

Isótopos do Carbono dos Carvões e da Matéria Orgânica do Solo em Estudos de Mudança de Vegetação e Clima no Quaternário e da Taxa de Formação de Solos do Estado de São Paulo

**S. E. M. GOUVEIA¹, L. C. R. PESSENDÁ¹, R. BOULET²,
R. ARAVENA³ e R. SCHEEL-YBERT⁴**

¹Laboratório de ^{14}C , Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP,
Cx. Postal 96 – 13400-970 Piracicaba, SP

²ORSTOM, Instituto de Geociências, USP, Cx. Postal 11348 – 05422-970 São Paulo, SP

³Department of Earth Sciences, University of Waterloo, Waterloo, N2L 3G1, Ontario, Canada

⁴Laboratoire de Paléoenvironments, Anthracologie et Action de l'Homme,
Institut de Botanique, Université de Montpellier II,
163 rue Auguste Broussonnet, 34090 Montpellier, France

*Manuscrito recebido em 18 de fevereiro de 1999; aceito para publicação em 15 de setembro de 1999;
credenciado por KENITIRO SUGUIO**

ABSTRACT

This paper presents an attempt to reconstruct vegetation and climate changes in the Jaguariúna and Botucatu regions (state of São Paulo, southeast of Brazil) during the late Pleistocene and Holocene, based on $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic matter (SOM), ^{14}C dating and analysis of charcoal present in the soil profiles. Sampling sites were located under natural vegetation ("cerradão"), along the slopes of small hills. Charcoal was found predominantly between 50 and 150 cm deep, indicating a period of greater frequency of fires in this area, between 3000 and 6000 years BP. The presence of charcoal on tops of the hills suggests that sedimentation could not be the major process responsible for burying the charcoal within the soil. Biological activity (termites, ants, earthworms) played an important role in this process. For Jaguariúna site, more enriched values of $\delta^{13}\text{C}$ of SOM were observed from the late Pleistocene until mid Holocene, indicating drier climate when compared with present-day conditions. For Botucatu site, the $\delta^{13}\text{C}$ profile suggests predominance of C_3 vegetation during the entire Holocene.

Key words: ^{14}C dating, carbon, soil organic matter, paleovegetation.

INTRODUÇÃO

Os estudos paleoambientais (paleoclimas e paleovegetações) envolvendo os isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C e ^{14}C) da matéria orgânica de solos tropicais são muito restritos e só recentemente têm

sido desenvolvidos e divulgados na literatura nacional e internacional. Tais características podem estar relacionadas com os altos custos analíticos envolvidos, com a complexidade das técnicas empregadas, com a multidisciplinaridade do tema e, talvez, com a carência de tradição científica na área isotópica, principalmente na datação por ^{14}C .

A matéria orgânica dos solos (MOS), que provém quase exclusivamente da vegetação de cobr-

*Membro da Academia Brasileira de Ciências

Correspondência para: Luiz Carlos Ruiz Pessenda

E-mail: luiz.pessenda@cena.usp.br

tura, aparece como um testemunho dos eventos climáticos que ocorreram nos últimos milhares de anos. Com a aplicação dos isótopos estáveis do carbono (^{12}C , ^{13}C) é possível determinar a origem dessa MOS (plantas C₃, C₄ ou mistura de vegetações), enquanto a datação por ^{14}C fornece a cronologia dos fatos.

A composição dos isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) das espécies de plantas do tipo C₃ (árvores) variam entre $-20\text{\textperthousand}$ e $-32\text{\textperthousand}$, com média de $-27\text{\textperthousand}$, enquanto que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das espécies C₄ (gramíneas) variam entre $-9\text{\textperthousand}$ e $-17\text{\textperthousand}$, com média de $-13\text{\textperthousand}$. Assim, plantas C₃ e C₄ possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ que diferem de aproximadamente $14\text{\textperthousand}$ entre si (Boutton, 1991).

Tais informações têm sido usadas para estimar taxas de recobrimento da MOS (Cerri *et al.*, 1985), registrar mudanças de vegetação e inferir mudanças climáticas (Hendy *et al.*, 1972; Desjardins *et al.*, 1996; Martinelli *et al.*, 1996; Pessenda *et al.*, 1996a,b; Pessenda *et al.*, 1998a,b,c).

O estudo dos fragmentos de carvão encontrados nos sedimentos e nos solos também fornece informações sobre mudanças climáticas ocorridas no passado. Os carvões são indicadores cronológicos cujas datações apresentam grande confiabilidade. Uma vez que são considerados biologicamente inertes e fisicamente estáveis em relação a trocas com o meio externo, são materiais apropriados para a datação por ^{14}C (European Science Foundation, 1985). A identificação anatômica destes (análise antracológica) pode caracterizar a vegetação que esteve presente na área (Scheel *et al.*, 1995) e as quantidades distribuídas nos perfis de solos podem indicar prováveis ocorrências de paleoincêndios (Pessenda *et al.*, 1996a).

A presença de carvões nos solos sob floresta no sul do Pará (Soubiès, 1980), no Alto Rio Negro, bacia amazônica (Saldarriaga & West, 1986), e na região de São Pedro, Estado de São Paulo (Scheel *et al.*, 1995), datados do Holoceno médio a recente, indicou a ocorrência de incêndios nestas áreas, associados a episódios climáticos mais secos e/ou influência humana durante os últimos 6000 anos.

Pesquisa desenvolvida em Salitre, Minas Gerais, em latossolo roxo sob cobertura natural de

floresta, indicou a presença de carvões até 200 cm de profundidade. A avaliação da freqüência dos carvões no solo sugeriu que as queimadas estiveram presentes por todo o Holoceno e tiveram provavelmente um papel importante na determinação da dinâmica da vegetação na área de estudo (Pessenda *et al.*, 1996a). Os dados apresentados demonstraram que a causa provável para o enterramento dos carvões está relacionada com a atividade biológica, associada ao transporte de material do solo de horizontes mais profundos para os superficiais (Boulet *et al.*, 1995).

Os registros de mudanças paleoclimáticas obtidos em diversos locais do globo e o conhecimento de como os ecossistemas têm respondido a essas variações, são considerados importantes para validar ou implementar os modelos climáticos globais. Através destes, simulam-se previsões sobre a reação do planeta aos impactos climáticos de origem antropogênica. Os modelos climáticos têm sido construídos a partir de dados coletados principalmente no hemisfério norte, tornando-se necessário o levantamento de informações sobre o hemisfério sul, principalmente na América do Sul.

Este trabalho apresenta como objetivos: (1) o estudo de prováveis mudanças de vegetação e clima nas regiões de Jaguariúna e Botucatu, durante o Neo Pleistoceno e o Holoceno e (2) verificar o principal processo de recobrimento dos carvões e sua distribuição nos solos. Para atingi-los foram utilizados os dados da análise do $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo e da datação por ^{14}C e antracologia dos carvões.

MATERIAL E MÉTODOS

1. ÁREAS DE ESTUDO E LOCAIS DE AMOSTRAGEM

Os locais de amostragem encontram-se nas cidades de Jaguariúna e Botucatu, no Estado de São Paulo (Fig. 1).

As coletas foram efetuadas em topo e encosta de vertentes sob vegetação natural.

A cobertura pedológica de Jaguariúna localiza-se na depressão periférica e a de Botucatu no planalto ocidental do Estado de São Paulo, mais precisamente no reverso da escarpa arenítica-ba-

FIG. 2

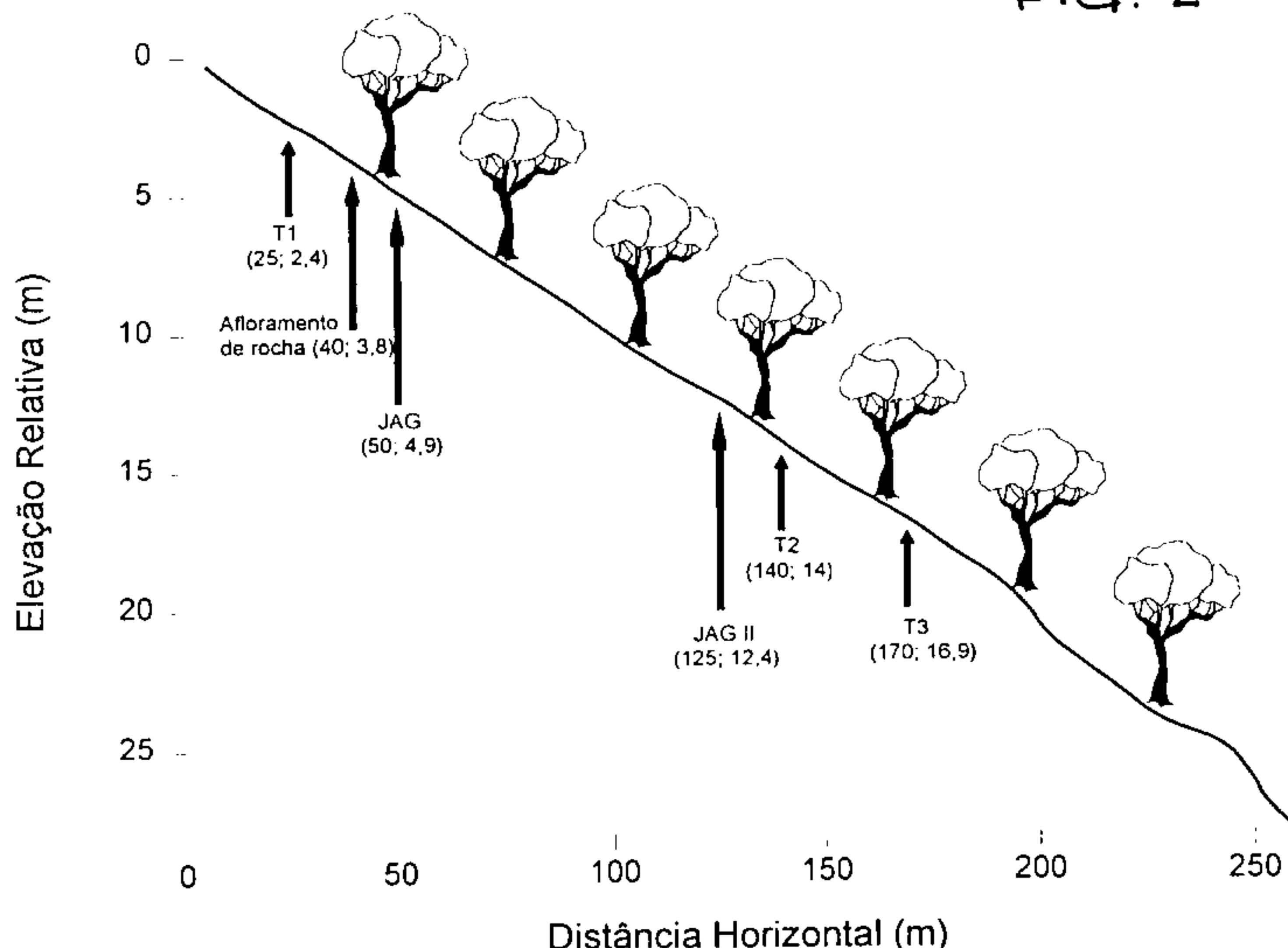


Fig. 1 — Localização das áreas amostradas.

sáltica conhecida como Cuesta Basáltica, que marca o limite entre o planalto ocidental e a depressão periférica (Miklós, 1992).

Em Jaguariúna, no Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental – CNPMA – Embrapa, efetuaram-se 2 coletas, sendo os pontos de amostragem denominados JAG e JAG II, em trincheiras distantes de aproximadamente 75 metros na encosta da vertente, com um desnível altimétrico de aproximadamente 8 metros. A trincheira a montante, JAG, está localizada no ponto mais próximo possível ao topo, uma vez que neste foram encontrados afloramentos de rocha. A 25m a montante de JAG efetuou-se perfuração a trado (T1), assim como a 90 e 120m a jusante (T2 e T3), todos com 260m de profundidade (Fig. 2).

Em Botucatu efetuaram-se 2 coletas em trincheiras em topos de vertentes distantes de aproximadamente 1500 metros, sendo denominados BOT e BOT II.

A vegetação natural nas áreas pode ser classificada como cerradão, ou seja, uma floresta com as copas das árvores se tocando e criando sombra, en-

quanto o estrato herbáceo/subarbustivo apresenta-se muito pobre e rarefeito (Coutinho, 1990).

Os tipos de solos e as características das áreas de estudo são apresentados na Tabela I.

2. ANÁLISES DOS SOLOS

As amostragens foram feitas em trincheiras de aproximadamente 100 cm × 200 cm × 300 cm de profundidade. Aproximadamente 10 kg de amostra de solo foram coletados a cada 10 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas. Para amostras mais profundas (até 340 cm) utilizou-se perfuração a trado.

No laboratório as amostras foram passadas em peneiras de malha grossa para o destorroamento e durante o procedimento retirou-se restos de raízes, vegetação, insetos, etc. Após secagem, as amostras foram peneiradas a 2 mm para análises granulométricas e a 0,2 mm para a análise isotópica e do carbono orgânico total.

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Ciência do Solo – ESALQ/USP, através do método do densímetro (Kiehl, 1979).

FIG. 1

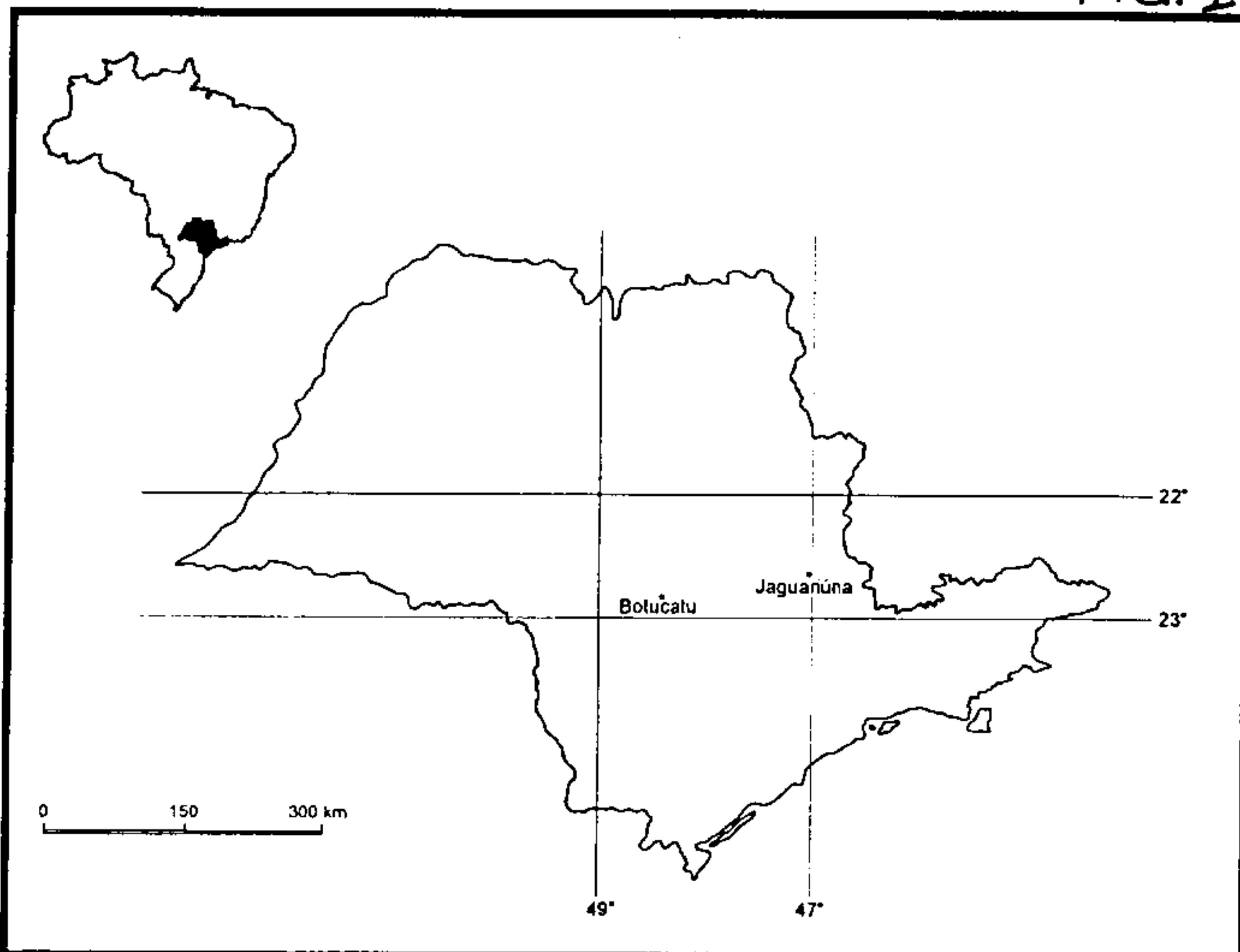


Fig. 2 — Localização dos pontos de amostragem sobre a vertente em Jaguariúna. O primeiro número entre parênteses refere-se às distâncias do topo e o segundo aos desniveis altimétricos.

As determinações da razão isotópica ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e do carbono orgânico total foram realizadas no Laboratório de Isótopos Ambientais, Universidade de Waterloo – Canadá. Os resultados isotópicos estão expressos pela unidade relativa “ δ ”, determinada em relação ao padrão internacional PDB e referem-se à média de três determinações, com precisão de 0,2‰. Os resultados do

carbono orgânico total referem-se à média de três determinações, com precisão de 1 a 2%.

3. ANÁLISES DOS CARVÕES

Os carvões foram coletados das camadas de 10 cm de solo, sendo os resultados representativos da média das idades dos carvões nessas camadas. Solo adsorvido aos carvões foi removido através de raspagem com espátula metálica.

TABELA I
Características ambientais das áreas de estudo.

	Jaguariúna	Botucatu
Localização geográfica	22°40'S; 47°1'W	23°S; 48°W
Solos – Classificação brasileira	Latossolo Roxo Podzólico Vermelho	Latossolo Vermelho
Região		Sub-tropical
Temperatura média anual (°C)	22,0 ⁽¹⁾	19,4 ⁽²⁾
Pluviosidade média (mm/ano)	1410 ⁽¹⁾	1314 ⁽²⁾
Vegetação		Cerradão

⁽¹⁾Mello *et al.*, 1994; ⁽²⁾Miklós, 1992.

Os carvões que apresentaram maiores massas ($>10\text{g}$) foram submetidos a tratamentos ácido-alcalino-ácido para a remoção de resinas, ácidos fúlviços e ligninas. Após secagem efetuou-se a datação no Laboratório de ^{14}C do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), através das técnicas de síntese de benzeno e espectrometria de cintilação líquida (Pessenda & Camargo, 1991).

Os carvões que após o tratamento físico apresentaram massa inferior a 2g foram submetidos a combustão e alíquotas de CO_2 separadas para a datação pela técnica de AMS (Accelerator Mass Spectrometry) no Laboratório Isotrace, em Toronto, Canadá.

Fragmentos de carvão foram analisados no Laboratório de Antracologia da Universidade de Montpellier, França. A identificação das espécies vegetais foi feita através da observação da estrutura atômica da madeira em microscopia óptica de luz refletida, comparando-se os fragmentos às amostras de uma coleção de referência de madeiras atuais carbonizadas e a descrições e fotografias de obras de referência (Détienne & Jacquet, 1983; Mainieri & Chimelo, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

1. TEORES DE ARGILA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Os latossolos de Botucatu apresentaram textura argilosa (BOT) e médio argilosa (BOT II) na maior parte de seus perfis. Em Jaguariúna os solos apresentaram textura muito argilosa, exceto a camada 0-10 cm do podzólico (JAG II) que apresentou textura argilosa.

A Figura 3 ilustra os resultados obtidos e as diferenças observadas para os teores de argila em relação à profundidade.

Com relação ao carbono orgânico total (Fig. 4) observou-se um decréscimo nas concentrações com o aumento da profundidade do solo, tendência já observada em latossolos da região de Piracicaba, Estado de São Paulo (Pessenda *et al.*, 1996b), no centro-oeste de Minas Gerais (Pessenda *et al.*, 1996a) e norte do Brasil (Desjardins *et al.*, 1996; Gouveia *et al.*, 1997; Pessenda *et al.*, 1998a,b,c).

2. DISTRIBUIÇÃO DOS CARVÕES NOS SOLOS

Na Figura 5 apresenta-se a massa dos carvões coletados em aproximadamente 10 kg de solo em

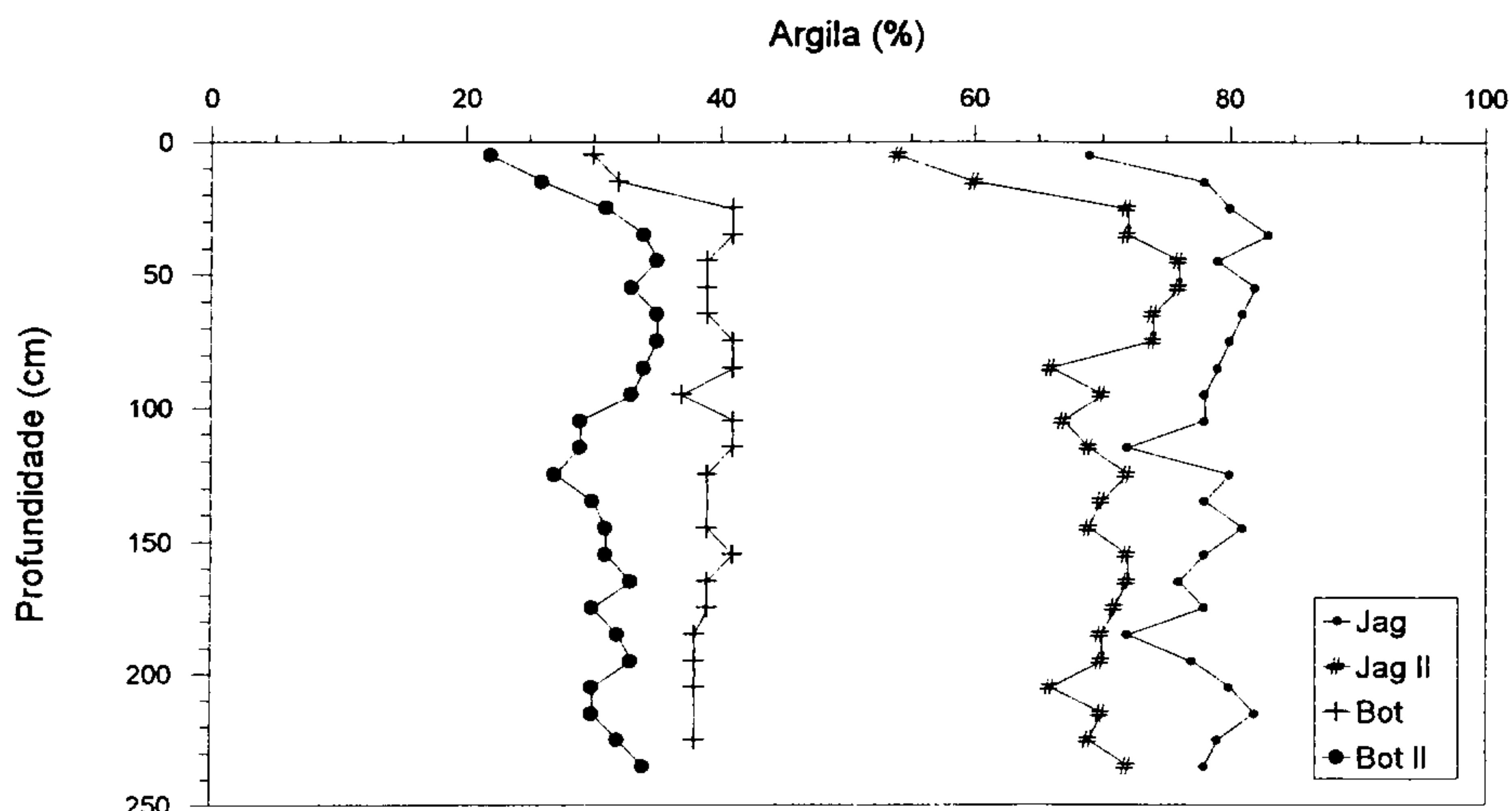


Fig. 3 — Teores de argila dos solos de Jaguariúna e Botucatu em relação à profundidade.

ção presente nestas áreas no período em questão e deverão auxiliar na interpretação final.

A presença de carvões nos perfis em topos de vertentes indica que o colúvio não foi o processo principal para o recobrimento e distribuição dos carvões nos solos estudados (Fig. 5), assim como no latossolo de Salitre (Boulet *et al.*, 1995). Em ambos os casos a atividade biológica foi provavelmente o principal processo de recobrimento dos carvões.

Transformações na cobertura pedológica, provocadas por formigas, cupins e minhocas, foram caracterizadas em Botucatu (Miklós, 1992). De acordo com o autor, tais transformações têm natureza física e química, como o remonte vertical de material do solo e recobrimento de horizontes superficiais, mudanças da estrutura e da porosidade do solo (formação de agregados, construção de canais) e incorporação de matéria orgânica. Essas transformações são consequência de processos de transferência de material pedológico profundo para

a superfície e de material orgânico da superfície para o interior do solo. As contribuições desses animais na transformação da cobertura pedológica correspondem a fenômenos de escalas do micro-agregado à paisagem.

3. DATAÇÕES POR ^{14}C

Na Tabela II apresentam-se os resultados das datações por ^{14}C dos fragmentos de carvão coletados em profundidades distintas nos 4 pontos de amostragem.

Para as amostras de carvão coletadas em JAG, observou-se que as datações obtidas variaram desde 4800 anos AP para a camada 70-80 cm até cerca de 8700 anos AP para a camada 210-220 cm. Inversões das idades dos carvões foram observadas em algumas camadas. Considerando que JAG não está localizada exatamente no topo da vertente, por motivo de afloramento de rocha, estas inversões podem ser devidas ao colúvio e/ou à atividade da fauna do solo, que transporta material das camadas

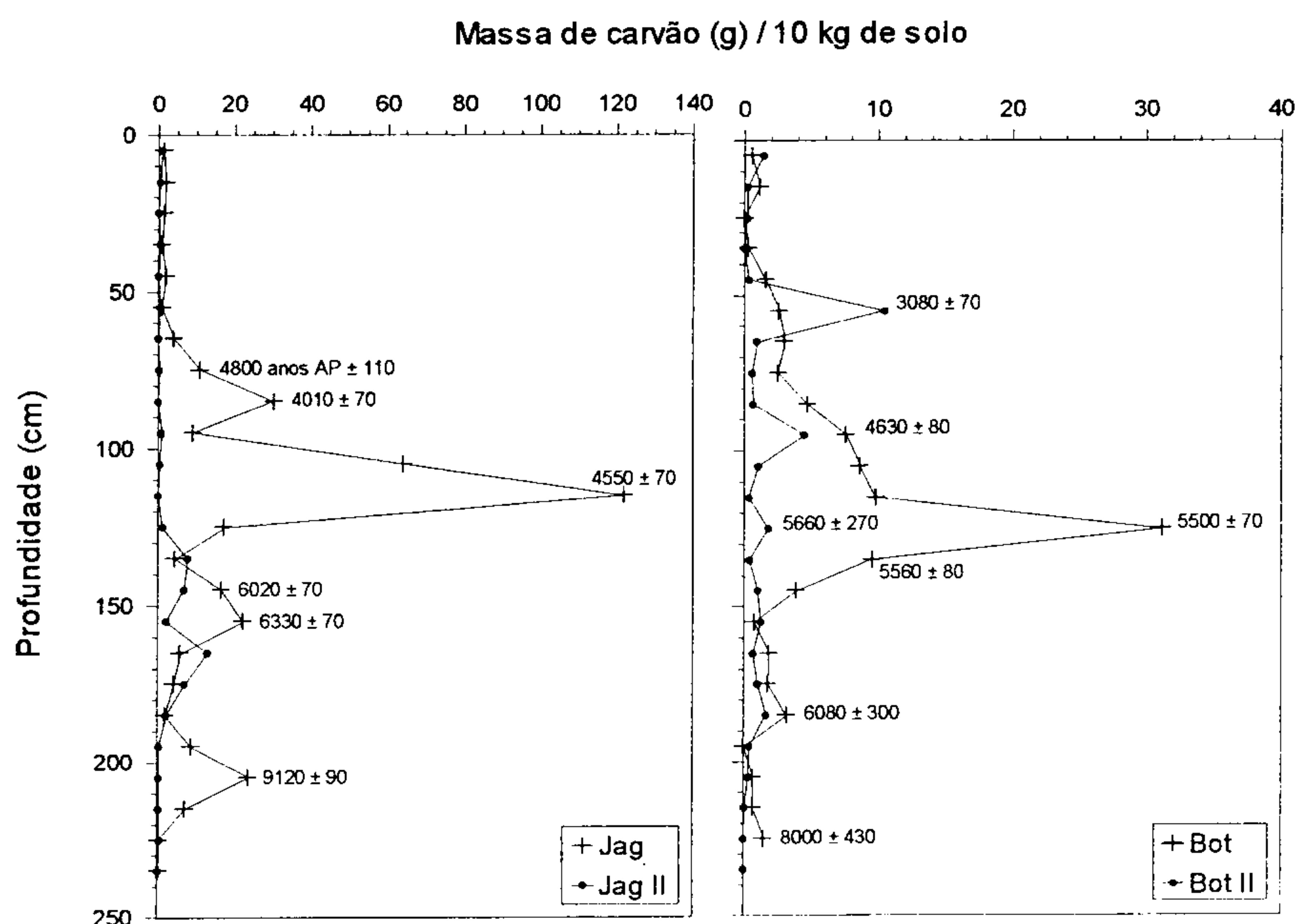


Fig. 5 — Distribuição dos carvões encontrados nos solos de Jaguariúna e Botucatu, em relação à profundidade, e respectivas datações.

TABELA II
Resultados das datações por ^{14}C dos carvões, em diferentes profundidades nos solos de Jaguariúna e Botucatu e respectivas taxas de acúmulo do solo.

Profundidade (cm)	Idade ^{14}C (anos AP)	Taxa de acúmulo (mm/ano)
JAG		
70–80	4800 \pm 110	0,16
80–90	4010 \pm 70	0,21
100–110	4590 \pm 100	0,23
110–120	4550 \pm 70	0,25
140–150	6020 \pm 70	0,24
150–160	6330 \pm 70	0,24
200–210	9120 \pm 90	0,22
210–220	8660 \pm 80	0,25
Média		0,23
JAG II		
90–100	5580 \pm 70	0,17
130–140	8010 \pm 100	0,17
140–150	8160 \pm 110	0,18
160–170	8710 \pm 80	0,19
170–180	8440 \pm 120	0,21
220–230	8070 \pm 80	0,28
230–240	7720 \pm 80	0,30
Média		0,21
BOT		
60–70	3040 \pm 180	0,21
90–100	4630 \pm 80	0,21
120–130	5500 \pm 70	0,23
130–140	5560 \pm 80	0,24
180–190	6080 \pm 300	0,30
220–230	8000 \pm 430	0,28
Média		0,25
BOT II		
50–60	3080 \pm 70	0,18
90–100	4630 \pm 80	0,21
120–130	5660 \pm 270	0,22
210–220	6690 \pm 70	0,32
Média		0,23

inferiores para as superiores e vice-versa. Na média, a taxa de acúmulo foi de 0,23 mm/ano.

O efeito de provável colúvio foi observado de forma mais pronunciada na trincheira localizada no meio da vertente (JAG II). A análise dos dados indica que os carvões não obedeceram a uma cronologia gradativa, situação distinta a JAG, visto obter-se 5580 anos AP para a camada 90-100 cm, aproximadamente 8000 a 8700 entre 130-180 cm e 7720 para 240 cm. Uma vez que valores entre 7000 a 8700 anos aparecem nesta trincheira localizada a jusante e não a montante, cujas datações em profundidades similares foram de aproximadamente 6000 e 9000 anos, pode-se sugerir que um provável coluvionamento deve ter ocorrido no passado neste local. Neste processo obteve-se a separação de uma faixa de carvões com idade de 7000 a 8700 anos entre as camadas de 130 a 240 cm, além de observar-se um efeito significativo de inversão de idades nas mesmas profundidades, o que reforça o aspecto de mistura de materiais antigos com mais novos. A média da taxa de acúmulo de solo foi de 0,21 mm/ano.

Nos latossolos de Botucatu observou-se que os carvões mostraram uma cronologia crescente e idades relativamente concordantes. Estas datações apresentaram-se similares principalmente a JAG, com valores variando de aproximadamente 3000 anos na camada de 50-60 cm, até cerca de 8000 anos na camada de 220-230 cm.

As médias das taxas de acúmulo dos solos de Botucatu e de Jaguariúna, de 0,23 e 0,25 mm/ano e de 0,21 e 0,23 mm/ano, respectivamente, são concordantes com as taxas reportadas em solos de Botucatu por Miklós (1992), que variaram de 0,21 a 0,34 mm/ano e com o latossolo de Salitre, entre 0,21 e 0,23 mm/ano. No caso do solo de Salitre, os dois metros superiores foram provavelmente constituídos por material trazido de níveis mais profundos pela mesofauna (Boulet *et al.*, 1995; Pessenda *et al.*, 1996a).

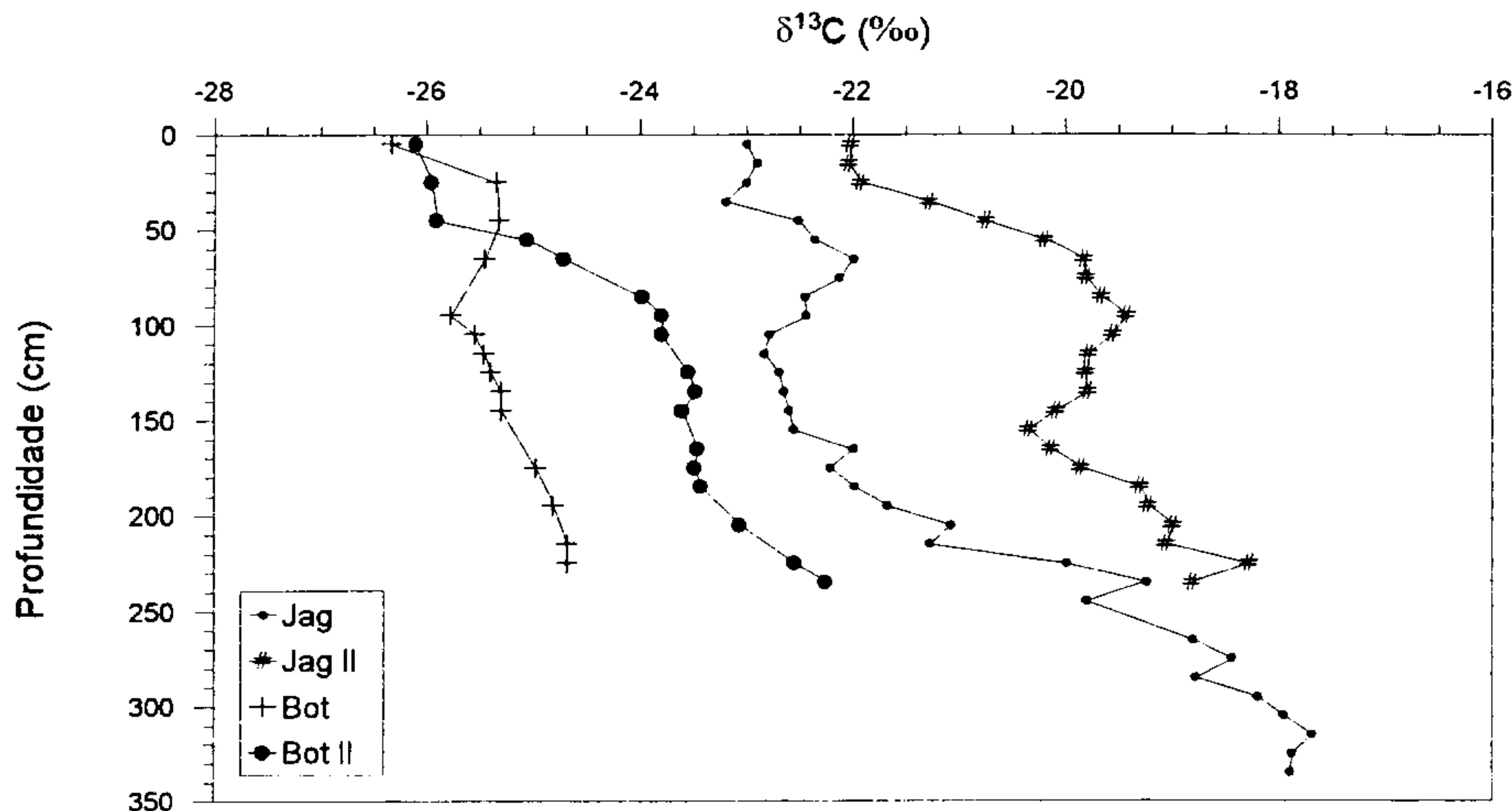


Fig. 6 — Composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) da matéria orgânica dos solos de Jaguariúna e Botucatu em relação à profundidade.

4. ANÁLISE ISOTÓPICA ($\delta^{13}\text{C}$) DOS SOLOS E INFERÊNCIAS PALEOCCLIMÁTICAS

Na Figura 6 observam-se os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ para as amostras de solo, em relação à profundidade.

Os valores de $-23,0\text{\textperthousand}$ e $-22,0\text{\textperthousand}$ para a camada entre 0-10 cm no latossolo (JAG) e no podzólico (JAG II) de Jaguariúna, respectivamente, caracterizaram perfeitamente a vegetação de cobertura, ou seja, florestas apresentando árvores de porte médio com estrato herbáceo/subarbustivo pobre e rarefeito.

A partir desta camada observou-se um enriquecimento isotópico em ambos os perfis, atingindo valores de $-17,9\text{\textperthousand}$ na camada entre 330-340 cm para JAG e $-18,8\text{\textperthousand}$ na camada entre 230-240 cm para JAG II. Estes resultados sugerem a presença de plantas C₄ na região de Jaguariúna, provavelmente no período entre 330-340 cm até 200 cm. Entretanto, o solo JAG II forneceu valores de $-20,7\text{\textperthousand}$ até a camada 40-50 cm, aumentando desta forma o período de influência de plantas C₄ e de provável mistura de vegetações na região. Entre as camadas 50 e 160 cm, observou-se valores mais empobrecidos em JAG do que JAG II. Considerando que as duas trincheiras estão distantes de apro-

ximadamente 75m, esta diferença isotópica de até $3,2\text{\textperthousand}$, juntamente com a maior quantidade de carvão encontrada em JAG, sugere a presença mais significativa de plantas C₃ a montante.

Esta hipótese foi reforçada através de resultados obtidos de perfuração a trado efetuada a 25m a montante de JAG (T1, Fig. 1), onde valores de $-22,3\text{\textperthousand}$ até $-25,4\text{\textperthousand}$ foram observados no intervalo entre 50 e 260 cm, indicando a predominância de plantas C₃. No mesmo intervalo de profundidade, os pontos a jusante (T2 e T3, Fig. 1) apresentaram valores típicos de mistura de vegetações C₃ e C₄ ($-17,9\text{\textperthousand}$ a $-20,4\text{\textperthousand}$).

Com base nas datações dos carvões apresentadas na Tabela II e assumindo-se que os valores obtidos em Jaguariúna representem misturas de vegetações durante a maior parte do período estudado, pode-se inicialmente sugerir que desde o início do Holoceno até cerca de 4000 anos AP, uma mistura de vegetação de floresta e de gramíneas predominou como cobertura vegetal na região. Tomando-se como base os dados de $\delta^{13}\text{C}$ abaixo de 200 cm no latossolo (JAG), observa-se um enriquecimento significativo em ^{13}C , passando os valores de $-21,7\text{\textperthousand}$ para $-17,9\text{\textperthousand}$, provavelmente indicando uma predominância de plantas C₄ sobre C₃. Assumindo-se que as idades dos carvões em

profundidades abaixo de 200 cm continuem a aumentar de forma regular, pode-se sugerir que provavelmente no final do Pleistoceno um período climático mais seco instalou-se na região, influenciando significativamente até aproximadamente o Holoceno médio.

Resultados similares foram observados em estudos desenvolvidos em Londrina e Piracicaba empregando-se idênticas técnicas isotópicas (Pessenda *et al.*, 1996b). Em ambas regiões, verificou-se uma predominância de vegetação C₄ no final do Pleistoceno até aproximadamente o Holoceno médio, provavelmente indicativo de um clima mais seco do que o atual. Em Salitre observou-se que desde o início do Holoceno até aproximadamente 1700 anos AP, provavelmente ocorreu a predominância de mistura de vegetações (Pessenda *et al.*, 1996a).

Para as camadas superficiais dos latossolos de Botucatu (BOT e BOT II) os valores de cerca de -26,0‰ caracterizaram muito bem a vegetação de cobertura, também classificada como cerradão, mas apresentando árvores de maior porte e um maior número de espécies por área e, portanto, maior biomassa do que em Jaguariúna. Em coberturas vegetais com portes superiores, como as florestas tropicais da região amazônica, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos solos em superfície geralmente são mais negativos (Gouveia *et al.*, 1997; Pessenda *et al.*, 1998b,c), provavelmente devido à menor influência do CO₂ atmosférico em circulação, que é mais enriquecido em ¹³C e apresenta um valor de aproximadamente -8‰.

No latossolo BOT, observou-se um enriquecimento isotópico gradativo, desde 100 cm, atingindo o valor de -24,7‰ na profundidade de 210-220 cm, devido provavelmente a um fracionamento isotópico durante a humificação dos resíduos da floresta (Desjardins *et al.*, 1996). Os valores sugerem que durante todo o período houve o predomínio de vegetação de ciclo fotossintético C₃ (árvores), ou seja, provavelmente não ocorreu mudança drástica de vegetação devido à eventual mudança climática na região.

Além das maiores quantidades de carvão, o latossolo BOT apresentou valores isotópicos de até 2‰ mais negativos do que BOT II, indicando uma

maior influência de plantas C₃. Portanto, estes resultados sugerem uma maior densidade de árvores em BOT.

Para BOT II, observou-se um aumento dos valores isotópicos para -22,5‰ e -22,2‰ nas camadas 220-230 e 230-240 cm, respectivamente. Estes valores caracterizaram uma provável influência de plantas C₄ (gramíneas) na região. Segundo Boutton (1996), um valor de -22,4‰ indicaria que aproximadamente 30% da biomassa constitui-se de plantas C₄.

Em Vilhena, sul do Estado de Rondônia, um latossolo vermelho-amarelo sob vegetação de cerrado apresentou o valor de -21,7‰ na camada 0-5 cm e o estudo da composição florística da área indicou que 20% das espécies identificadas pertenciam ao ciclo C₄ (Gomes, 1995; Pessenda *et al.*, 1998b).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos indicam uma provável influência de plantas C₄ em Jaguariúna, assim como a maior quantidade de carvões encontrada pode estar relacionada com uma maior freqüência e intensidade de paleoincêndios decorrentes de efeitos climáticos. Estes aspectos sugerem a provável ocorrência de um clima mais seco nesta região do que em Botucatu, entre o período de aproximadamente 4000 a 6400 anos AP.

Análises antracológicas foram efetuadas nos carvões coletados em JAG nas profundidades de 80-90 cm, 100-110 cm, 110-120 cm e 190-200 cm, que apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -22,4‰, -22,8‰, -22,8‰, e -21,7‰, respectivamente. Tais valores isotópicos são interpretados como prováveis misturas de vegetação.

Nestas amostras, a análise antracológica mostrou que todos os fragmentos de carvão analisados pertencem a espécies características e praticamente exclusivas de cerrado (*Bowdichia* sp. nas amostras de 80-90 cm e de 100-110 cm; *Plathymenia reticulata* a 100-110 cm e 110-120 cm; *Qualea* cf. *grandiflora/multiflora* a 190-200 cm). Assim, pode-se inferir que a vegetação da área foi, nos períodos em questão, um cerrado relativamente aberto ocorrendo sobre terreno seco e bem drenado. Esse resultado concorda com as interpretações das análises isotópicas, pois a presença de um cerrado aberto implica na ocorrência de plantas C₄.

Fragmentos de carvão da camada 120-130 cm de Botucatu também foram submetidos à análise antracológica. Os resultados indicaram que todos os fragmentos analisados pertenciam ao gênero *Qualea*, característico de cerrados e cerradões.

Estes dados reforçam os obtidos a partir das análises isotópicas, que indicam uma predominância de plantas do tipo C₃ em praticamente todo o Holoceno, logo a permanência de um cerradão. Provavelmente esta região não foi influenciada por eventual troca climática ocorrida no final do Pleistoceno e início do Holoceno, como observado em Jaguariúna e outros locais do Estado de São Paulo e Região Sudeste do Brasil (Pessenda *et al.*, 1996a,b).

CONCLUSÕES

O uso dos isótopos do carbono dos solos, juntamente com as análises antracológicas e as respectivas datações por ¹⁴C dos carvões encontrados nos solos, permitiram evidenciar a ocorrência de provável mudança de vegetação e climática ocorrida na região de Jaguariúna. Também foi possível verificar a influência significativa da atividade biológica na formação de alguns solos do Estado de São Paulo.

A presença de vegetação C₄ em Jaguariúna foi provavelmente devida à ocorrência de um clima mais seco do que o atual, durante o final do Pleistoceno, e que possivelmente estendeu-se até o Holoceno médio. Além da atividade biológica, um provável efeito de coluvionamento no recobrimento dos carvões foi observado na encosta da vertente estudada.

Em Botucatu os dados isotópicos indicaram predominância de vegetação do tipo C₃ em praticamente todo o Holoceno, sugerindo que a região deve ter sido menos influenciada pela eventual mudança climática ocorrida no final do Pleistoceno e início do Holoceno. A atividade biológica foi o processo principal para o recobrimento e distribuição dos carvões nos solos.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (95/5047-5), ao PRONEX (41.96.0938.00) e CNPq pelo suporte financeiro.

Ao Dr. A.A.W. Miklós, Docente do Departamento de Geografia da USP, Campus de São Paulo, pelo auxílio no trabalho de campo em Botucatu e à Dra. H. Filizola, pesquisadora do CNPMA/Embrapa, pelo trabalho em Jaguariúna. À M.V.L. Cruz, ao R. Roveratti e C. Bonini do Laboratório de ¹⁴C do CENA/USP, pelo preparo das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOULET, R.; PESSENDA, L. C. R.; TELLES, E. C. C. & MELFI, A. J., (1995), Une évaluation de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humine du sol. Exemple des latosols des versants du lac Campestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil. *C. R. Acad. Sci., Sér. II*, **320**: 287-294.
- BOUTTON, T. W., (1991), Stable carbon isotopes ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D. C. & FRY, B. eds. *Carbon isotopes techniques*. Academic Press, p. 173-185.
- BOUTTON, T. W., (1996), Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T. W. & YAMASAKI, S. I. eds. *Mass spectrometry of soils*. New York, Marcel Dekker, p. 47-82.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; BALESIDENT, J.; VICTORIA, R. & PLENECASSAGNE, A., (1985), Application du traçage isotopique naturel en ¹³C, à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **300** (2): 423-428.
- COUTINHO, L. M., (1990), O cerrado e a ecologia do fogo. *Ciência Hoje*, **12** (68): 22-30.
- DESJARDINS, T.; CARNEIRO FILHO, A.; MARIOTTI, A.; CHAUVEL, A. & GIRARDIN, C., (1996), Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios. *Oecologia*, **108**: 749-756.
- DÉTIENNE, P. & JACQUET, P., (1983), *Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines*. Centre Technique Forestier Tropical, France. 640p.
- EUROPEAN SCIENCE FOUNDATION (1985), *Handbooks for archaeologists*. 1ed. Strasbourg; ESF, 65p. (Radiocarbon Dating, 3).

- GOMES, B. M., (1995), *Estudo paleoambiental no estado de Rondônia utilizando datação por ¹⁴C e razão ¹³C/¹²C da matéria orgânica do solo*. Piracicaba. 106p. (Dissertação de mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP).
- GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDIA, L. C. R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; ROVERATTI, R. & GOMES, B. M., (1997), Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do Amazonas, indicada pelos isótopos do carbono do solo. *Geochim. Brasil.*, **11** (3), no prelo.
- HENDY, C. H.; RAFTER, T. A. & MACINTOSH, N. W. G., (1972), The formation of carbonate nodules in the soils of the Darling Downs, Queensland, Australia, and the dating of the Talgai cranium. In: *International ¹⁴C Conference*, 8, Royal Society of New Zealand, Wellington, Proceedings. D106-D126.
- KIEHL, E. J., (1979), Manual de edafologia; relações solo/planta. São Paulo: Ceres.
- MAINIERI, C. & CHIMELO, J. P., (1989), Fichas de características das madeiras brasileiras. 2a. ed. IPT, São Paulo. 418p.
- MARTINELLI, L. A.; PESSENDIA, L. C. R.; VALENCIA, E. P. E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, E. C. C.; CERRI, C. C.; ARAVENA, R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. & TRUMBORE, S., (1996), Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate changes during the Quaternary. *Oecologia*, **106**: 376-381.
- MELLO, M. H. A.; PEDRO JR., M. J.; ORTOLANI, A. A. & ALFONSI, R. R., (1994), *Chuva e temperatura: cem anos de observações em Campinas*. IAC, Campinas.
- MIKLÓS, A. A. W., (1992), *Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu (Brésil-SP)*. Paris. 247p. (Thèse de Doctorat, Université de Paris).
- PESSENDIA, L. C. R. & CAMARGO, P. B., (1991), Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. *Química Nova*, **14** (2): 98-103.
- PESSENDIA, L. C. R.; ARAVENA, R.; MELFI, A. J. & BOULET, R., (1996a), The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, **38** (2): 191-201.
- PESSENDIA, L. C. R.; VALENCIA, E. P. E.; MARTINELLI, L. A. & CERRI, C. C., (1996b), ¹⁴C measurements in tropical soil developed on basic rocks. *Radiocarbon*, **38** (2): 203-208.
- PESSENDIA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; GOMES, B. M.; ARAVENA, R.; BOULET, R. & RIBEIRO, A. S., (1998a), Studies of paleovegetation changes in the central Amazon by carbon isotopes (¹²C, ¹³C, ¹⁴C) of soil organic matter. In: *International Symposium on Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere*, Vienna, IAEA, Proceedings. SM-349/46, 645-652.
- PESSENDIA, L. C. R.; GOMES, B. M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A. S.; BOULET, R. & GOUVEIA, S. E. M., (1998b), The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region. *The Holocene*, **8** (5): 631-635.
- PESSENDIA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; GOMES, B. M.; BOULET, R. & RIBEIRO, A. S., (1998c), Radiocarbon dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon forest. *Radiocarbon*, **40** (2): 1013-1022.
- SALDARRIAGA, J. G. & WEST, D. C., (1986), Holocene fires in northern Amazon Basin. *Quatern. Res.*, **26**: 358-366.
- SCHEEL, R.; VERNET, J.-L.; WENGLER, L. & FOURNIER, M., (1995), Carvões do solo em São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil: Datação, notas sobre o paleoambiente no Quaternário recente, condições de depósito e origem do fogo e proposta de estudos antracológicos. In: *Congresso da ABEQUA*, 5, Niterói, Anais. p. 169-175.
- SOUBIÈS, F., (1980), Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6000-3000 ans B.P.). *Cah. ORSTOM. Géologie*, **11** (1): 133-148.