
**USO DO BIOINDICADOR FITÓLITOS NA COMPREENSÃO DA GÊNESE DE SOLOS NA
BACIA DO RIO SÃO JOÃO, RIO DE JANEIRO, BRASIL**

Jenifer Garcia Gomes
Mestranda em Geologia Física e Marinha, LAGEMAR - UFF
jenifergg16@hotmail.com

Heloísa Helena Gomes Coe
Professora Adjunta do Departamento de Geografia da UERJ/FFP
heloisacoe@yahoo.com

Kita Damásio Macário
Professora Adjunta do Instituto de Física da UFF
kitamacario@gmail.com

Artigo recebido em 31/03/2014 e aceito para publicação em 19/05/2014

DOI: 10.12957/tamoios.2014.10145

RESUMO

A utilização de fitólitos para o entendimento da gênese e da evolução dos solos na Bacia do rio São João, Rio de Janeiro, Brasil, contribuiu também para a inferência de variações paleoambientais. O uso de bioindicadores possibilita entender a relação entre clima, vegetação e os processos evolutivos ocorridos no Pleistoceno Superior/Holoceno na região. Foram coletadas amostras de cinco perfis de solo, dois de origem aluvial e três de origem eluvial, além de amostras superficiais para servir de referência nas interpretações das assembléias fitolíticas. Os resultados permitiram elaborar algumas hipóteses sobre a gênese e evolução dos perfis de solo. Os estudos fitolíticos associados aos pedológicos se mostraram promissores.

Palavras-chave: fitólitos; Bacia do rio São João; gênese e evolução de solos; reconstituições paleoambientais

ABSTRACT

The use of phytolith for understanding the genesis and evolution of soils in the São João river Basin, Rio de Janeiro, Brazil, also allowed the inference of paleoenvironmental variations. The use of this proxy enables to understand the relationship between climate, vegetation, and evolutionary processes occurring in the Late Pleistocene / Holocene in the region. We collected samples from five soil profiles, two from alluvial and three from eluvial origin, as well as superficial samples to serve as a reference in the interpretation of phytolith assemblages. The results allowed developing some hypotheses about the genesis and evolution of soil profiles. Phytolith studies associated to pedological ones presented promising results

Keywords: phytoliths; São João river Basin; genesis and evolution of soils; paleoenvironmental reconstitution.

INTRODUÇÃO

Analisar as variações ambientais, tanto atuais quanto passadas, são de extrema importância para o homem, principalmente nos dias de hoje, onde a expressão “mudanças climáticas e ambientais” está incorporada cada vez mais no nosso dia a dia (SUGUIO, 2008).

A situação do planeta está ligada a fatores que determinaram mudanças em outras eras, há milhares ou até milhões de anos, portanto, estudar os acontecimentos passados vem se tornando essencial aos seres humanos, pois poderemos a partir deles entender o que os causou, e prevenir, com ressalvas, possíveis mudanças futuras na Terra.

Os estudos paleoambientais podem utilizar diversos bioindicadores ou *proxies*. Neste trabalho o indicador selecionado foram os fitólitos, por se preservarem bem sob condições oxidantes, como nos solos, além de possibilitarem a identificação da variação no estresse hídrico e no grau de aridez sofridos pelas gramíneas, que são abundantes na área estudada. Fitólitos são partículas de sílica amorfa, geralmente encontradas nas frações silte e areia muito fina e são resultado da absorção de ácido silícico [Si (OH)₄] do solo pelas plantas, que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e nas células de diversas plantas vivas (PIPERNO, 1988). A senescência e a decomposição dos restos vegetais fazem com que os fitólitos sejam incorporados ao solo, sendo estes bastante estáveis, podendo tornar-se importantes microfósseis, já que apresentam configurações típicas da vegetação de origem. A forma do fitólito recorda um “molde” da célula em que foi formado (OSTERRIETH, 2008 *apud* FONSECA *et al.*, 2011).

Os fitólitos preservam os registros da vegetação natural, tornando possível a análise de mudanças de densidade arbórea de uma região, a identificação de tipos de vegetação, enfim, a compreensão da evolução de uma vegetação em relação com as condições bioclimáticas. Apesar de o estudo fitolítico através do solo ser um bom recurso, por ser o fitólito um microfóssil que se preserva bem em condições oxidantes, não pode ser negligenciado o fato que a erosão e a acumulação agindo sobre o solo podem ser prejudiciais a esse tipo de análise, ou seja, esses processos devem ser considerados ao realizar um estudo.

O estudo foi parte de uma monografia (Gomes, 2012) e de um projeto que estuda topossequências de solo, correlacionando-as com a geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, uso do solo, precipitação e com a qualidade das águas na Bacia do rio São João, que é de extrema importância no Estado do Rio de Janeiro. As análises fitolíticas forneceram informações complementares fundamentais para entender as condições ambientais atuais da bacia e prognósticos e ações sobre a mesma. Para isso foram estudados quatro tipos de perfis de solo (glei, argissolo, neossolo flúvico e planossolo).

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada é a bacia do rio São João, que abrange oito municípios do Estado do Rio de Janeiro, sendo eles Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Casimiro de Abreu, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Silva Jardim e Rio das Ostras. A população integrante da bacia é de cerca de 394 mil habitantes na área urbana e 76 mil habitantes na área rural (IBGE, 1960 e BIDEGAIN, 2005). Está localizada entre 22°20' e 22°50' de latitude sul e 40°00' e 42°40' de longitude oeste, compreendendo uma superfície de 2.160 km² e um perímetro de 266 km (Figura 1).

O clima predominante na região é o tropical úmido, apresentando estação chuvosa no verão, sendo a temperatura média anual de 25,5°C e a precipitação média anual de 2.000 mm. Essa característica das chuvas na região da Bacia do São João se dá por uma ação combinada das mudanças das massas de ar que atuam na área no decorrer do ano com as características do ambiente, como, por exemplo, o relevo (CUNHA, 1995).

Na bacia do Rio São João a precipitação das chuvas não se distribui de maneira uniforme. Podem-se distinguir quatro regiões, sendo a primeira uma faixa que abrange o alto da Serra do Mar, nos topos das montanhas de Silva Jardim e Casimiro de Abreu, abarcando as cabeceiras de vários afluentes da margem esquerda do Rio São João, onde a média anual de chuvas oscila entre 2.500 e 2.000mm. Já na segunda região, faixa que se estende das montanhas de Cachoeiras de Macacu a uma área a leste da Represa de Juturnaíba, a quantidade de chuva flutua entre 1.500 e 2.000 mm. A terceira região compreende todo o vale do Rio Bacaxá e de alguns afluentes do baixo curso do Rio São João pela margem esquerda, registrando-se chuvas entre 1.500 e 1.250 mm. A quarta e última região compreende os terrenos próximos à foz do Rio São João, onde as precipitações oscilam entre 1.000 e 1.250 mm. (QUINTELA e CUNHA, 1990 e DRM-RJ, 1996). O clima da Bacia do São João também é influenciado pela ocorrência de uma ressurgência nas costas de Cabo Frio e Arraial do Cabo (CUNHA, 1995).



Figura 1: Localização da área de estudo (Fonte: Modificado de Gomes, 2012)

A região possui topografia com predominância de planície costeira, além de serras, morrotes,

planaltos, áreas de baixada sujeitas a alagamento permanente ou periódico e restingas. Os solos mais comuns dessa região são os classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Gleissolos, Organossolos e Neossolos Flúvicos (PRIMO & VOLKER, 2003).

A vegetação original predominante é a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. Sua paisagem atual é constituída em sua maior parte por campos antrópicos e por capoeiras, florestas aluviais e florestas sobre morrotes. O uso da terra na bacia é caracterizado por cidades, vilas e povoados, áreas agrícolas e de pastagens e de distintos tipos de vegetação nativa, como florestas, brejos, campos de altitude, campos inundados, pastagens e restingas (QUINTELA e CUNHA, 1990) (figura 2).

No passado, os campos de altitude revestiam as serras, o planalto e as colinas. Atualmente não há grandes extensões contínuas de florestas, apenas fragmentos isolados, cercados por pastagens e alguns cultivos, sendo que uma mancha de mata atlântica ocorre nas serras a nordeste da cidade de Casimiro de Abreu, na reserva de Poço das Antas e União (FAPERJ, 1983). Toda a parte sul da bacia foi devastada e hoje se encontram pastagens, principalmente na área rural de Araruama, Cabo Frio e São Pedro da Aldeia. Houve também uma redução gigantesca dos brejos, restando apenas alguns na baixada (QUINTELA e CUNHA, 1990).

A bacia do rio São João tornou-se Área de Proteção Ambiental (APA) em 2002, devido à grande pressão antrópica na região, pois, por fazer parte da região com maior concentração de mata atlântica entre Rio de Janeiro e Paraná, deve ser preservada. (PRIMO & VOLKER, 2003). Atualmente, o rio São João tem 120 km de curso, menos 13 km de leito que se encontra submerso desde 1984 nas águas represadas em Juturnaíba. Pode ser dividido em alto São João, médio São João, represa de Juturnaíba e baixo São João. O alto São João é compreendido pelas nascentes e 5 km de planície; o médio São João compreende o rio desde a planície até a chegada à represa de Juturnaíba; a represa de Juturnaíba engloba os 13 km de água do rio que estão submersas e, por fim, o baixo São João compreende 65 km do rio, da barragem até a foz do mesmo (GABRIEL, 1975).

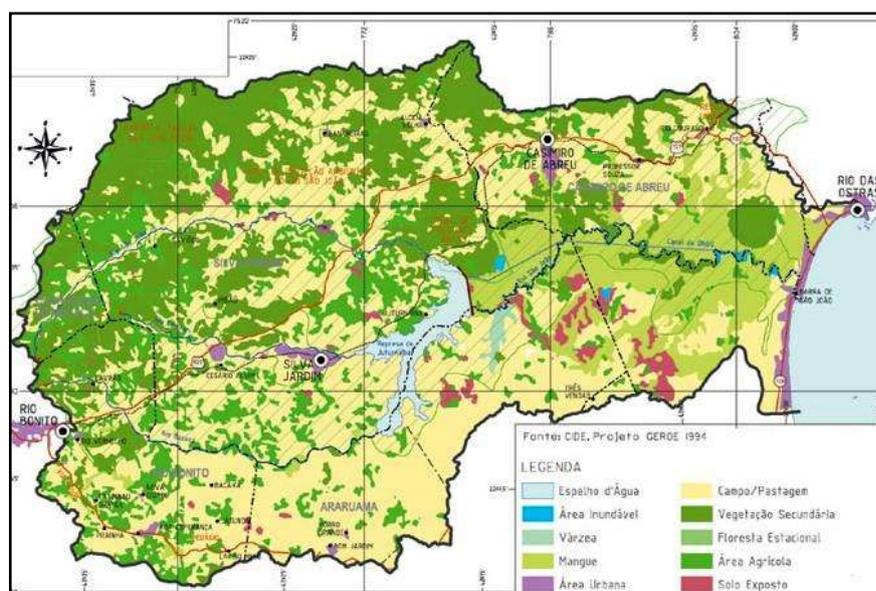


Figura 2: Mapa de uso da terra na Bacia do São João
(Fonte: Consórcio Intermunicipal Lagos São João, 1999)
http://www.micoleao.org.br/arquivos/mapas/uso_solo_sao_joao.jpg

MATERIAIS

Foram coletadas sete assembleias fitolíticas modernas de referência e vinte amostras de cinco perfis de solo. A descrição e localização das amostras estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Descrição e localização das amostras coletadas

Amostras	Descrição	Coordenadas Geográficas	Altitude	Município
AM1	Manguezal c/ Langucularia	24k 191638 67m E 75000554 76m S	6 m	Rio das Ostras
AM2	Brejo	23K 775785 34 m E 740148 53 m S	14 m	Silva Jardim
AM3	Gramíneas (próximo à floresta)	23K 772060 00 m E 7506155 82 m S	37 m	Casimiro de Abreu
AM4	Floresta	23K 771538 60 m E 7508454 10 m S	36 m	Casimiro de Abreu
AM5	Gramíneas (pastagem)	23K 807034 59m E 7503663 45 m S	12 m	Rio das Ostras
AM6	Manguezal c/ Rizophora	24k 191638 67m E 75000554 76m S	6 m	Rio das Ostras
AM7	Floresta (palmeiras)	23K 771538 60 m E 7508454 10 m S	36 m	Casimiro de Abreu
P1	Gleissolo	23K 767244 – 7493734	14 m	Silva Jardim
P2	Argissolo	23K 773489 – 7491246	54 m	Casimiro de Abreu
P3	Neossolo Flúvico	23K 778119 – 7512944	20 m	Silva Jardim
P4	Planossolo	23K 806281 – 7471978	5 m	Cabo Frio
P5	Argissolo	23K 766096 – 7487887	55 m	Silva Jardim

Assembleias Fitólíticas Modernas

Para fins de referência na interpretação das assembleias fitolíticas fósseis, foram coletadas amostras de solo imediatamente abaixo da serrapilheira dos principais tipos de formação vegetal atualmente existentes na Bacia do rio São João, a saber: manguezal (um com predomínio de Rizophora e outro com predomínio de Langucularia); floresta (com ou sem presença de palmeiras); gramíneas (naturais e pastagens) e brejo. No total foram coletadas sete assembleias modernas (AM) (figura 3).



Figura 3: Localização das Assembleias Fitólíticas Modernas (Fonte: Google Earth, 2011)

Manguezal: AM1 (com predomínio de *Languncularia*); AM6 (com predomínio de *Rizophora*): as assembleias de manguezal estão localizadas próximas à foz do rio São João, no município de Rio das Ostras, nas coordenadas de 24k 191638 67m E 75000554 76m S. Ambas se encontram a 6 m de altitude. As assembleias são constituídas por formação de manguezal, com predomínio de *Rizophora mangle* e algumas *Languncularia*.

Gramíneas (pastagem) - AM5: localizada a 23K 807034 59m E 7503663 45 m S, a 12 m de altitude, próxima ao Morro de São João. É constituída por gramíneas, usadas para pastagem, mas nas proximidades, nas encostas do Morro de São João, ainda existe uma floresta densa bem preservada.

Brejo - AM2: localizada a 23K 775785 34 m E 740148 53 m S, próximo à Lagoa de Juturnaíba, em Silva Jardim, a 14 m de altitude. É constituída principalmente por gramíneas e ciperáceas.

Gramíneas (na borda de uma floresta) - AM 3: localizada a 23K 772060 00 m E 7506155 82 m S, a 37 m de altitude, nas bordas de um fragmento florestal. É constituída por gramíneas, utilizadas para pastagem, mas ainda são encontrados diversos fragmentos florestais no topo das colinas.

Floresta: AM 4 (sem palmeiras); AM 7 (com palmeiras): localizadas a 23K 771538 60 m E 7508454 10 m S, a 36 m de altitude. São constituídas principalmente por elementos lenhosos e epífitas, sendo que em algumas partes da floresta as palmeiras são abundantes (AM 7).

Perfis de solo

Foram também coletadas amostras de cinco perfis de solo: um glei (P1), dois argissolos (P2 e P5), um neossolo flúvico (P3) e um planossolo (P4) (figura 4). Em cada um deles foram coletadas amostras em quatro horizontes distintos.

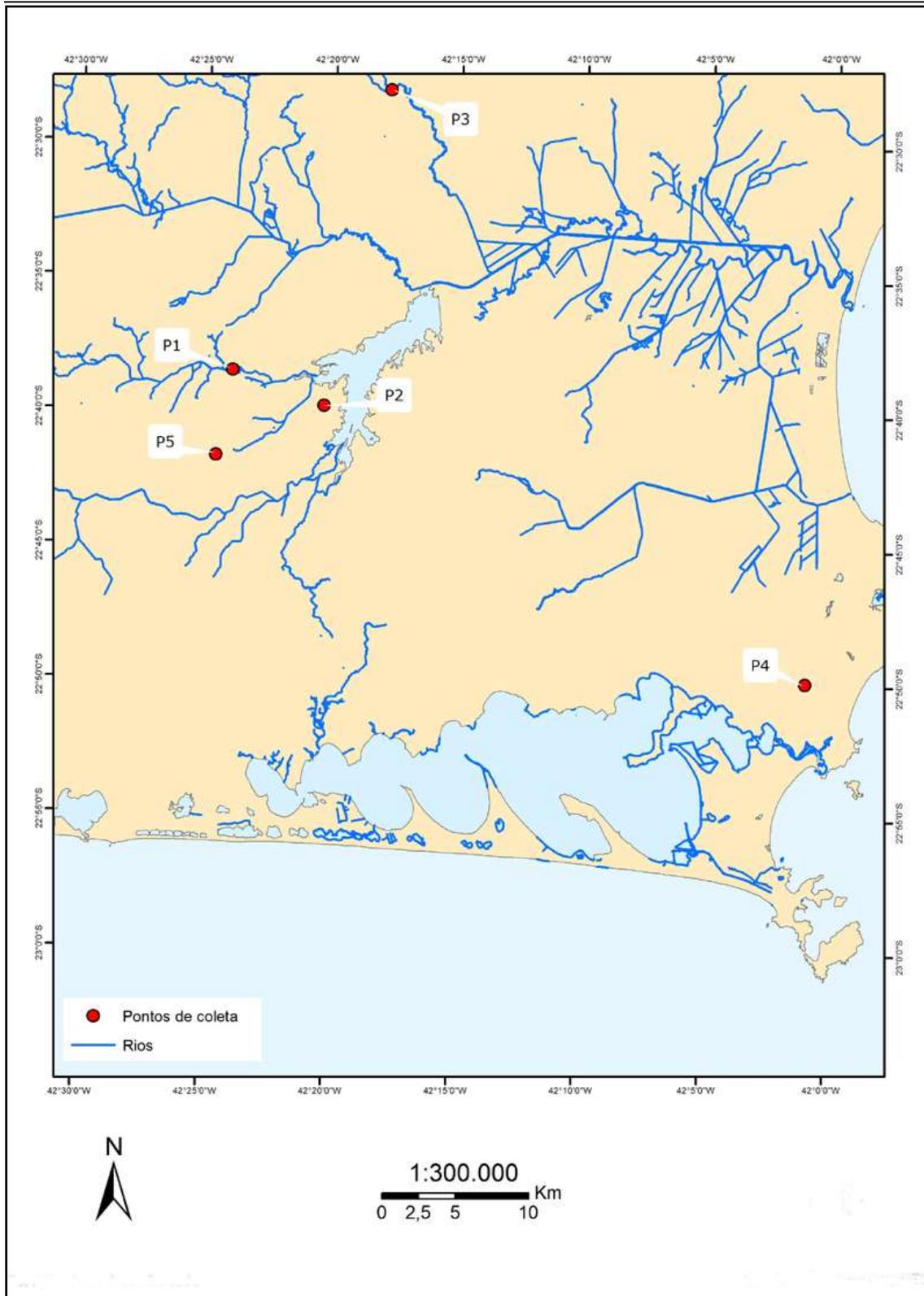


Figura 4: Localização dos perfis de solo estudados
(elaborado por Pessôa e Gomes, 2012)

Perfil 1

O gleissolo (P1) está situado em uma várzea da planície costeira no município de Silva Jardim, coordenadas 23K 767244 – 7493734, a uma altitude de 14m. Foi classificado como um Gleissolo Háptico. Apresenta muitas raízes médias no horizonte A e, nos horizontes restantes, poucas e finas. Também foi percebida presença de lamelas de mica (SARAIVA, 2011). Foram coletadas amostras em quatro horizontes/camadas: **A**: de 10 a 20 cm de profundidade, de cores branco e amarelo-avermelhado (7,54K 8/1 – 7,54K 6/8), areia franca, médias, grãos soltos, solta, não plástica e não pegajosa; **C1**: de 40 a 50 cm de profundidade, de cores branco e amarelo-avermelhado (5YR 8/1 – 5YR 6/8), franco-arenosa, maciça, porosa, solta, não plástica e não pegajosa; **C2**: de 70 a 80 cm de profundidade, de cores branco e amarelo-avermelhado (5YR 8/1 – 7,5YR 6/8); **C3**: de profundidade de 100 a 110 cm, branco rosado (2,5Y 8/2), areia franca, maciça porosa, solta, não plástica e não pegajosa (SARAIVA, 2011).

Perfil 2

O argissolo (P2) está situado no domínio suave colinoso do município de Casemiro de Abreu, coordenadas 23K 773489 – 7491246, numa altitude de 54m. Este perfil foi classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo, suas amostras foram coletadas dia 10/02/2010. Foram coletadas amostras em quatro horizontes: **A** (de 10 a 20 cm de profundidade), de cor bruno (10YR 5/3), franca-argila-arenosa, fraca, granular, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; **E** (de 60 a 70 cm de profundidade), bruno amarelado (10YR 5/6), argila-arenosa, pequeno, fraco, blocos subangulares, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; **Bt** (de 95 a 105 cm de profundidade), amarelo-brunado (10YR 6/6), argila-arenosa, pequeno, fraco, blocos subangulares, friável, plásticas e ligeiramente pegajosa e **Bt/BC** (de 105 a 150 cm de profundidade), amarelo (10YR 7/6), argila-arenosa, pequeno, franca, blocos subangulares, friável, ligeiramente plástica e pegajosa (SARAIVA, 2011).

Perfil 3

O neossolo flúvico (P3), está situado em um vale da mesma planície costeira de Silva Jardim, coordenadas 23K 778119 – 7512944, a uma altitude de cerca de 20m. Foram coletadas amostras em quatro horizontes/camadas: **A** (de 10 a 20 cm de profundidade) de cor bruno amarelado (10YR 5/6), arenosa, grumosa, pequena, fraca, solta, não plástica e não pegajosa; **C4** (de 56 a 72 cm de profundidade), bruno amarelado claro (10YR 6/4), arenosa, grãos soltos, solta, não plástica e não pegajosa; **C6** (de 81 a 91 cm de profundidade), vermelho claro (2,5YR 6/6), arenosa, grãos soltos, solta, não plástica e não pegajosa; e **C7** (de 91 a 100 cm de profundidade), bruno avermelhado claro (2,5YR 6/4), areia franca, grãos soltos, solta, não plástica e não pegajosa (SARAIVA, 2011).

Perfil 4

O planossolo (P4) está situado em uma várzea da planície costeira no município de Cabo Frio, coordenadas 23K 806281 – 7471978, a menos de 5m de altitude. Este perfil foi classificado como um Planossolo Hidromórfico, coletado no dia 12/02/2010. Foram coletadas amostras em quatro horizontes: **A** (de 5 a 15 cm de profundidade), cinzento vermelho (2,5YR 6/1), arenosa, grãos soltos, muito friável, não plástica e não pegajosa; **E** (de 35 a 45 cm de profundidade), cinzento avermelhado claro (2,5YR 7/1),

arenosa, grãos soltos, muito friável, não plástica e não pegajosa; **E/Bt** (de 80 a 90 cm de profundidade), cinzento claro e amarelado brunado (5YR 7/1 – 10YR 6/6), areia franca, pequeno, fraco, blocos subangulares, não plástica e não pegajosa e **Bt** (de 90 a 140 cm de profundidade), bruno forte e amarelo brunado (7,8YR 5/6 – 10Y 6/8), argilosa, médio, moderado, blocos subangulares, ligeiramente plástica e pegajosa (SARAIVA, 2011).

Perfil 5

O argissolo (P5) está situado em no município de Silva Jardim, coordenadas 23K 766096 - 7487887, a 55 m de altitude. Foram coletadas amostras em quatro horizontes: A (de 5 a 15 cm de profundidade); E (de 40 a 50 cm de profundidade); Bt (de 133 a 155 cm de profundidade) e Btf (de 195 a 210 cm de profundidade).

MÉTODOS

A metodologia consistiu na realização de trabalhos de campo para a coleta das amostras de solo, preparação das amostras em laboratório para a extração dos fitólitos, classificação dos mesmos no microscópio e cálculo dos índices fitolíticos.

A preparação inicial consistiu em secar e peneirar a 2 mm as amostras, obtendo-se 20g de solo. Em seguida, foi feita a solubilização do Ferro com Citrato de Sódio a 88,4g/l e Diotinito de Sódio. Passou-se à oxidação total da matéria orgânica com Peróxido de Hidrogênio (30%) aquecida em banho de areia a 90°C e à remoção das argilas por sedimentação. A fração de 2-60µm foi então submetida à separação densimétrica em líquido denso (d=2,3) composto de Politungstato de Sódio. As partículas foram em seguida secas em estufa e pesadas para se calcular o teor de fitólitos em cada amostra.

Após a extração dos fitólitos, foram preparadas lâminas provisórias, confeccionadas com glicerina, material que permite ao observador girar as partículas e observá-las por completo. Para a classificação dos fitólitos é preciso que as lâminas contenham uma quantidade de material que permita a contagem de no mínimo 200 fitólitos classificáveis. A contagem das lâminas para classificação dos fitólitos foi feita a partir da nomenclatura do ICPN (Código Internacional de Nomenclatura de Fitólitos) (MADELLA *et al.*, 2005). É feita uma primeira contagem bruta, onde são anotados todos os tipos de fitólitos observados e a partir destas anotações é realizada uma contagem elaborada, que agrupa apenas alguns subtipos de fitólitos. São contabilizados os fitólitos classificáveis (que possuem significação taxonômica) e não classificáveis (não possuem significação taxonômica), partículas que são fitólitos, porém não se pode distinguir sua morfologia devido a seu grau de alteração. Na realização da contagem são anotadas também as partículas de micro-carvões, quartzo, óxidos de ferro, espículas de esponja, diatomáceas e matéria orgânica.

As análises das assembleias fitolíticas tornam possível definir tipos de cobertura vegetal e inferir se a mesma sofreu mudanças. Para isso são calculados índices fitolíticos que, após a contagem dos fitólitos, permitem inferir parâmetros climáticos. Existem cinco índices, o Índice D/P (densidade de cobertura arbórea), o Índice Iph (aridez), o Índice Bi (estresse hídrico), o Índice Ic (climático) e o índice Pa/P (densidade de cobertura de palmeiras) (COE *et al.*, 2011). No presente foi possível calcular os seguintes índices fitolíticos:

-
- a) $D/P = \text{Globular granulate} / (\text{bilobate short cell} + \text{cross} + \text{saddle} + \text{acicular} + \text{cuneiform bulliform})$.
- b) $Bi \% = \text{Bulliform cuneiform} / [(\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform cuneiform})] \times 100$.
- c) $Ic \% = [(\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate} + \text{Trapeziform short cell}) / (\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate short cell} + \text{Trapeziform short cell} + \text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell})] \times 100$.
- d) $Iph\% = [\text{Saddle} / (\text{saddle} + \text{cross} + \text{bilobate short cell})] \times 100$.

As análises pedológicas foram realizadas no Laboratório de Geografia Física (LAGEFIS) – UERJ, onde foram realizadas as análises granulométricas e de morfologia de cada amostra.

As datações foram realizadas através do método do ^{14}C , pela técnica de AMS, nos laboratórios do Instituto de Física da UFF. A matéria orgânica do solo (MOS) passou por um pré-tratamento com HCl para remoção de carbonatos. Foram utilizadas aproximadamente 10 mg de matéria orgânica do total de MOS, que passa por um tratamento ácido/básico/ácido (ABA) para remoção de carbonatos e carbono lábil. As idades obtidas foram calibradas pelo programa OxCal.

RESULTADOS

FITÓLITOS

Assembleias Modernas de Referência

Estoque de fitólitos: as assembleias que apresentaram maior estoque de fitólitos foram o brejo (AM2) e a floresta 1 com palmeiras (AM7), o que pode ser atribuído à grande produção de fitólitos por parte das gramíneas do brejo e das palmeiras da floresta.

Classificação: as assembleias modernas tiveram predominância de fitólitos classificáveis (*classified*), sendo a floresta 2 (AM4) a que apresentou maior porcentagem de fitólitos classificáveis (76,4%). A assembleia do Manguezal com predomínio de *Languncularia* (AM1) se apresentou como a única a não ter mais de 50% de fitólitos classificáveis, com 54,2% de fitólitos não classificáveis (*unclassified*).

Tipos: dos fitólitos classificados, o tipo mais abundante em todas as assembleias foi o *bulliform* poliédrico, seguido do *acicular* e *globular granulate*, com variações de porcentagem entre as assembleias. Os tipos com menores porcentagens são: *bilobate*, *cross*, *trapeziform*, *saddle*, *rondel*, *unclassified short cells* e *globular echinate*. Entretanto, na AM3 (gramíneas próximas à floresta), a porcentagem de *bilobate* é extremamente alta (30,2%), representando bem a vegetação sobrejacente.

Índices fitolíticos: entre os índices fitolíticos calculados, o índice Iph (aridez) e o índice Ic (climático) não puderam ser considerados, devido às porcentagens extremamente baixas (menos de 5%) o que torna os índices não significativos. O índice **D/P** (densidade arborea) não foi muito elevado em nenhuma das assembleias, indicando a predominância de Poaceae sobre as dicotiledôneas lenhosas em toda a área de estudo, apresentando valores típicos de formações de savana/ cerrado. O índice **Bi** (estresse hídrico) foi elevado na maioria das assembleias, principalmente nos manguezais (AM1 e AM6), nas florestas (AM4 e AM7) e no brejo (AM2). Apenas nas assembleias de gramíneas (AM3 e AM5) o índice **Bi** foi baixo.

PERFIS DE SOLO

Algumas fotos dos fitólitos observados são apresentadas na figura 5.

Perfil 1

O estoque de fitólitos em cada um dos horizontes/camadas segue o padrão normal de distribuição, diminuindo com a profundidade até a camada P1C2, onde ocorre um aumento no estoque, decaindo novamente na camada P1C3, apesar de continuar superior aos estoques dos horizontes/camadas mais superficiais. Na classificação de fitólitos a camada P1C1 apresentou uma queda abrupta na porcentagem de fitólitos classificáveis. Nos horizontes/camadas P1A, P1C2 e P1C3 a porcentagem de fitólitos classificáveis é sempre superior a 60%, sendo o mais superficial o que apresenta, como esperado, devido ao menor tempo de alteração, a maior porcentagem (figura 6). Entre os fitólitos classificados, a maioria dos tipos (de 79% no horizonte A a 88% na camada C2) eram de Poaceae, predominantemente os formados em células de maior tamanho, já que os das *short cells* eram menos abundantes (de 7% na camada C1 a 21% na camada C2). Foram encontrados principalmente os tipos *bulliform* poliédrico ($\geq 50\%$); seguido de *globular granulate* no horizonte A e *blocky*, na camada C1. Nas duas camadas mais profundas há um aumento importante na porcentagem dos tipos *cuneiform*, *bilobate*, *saddle* e *acicular* (figura 6). O índice **D/P** (densidade de cobertura arbórea) apresentou uma queda do horizonte A para a camada C1 seguido de um pequeno aumento nas camadas C2 e C3, mas continuando inferior ao da superfície. O índice **Bi** (estresse hídrico), bastante elevado, aumenta na camada C1, porém, a partir da camada C2, apresenta uma queda brusca (de 89% a 69%). O índice **Bi** (estresse hídrico), bastante elevado, aumenta na camada C1, porém, a partir da camada C2, apresenta uma queda brusca (de 89% a 69%)(figura 6).

Perfil 2

O estoque de fitólitos apresenta o padrão normal de distribuição com a profundidade: é bastante elevado nos horizontes superficiais (máxima no horizonte E) e sofre grande redução no horizonte Bt, voltando a aumentar no horizonte Bt/Bc, sem atingir os valores de superfície. A porcentagem de fitólitos classificáveis é maior no horizonte E (82,4%), porém também é muito elevada no horizonte Bt/Bc, onde é superior a 70%. Nos outros horizontes a porcentagem passa de 60% (figura 7). Entre os fitólitos classificados, a maioria dos tipos (de 70% no horizonte Bt a 90% no Bt/BC) eram de Poaceae, predominantemente os formados em células de maior tamanho, já que os das *short cells* eram menos abundantes (de 8% no horizonte Bt/BC a 29% no horizonte E). Foram encontrados principalmente os tipos *bulliform*, *blocky*, *cuneiform* e *acicular*. O horizonte A apresenta uma grande porcentagem de *globular granulate*, seguida de *acicular* e *cuneiform*. No horizonte Bt, a porcentagem de fitólitos *blocky* cresce mais de 50%, chegando a 20% e cai a 6% no horizonte Bt/Bc. Há também uma grande alteração na quantidade de fitólitos do tipo *acicular* no horizonte Bt, reduzindo quase 50%(figura 7).

No que concerne ao **índice Bi**, os dois horizontes A e Bt também apresentam valores iguais (66%) e o maior valor (79%) é encontrado no horizonte Bt/Bc(figura 7).

Perfil 3

O teor de fitólitos é muito elevado no horizonte mais superficial, decrescendo com a profundidade, com exceção da camada C6, onde chega a 20%. A porcentagem de fitólitos classificados é maior que 50% em todos os horizontes/camadas e as camadas C4 e C7 apresentam os maiores valores, de 62,8% e 74,6%, respectivamente (figura 8).

A maioria dos tipos de fitólitos classificáveis (de 74% na camada C6 a 90% no Bt/BC) era de Poaceae, predominantemente os formados em células de maior tamanho, já que os das *short cells* eram menos abundantes (de 8% no horizonte Bt/BC a 87% na camada C7). Foram encontrados principalmente os tipos *bulliform*, *globular granulate* e *acicular*. Pode-se perceber que a porcentagem de *globular granulate* é a mesma no horizonte A e na camada C6 (16%) e que a quantidade de *acicular* é bastante elevada (19%) na camada C4 (figura 8). O **índice D/P**, sempre baixo, é maior no horizonte A e na camada C6 (0,2%) e baixíssimo na camada mais profunda (0,04%). O **índice Bi** apresenta seus maiores valores (>70%) no horizonte A e na camada C7 (figura 8).

Perfil 4

O teor de fitólitos em cada horizonte segue a distribuição padrão, decrescendo um pouco com a profundidade, porém, no horizonte Bt o estoque quase dobra. A porcentagem de fitólitos classificáveis diminui com a profundidade, consequência do maior tempo de exposição aos processos de alteração, sendo superior a 60% nos três horizontes mais superficiais, apresentando uma queda abrupta no horizonte Bt (figura 9). Entre os fitólitos classificados, a maioria dos tipos (mais de 70% em todos os horizontes) era de Poaceae, predominantemente os formados em células de maior tamanho, já que os das *short cells* eram menos abundantes (de 9% a 12%). Foram encontrados principalmente os tipos *bulliform* poliédrico; seguidos de *blocky*, *elongate* e *cuneiform*. Houve um aumento significativo na proporção de *globular granulate* no horizonte Bt (figura 9). O índice **D/P** praticamente não variou nos horizontes A, E e E/Bt, aumentando apenas no horizonte Bt. O índice **Bi**, sempre muito elevado, aumenta sua porcentagem no horizonte E, quando ultrapassa 80%, retomando o valor de superfície no horizonte EBt e atingindo seu valor mínimo no horizonte Bt (figura 9).

Perfil 5

O estoque de fitólitos em cada horizonte segue a distribuição padrão decrescendo com a profundidade, porém no horizonte 2Bt, ocorre um grande aumento no estoque. No horizonte Bt encontra-se a maior porcentagem de fitólitos classificáveis do Perfil 5 (67%), porém todos os outros horizontes apresentam mais de 50% de fitólitos *classified* (figura 10). A maioria dos tipos (de 72% no horizonte A a 84% no 2Bt) eram de Poaceae, predominantemente os formados em células de maior tamanho, já que os das *short cells* eram menos abundantes (de 6% no horizonte 2Bt a 19% no horizonte Bt). Foram encontrados principalmente os tipos *bulliform* poliédrico (com um máximo no horizonte 2Bt), seguido de *globular granulate* e *elongate* (nos horizontes A e E) (figura 10). O índice **D/P**, apesar de variar muito pouco, apresentou um pequeno decréscimo com a profundidade. O índice **Bi** aumenta bruscamente nos horizontes E e principalmente no 2Bt, no qual ultrapassa 80%.

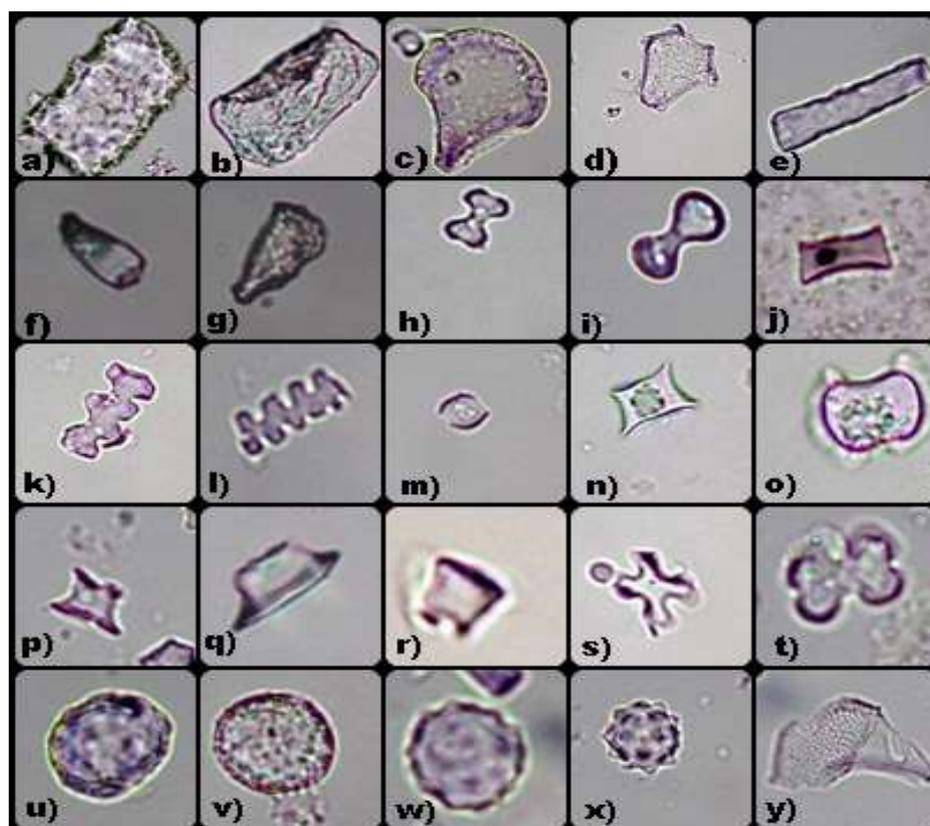


Figura 5: Fitólitos observados nos perfis de solo: a e b) *bulliform* poliédrico; c e d) *bulliform cuneiform*; e) *elongate*; f e g) *acicular*; h, i, j) *bilobate*; k e l) *polylobate*; m, n e o) *saddle*; p e q) *rondel*; r) *trapeziform*; s e t) *cross*; u e v) *globular granulate*; w e x) *globular echinate*; y) *cone shape* (Fotos: Coe, 2010)

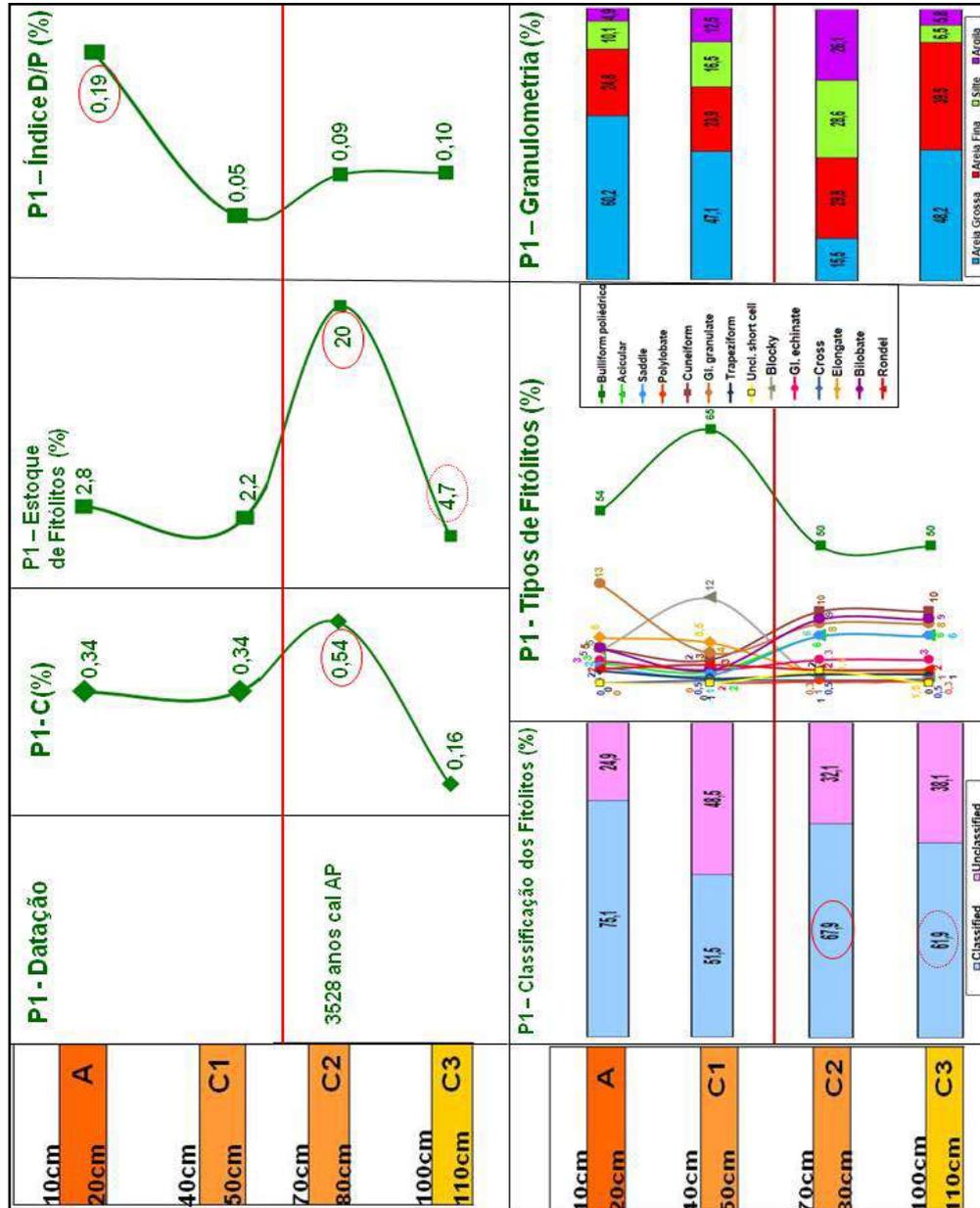


Figura 6: Resultados das análises fitolíticas, pedológicas e datações do Perfil 1

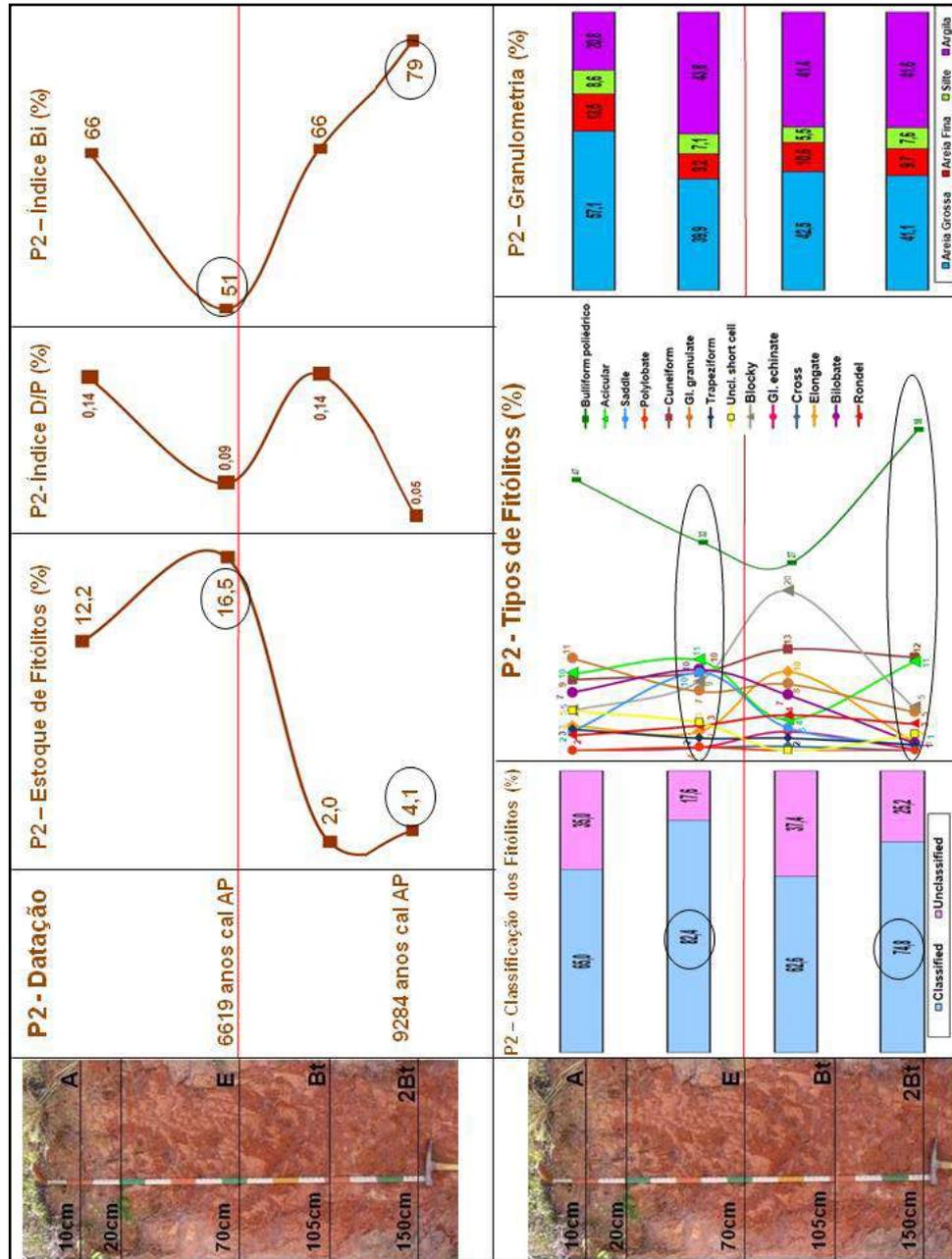


Figura 7: Resultados das análises fitolíticas, pedológicas e datações do Perfil 2

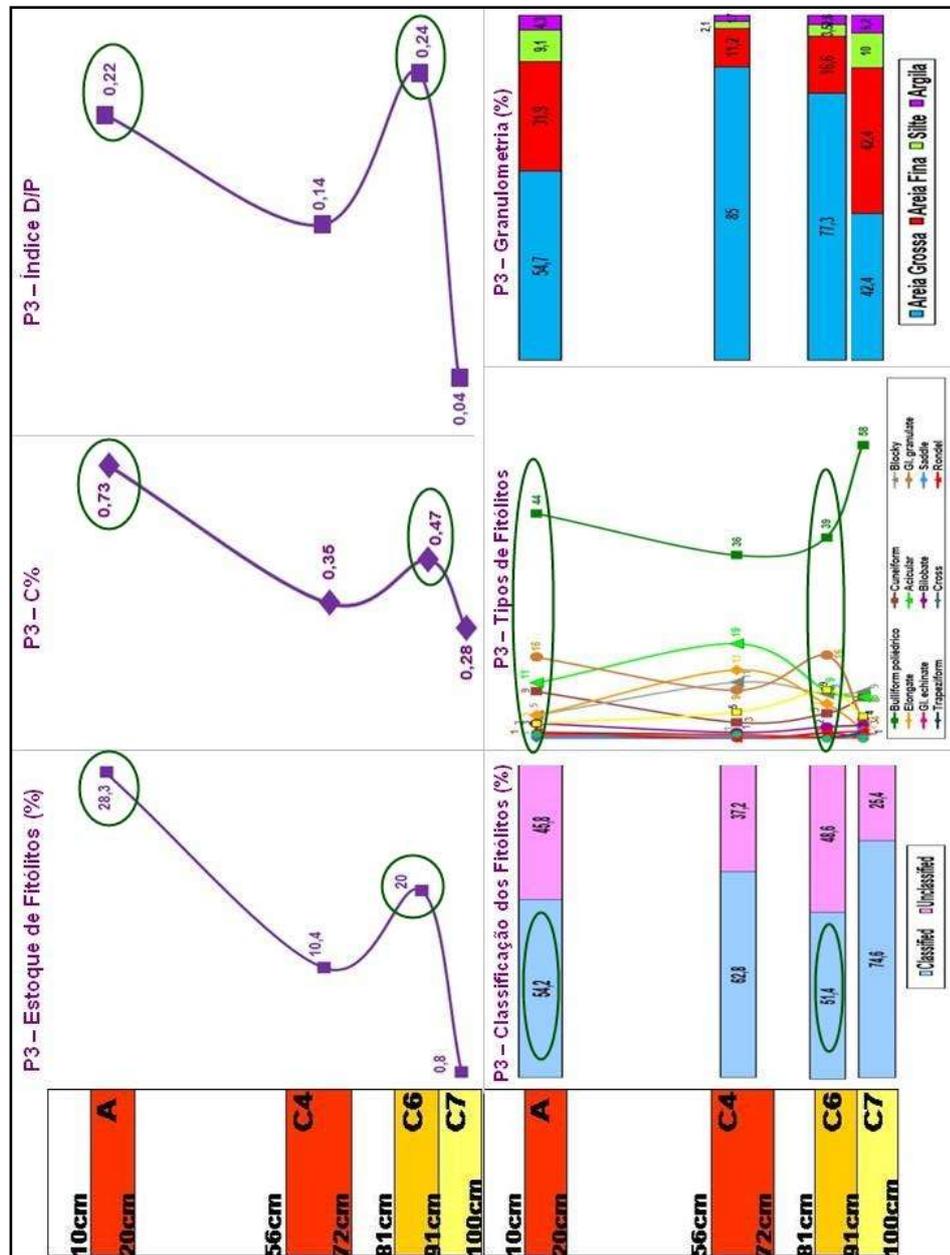


Figura 8: Resultados das análises fitolíticas, pedológicas e datações do Perfil 3

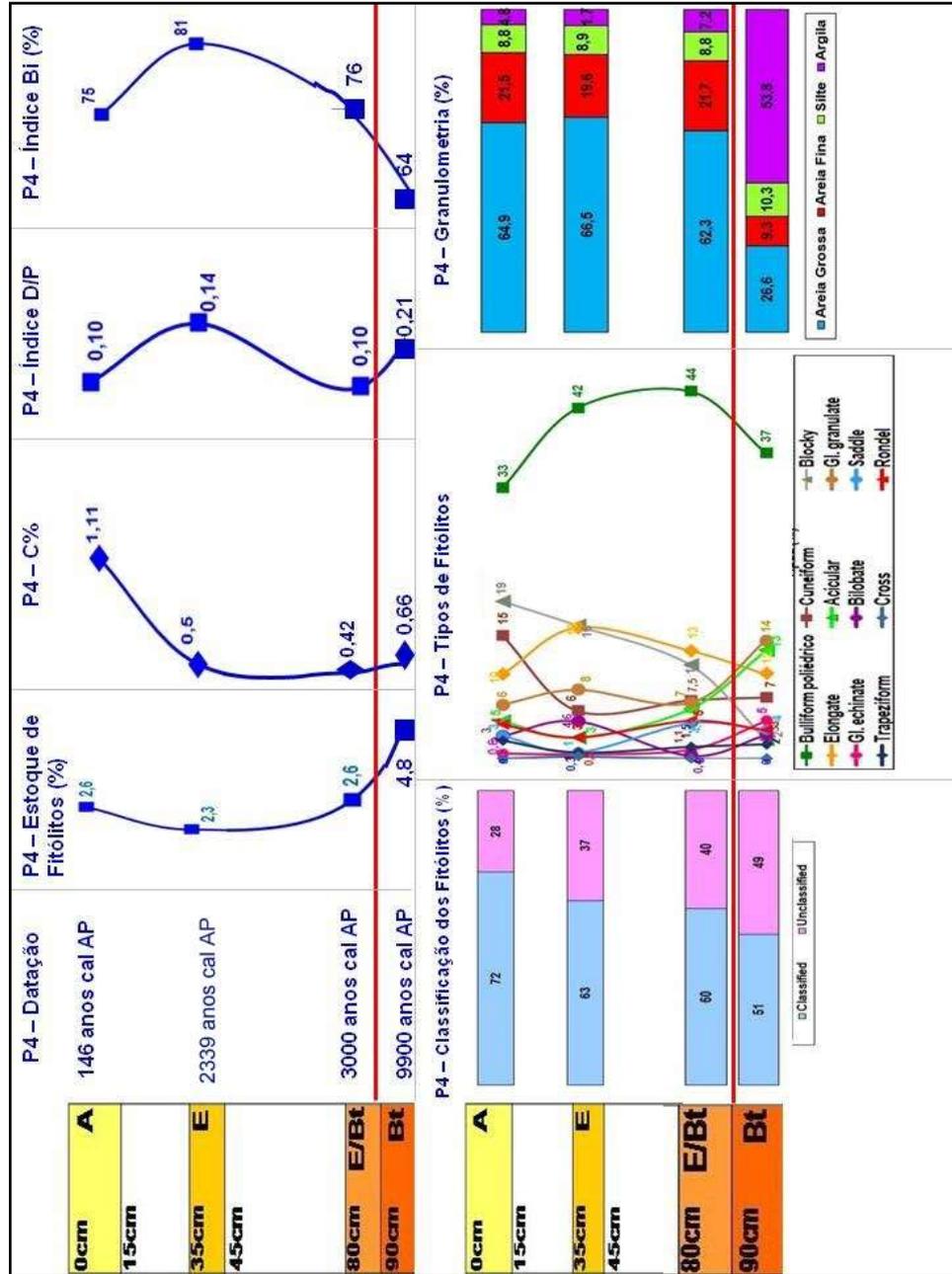
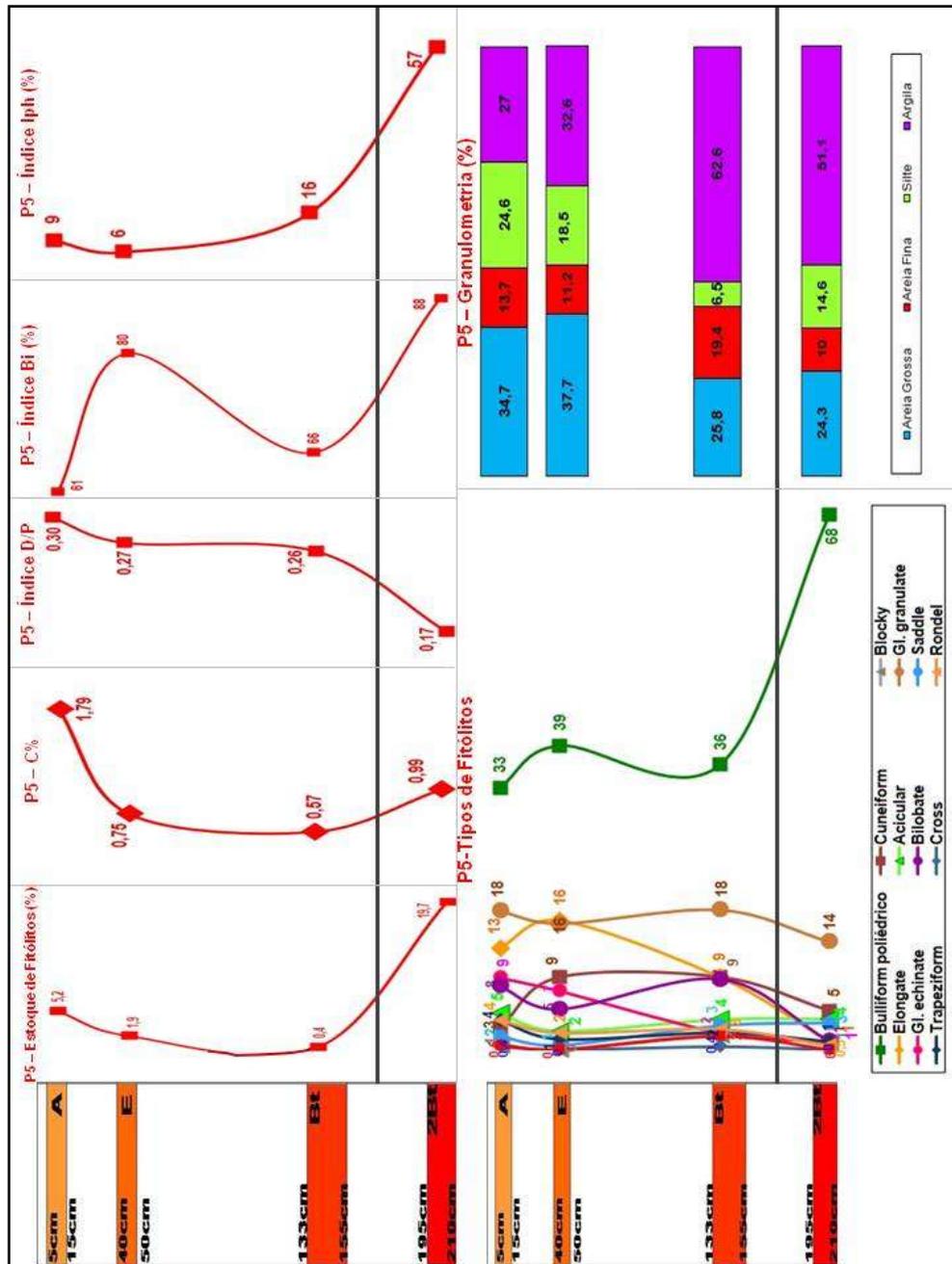


Figura 9: Resultados das análises fitolíticas, pedológicas e datações do Perfil 4

Figura 10: Resultados das análises fitolíticas, pedológicas e datações do Perfil



RESULTADOS PEDOLÓGICOS

Carbono

Os valores de Carbono orgânico das amostras são apresentados na tabela 2.

Entre as Assembleias Modernas, os maiores teores de Carbono foram encontrados na AM2 (brejo) e AM7 (floresta com palmeiras). A menor concentração em Carbono foi da AM5 (gramíneas – pastagem).

Dentre os perfis de solo, os de maiores concentrações em Carbono são o P5, o P2 e o P4 (figuras 10, 7 e 9), e o de menor concentração é o P1 (figura 6), sendo que o menor valor de P5 é superior ao maior valor de P1. Todos apresentam decréscimo com a profundidade, com exceção da camada C2 do P1, onde o valor é superior ao do horizonte superficial, e do horizonte 2Bt do P5, que é superior ao dos dois horizontes subjacentes.

Tabela 2: Concentração em Carbono (%) das amostras das assembleias modernas de referência e dos perfis de solo

Amostra	Concentração de C (%)
AM1 – Manguezal Langucularia	8,08
AM2 - Brejo	5,25
AM3 – Gramíneas próximas à floresta	10,86
AM4 – Floresta 2	6,96
AM5 – Gramíneas pasto	4,66
AM6 – Manguezal Rizophora	5,51
AM7 – Floresta 1 palmeiras	9,46
P1 A	0,34
P1 C1	0,34
P1 C2	0,54
P1 C3	0,16
P2 A	1,63
P2 E	0,70
P2 Bt	0,50
P2 Bt/Bc	0,41
P3 A	0,73
P3 C4	0,35
P3 C6	0,47
P3 C7	0,28
P4 A	1,11
P4 E	0,50
P4 E/Bt	0,42
P4 Bt	0,66
P5 A	1,79
P5 E	0,99
P5 Bt	0,75
P5 2Bt	0,57

Granulometria

Os resultados das análises granulométricas dos perfis estão apresentados na tabela 3.

O **perfil 1** é predominantemente arenoso, com exceção da camada C2, onde ocorre a maior proporção de silte e argila do perfil. A maior concentração de areia grossa é no horizonte A e de areia fina na camada C3 (figura 6).

No **perfil 2**, de uma maneira geral a proporção de silte é baixa e os teores de areia e argila variam com a profundidade. O horizonte A é mais arenoso e os demais apresentam teores similares de areia grossa e argila (figura 7).

No **perfil 3**, a concentração de silte e argila é pouco representativa em todos os horizontes. A porcentagem de areia grossa é superior a 80% na camada C4 e superior a 70% na camada C6 (figura 8).

O **perfil 4** é predominantemente arenoso (mais de 80%, dos quais mais de 60% de areia grossa) nos horizontes A, E e EBt. Porém, no horizonte Bt a situação se inverte, com mais de 50% concentração de argila. A proporção de silte é pequena em todos os horizontes (cerca de 9%), com um pequeno aumento no horizonte 2Bt (10%) (figura 9).

No **perfil 5**, a granulometria apresenta grandes variações, com uma mudança textural brusca entre os dois horizontes superiores e os dois inferiores. Os horizontes A e E são mais arenosos (cerca de 50%) e os mais profundos são mais argilosos (63 e 51%). Os teores de silte são os mais elevados entre todos os perfis estudados e diminuem com a profundidade (figura 10).

Tabela 3: Granulometria dos perfis de solo estudados

PERFIL 1	Prof. coleta (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
A	15	60,2	24,8	10,1	4,9
C1	45	47,1	23,9	16,5	12,5
C2	75	15,5	29,8	28,6	26,1
C3	105	48,2	39,5	6,5	5,8
PERFIL 2	Prof. coleta (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
A	5	57,1	13,5	8,6	20,8
E	65	39,9	9,2	7,1	43,8
Bt	100	42,5	10,6	5,5	41,4
Bt/BC	123	41,1	9,7	7,6	41,6
PERFIL 3	Prof. coleta (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
A	15	54,7	31,9	9,1	4,3
C4	64	85	11,2	2,1	1,7
C6	86	77,3	16,6	3,5	2,6
C7	95	42,4	42,4	10	5,2
PERFIL 4	Prof. coleta (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
A	10	64,9	21,5	8,8	4,8
E	40	66,5	19,6	8,9	5,1
E/Bt	85	62,3	21,7	8,8	7,2
Bt	115	26,6	9,3	10,3	53,8
PERFIL 5	Prof. coleta (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
A	10	34,7	13,7	24,6	27
E	45	37,7	11,2	18,5	32,6
Bt	139	25,8	19,4	6,5	62,6
2Bt	203	24,3	10	14,6	51,1

DATAÇÕES POR ^{14}C -MAS

Foram realizadas datações por ^{14}C -AMS em 1 amostra do perfil 1, 2 amostras do perfil 2 e 3 amostras do perfil 4. As idades calibradas estão apresentadas na tabela 4 e nas figuras 6,7 e 9.

Tabela 4: Idades das amostras

Amostra	Prof. coleta (cm)	Idade C14	Idade calibrada (anos cal A)
P1C2	75	3341±32	3528
P2E	65	5880±39	6619
P2Bt	100	8358±44	9284
P4A	10	32±104	224
P4E	40	2379±29	2339
P4E/Bt	85	4036±32	3595
P4Bt	115	8568±50	9673

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os resultados obtidos com os cinco perfis estudados, verificamos diferentes tendências entre os solos de origem aluvial (P1 e P3) e os desenvolvidos a partir de material *in situ* (P2, P4 e P5).

Nos perfis 2 e 5 (argissolos), assim como no perfil 4 (planossolo), os tipos de fitólitos e índice de cobertura arbórea variam segundo zonas identificadas nos perfis, e os estoques de fitólitos não apresentam o padrão normal de distribuição com a profundidade. Essas variações puderam ser explicadas pela granulometria. Nesses perfis, de origem eluvial, as análises fitolíticas e granulométricas se complementam.

Nos perfis 1 (glei) e 3 (neossolo flúvico), não foi possível a delimitação em zonas, os tipos de fitólitos são muito variados entre os horizontes, assim como os estoques em fitólitos. Essas variações nos estoques não puderam ser explicadas por características pedológicas, como a textura de cada horizonte, e os tipos de fitólitos parecem ser resultado de uma mistura de materiais de aporte do rio.

Podemos concluir que os fitólitos se mostraram bons indicadores da gênese dos solos, identificando a origem aluvial ou eluvial dos mesmos. O *proxy* apresenta limitações para reconstituições da vegetação e inferências climáticas em solos de origem aluvial, principalmente os mais recentes (como o P3, um neossolo), já que a matriz é uma mistura de material, inclusive fitólitos, de toda a área drenada pelo rio. Nessas áreas, é necessário cobrir as lacunas deixadas pelos resultados fitolíticos com informações de outros *proxies*, como as análises isotópicas, de espículas de esponja, etc. Já com solos desenvolvidos a partir de material *in situ*, os fitólitos se mostraram bons indicadores de mudanças bioclimáticas, que podem ter ocorrido por variações no ambiente (climáticas e do tipo de vegetação), ou por processos pedogenéticos, como as características texturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIDEGAIN, P. *Plano das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos e do rio São João*. Rio de Janeiro: 153 p. Consórcio Intermunicipal para Gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira – CILSJ, 2005.
- COE, H. H. G.; CHUENG, K.; OSTERRIETH, M. L.; SILVA, A. S.; GOMES, J. G.; FONSECA, C. M. Gênese de solos e mudanças ambientais na bacia do rio São João, RJ, identificadas através do proxy fitólitos. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA - O Quaternário da América do Sul: Desafios e Perspectivas e III Encontro do Quaternário Sulamericano, 2011.
- CUNHA, S. B. *Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da Bacia do rio São João (Rio de Janeiro, Brasil)*. Edição do autor. Rio de Janeiro. 1995.
- DRM. *Diagnóstico Geoambiental sobre a Extração de Areia na Região de Unamar, Município de Cabo Frio*. Niterói, Departamento de Recursos Minerais, 1996.
- FAPERJ. *Urbanização do Interior Fluminense: Análises dos Aglomerados de Pequeno Porte*. Rio de Janeiro, 1983.
- FONSECA, C. M.; GOMES, J. G.; COE, H. H. G.. Identificação de mudanças ambientais na Bacia do Rio São João, RJ, a partir da análise de fitólitos extraídos de perfis de solo. XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Dourados, 2011.
- GABRIEL, N. C. *Diagnose, Estado do Rio de Janeiro. Lagoa de Juturnaíba. Tema: Implicâncias ecológicas no aproveitamento de uma reserva d'água para uso*. Niterói, Universidade Federal Fluminense, 6p, 1975.
- GOMES, J.G. (2012) - Contribuição para a Compreensão da Gênese e Evolução de Solos na Bacia do Rio São João, RJ, através de análises fitolíticas. TCC, Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 137 p.
- IBGE. *Enciclopédia dos Municípios Brasileiros. Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Vol. XXII, 1960.
- MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, v.96, p.253-260, 2005.
- PIPERNO, D. R. *Phytoliths Analysis: an archaeological and geological perspective*. San Diego: Academic Press, 1988.
- PRIMO, P. B., VOLKER, C. M. *Bacias hidrográficas dos rios São João e das Ostras: águas, terras e conservação ambiental*. Rio de Janeiro, Consórcio Intermunicipal Lagos. São João, 2003.
- QUINTELA, M. A., CUNHA, S. B. Regime pluviométrico e diagnóstico ambiental na área de influência do reservatório de Juturnaíba. RJ. *Anuário do Instituto de Geociências*, Universidade Federal do Rio de

Janeiro, 1987-1988: 164-182, 1990.

SARAIVA, V. I. C. Análise da Suscetibilidade à Erosão Laminar dos Solos da Bacia dos Lagos e São João. TCC, Departamento de Geografia, UERJ, Brasil. 2011.

SUGUIO, K. *Mudanças Ambientais da Terra*. São Paulo, Instituto Geológico, 2008.
