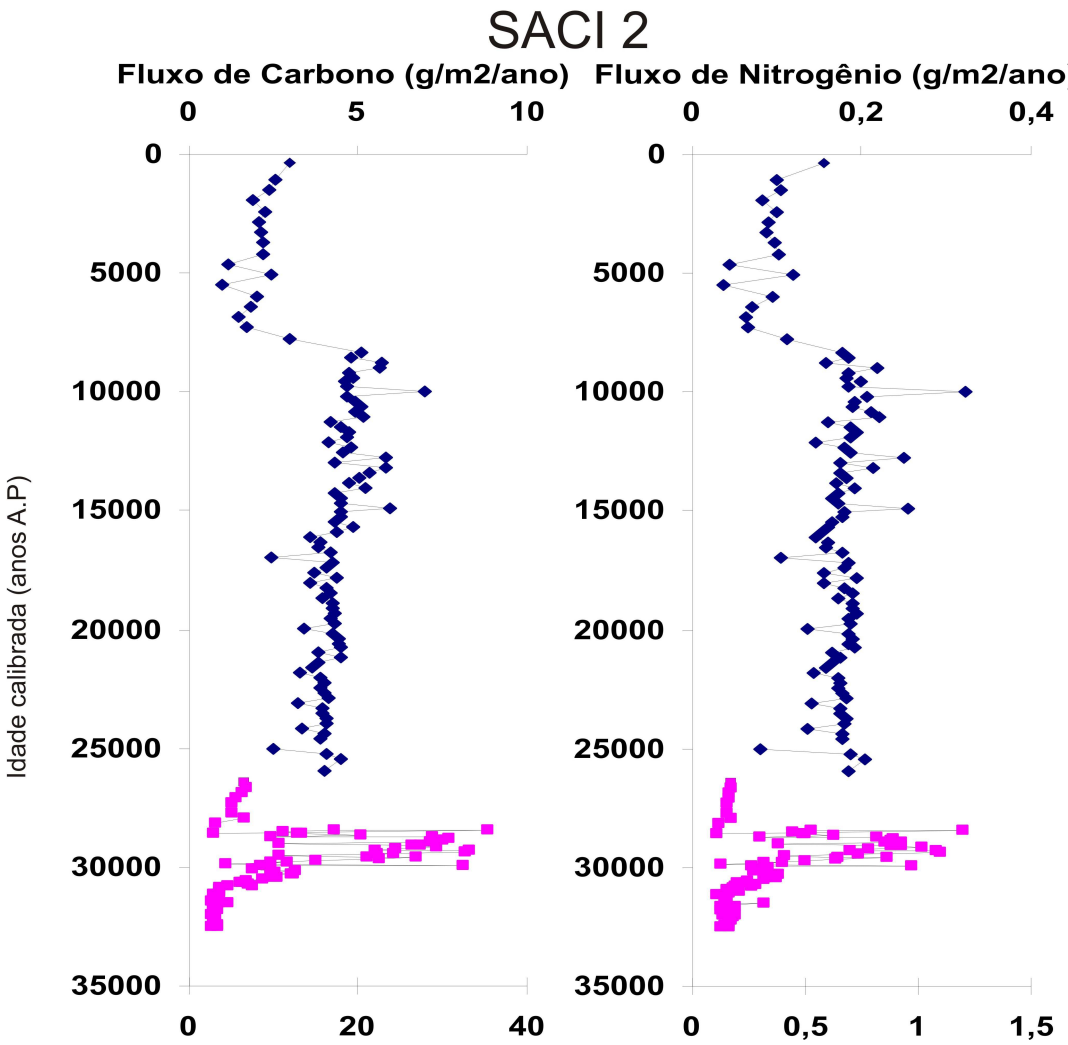

Figura 94. Fluxo de carbono e nitrogênio do testemunho Saci 2.

7.1.7 **Concentração de clorofila**

Seguindo a mesma divisão de fases apresentada para os demais *proxies*, podemos descrever as variações no perfil de clorofila (figura 97) da seguinte maneira:

Da base do testemunho até 320 cm os valores de clorofila permaneceram muito baixos, com valores médios de 2,07 SPDU. Na fase seguinte, de 320 cm até 290 cm, a clorofila se

torna ainda menor, atingindo os menores valores de todo o testemunho (mínimo de 0,12 SPDU e média de 0,29 SPDU).

No intervalo entre 290 cm e 245 cm, a clorofila aumenta, mas ainda se mantém com valores baixos (média de 1 SPDU). A partir de 245 cm até 225 cm, os valores de clorofila são reduzidos significativamente e o valor mínimo é de 0,25 SPDU. Entre 225 cm e 209 cm verifica-se um novo aumento na clorofila, com valores médios 2,57 SPDU. A partir de 209 cm, os valores de clorofila aumentam expressivamente, e exibem, no intervalo até 120 cm, os maiores valores médios de todo testemunho (9,94 SPDU).

Entre 120 cm e 49 cm, é registrada uma queda acentuada nos valores de clorofila, atingindo valor mínimo de 0,98 SPDU. A partir de 49 cm, há um novo aumento dos valores, até 21 cm. Nesse intervalo, observa-se o valor máximo para todo o testemunho, 22,57 SPDU. Essa tendência de aumento permanece entre 21 cm e o topo do testemunho, porém com menor intensidade. Nessa fase os valores médios encontrados foram de 7,88 SPDU.

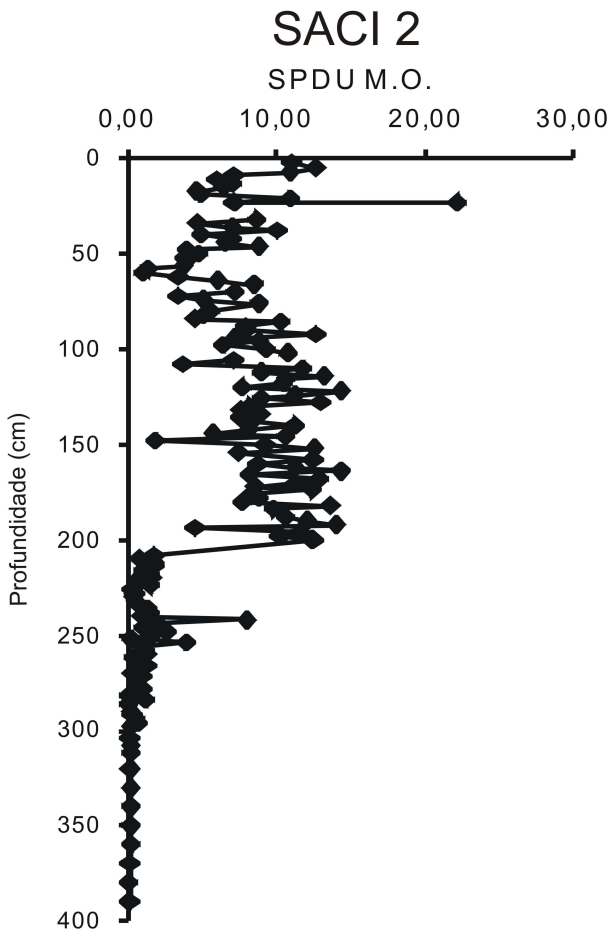

Figura 95. Concentração de clorofila do testemunho Saci 2.

7.1.8 **Fluxo de clorofila**

Entre 32500 e 30800 anos AP verifica-se um fluxo de clorofila próximo a zero (figura 98). A partir de 30800 anos AP até 29967 anos AP há um pequeno aumento no fluxo de clorofila (passando para valores de 0,01 SPDU/cm^2/ano). Após essa fase, verifica-se um intenso aumento nos valores dos fluxos de clorofila, chegando a atingir o maior valor registrado em todo o testemunho, de 0,07 SPDU/cm^2/ano. Essa fase dura até aproximadamente 28200 anos AP, quando os valores de fluxo de clorofila sofrem uma intensa redução, e se mantêm próximos a 0,008 SPDU/cm^2/ano até 24300 anos AP.

No período entre 24300 e 13600 anos, o fluxo de clorofila se mantém alto (entre 0,03 e 0,05 SPDU/cm^2/ano) e a partir de então sofre uma intensa redução até 10600 anos AP (0,002 SPDU/cm^2/ano), mostrando que nesse período, a produtividade do lago se manteve baixa, o que caracteriza um clima mais seco. Entre 10600 anos AP e 8300 anos AP houve um intenso aumento do fluxo de clorofila, que volta a atingir valores de 0,03 SPDU/cm^2/ano. Entre 8300 anos AP e 7300 anos AP observa-se uma redução no fluxo de clorofila (volta a 0,01 SPDU/cm^2/ano)

As amostras compreendidas entre 7300 anos AP e 2000 anos AP apresentaram valores de clorofila praticamente constantes, em torno de 0,06 SPDU/cm^2/ano, com pico em 5000 anos AP. A partir de 2000 anos AP até o topo do testemunho o fluxo de clorofila apresenta aumento, atingindo valores de 0,02 SPDU/cm^2/ano.

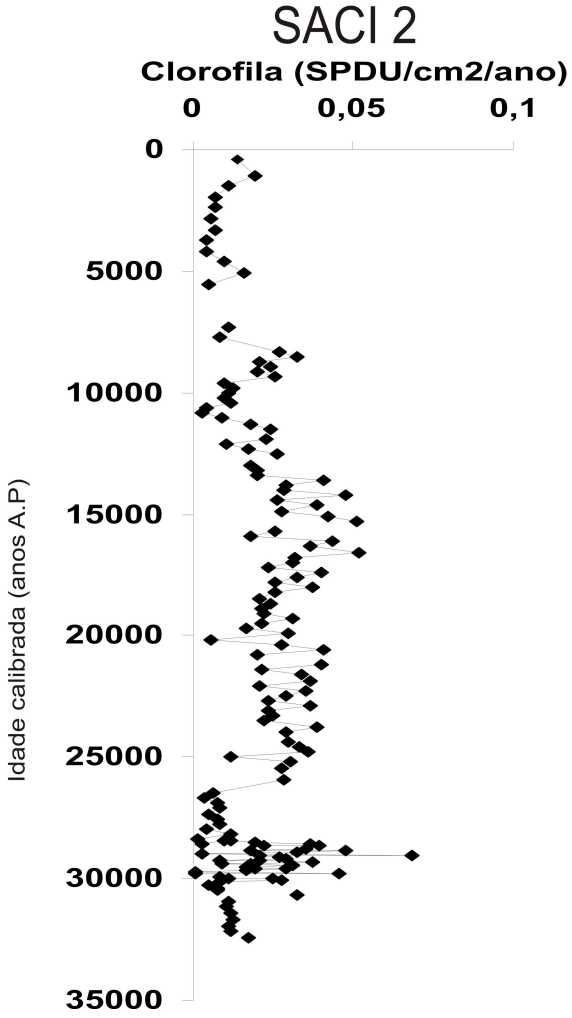

Figura 96. Fluxo de clorofila do testemunho Saci 2.

7.1.9 **Partículas de carvão**

7.1.9.1 ***Concentração e área das partículas***

A partir dos resultados indicados pela concentração e área das partículas de carvão encontradas no sedimento (figura 99), é possível fazer inferências a respeito da frequência, intensidade e localização dos incêndios florestais ocorridos ao longo do tempo.

Da base do testemunho até 320 cm é observada uma baixa concentração de partículas de carvão, em torno de 3,4 x 10^5 partículas/grama, sendo que as mesmas apresentam tamanho reduzido (abaixo de 100 μm^2). Entre 320 cm e 290 cm há um aumento da concentração das partículas (valor médio de 5,8 x 10^5 partículas/grama) e aumento da área das partículas.

No intervalo entre 290 cm e 245 cm, há um grande aumento na concentração das partículas de carvão, com valor máximo de 11 x 10^6 partículas/grama. A área das partículas

também aumenta expressivamente, com valores entre 200 e 400 μm^2. Entre 245 cm e 225 cm, a concentração de partículas diminui, permanecendo com valores médios de 1,9 x 10^5 partículas/grama e a área das partículas permanece entre 200 e 400 μm^2. A partir de 225 cm e até 209 cm há um novo aumento na concentração de partículas, e os valores médios registrados ficam em 2,5 x 10^5 partículas/grama, enquanto que as áreas das partículas ficam em torno de 300 μm^2.

Entre 209 cm e 120 cm há uma tendência de diminuição dos valores de concentração das partículas de carvão, sendo que o valor mínimo para essa fase é de 1,3 x 10^5 partículas/grama. No início dessa fase (até 180 cm) as partículas apresentaram as maiores áreas registradas para todo o testemunho (acima de 600 μm^2), porém após essa profundidade, os valores caem drasticamente e se mantêm em torno de 100 μm^2.

Entre 120 cm e 49 cm os valores de concentração de partículas de carvão apresentam uma grande variabilidade, sem mostrar uma tendência muito clara, enquanto que a área das partículas mostrou uma tendência de aumento, até atingir valores próximos a 200 μm^2. No intervalo entre 49 cm e 21 cm, há uma tendência de redução na concentração das partículas de carvão, entretanto com grandes variações dentro do período (entre 3,5 x 10^5 partículas/grama e 8,9 x 10^6 partículas/grama). O tamanho das partículas apresenta um leve aumento, passando a exibir valores acima de 200 μm^2. De 21 cm até o topo há um elevadíssimo aumento na concentração de partículas de carvão, que atingem o valor máximo registrado no testemunho (15,96 x 10^6 partículas/grama). A área das partículas apresenta redução, passando de 300 μm^2 para 100 μm^2.

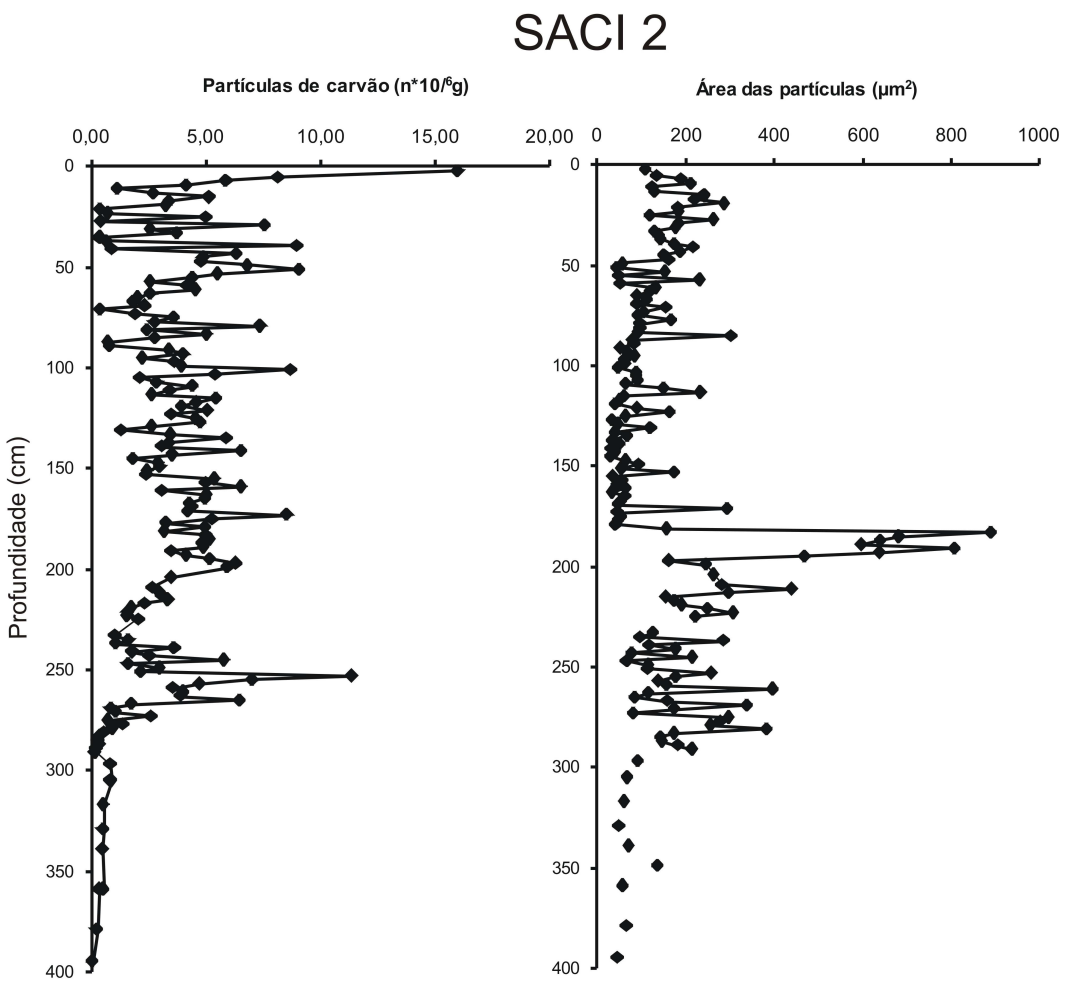

Figura97. Concentração de partículas de carvão e área das partículas do testemunho Saci 2.

7.1.9.2 *Fluxo do número de partículas*

Entre 32500 e 30800 anos AP verifica-se um aumento gradual do fluxo de partículas de carvão (figura 100), entretanto esses valores não representam necessariamente eventos de incêndios florestais mais intensos e freqüentes do que em outras profundidades do testemunho que apresentaram menores valores de fluxo. Esses dados estão um pouco "distorcidos" pelos altos valores de densidade e taxa de sedimentação nessa região.

Entre 30800 e 28700 anos AP o fluxo de carvão aumenta expressivamente e são observados os maiores valores de todo testemunho (atingem valores superiores a 160000 partículas/cm^2/ano). Entre 28200 e 26800 anos AP os valores de fluxo de carvão sofrem uma intensa redução. No período entre 24300 e 9200 anos AP, o fluxo de partículas de carvão apresenta diversos picos em 22600 anos AP, 21200 anos AP, 19300 anos AP, 16500 anos AP,

15900 anos AP, entre 15300 e 15000 anos AP, 13200 anos AP, 12700 anos AP e 9800 anos AP.

Entre 9200 e 8300 anos AP houve um aumento do fluxo de partículas de carvão. Em 8700 anos AP há um pico no fluxo de partículas de carvão e posteriormente, até 8300 anos AP há uma forte redução nesses valores. Entre 8300 anos AP e 7300 anos AP observa-se um novo aumento no fluxo de partículas de carvão.

Entre 7300 anos AP e 2000 anos AP o fluxo de partículas de carvão apresentou intensa variabilidade, com picos de aumento em 7300 anos AP, 6400 anos AP, 5500 anos AP e entre 4180 e 2840 anos AP. A partir de 2000 anos observa-se um intenso aumento no fluxo de deposição de partículas de carvão.

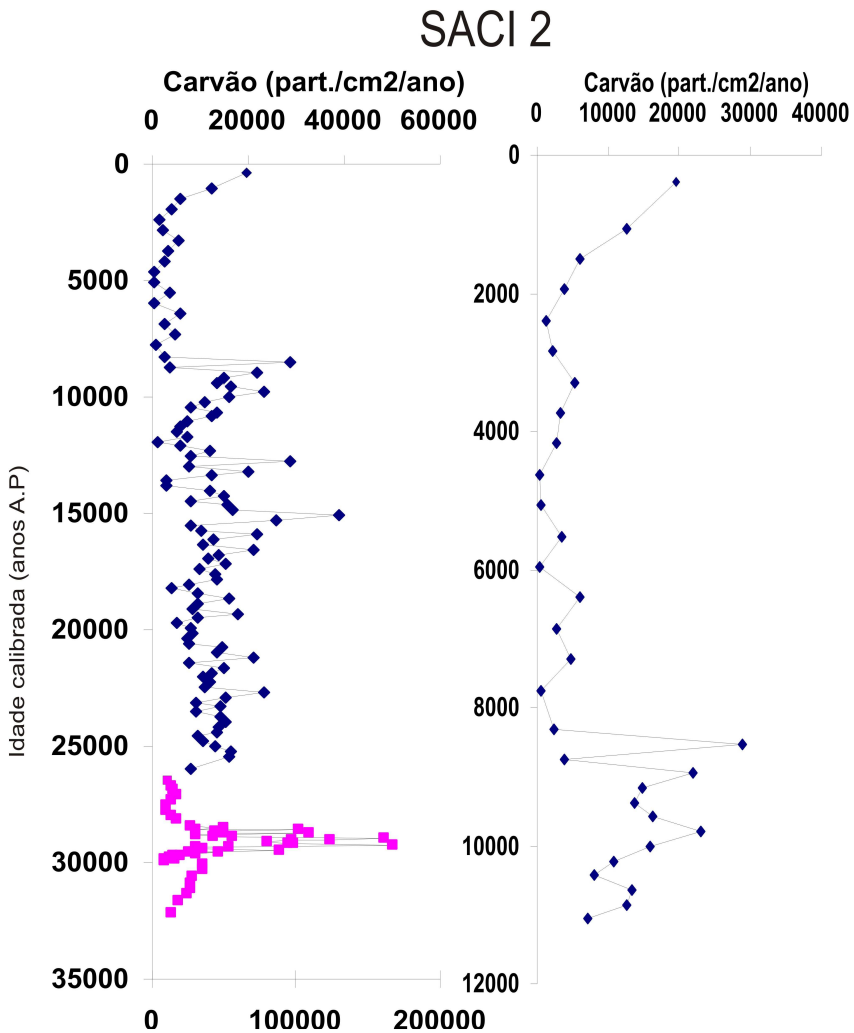

Figura 98. Fluxo de partículas de carvão do testemunho Saci 2, em duas escalas. O gráfico da esquerda representa todo o testemunho, enquanto que no gráfico da direita foi dado destaque ao Holoceno.

7.1.10 **Concentração de elementos traço e maiores.**

O comportamento observado pelos elementos traço e maiores determinados no testemunho Saci 2 não seguiram exatamente o mesmo padrão apresentado pela matéria orgânica e pelos *proxies* físicos, entretanto, ele será apresentado seguindo a mesma linha que vem sendo trabalhada.

Da base do testemunho até 320 cm os elementos Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb, Ti e V apresentam uma tendência de redução nas concentrações, já os elementos Al, Ba, Cu e Zn se mostram praticamente constantes, enquanto que o Hg e o Mn apresentam tendência de aumento (figura 101). De 320 cm até 290 cm praticamente todos os elementos traço e maiores apresentam incremento nas suas concentrações, com exceção do Ba e Zn que permanecem praticamente constante e do Al e V que diminuem.

Entre 290 cm e 245 cm os elementos traço e maiores analisados praticamente se mantiveram constantes, com exceção dos aumentos expressivos verificados nas concentrações de Hg, Cu e Mn e redução das concentrações de Co, Cr e Ti. No intervalo entre 245 cm e 225 cm os elementos Ba, Cd e Cr registram um expressivo aumento, enquanto que o Cu, Hg e Mn reduzem drasticamente.

De 245 cm a 209 cm destaca-se o aumento de Cd e Cu e a diminuição de Al, enquanto que entre 209 cm e 120 cm praticamente todos os elementos traço e maiores permanecem constantes ao longo da fase, sendo que esse comportamento se mantém até o topo do testemunho, permanecendo sem grandes variações em todas as fases apresentadas.

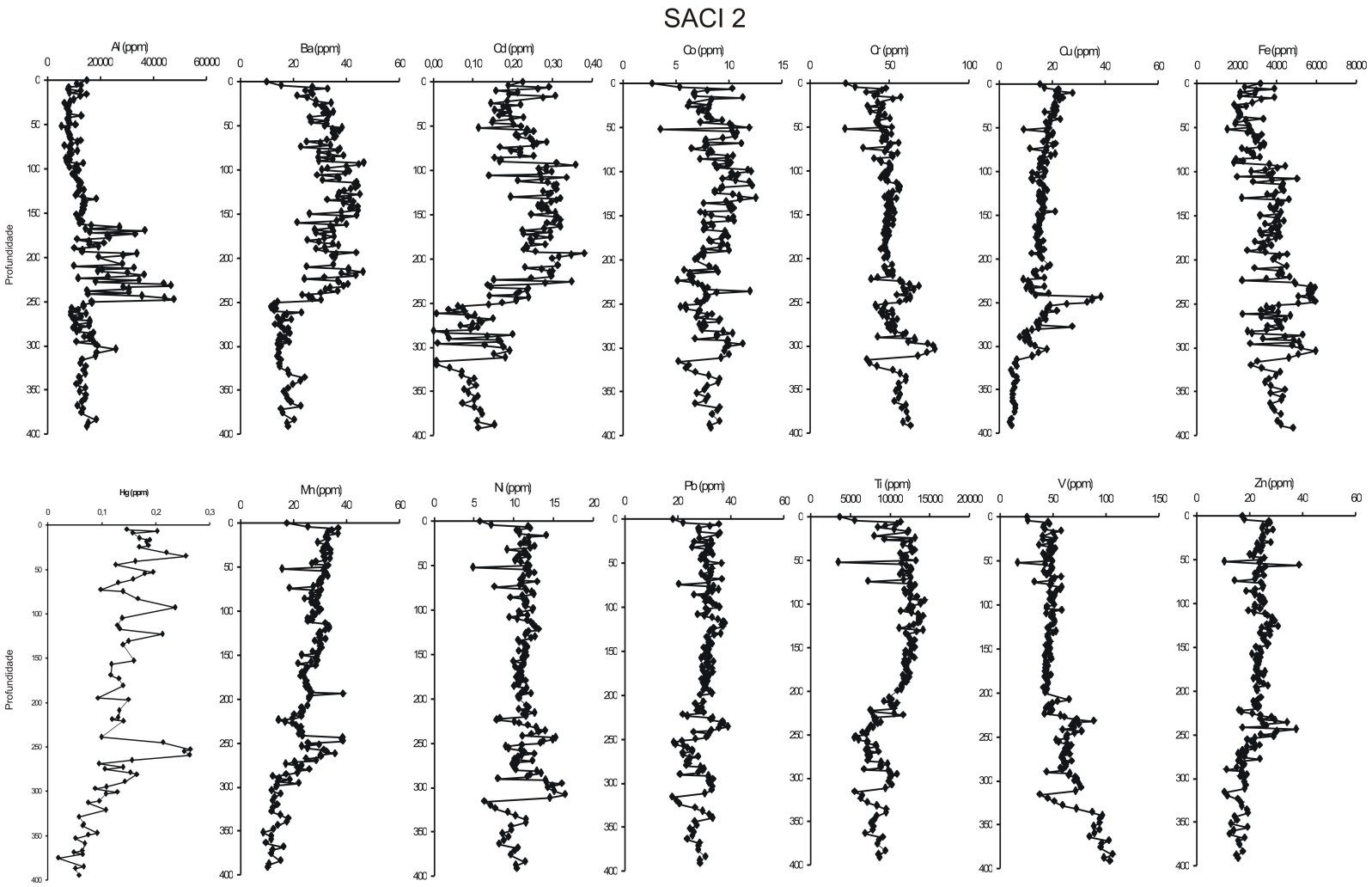

Figura 99. Concentração de elementos traço e maiores do testemunho Saci 2.

7.1.11 **Fluxo de elementos traço e maiores.**

O comportamento observado pelos fluxos de elementos traço (figura 102) e maiores determinados no testemunho Saci 2 não seguiram exatamente o mesmo padrão apresentado pela matéria orgânica e pelos *proxies* físicos, entretanto, ele será apresentado seguindo a mesma linha que vem sendo trabalhada.

No intervalo entre 32.529 e 30.670 anos AP os elementos Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb, Ti e V apresentam uma tendência de redução nas concentrações, já os elementos Al, Ba, Cu e Zn se mostram praticamente constantes, enquanto que o Hg e o Mn apresentam tendência de aumento. De 30.670 até 29.916 praticamente todos os elementos traço e maiores apresentam incremento nas suas concentrações, com exceção do Ba e Zn que permanecem praticamente constante e do Al e V que diminuem.

Entre 29.916 e 28.761 anos AP os elementos traço e maiores analisados praticamente se mantiveram constantes, com exceção dos aumentos expressivos verificados nas concentrações de Hg, Cu e Mn e redução das concentrações de Co, Cr e Ti. No intervalo entre 28.761 e 28.167 anos AP os elementos Ba, Cd e Cr registram um expressivo aumento, enquanto que o Cu, Hg e Mn reduzem drasticamente.

De 28.167 a 26.478 anos AP destaca-se o aumento de Cd e Cu e a diminuição de Al, enquanto que entre 26.478 e 17.187 anos AP praticamente todos os elementos traço e maiores permanecem constantes ao longo da fase, sendo que esse comportamento se mantém até o topo do testemunho, permanecendo sem grandes variações em todas as fases apresentadas.

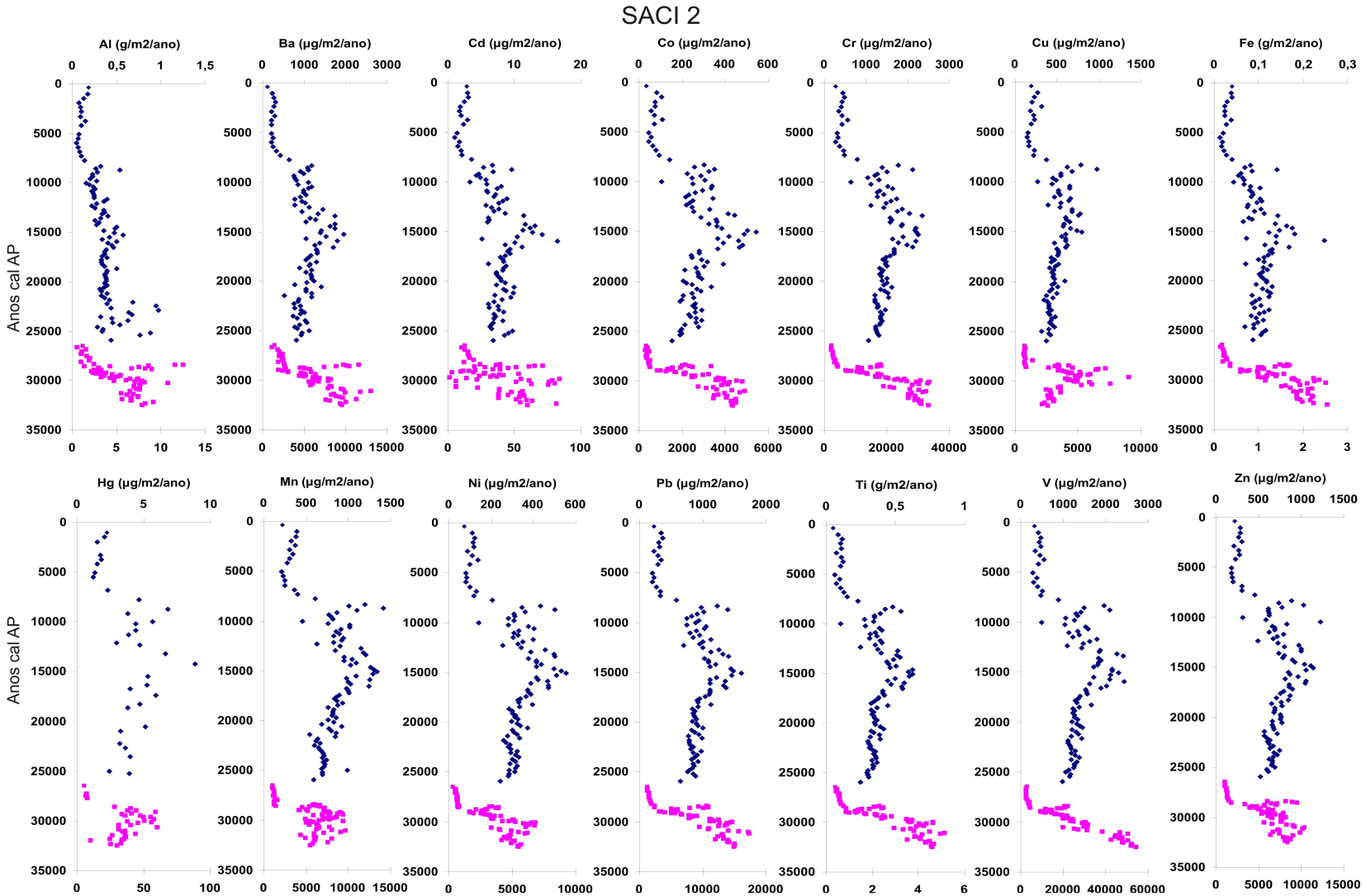

Figura 100. Fluxo de elementos maiores e elementos traço do testemunho Saci 2.

As tabelas 16 e 17 apresentam um resumo dos principais resultados do testemunho Saci 2.

Tabela 16. Valores máximos, médios e mínimos para as concentrações de C, N, ^{13}C, ^{15}N, clorofila e partículas de carvão, além da razão C/N do testemunho Saci 2.

Fase 1: topo-21cm	%C	%N	C/N	^{13}C	^{15}N	Clorofila	Partículas de carvão/g
Máximo	26,82	1,27	25,47	-28,83	1,18	12,66	15.969.696
Médio	22,01	0,99	22,57	-30,67	0,89	7,88	5.521.120
Mínimo	16,48	0,65	19,05	-32,31	0,16	4,65	1.143.663
Fase 2: 21-49cm							
Máximo	33,99	1,67	35,82	-28,83	2,10	22,27	8.947.368
Médio	18,92	0,79	25,19	-30,47	1,13	7,95	3.300.973
Mínimo	12,99	0,38	20,31	-31,26	0,57	4,65	352.477
Fase 3: 49-120cm							
Máximo	24,21	1,12	30,36	-29,48	1,78	13,27	9.039.451
Médio	13,90	0,55	25,47	-30,00	1,09	6,91	3.724.882
Mínimo	8,19	0,31	21,58	-30,56	-0,56	0,98	387.126
Fase 4: 120-209cm							
Máximo	17,69	0,82	31,14	-29,56	2,43	14,43	8.526.645
Médio	14,32	0,62	23,11	-29,74	0,71	9,94	4.302.821
Mínimo	9,67	0,31	21,66	-30,02	-0,63	1,87	1.303.014
Fase 5: 209-225cm							
Máximo	17,69	0,82	40,28	-29,18	1,49	12,49	3.476.482
Médio	12,83	0,38	35,34	-30,80	0,53	2,57	2.518.961
Mínimo	8,17	0,21	21,70	-31,52	-0,19	0,52	1.556.776
Fase 6: 225-245cm							
Máximo	12,41	0,42	32,67	-21,48	1,29	8,04	3.609.341
Médio	5,87	0,20	28,52	-25,19	-0,20	1,54	1.953.339
Mínimo	3,64	0,14	24,85	-28,28	-1,96	0,25	1.022.453
Fase 7: 245-290cm							
Máximo	20,08	0,65	35,36	-23,88	2,78	3,90	11.333.333
Médio	9,28	0,29	31,40	-28,20	-0,42	1,02	2.797.956
Mínimo	1,02	0,03	25,62	-30,41	-4,06	0,01	193.181
Fase 8: 290-320cm							
Máximo	6,15	0,18	37,53	-28,21	0,52	0,65	829.268
Médio	2,47	0,08	30,59	-30,00	-2,70	0,29	578.221
Mínimo	1,15	0,04	25,96	-31,71	-5,28	0,12	145.299
Fase 9: 320cm-base							
Máximo	1,37	0,06	30,88	-24,75	-1,80	3,26	499.118
Médio	0,64	0,03	20,57	-26,24	-6,70	2,07	342.667
Mínimo	0,49	0,02	14,17	-30,20	-11,45	0,58	25.563

Tabela 17. Valores máximos, médios e mínimos para concentrações de elementos maiores e traços testemunho Saci 2.

Fase 1: topo-21cm	Hg	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
Máximo	0,20	14965	33,04	0,31	11,31	57,33	27,78	3909	36,91	14,12	35,89	12353	57,87	28,96
Médio	0,17	11446	23,48	0,23	7,38	41,41	21,73	2990	31,31	10,53	29,23	9410	42,02	24,84
Mínimo	0,15	7746	9,97	0,16	2,78	22,47	15,48	2163	17,55	5,78	18,28	3714	25,75	17,45
Fase 2: 21-49cm														
Máximo	0,26	14799	35,16	0,31	11,31	57,33	27,78	3902	36,83	14,12	35,89	13191	57,87	28,96
Médio	0,18	9185	29,14	0,19	7,92	44,10	21,23	2438	32,02	11,28	30,44	11431	46,09	24,67
Mínimo	0,13	6451	21,50	0,15	6,17	35,58	17,30	1879	27,02	9,21	25,52	8046	37,17	20,18
Fase 3: 49-120cm														
Máximo	0,24	13635	46,70	0,36	12,20	56,58	21,43	5041	33,51	12,96	37,71	14392	58,35	38,88
Médio	0,16	9523	35,39	0,24	9,64	47,91	16,88	3107	28,71	11,25	32,00	12271	48,01	23,88
Mínimo	0,10	5309	22,84	0,12	3,58	22,04	9,35	1527	15,77	4,89	20,54	3530	16,96	10,69
Fase 4: 120-209cm														
Máximo	0,21	36903	45,12	0,38	12,55	56,48	21,24	4633	38,73	13,15	37,14	14185	53,21	30,88
Médio	0,14	16501	36,20	0,28	9,06	49,58	15,78	3792	27,47	11,23	31,65	12356	45,73	24,83
Mínimo	0,09	10141	21,52	0,20	6,83	44,68	12,41	2263	21,77	9,96	28,46	10953	41,18	21,15
Fase 5: 209-225cm														
Máximo	0,14	36655	46,29	0,31	8,99	52,20	19,28	4672	25,87	12,66	29,85	10953	65,24	24,50
Médio	0,13	24471	37,51	0,28	7,13	49,00	15,81	4027	23,01	11,13	27,58	9989	49,47	22,30
Mínimo	0,12	10031	25,00	0,23	5,81	42,58	13,15	2897	19,74	8,29	21,92	7569	43,02	16,26
Fase 6: 225-245cm														
Máximo	0,10	46692	40,67	0,35	11,98	68,66	18,72	5935	23,44	13,97	39,04	11684	88,68	34,35
Médio	0,10	27562	33,45	0,21	7,88	58,38	12,87	5159	20,78	11,66	33,32	8724	66,20	24,87
Mínimo	0,10	11561	23,35	0,14	5,17	38,52	9,31	2277	14,47	7,87	23,78	7639	42,28	17,13
Fase 7: 245-290cm														
Máximo	0,26	47903	30,46	0,24	10,35	63,25	38,55	5955	38,61	15,32	31,97	9733	77,17	37,81
Médio	0,18	16955	17,30	0,11	7,77	52,08	20,11	4120	26,66	11,60	25,47	7498	62,62	21,62
Mínimo	0,10	8923	11,69	0,00	5,44	41,36	9,43	2305	12,26	9,02	18,63	5532	53,06	15,42
Fase 8: 290-320cm														
Máximo	0,13	25834	18,45	0,19	11,30	78,84	18,10	5985	22,01	16,50	33,35	10894	76,51	19,22
Médio	0,10	17094	15,33	0,12	9,16	64,51	11,87	4480	14,87	13,38	29,55	9298	65,02	16,59
Mínimo	0,08	10939	13,97	0,01	5,23	35,89	6,80	2681	11,82	6,31	17,98	5580	37,82	10,69
Fase 9: 320cm-base														
Máximo	0,11	18499	24,37	0,15	9,15	63,36	6,89	4835	18,04	11,56	33,18	9565	106,37	19,59
Médio	0,06	13654	18,45	0,09	7,93	55,83	5,58	3903	12,96	9,67	27,04	8188	86,53	16,08
Mínimo	0,02	10936	14,83	0,01	5,96	37,61	4,01	2713	8,63	7,08	19,68	6344	45,27	11,77

7.2 DISCUSSÃO

7.2.1 Interpretação paleoambiental do testemunho Saci 2

A análise dos indicadores estudados ao longo de todo o testemunho Saci 2 sugere a hipótese de que o clima na região tenha sido, de maneira geral, seco entre 32000 anos AP e 15000 anos AP. Essa fase é muito semelhante ao período seco registrado na Lagoa da Pata, que foi entre 31000 anos AP e 18000 anos AP, conforme registrado por Absy e Servant (1993) e Cordeiro *et al*. (2010).

Entretanto, há a ocorrência de diversos sub períodos úmidos durante esse intervalo de tempo, e os mesmos parecem estar em grande conformidade com os eventos Heinrich (figura 103). Esses eventos ocorreram durante o último período glacial e são flutuações globais do clima que coincidem com o desprendimento de icebergs dos glaciares do Atlântico Norte, e o consequente lançamento de uma grande quantidade de massa de rochas erodidas dos glaciares, formando os “ice rafted debris”. (HEINRICH, 1988 e BOND *et al*., 1992,)

Através de testemunhos marinhos foi possível reconhecer 6 eventos desse tipo, classificados de H1 a H6 (HEINRICH, 1988). O derretimento desses “icebergs” provocou a entrada de uma grande quantidade de água doce no Atlântico Norte, o que alterou os padrões da circulação termohalina dos oceanos.

O transporte de umidade do Oceano Atlântico para o Oceano Pacífico através da América Central conduz a salinidades relativamente altas no Atlântico Norte e contribui para a formação da “North Atlantic Deep Water” (LEDUC et al., 2007). Durante os eventos Heinrich há uma redução desse transporte, gerando aumento da umidade na América do Sul, o que leva, dentre outras conseqüências, a um aumento na erosão e no “runoff” fluvial, como registrado por Masson e Delecluse (2003) na foz do Amazonas.

Nessa sessão serão discutidos os principais resultados referentes à interpretação das variações no paleoclima e paleoambiente referentes ao Lago do Saci, à luz da ocorrência dos eventos Heinrich a diversos registros sedimentares estudados em outros sítios da Amazônia.

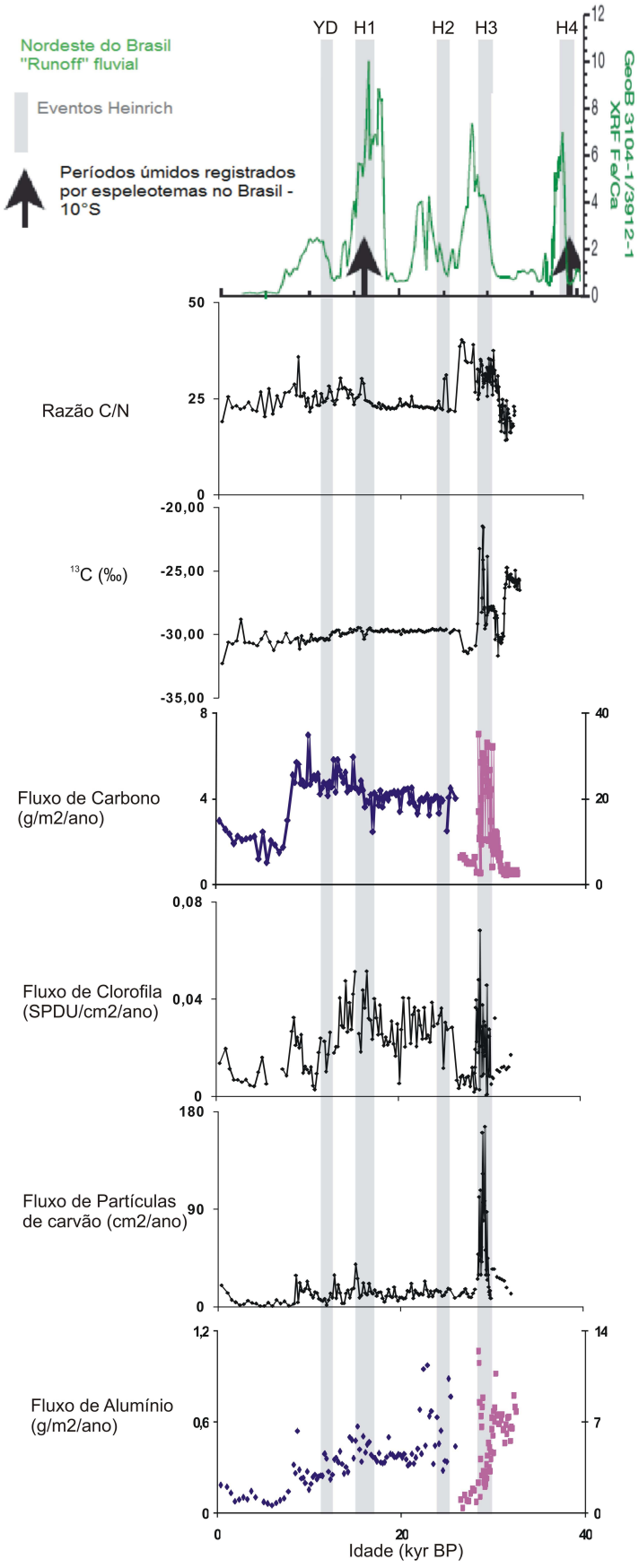

Figura 101. Comparação entre os dados do Saci 2 e o testemunho GeoB 3104-1/3912 (Leduc et al., 2007).

Entre 32500 e 30800 anos AP verifica-se um baixo fluxo de carbono e nitrogênio, um aumento gradual do fluxo de partículas de carvão, fluxo de clorofila próximo a zero e, uma elevação do fluxo de todos os elementos traço e menores. Essa fase do testemunho que corresponde à profundidade aproximada da base até 320 cm pode representar um ambiente anterior à formação do lago. Devido à grande concentração de sedimentos grossos e às baixíssimas concentrações de carbono pode-se inferior que se tratava de um ambiente não deposicional.

Entre 30800 e 28700 anos AP são observados altíssimos fluxos de carbono e nitrogênio, além dos maiores fluxos de partículas de carvão e clorofila de todo testemunho. O fluxo de metais permanece alto. Nessa fase é observado um grande transporte de material alóctone para dentro do lago, mostrado principalmente pelo forte aumento da razão C/N, do ^{13}C e do fluxo de partículas de carvão. Esse fato parece ser devido a grandes eventos de enxurrada, o que provoca uma forte erosão do terreno. Essa hipótese é corroborada pela granulometria do perfil, que apresenta diversas entradas de sedimentos grossos na forma de pulsões durante esse período. Esse período está em conformidade com o evento Heirinch 3, como mostrado na figura 103. Esse evento pode ter provocado a ocorrência desse período úmido, o que gerou uma grande erosão no entorno do lago. Pelos dados de carbono, é possível sugerir que esse período corresponde à formação do lago, passando a ser um ambiente deposicional.

Entre 28200 e 26800 anos AP os valores de fluxo de carbono e nitrogênio sofrem uma intensa redução, assim como os valores de fluxos de partículas de carvão e clorofila. Os fluxos de metais sofrem forte redução.

Entre 26000 e 25000 anos AP, período que corresponde ao evento H2, observa-se no testemunho Saci 2 aumento da razão C/N, aumento do fluxo de metais (representado em destaque pelo alumínio, na figura 103) e aumento do fluxo de partículas de carvão (indicando transporte de material alóctone), além de aumento do fluxo de clorofila (indicando também aumento na produtividade do lago).

No período entre 25000 e 21200 anos AP não são registradas grandes variações, entretanto, o lago não apresenta alta produtividade. Entre 21000 anos AP e 18000 anos AP é registrado uma forte diminuição dos fluxos de carbono e de clorofila e aumento do fluxo de partículas de carvão, caracterizando o período seco do Último Máximo Glacial.

Entre 17300 anos AP e 15100 anos AP, período de ocorrência do evento H1, observa-se um forte aumento da razão C/N, do fluxo de clorofila, do fluxo de partículas de carvão e do fluxo de metais, sugerindo nova entrada de material alóctone, provocada pelos eventos de erosão acentuados pelo evento H1. Essa fase ainda registra efeitos mais acentuados entre 17300 anos AP e 16400 anos AP, que sugerem mudanças extremas de condições secas para úmidas. Entre 16400 e 15100 anos AP há a manutenção da clima mais úmido, assim como registrado por Cruz *et al*., 2009, em espelotemas no Rio grande do Norte.

Sugere-se a manutenção de clima úmido até 11300 anos AP, devido aos altos valores de fluxo carbono e clorofila e aos baixos valores de fluxo de partículas de carvão, com exceção de um pico de incêndios entre 13200 e 12800 anos AP.

No testemunho Saci 2, a fase de transição Pleistoceno-Holoceno (11300 a 9300 anos AP) foi marcada por um grande aumento no fluxo de partículas de carvão, registrando um período com altas taxas de incêndios. Essa fase também foi registrada por Simões Filho (2000), em Roraima; por Behling (1995), em Minas Gerais; por Ferraz-Vicentini & Salgado-Laboriau (1996), no Distrito Federal; por Ribeiro (1994) e Souza (1998), também no Distrito Federal (sendo que esses autores registraram uma fase seca entre 22000 e 8500 anos AP, variando entre fria e quente), dentre outros.

Entre 9200 e 8300 anos AP houve um leve aumento dos fluxos de carbono e nitrogênio e um intenso aumento do fluxo de partículas de carvão e clorofila. Em 8700 anos AP há um pico no fluxo de partículas de carvão e posteriormente, até 8300 anos AP há uma forte redução nesses valores. A maior parte dos elementos maiores e traço estudados apresentou aumento nessa fase. O clima seco, relatado na fase anterior, persiste durante essa fase.

Entre 8300 anos AP e 7300 anos AP observa-se uma redução nos fluxos de carbono e nitrogênio, acompanhados por redução no fluxo de clorofila, e aumento no fluxo de partículas de carvão. Apesar de apresentar fluxos de partículas de carvão menores que a fase anterior, nota-se que o clima permanece seco durante esse período.

As amostras compreendidas entre 7300 anos AP e 2000 anos AP apresentaram valores de fluxos de carbono e nitrogênio baixos e praticamente constantes. O fluxo de partículas de carvão apresentou intensa variabilidade, com picos de aumento em 7300 anos AP, 6400 anos AP, 5500 anos AP e entre 4180 e 2840 anos AP. Os valores de clorofila são praticamente constantes, com pico entre 5000 e 4600 anos AP. Os fluxos de metais permanecem baixos e sem grandes variações. Segundo Simões Filho, 2000, essa fase corresponde à principal

oscilação paleoclimática do Holoceno, compreendendo desde a transição para o Holoceno Médio até o início do Holoceno Superior. Portanto, ela pode ser melhor representada se for dividida em duas subfases: entre 7300 anos AP e 6000 anos AP, período que está associado a uma reorganização do clima, ainda com forte influência da sazonalidade e, aquecimento da faixa equatorial (Stager & Mayewski, 1997, *apud* Simões Filho, 2000). Durante esse período, os fluxos de carbono e nitrogênio se mantiveram baixos e, houve aumento no fluxo de partículas de carvão, entretanto, os fluxos de carvão observados apresentaram valores inferiores aos registrados no Holoceno Inferior, mostrando um padrão de incêndios semelhante ao registrado por Simões Filho (2000), em Roraima. De 6000 anos AP até 2000 anos AP, de uma maneira geral, o clima se mostrou mais úmido, com leve aumento nos fluxos de carbono e nitrogênio, aumento no fluxo de clorofila e redução no fluxo de partículas de carvão

A partir de 2000 anos AP até o topo do testemunho verifica-se um aumento dos fluxos de carbono e nitrogênio. O fluxo de clorofila apresenta aumento, principalmente entre 2000 e 1000 anos AP. Apesar dos indicadores de clima mais úmido, o fluxo de partículas de carvão mostrou um aumento expressivo, podendo estar associado ao início da ação antropogênica na região. Os fluxos de metais permanecem baixos e constantes.

7.2.2 Comparação dos fluxos de partículas de carvão em diversos sítios na Amazônia

Esse item tem o objetivo de mostrar as diferenças nos fluxos de partículas de carvão entre vários estudos realizado na Amazônia em diversas escalas de tempo. Foram analisados dados de testemunhos de sedimentos com registros dos últimos 50000 anos AP, estudos mais focados no Holoceno, estudos de mudança do uso da terra, estudos de deposição atmosférica total (em ciclos anuais) e os resultados do presente estudo (Lago do Saci e testemunhos de Alta Floresta.

Observa-se que o valor do fluxo das partículas é muito mais intenso nos testemunhos curtos de Alta Floresta, que registram a ação antrópica de mudança do uso da terra do que qualquer outro registro, como mostra a figura x (para facilitar a visualização, os dados foram plotados em escala logarítimica).

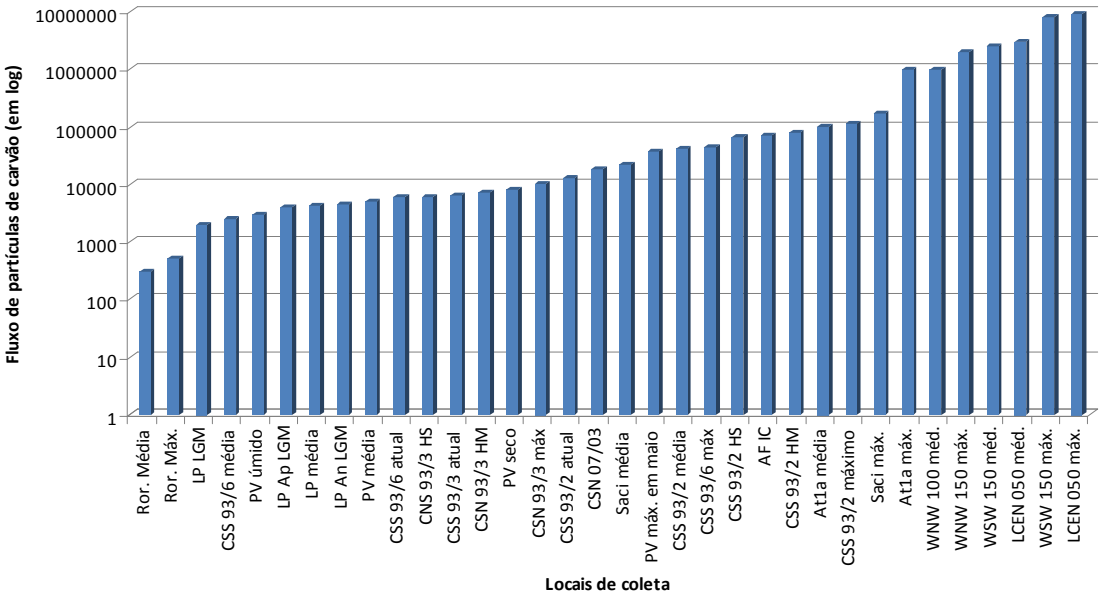

Figura 102. Comparação entre os fluxos de partículas de carvão em diversos sítios da Amazônia: Roraima média, Roraima máximo (Simões Filho 2000); Lagoa da Pata durante o Último Máximo Glacial (Cordeiro, 2000); CSS 93/6 média – Carajás (Cordeiro, 1995), Porto Velho (deposição atmosférica) período úmido (Cordeiro, 2000); Lagoa da Pata antes do LGM, Lagoa da Pata depois do LGM, Porto Velho média, CSS93/6 atual, CSN 93³3 Holoceno Superior, CSS 93/3 Holoceno Médio, Porto Velho período seco, CSN 93/3 máximo, CSS 93/2 atual, CSN 07/03 (Barbosa, 2009), Saci média (presente estudo), Porto Velho máximo em maio, CSS 93/2 Holoceno Superior, Alta Floresta início da colonização (Cordeiro, 2000), WNW 100 média, WNW150 máximo, WSW150 média, LCEN050 média, WSW 150 máximo e LCEN050 máximo.

8 CONCLUSÕES GERAIS

Os registros de mudanças do uso da terra nos últimos 30 anos, estudados a partir dos testemunhos de sedimento coletados em barragens nos arredores da cidade de Alta Floresta/MT, mostraram freqüência e intensidade de incêndios florestais muito superiores aos registrados pelo testemunho de sedimento do Lago do Saci nos últimos 32000 anos AP.

As mudanças do uso da terra na região de Alta Floresta provocaram intensos efeitos no ambiente, e esses foram registrados nos sedimentos estudados. A relação entre a distância do núcleo central de desmatamento e o ponto de coleta se mostrou crucial para a ocorrência de impactos. No entanto, foram registradas grandes áreas de desmatamento isoladas da região central de Alta Floresta, como o caso da fazenda muito próxima ao testemunho WSW 150.

Os altos valores de fluxos de partículas de carvão mostraram claramente que o testemunho LCEN 050, localizado próximo ao centro da cidade de Alta Floresta, mostrou maior freqüência e intensidade de incêndios do que os demais testemunhos.

Os impactos registrados nos arredores do centro de Alta Floresta mostraram alguns anos de atraso em relação à região central, o que mostra que a colonização ocorreu a partir do centro da cidade e foi se expandindo para as regiões periféricas. O processo de colonização de toda região ocorreu principalmente entre 1978 e 1984.

Foi encontrada uma boa relação entre o fluxo de partículas de carvão e o PIB do país, mostrando que em períodos de crise econômica o desmatamento diminui, e em períodos que a economia encontra-se aquecida, o desmatamento aumenta. Entretanto, essa relação só se mostra eficiente para períodos de tempo e regiões que não possuam políticas e medidas preservacionistas, e que sejam dependentes de atividades ligadas ao uso da terra.

Outras alternativas para a comparação do fluxo de partículas em larga escala foram encontradas entre o fluxo de partículas de carvão e o desmatamento em toda a Amazônia e no

estado de Mato Grosso, mostrando que muitas vezes o sedimento pode mostrar influência regional e até mesmo de grande escala. Entretanto, em alguns momentos, a influência local é mais determinante que a regional, e esse fato pôde ser comprovado pela análise da área das partículas.

A análise de carbono, nitrogênio, relação C/N e dos isótopos ^{13}C e ^{15}N revelou que as mudanças do uso da terra provocaram alterações na composição da matéria orgânica e na vegetação do entorno dos pontos de coleta.

A análise de elementos traço e maiores mostrou que a mudança no uso da terra alterou, em alguns casos, expressivamente a concentração e o fluxo desses elementos nos locais de coleta.

A análise de mercúrio e carvão mostrou que esses dois indicadores apresentaram, na maioria das vezes, baixa correlação, sendo, portanto, provenientes de processos diferentes. Enquanto o desmatamento é responsável pela emissão de partículas de carvão, o garimpo se mostra a principal atividade emissora de mercúrio para a atmosfera. Entretanto, verificou-se que o desmatamento é o grande responsável pela remobilização do mercúrio do solo, aumentando assim o fluxo de deposição desse elemento.

A análise conjugada das imagens de satélite com os registros sedimentares se mostrou uma ferramenta extremamente poderosa para uma melhor compreensão dos processos ocorridos por meio da colonização da região de Alta Floresta.

O registro sedimentar revelado pelo testemunho Saci 2 mostrou que essa região sofreu intensas alterações ao longo do tempo.

Observou-se que o Lago do Saci foi formado por uma alteração no curso do Rio São Benedito com a formação de um meandro, durante um período seco e que com o aumento da umidade em um período posterior houve o início do período de sedimentação.

A divisão por profundidade do testemunho Saci 2 mostrou haver 9 fases distintas no testemunho. Essas fases revelaram as diferentes condições climáticas e ambientais ocorridas no ambiente.

Verificou-se a ocorrência de um grande período seco, entre 32500 anos AP e 15000 mil anos AP, em conformidade com outros registros amazônicos, como a Lagoa da Pata.

Durante esse período, foram registrados 3 períodos úmidos bem marcados, que correspondem aos períodos de ocorrência de eventos Heinrich, o que gerou grande erosão e

grande aporte de material alóctone para os sedimentos do lago do Saci. O evento Heinrich 3, provocou o início da sedimentação no Lago do Saci.

Os indicadores estudados no testemunho Saci 2 mostraram, durante o período entre 21000 anos AP e 18000 anos AP, que registra a ocorrência do Último Máximo Glacial, indícios de clima mais seco, como registrado por diversos estudos.

Foi registrado um longo período com ocorrência de incêndios florestais, entre 11300 e 7300 anos AP. Após esse período, foi verificada a manutenção de um clima mais úmido durante o Holoceno, porém com picos de partículas de carvão em 6400 anos AP, 5500 anos AP e entre 4180 e 2840 anos AP. O aumento do fluxo de deposição de partículas de carvão a partir de 2000 anos AP, apesar da ocorrência de um clima mais úmido do que o registrado no período anterior, sugere atividade humana no local.

O fluxo de deposição de partículas de carvão, bem como a análise do tamanho das partículas, mostrou-se o principal indicador para o estudo da ocorrência e intensidade de incêndios florestais, entretanto, sua relação com os demais indicadores é capaz de gerar resultados mais confiáveis e precisos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSY, M.L.; CLEFF A.; FOURNIER, M; MARTIN,L; SERVANT, M; SIFEDDINE A; FERREIRA DA SILVA, M; SOUBIES, F; SUGUIO, K; TURCQ, B; VAN DER HAMMEN, Th. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. **C. R. Acad. Sci. Paris**. t. 312. Série II. 673-678.1991.

ABSY, M.L. e SERVANT, M. A história do clima e da vegetação pelo estudo do pólen. – In:Paleoclima da Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 16, n° 93, p. 26-30. 1993.

ALBUQUERQUE, **Paleoambientes Holocênicos do Lago Dom Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce, MG**. Niterói. (Tese Doutorado). Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. 1998.

ADAMS, J. M. e FAURE,H. A new estimate of changing carbon storage on land since the last glacial maximum, based on global land ecosystem reconstruction. **Global and Planetary Change,** 16–17, p. 3–24, 1998

ANE A. C.; ALENCAR, LUIS A.; SOLÓRZANO; e NEPSTAD, D. C. Modeling Forest Understory Fires in an Eastern Amazonian Landscape. **Ecological Applications**, 14(4) Supplement, 2004, pp. S139–S149, 2004.

BACKER, P, A. et al. The history of South American Tropical Precipitation for the past 25,000 years. **Science,** 2001. V 291, p 640-643.

BARROS, G. S. DE C.; De Zen, S.; BACCHI, M. R. P.; ICHIHARA, S. M.; OSAKI, M.; PONCHIO, L. A., Economia da pecuária de corte na região norte do Brasil, **Revista do**

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / CEPEA –ESALQ /USP, Piracicaba, São Paulo, 2002.

BEHLING, H.. First report on new evidence for the occurrence of Podocarpus and possible human presence at the mouth of the Amazon during the Late-glacial. **Vegetation History and Archaeobotany,** v. 5, n. 3, p. 241– 246. 1996.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Parana State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.97, n.1-2, p.109-121, 1997.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, p. 143-156, 1998.

BEHLING, H.; COSTA, M.I. Holocene environmental changes from the Rio Curuá record in the Caxiuanã region, eastern Amazon Basin. **Quaternary Research.**, v. 53, p. 369-377. 2001.

BEHLING, H. Carbon storage increases by major Forest ecosystems in tropical South America since the last Glacial Maximum and the early Holocene. **Global and Planetary Change**, v. 33, p. 107-116. 2002.

BEHLING, H.; HOOGHIEMSTRA, H. Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 139, p. 251-267, 1998.

BEHLING, H.; e HOOGHIEMSTRA, H. Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. **J Paleolim,** v. 21, p. 461–476, 1999.

BEHLING, H.; e HOOGHIEMSTRA, H. Holocene Amazon rainforest–savanna dynamics and climatic implications: high-resolution pollen record fromLaguna Loma Linda in eastern Columbia. **Journal of Quaternary Science,** v. 15, p. 687–695, 2000.

BEHLING, H.; e HOOGHIEMSTRA, H. Neotropical savanna enviroments in space and time: late Quaternary interhemispheric comparisons. In: MARKGRAF, v. (Ed.), **Interhemispheric climate linkages**. Academic Press, San Diego-London, p. 307-323. 2001.

BERTAUX, J. et al; Multicomponent analysis of FTIR Spectra: Quantification of amorphous and crystallized mineral phases in synthetic and natural sediments. **Journal of sedimentary research,** v 68, n. 3, p. 440-447, 1998.

BOND, G.; HEINRICH, H., BROECKER, W., LABEYRIE, L., McMANUS, J., ANDREWS, J., HUON, S., JANTSCHIK, R., CLASEN, S., SIMET, C. Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period. **Nature,** 360 (6401): 245–249.

BONJOUR, S. C. DE M.; FIGUEIREDO, A. M. R.; MARTA, J.M.C.; A Pecuária de Corte no Estado de Mato Grosso, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, **Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural,** 20 a 28 de julho de 2008.

BOSCO, A., S. **Indicadores Sedimentares e Biogeoquímicos de Mudanças do Uso da Terra em Alta Floresta (MT).** (Monografia de Graduação).Tutorial em Ciências Biológicas, Universidade Federal Fluminense. 92p, 2009.

BLUNIER, T. e BROOK, E. Timing of millennial-scale climate change in Antarctica and Greenland during the last glacial period. **Science**, v. 291, p. 109-112, 2001.

BUSH, M. B. & COLINVAUX, P. A 7000-year record from the Amazon low lands, **Ecuador. Vegetation**, v. 76, p. 141-154. 1988.

BUSH, M.B., PIPERNO, D.R., COLINVAUX, P.A., KRISSESK, L., De OLIVEIRA, P.E., MILLER, M.C., ROWE, W. A 14,300 year paleoecological profile of a lowland tropical lake in Panama. **Ecol. Monogr**. V. 62, p. 251-276, 1992.

BUSH, M.B., MORENO, E., De OLIVEIRA, P.E., ASANZA, E., COLINVAUX, P.A. The influence of biogeographic and ecological heterogeneity on Amazonian pollen spectra. **J. Trop. Ecol**. V. 17, p 729–743, 2001.

BUSH, M.B., MILLER, M.C., De OLIVEIRA, P.E., COLINVAUX, P.A., Orbital-forcing signal in sediments of two Amazonian lakes. **J. Paleolimnol**. v 27, p. 341– 35, 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 2004

CARCAILLET, C. *et al;* Holocene Biomass Burning and Global Dynamics of the Carbon Cycle, **Chemosphere**, v. 49, p. 845-863, 2002.

CHAPPELAZ, J., I.Y. Fung, and A.M. Thomson. The atmospheric CH_4 increase since the last glacial maximum: (1) sources estimates, **Tellus**, v. 45B, p. 228-241,1993.

CLARCK, J.; ROYALL, P.D. Local and regional sediment charcoal evidence for fire regimes in presettlement north-eastern North America. **Journal of Ecology** v. 84, p. 365-382, 1996.

COLINVAUX, P.A.; DE OLIVEIRA, P.E.; MORENO, J.E.; MILLER, M.C.; BUSH, M.B. A. Long Pollen Record from Lowland Amazonia Forest and Cooling in Glacial Times. **Science**, v. 274, p. 85-88,1996.

CORDEIRO, R.C. **Mudanças Paleoambientais e Ocorrência de Incêndios nos últimos 7400 anos, na Região de Carajás, Pará.** Niterói. (Dissertação Mestrado) Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1995, 144p

CORDEIRO, R.C. **Ocorrência de incêndios e mudanças ambientais de ecossistemas Amazônicos em diversas escalas temporais.** Niterói. (Tese Doutorado) Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2000, 264p.

CORDEIRO, R.C. et al. Forest fires indicators and mercury deposition in an intense land use change region in Brazilian Amazon (Alta Floresta, MT). **The Science of Total Environment.** v. 293, p.247-253, 2002.

CORDEIRO, R. C.; TURCQ, B.; SUGUIO, K.; SILVA, A.O.; SIFEDDINE, A.;VOLKMER-RIBEIRO. Holocene fires in East Amazonia (Carajás), new evidences, chronology and relation with paleoclimate. **Global and Planetary Change,** v. 61, n. 1-2, p. 49-62, 2008.

CORDEIRO, R. C.; TURCQ, P. M; TURCQ, B. J.; MOREIRA, L.S. ; RODRIGUES, R. C.; COSTA, R. L.; SIFEDDINE, A.; SIMÕES FILHO, F.F.L. Acumulação de carbono em lagos amazônicos como indicador de eventos paleoclimáticos e antrópicos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 130-154, 2008.

CORDEIRO, R. C.; TURCQ, SIFEDDINE, A.; LACERDA, L.D., SILVA FILHOS, E.V., GUEIROS, B.B. POTTY, Y. SANTELLI, R.E. PÁDUA, E.O. PATCHINEELAM, S. Biogeochemical Indicators of Environmental Changes from 50 ka to 10 ka in a humid region of Brazilan Amazon. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Aceito. 2010.

CRUZ, F.W., VUILLE, M., Burns, S.J., Wang, X., CHENG, H., WERMER, M., EDWARDS, L., KARMANN, I., AULER, A., NGUYEN, H. Orbitally driven east–west antiphasing of South American precipitation. **Nature Geoscience.** 2009.

DE FREITAS, H. A.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S. E. M.; RIBEIRO, A. D. S.; BOULET, R. E. Late Quaternary Vegetation Dynamics in the Southern Amazon Basin Inferred from Carbon Isotopes in Soil Organic Matter. **Quaternary Research**, v.55, p.39-46, 2001.

DETWILER, R.P., Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils, **Biogeochemistry**, v. 2, p. 67 – 93, 1986.

EPICA community members. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. **Nature**, v. 429, p. 623-628, 2004.

FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P. *et al.* Global consequences of land use. **Science** v. 309, p. 570–574, 2005.

FLENLEY, J. R. Tropical forests under the climates of the last 30,000 years. **Climate Change** , v. 39, p. 177–197, 1998.

FLÜCKIGER, J.; BLUNIER, T. e Stauffer, B. N_2O and CH_4 variations during the last glacial epoch: Insight into global processes. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, GB1020, 2004.

GUILIZZONI, P.; BONOMI, G.; GALANTI, G.; RUGGIU, D. Basic trophic status and recent development *of some* italian lakes as revealed by plant pigments and other chemical components in sediment cores. **Mem. Inst. Ital. Idrobiol. Memorie dell'Instituto Italiano di Idrobiologia**, v. 40, p. 79-98, 1982.

GUILIZZONI, P; BONONI, G.; GALANTI, G.; RUGGIU, D. Relationship between sedimentary pigments and primary production: evidence from core analyses of twelve Italian lakes. **Hydrobiologia**. *v.103, p.* 103-106, 1983.

HABERLE, S.G.; e LEDRU, M.P. Correlations among Charcoal Records of Fires from the Past 16,000 years in Indonesia, Papua New Guinea and Central and South America. **Quaternary Research**, v. 55 p. 97-104. 2001.

HABERLE, S.G., et al.,. Late Quaternary vegetation change in the Tari Basin, Papua New Guinea. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 137, p. 1-24, 1998.

HACON, S.; ROCHEDO, E. R. R.; CAMPOS, R. R. R.; ROSALES, G.; LACERDA, L. D.; Risk assessment of mercury in Alta Floresta. Amazon Basin- Brazil, **Water Air and Soil Pollution**, v. 97, p.91-105, 1997.

HAFFER, J. Specification in Amazonian forest birds. **Science**, v.165, p.131-137, 1969.

HAUG, G.H., HUGHEN, K.A., SIGMAN, D.M., PETERSON, L.C., RO¨ HL, U. Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. **Science** v. 293, p. 1304– 1308, 2001.

HEINRICH, H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years, **Quaternary Research**, v. 29, p. 142-152. 1988.

HOUGHTON, R. A. and GOODALE, C.L. Ecosystems and Land Use Change. **Geophysical Monograph Series**, v. 153, p. 85-98. 2004.

HUANG, C. Y., LIEW, P. M., ZHAO, M., CHANG, T. C., KUO, C. M., CHEN, M. T.,WANG, C. H., and ZHENG, L. F.. Deep sea and lake records of the Southeast Asian paleomonsoons for the last 25 thousand years. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 146, p. 59–72. 1997.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007:** The Physical Science Basis, 2007.

INDERMÜHLE, A.; STOCKER, T. F.; FISCHER, *et al.* Holocene carbon-cycle dynamics based on CO_2 trapped in ice at Taylor Dome, Antartica. **Nature.** v. 398, p. 121-126, 1999.

INDERMÜHLE, A.; MONNIN, E; STAUFFERR, B.; STOCKER, THOMAS F; WALHEN, MARTIN. Atmospheric CO_2 concentration from 60 to 20 kyr BP from the Taylor Dome ice cores, Antarctica. **Geophysical Research Letters,** v. 27, n. 5, p. 735-738. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Projeto PRODES: **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, 2008 (www.obt.inpe.br/prodes).

ISLEBE, G. A., HOOGHEIMSTRA, H., e VAN DER BORG, K. A cooling event during the Younger Dryas Chron in Costa Rica. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v 117**,** p. 73–80, 1995.

IRION, G.; BUSH, M.B.; NUNES DE MELLO, J.A.; STÜBEN, D.; NEUMANN, T.; MÜLLER, G.; MORAIS, J.O.; JUNK, J.W. A multiproxy paleoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, eastern Amazonia. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology,** v.240, p.523-536, 2006.

KEELING, C.D. et al. **Atmospheric CO_2 concentrations (ppmv) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii.** Disponível em: <cdiac.esd.ornl.gov/ftp/trends/co2/maunaloa.co2>. Acesso em 02 de novembro de 2008.

KUKLA, G.; GAVIN, J. Milankovitch climate reinforcements. **Global and Planetary Change**, v.40, n.1-2, p.27-48, 2004.

KUTZBACH, J.; GALLIMORE, R.; HARRISON, S.; BEHLING, P.; SELIN, R.; LAARIF, F. Climate and biome simulations for the past 21,000 years. **Quaternary Science Reviews**, v.17, p. 473-506, 1998.

LAURANCE, W.F.; COCHRANE, M.A.; BERGEN, S. The Future of the Brazilian Amazon **Science**, v 291, p. 438-439. 2001.

LACERDA, L. D., MARINS R.V., .Antropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: the impact of gold mining. **J Geochem Explor,** v. 58, p. 223 –229. 1997.

LACERDA, L. D. ; PARAQUETTI, H. H. M. ; MARINS, R. V. ; MOUNIER, S. ; FREVIER, D. ; BENAIM, J. . Mercury distribution and reactivity in waters of a sub-tropical coastal lagoon, Sepetiba Bay, SE, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, SBQ, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 93-98, 2001.

LEDRU, M.-P.; BERTAUX, J.; SIFEDDINE, A.; SUGUIO, K. Absence of Last Glacial Maximum Records in Lowland Tropical Forests. **Quaternary Research**, v. 49, p. 233-237, 1998

LEDRU, M-P.; CAMPELLO, R.C.; LANDIM, J.M.; MARTIN, L.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.; TURCQ, B. Late glacial cooling in the Amazonia inferred from pollen at Lago do Caçó, northern Brazil. **Quaternary Research**, v. 55, p. 47-56, 2001.

LEDUC, G.; VIDAL, L.; TACHIKAWA, K.; ROSTEK, F.; SONZOGNI, C.; BEAUFORT, L.; BARD, E. Moisture transport across Central America as a positive feedback on abrupt climatic changes. **Nature**, v. 445, p. 908-911. 2007.

LEHMANN, M. F.; BERNASCONI, S. M.; BARBIERI, A.; MCKENZIE, J. A. Preservation of organic matter and alteration of its carbon and nitrogen isotope composition during simulated and in situ early sedimentary diagenesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.66, p.3573-3584, 2002.

LISIECKI, L.E.; e RAYMO, M.E. A Plio-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic d180 records, **Paleoceanography**, v. 20 p. 1-71, 2005.

MAENHAUT, W.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.T.; RAJTA, I.; ARTAXO, P. Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 189, p. 234-248, 2002.

MARTIN, L.; BERTAUX, J.; CORRE`GE, T.; LEDRU, M.-P.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.; S, F. S.; WIRRMANN, D.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Astronomical Forcing of Contrasting Rainfall Changes in Tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr B.P. **Quaternary Research**, v.47, p.117–122, 1997.

MARKGRAF, V. and H. F. DIAZ. The past ENSO record: A synthesis. In DIAZ e V. MARKGRAF (Eds.). **El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts**, H. F., Cambridge University Press, 465-488. 2000.

MASLIN, M. A. e BURNS, S.J. Reconstruction of the Amazon Basin Effective Moisture Availability over the Past 14,000 Years 2000. **Science,** v. 290, p. 2285. 2000.

MASSON, S.; DELECLUSE, P. Influence of the Amazon river runoff on the tropical Atlantic. **Phys. Chem. Earth B,** v, 26, p. 137–142. 2001.

MAYLE, F.E., BURBRIDGE, R., KILLEEN, T.J. Millenial-scale dynamics of southern Amazonian rain forest. **Science** v. 290, p. 2291-2294, 2000.

MAYLE, F. E.; BEERLING, D. J.; WILLIAMD.GOSLING; BUSH, M. B. Responses of Amazonian ecosystems to climatic and atmosheric carbon dioxide changes since the Last Glacial Maximum. **The Royal Society**, p.03TB055M.1-03TB055M.16, 2004.

MAYLE, F. E. and BEELING,D. J., Late Quaternary changes in Amazonian ecosystems and their implications for global cabon cycling. **Paleoecogeography, Paleoclimatology, Paleoecology** v. 214, p. 11-25, 2004.

MENDES, L.G. **Registros de Mudanças paleoambientais em área de transição Floresta/ Cerrado/Campo** (Humaitá, AM). (Dissertação Mestrado) Geociências (Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2004.

MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v.114, p.289-302, 1994.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, palaeolimnologic and paleoclimatic process. **Organic geochemistry**, v.27, p.213-250, 1997.

MEYERS, P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry,** v. 34, p. 262-289. 2003.

MICHALSKI, F.; PERES, C. A.; LAKE, I. R.; Deforestation dynamics in a fragmented region of southern Amazonia: evaluation and future scenarios. **Environmental Conservation**, v. 32, p. 93-103, 2008.

MORGAN, P., DEFOSSÉ, G.E., RODRIGUEZ, N.F. Management implications of fire and climate changes in the western Americas. In: VEBLEN, T.T., BAKER, W.L., MONTENEGRO, G., SWETNAM, T.W. (Eds.). **Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the western Americas**. Springer, New York, p. 3–31. 2003.

MOY, M.C.; SELTZER, G.O.; RODBELL, D.T.; ANDERSON, D. Variability of El Ninõ/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. v. 420 2002.

NEFTEL, A.E.; MOOR, H.; OESCHGER, A.; STTAUFFER, B. Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO_2 in the past two centuries. **Nature,** v. 315, p. 45-47, 1985.

NEPSTAD, D. et al., **The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon**. Woods Hole Research Center, Falmouth, MA. 2007.

OVERPECK, J.T.; Rind, D.; Healy, R.; Lacis, A. Possible role of dust-induced regional warming in abrupt climate change during the last glacial period. **Nature,** v. 384, p. 447-449, 1996.

OVERPECK, J.T., WHITLOCK, C., HUNTLEY, B., Terrestrial biosphere dynamics in the climate system: past and future. In: ALVERSON, K.D., BRADLEY, R.S., PEDERSEN, T. (Eds.), **Paleoclimate, Global Change, and the Future**, p. 81–103, 2002.

PENNINGTON, RT., PRADO, DE. and PENDRY, CA. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **J. Biog**., v. 27, n. 2, p. 261-273, 2000.

PETIT, J.R.; BASILE, I.; LERUYUET, A.; RAYNAUD, D.; LORIUS, C.; JOUZEL, J.; STIEVENARD, M.; LIPENKOV, V.Y.; BARKOV, N.I.; KUDRYASHOV, B.B.; DAVIS, M.; SALTZMAN, E.; KOTLYAKOV, V. Four climate cycles in the Vostok ice core. **Nature** v. 387, p. 359, 1997.

PETIT, J.R.; JOUZEL, J.; RAYNAUD, D.; BARKOV, N.I.; BARNOLA, J.-M.; BASILE,I.; BENDERS, M.; CHAPPELLAZ, J.; DAVIS, M.; DELAYQUE, G.; DELMOTTE, M.; KOTLYAKOV, V.M.; LEGRAND, M.; LIPENKOV, V.Y.; LORIUS, C.; PÉPIN, L.; RITZ, C.; SALTZMAN, E.; STIEVENARD, M. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**, v. 399, p. 429-436. 1999.

PESSENDA, L.C.R.; VALENCIA, E.P.E.; ARAVENA, R.,; TELLES, E.C.C.; BOULET, R. Paleoclimate Studies in Brazil Using Carbon Isotope Studies in Soils. In WASSERMAN, J.C., SILVA FILHO, E.V., Villas-Boas (Eds.). **Environmental Geochemistry in the Tropics**. R. Springer. 1998.

PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. Holocene fires and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fóssil chacoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, v. 114, p. 35-43, 2004.

PIMM, S.L., RAVEN, P. Extinction by numbers. **Nature,** v. 403, p. 843-845. 2000.

RODRIGUES, A. S. L. et al. Boom-and-Bust Development Patterns Across the Amazon Deforestation Frontier. **Science,** v. 324, p. 1435. 2009.

SAIA, S.E.M.G.; PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J.A.B. Late glacial vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. **Quaternary Internacional,** v. 184, p. 195–201, 2008

SCHNEIDER, R. R. *et al*. **Sustainable Amazon**: Limitations and Opportunities for Rural Development (World Bank and IMAZON, Brasília, 2000; www.imazon.org.br/publicacoes/publicacao.asp?id=109).

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, TF.; MONNIN, E.; LUTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J-M.; FISCHE, H.; MASSON-DELMOTTE, V. **Science,** v. 310, p. 1313–1317. 2005.

SIFEDDINE, A.; MARTIN, L.; TURCQ, B.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; SOUBIÈS, F.; CORDEIRO, R. C.; SUGUIO, K. Variations of the Amazonian rainforest environment: a sedimentological record covering 30,000 years. **Palaeogeography,Palaeoclimatology,Palaeoecology**, v.168, p.221-235, 2001.

SIFEDDINE, A.; FROLICH, F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; TURCQ, B.; SUGUIO K. E VOLKMER-RIBEIRO, C.. La sedimentation lacustre indicateur de changements des paleoenvironments aucours dos 300.000 derniere annees Carajás Amazonie, Brésil. **Academie des Sciences**, Paris 2, v. 318, p. 1645- 1652, 1994.

SIMÕES FILHO, F.F.L. **Sedimentação lacustre e implicações paleoambientais na região de contato floresta-savana de Roraima durante o Holoceno**. (Tese doutorado). Universidade Federal Fluminense, Niterói. 213 p. 2000.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.M.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E. MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P., Modelling conservation in the Amazon basin, **Nature**, v. 440, p.520–523, 2006.

SPAHNI, R. et al.: Atmospheric methane and nitrous oxide of the late Pleistocene from Antarctic ice cores. **Science**, v. 310, p. 1317-1321. 2005.

STAUER, B.; BLUNIER, T.; DALLEBACH, A.; INDERMUHLE, A.; SCHWANDER, J.; STOCKER, T. F.; TSCHUMI, J.; CHAPPELAZ, J.; RAYNAUD, D.; HAMMER, C. U.; CLAUSEN, H. B. Atmospheric CO_2 concentration and millennial-scale climate change during the last glacial period, **Nature**, v. 392, p. 59-62. 1998.

STEENBERGEN, C.L.M.; KORTHALS, H.J.; DOBRYNIN, E.G. Algal and bacterial pigments in non-laminated lacustrine sediment: Studies of their sedimentation, degradation and stratigraphy. **Microbiology Ecology**, v.13, p. 335-352, 1994.

SWAIN, E.B., Measurement and interpretation of sedimentary pigments. **Freshwater Biology.** v. 15, p.53-75, 1985.

THOMPSON, L.G.; MOLSEY-THOMPSON, E.; DAVIS, M.E.; LIN, P.-N.; HENDERSON, K.A.; COLE-DAI, J.; BOLZAN, J.F.; LIU, K. Late Glacial Stage and Holocene Tropical Ice Core Records from Huascaran, Peru. **Science,** v. 269, p. 47-50. 1995.

TURCQ, B.; SIFEDDINE, A.; MARTIN, L.; ABSY, M.A.; SOUBIES, F.; SUGUIO, K.; VOLKMER-RIBEIRO, C. Amazonia Rainforest fires: a lacustrine record of 7000 years. **Ambio**, v.27, n.º2, p.139-142, 1998.

TURCQ, B.; CORDEIRO, R. C.; SIFEDDINE, A.; SIMOES FILHO, F. F. L.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; ABRAO, J. J. Carbon storage in Amazonia during the Last Glacial Maximum: secondary data and uncertainties. **Chemosphere**, v.49, n.8, p.821- 835, 2002.

TURCQ, B.; BRACONNOT, P.; CORDEIRO, R. C.; SIFEDINNE, A.; SILVA DIAS, P. L.; ABRÃO, J. J.; JORGETTI, T.; LIMA DA COSTA, R.; SIMÕES FILHO, F. F. Mudanças paleoclimáticas da Amazônia no Holoceno. **Ciência e Ambiente**, n.34, p.69-96, 2007.

VALDES, P.J. South American palaeoclimate model simulations: how reliable are the models? **Journal of Quaternary Science,** v. 15, p. 357–368. 2000.

VALLENTYNE, J. R. Sedimentary chlorophyl determination as a paleobotanical method. **Canadian Journal of Botany**, v. 33, p.304-311. 1955.

VAN DER HAMMEN, T., AND HOOGHEIMSTRA, H. The El Abra Stadial, a Younger Dryas equivalent in Colombia. **Quaternary Science Reviews 14,** 841–851, 1995.

VAN DER HAMMEM. Ice age tropical South America: what was it really like? **Amazoniana,** v. 16, p. 647-652. 2001.

WETZEL, R. G. Recent and postglacial production rates of a Marl Lake. **Limnology and Oceanography**. v.15, n.4, p. 491-503, 1970.

WHITLOCK, C.; MORENO, P. I.; BARTLEIN, P. Climatic controls of Holocene fire patterns in southern South America. **Quaternary Research**, v. 68, p. 28–36, 2007.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo