

Recebido em 2 de Novembro de 1983

# Os solos formados a partir de rochas graníticas sob clima temperado super-húmido (Parque Nacional da Peneda-Gerês). Suas características mais relevantes. <sup>(1)</sup>

por

M. A. VALERIANO MADEIRA <sup>(2)</sup>

e

A. F. A. SANCHES FURTADO <sup>(3)</sup>

## RESUMO

Estudam-se os solos formados a partir de rochas graníticas sob clima temperado húmido (Parque Nacional da Peneda-Gerês), os quais são caracterizados dos pontos de vista físico, químico e mineralógico.

Constata-se que a fracção argilosa dos horizontes de alteração — espessura vulgarmente conhecida por camada arenizada — é constituída predominantemente por gibsite a que se associam, em pequena proporção, minerais caulínicos. O mesmo não acontece na referida fracção dos horizontes do *solum*, em que a gibsite se encontra em menor proporção, apresenta cristalinidade menos evidente e ocorre geralmente associada a outras formas cristalinas aluminosas. Além disso, no que respeita aos horizontes superficiais, podem ter também expressão significativa

---

<sup>(1)</sup> Trabalho realizado no âmbito da actividade do Centro de Pedologia da Universidade Técnica de Lisboa.

<sup>(2)</sup> Assistente de Pedologia do Instituto Superior de Agronomia.

<sup>(3)</sup> Investigador Auxiliar do Centro de Estudos de Pedologia do Instituto de Investigação Científica Tropical.

os minerais micáceos, os minerais a 14 Å (vermiculite e montmorilonite) e os minerais interestratificados a 14-10 Å.

Nos solos com maior espessura e mais evoluídos é evidente a mobilização do alumínio e, possivelmente do ferro. Assim constata-se a ocorrência de um horizonte de transição (A/BA1) caracterizado por valores máximos de alumínio livre, por maior proporção de ferro amorfo e ligado à matéria orgânica, por maior proporção de cargas variáveis e, frequentemente, por maior capacidade de troca catiônica, por mais elevada relação carbono/azoto e ainda por maior diferenciação de formas aluminosas.

Conclui-se que, principalmente nos perfis mais evoluídos, ocorrem as características inerentes a uma podzolização incipiente: a criptopodzolização. Esta deverá ser consequência das elevadas precipitações, da forte lixiviação de bases e da evolução sazonal da matéria orgânica.

#### RESUME

On étudie les sols développés à partir des roches granitiques sous un climat tempéré humide (Parque Nacional de Peneda-Gerês), lesquels sont caractérisés des points de vue physique, chimique et mineralogique.

On remarque que la fraction argileuse de l'horizon d'altération — épaisseur connue par couche arenisé — est constituée essentiellement par gibbsite, à laquelle s'associent minéraux kaolinitiques en petites proportions. On n'observe pas le même dans la fraction argileuse des horizons du *solum*, dans laquelle la gibbsite se trouve en quantités plus basses, présente une cristallisation moins évidente et apparaît, en général, associée à d'autres formes cristallines alumineuses. En outre dans ce qui concerne aux horizons de surface, on peut trouver des quantités significatives de minéraux micacés, minéraux à 14 Å (vermiculite et montmorillonite) et minéraux interestratifiés à 14-10 Å.

Dans les sols avec une plus grande épaisseur et plus évolués est évident la mobilisation de l'aluminium et, probablement du fer. Ainsi on observe la présence d'un horizon de transition (A/BA1) caractérisé par valeurs plus hautes de l'aluminium libre, par une proportion plus élevée de charges variables et, fréquemment par une plus grande capacité d'échange cationique, par un rapport carbone/azote plus élevé et encore par une plus grande différenciation de formes alumineuses.

On peut conclure que, principalement dans les profils plus évolués, on observe les caractéristiques inhérentes à une podzolization: la cryptopodzolization. Celle-ci devra être conséquence de élevées précipitations, de forte lessivage de bases et de l'évolution saisonnière de la matière organique.

#### SYNOPSIS

The authors have studied from granitic rocks under humid temperate climate (Parque Nacional de Peneda-Gerês). They were characterised from the physical, chemical and mineralogical points of view.

It is found that the clay fraction of the alteration horizon — usually known as *grus* layer — is mostly formed by gibbsite to which kaolin minerals are asso-

ciated in small quantities. This is not the case the clay fraction of the *solum* where gibbsite appears in a rather smaller proportion, shows a less evident crystallinity and occurs usually associated to other aluminium crystalline forms. In surface horizon, mica clay minerals, 14 Å minerals (vermiculite and montmorillonite) and interstratified minerals can also be significant.

In thicker and more developed soils the mobilization of the aluminium and probably that of iron is obvious. Thus, the presence of a transition horizon (A/BA1) is considered, with higher values of free aluminium, a greater proportion of amorphous iron related to the organic matter, a greater proportion of variable charges and often a greater cation exchange capacity, a higher carbon/nitrogen relation and a greater differentiation of aluminium forms.

The authors concluded that, mainly in more developed profiles, there occur characteristics of an incipient podzolization: the cryptopodzolization. This should be a consequence of the heavy rainfalls, and base lixiviation and the seasonal evolution of organic matter.

## 1. INTRODUÇÃO

Algumas considerações têm sido feitas acerca das características dos solos derivados de rochas graníticas do Noroeste de Portugal. Assim, TEIXEIRA & MARQUES (1951-1953), a partir de diversos índices climáticos e de dados de natureza morfológica, consideram que a podzolização é o processo dominante da formação dos solos da área do Gerês; ROGADO (1963), por seu turno, admite que em alguns casos podem ocorrer solos com características podzólicas. Taxonomicamente, os solos da área referida foram designados, primeiro por *Solos Litosólicos Ácidos* de regiões superhúmidas e húmidas (associados a *Litossolos Ácidos*) (GRILO, 1953) e, posteriormente, por *Rankers*, os das zonas montanhosas, e por *Humic Cambisols* associados a *Luvisols* de forte influência atlântica, os das outras zonas (CARDOSO *et al.*, 1972).

No respeitante à mineralogia da fracção argilosa dos solos referidos, algumas particularidades são de evidenciar. Assim, ROGADO (1963) indica a presença de gibbsite associada à caulinite e/ou illite; FURTADO (1973), por outro lado, conclui que a mineralogia da fracção argilosa dos horizontes de alteração de tais solos poderá ser constituída principalmente por gibbsite, o que também é referido em estudo de índole geomorfológico (COUDÉ-GAUSSSEN, 1981). Em área um pouco afastada, mas climaticamente semelhante (Serra da Aboboreira-Baião), também é constante a presença de

gibbsite na fracção argilosa dos solos e do material terroso constituinte de estruturas arqueológicas (MADEIRA & MEDINA, 1981).

Os aspectos citados suscitam o interesse em esclarecer de forma mais precisa a ocorrência ou não do carácter podzólico e a natureza e distribuição dos minerais da fracção argilosa nos diferentes horizontes de tais solos. Assim, primeiramente, interessa esclarecer se estamos na presença do processo de podzolização, propriamente dita ou se, pelo contrário, estamos perante um processo com características da podzolização sem que, todavia, ocorra a respectiva manifestação morfológica (BLUME & SCHWERTMANN, 1969; SOUCHIER, 1971; BALL & BEAUMONT, 1972; LOVELAND & BULLOCK, 1976; BRUCKERT, 1979; HERBAUTS, 1982), tal como acontece na vizinha Galiza e é sugerido para algumas áreas de Portugal Continental (OJEA & CARBALLAS, 1967). Por outro lado, para além da aceitação indiscutível da presença de gibbsite na fracção argilosa dos horizontes de alteração dos solos de climas temperados e derivados de rocha granítica (DEJOU, 1967; DEJOU *et al.*, 1968, FURTADO, 1973; PEDRO *et al.*, 1975; ESPIAU, 1978; DEJOU *et al.*, 1982; VASQUEZ & OJEA, 1982), interessa considerar as eventuais variações quantitativas e transformações daquele mineral nos horizontes do *solum* (ESPIAU, 1978; VASQUEZ & OJEA, 1980) e, ainda, as inibições à sua formação ROBERT *et al.*, 1980).

Com vista à concretização do exposto, efectuou-se um reconhecimento geral dos solos derivados de rochas graníticas da área do Parque Nacional da Peneda-Gerês, área onde se verificam pluviosidades das mais elevadas de Portugal Continental. Para além da apresentação das características gerais de vários perfis de solos, dá-se especial ênfase à distribuição dos elementos livres (ferro e alumínio) e das espécies mineralógicas da fracção argilosa dos diferentes horizontes.

## 2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

### 2.1. GEOLOGIA — LITOLOGIA (MARTINS & RIBEIRO, 1979; MEDEIROS *et al.*, 1975; TEIXEIRA, 1869).

A área do Parque da Peneda-Gerês pertence na sua maior parte à enorme mancha granítica do Minho ou, mais propriamente, do

Noroeste da Península Ibérica. Deste modo, como é óbvio, o material originário dos solos da área referida é o granito, o qual se encontra as mais das vezes arenizado e pode apresentar fácies bastante diversos. Assim, foram definidos dois grandes agrupamentos de granito: os granitos calco-alcalinos e os granitos alcalinos. Os primeiros são de duas micas, mas com predomínio da biotite, porfiróides, de grão grosseiro ou médio a grosseiro; os segundos são geralmente porfiróides de grão grosseiro ou médio a grosseiro e biotíticos, podendo às vezes ser não porfiróides de grão grosseiro a fino, em que pode predominar tanto a biotite como a moscovite. Para além destes podem aparecer granitos de duas micas (essencialmente moscovíticos) e orientados.

Além dos granitos há a assinalar a ocorrência do «complexo de paragnáisses, granitos gnáissicos e migmatitos de Tourém», o «complexo xisto-granito-migmatítico da área de Castro Laboreiro», o «complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico» (?) e os «xistos metamórficos».

As formações referidas estão influenciadas e atravessadas por importante rede filoniana, interessando destacar os filões quartzosos, os filões aplito-pegmatíticos e os filões micrograníticos.

## 2.2. RELEVO-MORFOLOGIA (COUDE-GAUSSEN, 1981; MARTINS & RIBEIRO, 1979; TEIXEIRA & CARDOSO, 1981).

A área em estudo é essencialmente montanhosa, onde se destacam os maciços do Gerês, da Peneda e da Serra Amarela, cuja altitude máxima ultrapassa os 1500 metros. Nos limites Nordeste (Tourém) e Noroeste (Castro Laboreiro) desenvolvem-se porém, relevos planálticos de relativa extensão. Fora estes, são evidentes pequenas superfícies aplanadas (níveis de erosão) (COUDE-GAUSSEN, 1981), nos próprios maciços montanhosos, que terão sobrevivido aos esforços orogénicos responsáveis pela intensa fracturação que se verifica naqueles maciços. Considera-se, assim, que nos maciços da Peneda e do Gerês o modelado, seja qual for a escala considerada, está fundamentalmente ligado à fracturação, apenas transparecendo a influência do fácies litológico nos modelados médios e menores. Prova disso é o desenvolvimento da rede hidrográfica segundo o sistema de fracturação.

Assim, os grandes desníveis, o sistema de fracturação e o encaixe das linhas de água têm originado importante desmonte

dos maciços e relevos extraordinariamente abruptos, cuja expressão são os depósitos de carácter torrencial, os quais correspondem a grandes cones de dejectão constituídos por amontoados de blocos rolados de granito. Para além dos depósitos referidos, é de assinalar a grande frequência de depósitos de vertente constituídos por elementos desordenados e caóticos, muitas vezes apenas constituídos por blocos graníticos dispersos e provenientes dos respectivos afloramentos dos cumes.

É notório, ainda, a ocorrência, nos cimos graníticos, de caos de blocos, os quais tendem a atapetar as vertentes imediatamente próximas.

A área em estudo caracteriza-se, também, pela ocorrência de «quebradas», as quais poderão estar na dependência da arenização do granito — fenómeno praticamente omnipresente na área.

É ponto assente a ocorrência de aspectos morfológicos particulares, tais como: «arènes litées», «convois à blocs» e «arène fauchée». Estas particularidades morfológicas são consideradas périglaciares (COUDÉ-GAUSSEN, 1981), embora, também, se considere difícil separá-las das diferentes acções antrópicas e das características climáticas actuais. Aliás, esta autora defende ainda, a ocorrência de fenómenos glaciares nas áreas de maior altitude, o que é vigorosamente contrariado por outros (TEIXEIRA & CARDOSO, 1979).

Das nossas observações interessa aqui referir um aspecto assaz curioso com implicações de natureza geomorfológica. Trata-se da ocorrência generalizada de uma «linha de pedras», as mais das vezes, sobrejacente à rocha arenizada ou a um horizonte de tipo câmbico (COSTA, 1975). Sobre a «linha de pedras» referida repousam espessuras variáveis de materiais mais finos, muitas vezes «litées», que deram origem a solos que, pelo menos morfológica-mente, estão em discontinuidade com o material originário. A particularidade referida ocorre tanto nas áreas montanhosas como em relevos planálticos e, pela sua frequência, pode ter grande significado no respeitante a processos geomorfológicos importantes para esclarecer a evolução do modelado e a formação dos solos.

Do exposto concluí-se que estamos a trabalhar em solos sujeitos a intensa geodinâmica externa, o que determina algumas dificuldades na interpretação dos resultados de natureza pedológica.

### 2.3. CLIMA

A falta de informação pormenorizada sobre o clima da área em estudo obriga-nos a apresentar apenas dados climáticos de índole geral, os quais se tomam como representativos de toda a área considerada.

A precipitação média anual atinge valores mínimos compreendidos entre 1500 e 2000 mm, enquanto que os máximos, nas áreas de maior altitude, se cifram na ordem de 2500-3000 mm. A precipitação referida concentra-se fundamentalmente no semestre de Outubro a Março, correspondendo ao trimestre do estio apenas 7-8 % do total. O índice hídrico é sempre superior a 100, o que determina um clima do tipo super-húmido (A, segundo Thornthwaite). No respeitante ao regime hídrico, considera-se que ocorre deficiência de água nos meses de Julho e Agosto.

A temperatura média anual varia desde valores compreendidos entre 11 e 12°C até valores inferiores a 10°C. A média das temperaturas mínimas no Inverno deverá oscilar entre 0 e 5.5°C, enquanto a das máximas no Verão andar por 20-27°C.

### 2.4. VEGETAÇÃO (\*)

A vegetação da área geográfica definida pelo Parque Nacional da Peneda-Gerês apresenta grande importância pelo facto de corresponder ao limite sul da vegetação cantábrica. Embora as formações climáticas ocupem ainda extensões apreciáveis, predomina, no entanto, a vegetação de degradação em correspondência com intensas acções antrópicas. Estas implicaram a redução drástica das áreas com vegetação arbórea do género *Quercus* e deram origem a enormes extensões de formações herbáceo-arbustivas que são objecto de pastoreio e sujeitas a roças e fogos periódicos para facilitar aquele, o que também favorece o desencadear de processos erosivos. Além disso, áreas apreciáveis foram ocupadas por plantações de *Pinus Pinaster* Ait. e *Pinus sylvestris* L.

Para a área do Gerês tem-se considerado a existência de algumas associações climáticas, sendo de destacar o *Quercetum roboris*, o *Quercetum pyrenaicae* e o *Quercetum-Betuletum* (VASCON-

---

(\*) Agradece-se ao Prof. Cat. João Amaral Franco os diversos esclarecimentos para a elaboração deste capítulo.

CELLOS, 1951-1953). Se a primeira associação referida está ainda bem representada, o mesmo não acontece relativamente às restantes. Com efeito, as áreas que seriam do domínio das associações *Quercetum pyrenaicae* e *Quercetum-Betuletum* são dominadas por vegetação herbáceo-arbustiva; embora seja notória a presença de *Quercus pyrenaica* Willd., não toma o aspecto de formação arbórea extensa e dominante.

Nas áreas onde o carvalho roble arbóreo não foi destruído encontram-se formações vegetais próximas das consideradas para a associação *Quercetum roboris*. Com efeito, na área do Curral de S. Miguel, perto da Portela do Homem, verifica-se a presença, entre outras, das seguintes espécies: *Quercus robur* L. ssp. *robur*, *Arbutus unedo* L.; *Erica arborea* L., *Pyrus cordata* Desv., *Cytisus scoparius* (L.) Lk., *Hedera helix* L. ssp. *helix*, *Rubus* spp., *Ulex minor* Roth., *Erica scoparia* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn e diversas gramíneas tais como: *Pseudarrhenatherum longifolium* (Thore) Rouy, *Avenula delicatula* Franco, *Aira praecox* L.

Nas áreas ocupadas por formações herbáceo-arbustivas encontrou-se mais frequentemente: *Halimium alyssoides* (Lam.) K. Koch, *Ulex minor* Roth., *Chamaespartium tridentatum* (L.) Gibbs, *Erica arborea* L., *Erica scoparia* L., *Erica cinerea* Lm. (e ainda outras). *Cytisus multiflorus* (L'Hérit. ex Ait.) Sweet, *Cytisus scoparius* (L.) Lk., *Calluna vulgaris* (L.) Hull e *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn; no estrato herbáceo graminoso verifica-se geralmente a presença de: *Agrostis curtisii* Kerguelen, *Agrostis durieui* Willk., *Agrostis foliolia* Lk., *Agrostis stolonifera* L., *Aira praecox* L., *Avenula delicatula* Franco, *Pseudarrhenatherum longifolium* (Thore) Rouy.

Por fim, os povoamentos de *Pinus pinaster* Ait. e *Pinus sylvestris* L. caracterizam-se por uma composição florística muito pobre no estrato herbáceo-arbustivo; o *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn e a *Agrostis curtisii* Kerguelen são as espécies mais abundantes.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL ESTUDADO

Os solos em estudo localizam-se na área correspondente ao Parque Nacional da Peneda-Gerês. Alguns aspectos relacionados com os factores pedogenéticos e com a sua localização são indicados no quadro 1.

## QUADRO 1

Lista e localização dos principais perfis descritos e caracterizados

Perfil n.º	Geologia-Litologia	Altitude (m)	Morfologia	Clima Geral (respeitante a todo o conjunto de perfis)	Vegetação	Local
2/79	Depósito de vertente sobre complexo de paragneisses, granitos e migmatitos	1190	Relevo planáltico (planalto da «Mourela»). Declive: 12-12 %	Clima super-húmido (A, segundo Thornthwaite)	Vegetação herbáceo-arbustiva	Buraco do Touro
3/79	Granito calco-alcalino porfiróide	1360	Cimo montanhoso em intenso desmonte. Declive: 12 %	Precipitação média anual: 1500/2000-2500/3000 mm. Temperatura média anual: <10 a 11/12° C	» »	Carris
4/79	Granito calco-alcalino e alcalino de grão grosseiro	650	Relevo montanhoso. Declive: 30-35 %		» »	A Guarda
5/79	» »	780	Rebordo de relevo aplanado. Declive: 40 %		Mata de <i>Pinus pinaster</i> Ait.	Lamas
6/79	Granito calco-alcalino porfiróide	810	Relevo aplanado (chã). Declive: 6 %		Mata de <i>Pinus sylvestris</i> L.	Chã de Lamas
8/79	» »	700	Relevo montanhoso. Declive: 40 %		Mata de <i>Castanea sativa</i> e de <i>Pinus sylvestris</i> L.	Albergaria
9/79	» »	650	» »		Mata de <i>Pinus pinaster</i> Ait.	Cesello
10/79	Granito calco-alcalino de grão médio a grosseiro	770	» »		Mata de <i>Quercus robur</i> L. ssp. <i>robur</i>	Curral de S. Miguel
12/79	Complexo xisto-granito-migmatítico	1150	Área aplanada (chã). Declive: 3-4 %		Vegetação herbáceo-arbustiva	Alto de Rocadas
13/79	» »	1180	Área aplanada (chã). Declive: 2 %		Vegetação herbáceo-arbustiva	Gontim
15/79	Depósito de vertente sobre granito calco-alcalino de grão grosseiro	1040	Transição para relevo montanhoso. Declive: 15-20 %		Vegetação herbáceo-arbustiva	Bouças dos Homens
16/79	Granito calco-alcalino de grão grosseiro, porfiróide e de duas micas	810	Relevo ondulado. Declive: 10-15 %		Arboreto de <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	Cabeças

Os perfis dos solos estudados são geralmente do tipo AC (em que o horizonte A pode atingir 40/50 cm de espessura) ou do tipo A(B)C. O horizonte A, quando apresenta maior espessura, pode subdividir-se num horizonte A1 propriamente dito e num horizonte A/BAl, o qual, como adiante se explicitará, tem carácter transicional e parece apenas poder caracterizar-se analiticamente. É provável que, em alguns casos, o horizonte (B) possua características que se aproximem do horizonte de transição referido.

A cor do horizonte A, no estado seco, é geralmente pardo-escuro (10 YR 3/3) a pardo acizentado muito escuro (10 YR 3/2); no estado húmido, por turno, é pardo acizentado muito escuro (10 YR 3/2) a cinzento muito escuro (10 YR 3/1). O horizonte (B) manifesta em regra cores menos escuras: pardo amarelado escuro (10 YR 4/4) (s) e pardo a pardo escuro a pardo escuro (10 YR 4/3-3/3) (h).

Os aspectos relacionados com a textura são tratados no capítulo referente aos dados analíticos e indicam-se nos quadros 2 e 3.

A agregação é em regra granulosa muito fina a média, fraca a moderada, nos horizontes A, e anisóforme subangulosa fina a média, muito fraca a moderada, nos horizontes (B),

A compactidade é pequena para todos os horizontes do *solum*. A consistência é quase sempre branda, no estado seco e friável no estado húmido.

### 3.2. METODOS ANALÍTICOS

As diversas determinações analíticas foram efectuadas na terra fina (< 2 mm) seca ao ar. A análise granulométrica efectuou-se de acordo com o método internacional, após destruição da matéria orgânica com água oxigenada e dispersão com hexametáfosfato de sódio.

O pH determinou-se em água e em KCl 1M, na proporção de 2,5:1 em relação à amostra. A capacidade de troca catiónica e as bases de troca determinaram-se, a pH 8,1, pelo método de Mehlich. O alumínio de troca foi extraído, por agitação durante uma hora, pelo KCl 1M (na proporção de 1 g de solo para 20 ml de KCl), o qual foi quantificado por espectrofotometria de absorção atómica e, em alguns casos, por titulação potenciométrica em contínuo, o que permitiu também determinar o hidrogénio de troca (ROUILLER

*et al.*, 1980). No resíduo resultante da extracção do alumínio de troca determinou-se a acidez de superfície (ou cargas variáveis) por titulação potenciométrica em contínuo (ROUILLER *et al.*, 1980). O carbono foi determinado por via seca e o azoto pelo método de Kjeldhal.

Efectuaram-se extracções selectivas do ferro, do alumínio e da sílica pelo método de MEHRA & JACKSON (1960), pelo reagente de Tamm (SCHWERTMANN, 1964), pelo pirofosfato de sódio 0.1 M (extracção durante 16 horas, relação solo/solução de 1:100 e centrifugação a 40 000 g durante 20 minutos) (McKEAGUE *et al.*, 1971) e pelo tetraborato de sódio a pH 9.7 (nas mesmas condições do pirofosfato) (BRUCKERT & SOUCHIER, 1975). Os elementos extraídos determinaram-se por espectrofotometria de absorção atómica. No caso dos extractos de pirofosfato e tetraborato quantificou-se o carbono por via seca. Os elementos referentes às extracções referidas designam-se, exemplificando com o ferro e de acordo com a ordem indicada, por Fe<sub>d</sub>, Fe<sub>o</sub>, Fe<sub>p</sub>, Fe<sub>t</sub>.

As substâncias húmicas extraíram-se sucessivamente, com soda diluída a pH  $\leq 10$  e com soda 0.1 M a partir da fracção  $< 50 \mu\text{m}$  (obtida por crivagem em água após agitação durante dezasseis horas) (BRUCKHERT, 1979) previamente liofilizada; após verificação óptica considerou-se que as fracções superiores a  $50 \mu\text{m}$  continham essencialmente matéria orgânica livre pouco transformada. As extracções referidas repetiram-se cinco vezes, utilizando-se a relação material liofilizado/extractante de 1:10. Os ácidos húmicos separaram-se dos ácidos fúlvicos por acidificação do extracto a pH 1.5, com HCl 3M. O carbono do extracto total, dos ácidos húmicos e dos ácidos fúlvicos, foi determinado por via seca; no caso do azoto utilizou-se o método de Kjeldhal.

A fracção argilosa foi colhida, após destruição da matéria orgânica pela água oxigenada e dispersão da suspensão com soda 0.1 M, por decantação e sedimentação. Em seguida floculou-se com CaCl<sub>2</sub>, eliminou-se a água e lavou-se com metanol sob vácuo e secou-se a 40°C. A análise química da terra total e da fracção argilosa foi feita a partir do ataque com a mistura dos ácidos perclórico e fluorídrico, excepto para o caso da sílica que foi determinada após fusão com carbonato de sódio (VOINOVITCH, 1962). Todos os elementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atómica. A identificação mineralógica foi feita por difracção dos Rx, pela análise termo-diferencial e por espectroscopia dos

infravermelhos. Na difracção aos Rx as amostras, sob a forma cálcica, foram observadas, em lâminas orientadas, no estado natural, saturadas com etileno-glicol e após aquecimento a 550°C. Os termogramas foram obtidos numa instalação Deltatherm mod. III, com uma taxa de aquecimento de 10°C/minuto, até 1000°C. Os espectros de absorção dos infravermelhos foram obtidos num espectrofotómetro Pye-Unicam mod. SP 3-300, de duplo feixe, utilizando-se como células pastilhas constituídas por 200 mg de KBr e 2-3 mg de amostra.

#### 4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SOLOS EM ESTUDO

Os resultados analíticos gerais referentes a diversos perfis estudados estão indicados nos quadros 2 e 3.

No que respeita à granulometria constata-se que ocorre relativa homogeneidade nos horizontes do *solum* derivado de granito. Assim, as fracções areia predominam largamente, representando percentagens da ordem dos 75-80 %, percentagens que na maior parte dos casos tendem a aumentar nos horizontes de alteração (granito arenizado). A argila, por seu turno, apresenta geralmente valores de 9 a cerca de 15-20 %, cujo máximo, em alguns casos, ocorre no horizonte subsuperficial; esta diferenciação no teor de argila é provável que esteja relacionada com os movimentos superficiais de material. Note-se que os horizontes de alteração podem mostrar em relação ao *solum* diferenças acentuadas no teor de argila, havendo casos em que o granito arenizado apresenta valores próximos aos inerentes do *solum* e, outros, em que é substancialmente diferente.

A partir dos valores de carbono conclui-se que o teor de matéria orgânica dos horizontes superficiais deverá variar de 7.5 a 15 %, sendo a média, dos casos considerados, de 11 %; além disso, o teor de matéria orgânica não parece, a *priori*, muito dependente da natureza do coberto vegetal. Em muitos casos, o teor de matéria orgânica tende a ser homogêneo no *solum*, diminuindo bruscamente no horizonte de alteração; quando ocorrem horizontes (B) existe uma variação mais gradual daqueles teores. Embora pareça haver a possibilidade de incorporação profunda de matéria orgânica, tal parece bastas vezes impedido pelos movimentos de massa ao nível do *solum*.

QUADRO 2  
Características gerais de solos do Parque da Peneda-Gerês

Perfil	Profundidade (cm)	Granulometria (%)				Matéria Orgânica		pH		Complexo de troca (me/100 g)						Elementos Livres (%)			
		2000-2000 $\mu\text{m}$	200-200 $\mu\text{m}$	20-20 $\mu\text{m}$	< 2 $\mu\text{m}$	C %	C/N	H <sub>2</sub> O	KCl 1M	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	S	T <sub>(e,n)</sub>	S/T %	Fe	Al
3/79	Horizonte A1	62.3	21.4	7.3	9.0	4.84	17.1	4.8	4.0	0.23	0.14	0.08	0.03	4.43	0.48	16.37	2.9	6.9	2.1
		48.2	26.2	8.5	16.1	3.11	13.8	4.9	4.2	0.11	0.06	0.05	0.02	3.94	0.24	15.55	1.5	6.5	2.7
		58.6	24.7	7.1	9.6	0.91	19.0	5.2	4.4	0.03	0.02	0.04	0.01	1.78	0.10	6.77	1.6	2.3	3.4
		57.4	24.1	8.2	10.3	0.86	20.0	5.3	4.4	0.02	0.01	0.02	0.02	1.60	0.07	7.02	1.0	2.2	1.5
4/79	Horizonte A1	57.4	17.7	9.3	15.6	8.65	25.5	6.0	4.3	0.27	0.11	0.07	0.05	4.18	0.50	32.27	1.5	10.1	2.9
		56.3	18.4	11.9	13.4	1.21	17.3	5.2	4.5	0.04	0.01	0.02	0.02	1.47	0.09	7.11	1.3	5.3	1.5
		54.5	21.0	12.4	12.1	0.43	17.9	5.2	4.3	0.02	0.01	0.02	0.04	—	0.09	5.38	1.7	4.9	1.4
16/79	Horizonte C3	55.6	20.3	11.8	12.3	0.33	13.8	5.2	4.4	0.02	0.01	0.01	0.03	—	0.07	4.85	1.4	4.5	2.2
		49.2	20.6	16.2	14.0	7.32	13.2	4.5	4.0	0.09	0.11	0.04	0.07	3.23	0.31	17.47	1.8	7.7	9.4
		58.4	18.6	14.9	8.1	2.17	13.7	5.0	4.3	0.05	0.03	0.03	0.04	4.21	0.15	13.27	1.1	5.1	6.9
2/79	Horizonte C2	58.6	17.8	15.5	8.1	0.55	5.7	5.0	4.3	0.02	0.03	0.02	0.02	—	0.09	8.23	1.1	5.5	5.0
		58.4	24.4	9.1	8.1	6.31	14.0	4.2	4.0	0.56	0.08	0.03	0.02	2.84	0.69	18.37	3.8	9.4	6.1
		58.3	22.6	9.4	9.7	4.82	14.6	4.4	4.1	0.10	0.03	0.01	0.01	3.33	0.16	24.81	0.6	9.3	1.5
15/79	Horizonte A11	58.5	22.8	10.2	8.5	3.22	14.4	4.8	4.4	0.07	0.02	0.01	0.01	1.87	0.11	18.14	0.6	8.8	1.7
		33.6	33.3	20.5	12.6	0.84	11.7	4.9	4.2	0.05	0.02	0.02	0.03	3.43	0.12	9.21	1.3	12.9	1.7
		35.4	32.2	22.3	10.1	0.41	11.1	5.0	4.2	0.07	0.05	0.01	0.03	—	0.16	9.54	1.7	11.5	1.3
15/79	Horizonte A12	41.9	32.6	18.0	7.5	0.34	10.9	5.2	4.2	0.05	0.05	0.01	0.04	—	0.15	7.35	2.0	8.7	1.1
		44.9	24.9	11.7	18.5	5.39	18.0	4.5	3.8	0.11	0.06	0.03	0.05	3.98	0.35	22.78	1.1	14.3	7.0
		45.8	22.0	15.7	16.5	3.77	19.4	4.8	4.1	0.04	0.02	0.02	0.02	3.20	0.13	17.30	0.8	12.5	7.4
15/79	Horizonte (B21)	31.5	31.2	22.3	15.0	1.31	18.5	5.0	4.4	0.02	0.00	0.00	0.01	1.42	0.03	9.46	0.3	12.0	7.6
		31.9	26.4	25.4	16.3	0.78	19.5	4.9	4.5	0.02	0.01	0.01	0.01	1.04	0.05	7.84	0.6	12.5	7.0
		38.2	14.8	26.6	20.4	0.37	13.2	4.9	4.5	0.02	0.00	0.01	0.01	—	0.04	6.56	0.6	6.7	4.6
5/79	Horizonte A1	46.0	19.3	17.6	17.1	0.14	7.0	5.1	4.5	0.04	0.02	0.02	0.06	—	0.14	4.06	3.4	3.5	2.8
		59.7	24.7	6.5	9.1	5.31	24.8	4.7	4.0	0.03	0.04	0.03	0.10	0.92	0.30	13.12	1.5	9.3	5.7
		63.1	21.8	5.8	9.3	2.69	16.1	5.0	4.3	0.03	0.03	0.02	0.02	1.95	0.14	11.88	1.2	2.5	12.4
5/79	Horizonte A1/C	65.8	24.1	6.1	4.0	0.67	16.0	5.1	4.5	0.01	0.01	0.01	0.02	—	0.05	4.33	1.1	1.8	2.6
		67.4	21.6	5.9	5.1	0.21	7.8	5.1	4.6	0.01	0.00	0.00	0.02	—	0.03	2.63	1.1	1.9	1.9

A razão C/N dos horizontes do *solum* tende a enquadrar-se em dois conjuntos distintos: um com valores da ordem de 13-15 e outro com valores acima de 17. Os valores constantes dos quadros 2 e 3, assim como outros disponíveis, permitem dizer que os solos com coberto de resinosas apresentam valores geralmente superiores a 17, enquanto que os solos sob mata de *Quercus* são sempre inferiores a 15. Note-se, ainda, que ocorre por vezes nítido aumento da relação C/N ao nível do horizonte subsuperficial.

Os valores de pH, embora apresentem alguma variabilidade nos horizontes superficiais — mas à primeira vista independentes da natureza do coberto vegetal —, aumentam geralmente com a profundidade, onde, então, se verifica evidente homogeneidade. Este aspecto geral também é válido para os valores de pH determinados em KCl 1M.

O complexo de troca caracteriza-se, primeiramente, pelo seu baixíssimo nível em bases, cujo valor varia de 0.20 a 0.71 me/100 g, sendo o  $\text{Ca}^{++}$  a base dominante como é normal na generalidade dos solos. Tais valores traduzem, como é óbvio, graus de saturação mínimos, relativamente à capacidade de troca determinada a pH 8.1. Os valores mais elevados de  $\text{Ca}^{++}$  e de S ocorrem em solos com coberto de *Quercus* e de mato natural.

Como seria de esperar o alumínio é o catião de troca dominante, representando percentagens elevadíssimas em relação ao total dos catiões doseados as quais estão compreendidas entre 80 e 90 %. Por outro lado, o  $\text{H}^+$  de troca representa valores muito baixos relativamente ao somatório  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$ ; valores relativos a dois perfis (quadro 4) indicam níveis da ordem dos 10 %, os quais são considerados típicos dos «Sols Bruns» (ROUILLER *et al*, 1981). O grau de saturação em bases, em relação à capacidade de troca catiónica determinada ao pH do solo, é sempre inferior a 10 %. Aliás, estes valores não deverão afastar-se da generalidade dos casos, uma vez que a capacidade de troca catiónica ao pH do solo, determinada em 10 horizontes superficiais, apresentou níveis de 3.20 a 3.65 me/100 g. Finalmente, aponte-se as diferenças no respeitante ao manganês de troca, as quais sugerem que no perfil 12/79 existem condições para alguma mobilização biológica (GUILLET & SOUCHIER, 1979), comparativamente ao perfil 9/79.

Registe-se, como facto interessante, que a capacidade de troca catiónica do *solum*, determinada a pH 8.1, apresenta valores geralmente mais elevados nos horizontes subsuperficiais (horizontes que



QUADRO 4

*Caracterização do complexo de troca ao pH do solo*

Perfil e horizonte	me/100 g						H <sup>+</sup>	S	Al <sup>+++</sup>
	S	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	Fe <sup>+++</sup>	Mn <sup>+++</sup>	T pH do solo	H <sup>+</sup> +Al <sup>+++</sup>	T pH do solo	T pH do solo
9/79									
A1	0.24	0.27	3.02	0.02	0.0	3.55	8.2	6.8	85.1
A/BA1	0.20	0.21	2.13	0.0	0.0	2.54	9.0	7.9	83.9
C1	0.10	0.12	1.15	0.0	0.0	1.37	9.5	7.3	83.9
C2	0.09	0.12	0.91	0.0	0.0	1.11	11.7	8.1	82.0
12/79									
A1	0.24	0.21	2.84	0.02	0.05	3.36	7.9	7.1	84.5
A/BA1	0.15	0.24	3.11	0.01	0.02	3.53	7.2	4.2	88.1
(B)	0.67	0.10	1.83	0.0	0.0	2.00	5.2	3.5	91.5
C	0.04	0.05	0.92	0.0	0.0	1.01	5.2	4.0	91.1

designados por A/BA1) do que nos horizontes superficiais; os dados constantes do quadro 4 sugerem que tal situação também poderá acontecer para os valores determinados ao pH do solo. O aspecto referido é evidenciado na figura 1, onde se verifica, principalmente no perfil 12/79, um nível nitidamente mais elevado de cargas variáveis no horizonte subsuperficial; aliás, o horizonte (B) apresenta, ainda, valores muito próximos do horizonte superficial.

O aspecto referido poder-se-ia de imediato imputar à matéria orgânica. Todavia, o teor de carbono correspondente à matéria orgânica não humificada não é substancialmente diferente nos dois primeiros horizontes (quadro 5) e o teor de carbono que corresponde à matéria orgânica humificada e ligada é inferior no horizonte subsuperficial e muito mais no horizonte (B) do perfil 12/79. Resta considerar a proporção e a natureza dos ácidos fúlvicos e húmicos, o que parece não ser substancialmente diferente nos dois primeiros horizontes.

Assim sendo, sugere-se a importância que poderá ter a natureza e o estado das diferentes espécies mineralógicas, assim como a proporção e natureza dos elementos livres, principalmente o alumínio (LOVELAND & BULLOCK, 1976).

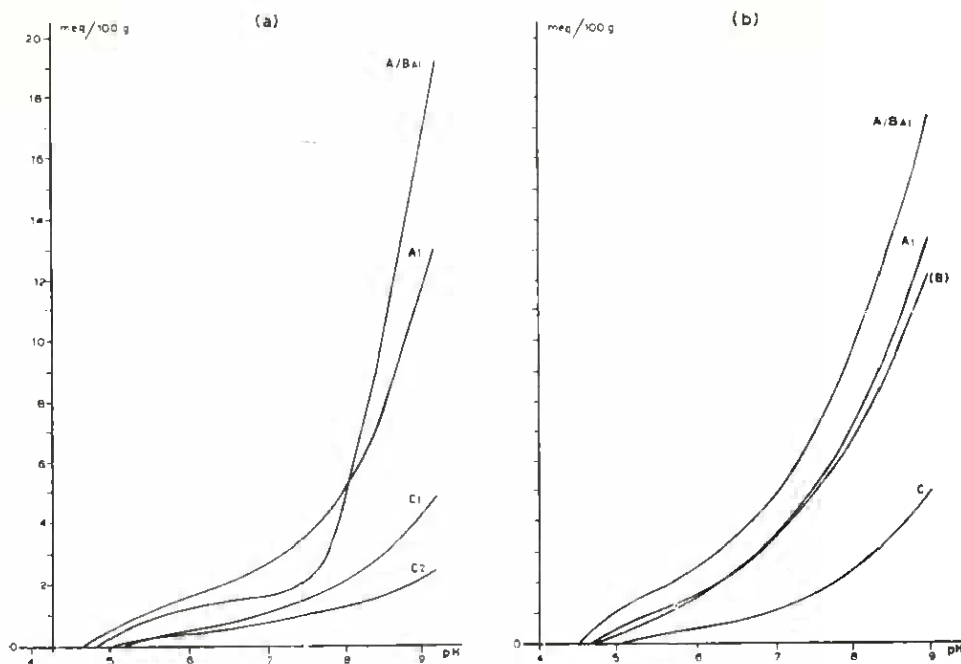


Fig. 1 — Cargas variáveis dos diferentes horizontes dos perfis (a) 8/79 e (b) 12/79. A titulação foi efectuada sobre um residuo de 5 g de solo, com uma solução de soda 0.1M

## 5. SUSTÂNCIAS HÚMICAS

Antes de considerar os resultados da extracção das substâncias húmicas vamos especificar mais um pouco os aspectos relacionados com a razão C/N. Com efeito, os solos das áreas de altitudes compreendidas entre 650 e 810 metros apresentam aquela razão elevada nos casos em que a vegetação é dominada pelo mato natural ou por resinosas, acontecendo o contrário quando dominam as Quercíneas. Parece, neste caso, haver influência determinante da vegetação. Entretanto, nos solos de maior altitude (Quadro 1), os resultados referidos (e outros determinados, mas não indicados) sugerem que ocorre um abaixamento da razão C/N, a qual parece independente da vegetação. Trata-se de aspecto que já foi referido por outros autores (BOUDOT, 1982). De facto, este investigador conclui que os hidróxidos amorfos (fundamentalmente os de alumínio) exercem protecção dos constituintes orgânicos relativamente à biodegra-

dação, aspecto que também foi verificado em solos da Galiza (CARBALLAS & JACQUIN, 1979). Além disso, aquele autor considera que, de acordo com os níveis de matéria orgânica, pode ocorrer fixação mais ou menos intensa de azoto mineral pelos próprios constituintes orgânicos, contrariando-se a respectiva lixiviação e promovendo-se o enriquecimento do solo. Todavia, este enriquecimento é apenas aparente uma vez que a biodegradação é contrariada.

Os dados relativos à extração das substâncias húmicas inserem-se no quadro 5.

Acentue-se primeiramente, que a percentagem de matéria orgânica não humificada, em relação ao carbono total, para qualquer dos perfis, é bastante semelhante nos dois horizontes mais superficiais. Os valores mais elevados correspondem ao perfil 12/79 (vegetação herbáceo-arbustiva). Neste perfil, por outro lado, a proporção de humina é menor para qualquer dos horizontes do que no perfil 9/79 e, contrariamente a este, tende a decrescer com a profundidade.

A taxa de extração global das substâncias húmicas aumenta com a profundidade. Verifica-se, como era de esperar, que a extração a  $\text{pH} \leq 10$  é muito inferior à da soda 0.1M.

A razão C/N do extracto global é elevada e decrescente com a profundidade, no caso do perfil 8/79, ocorrendo o contrário com o perfil 12/79. Verifica-se, todavia, que a razão C/N no perfil 8/79 é inferior e mais constante, nos dois primeiros horizontes, na extração a  $\text{pH} \leq 10$ , o que significa serem os constituintes húmicos extractáveis com soda 0.1M os determinantes da característica global. No perfil 12/79 constata-se que a razão C/N é muito mais baixa nos horizontes superficiais, para qualquer das extrações, e tende a tomar valores mais elevados nos mais profundos. Conclui-se que as diferenças da razão C/N para os dois perfis estão expressas nas fracções húmicas.

Nas extrações parciais e globais a distribuição dos ácidos fúlvicos e húmicos toma aspecto semelhante. Isto é, há um brusco aumento da proporção de ácidos fúlvicos no horizonte (B) de qualquer dos perfis. No entanto, a relação ácidos fúlvicos/ácidos húmicos é muito mais elevada na extração a  $\text{pH} \leq 10$  do que na extração com soda 0.1 M, sendo para qualquer dos casos mais elevada no perfil 8/79. A relação anterior, no que respeita ao azoto, sugere que os ácidos húmicos extraídos a  $\text{pH} \leq 10$  são mais ricos

QUADRO 5

Resultados referentes à extração das substâncias húmidas

Perfil n.º	Horizonte	Ce/Ct %	Ne/Ni %	Ce/Ne	CAF/CAH NAF/NAH	C/N (AF)	C/N (AH)	CAF/Ct %	CAH/Ct %	Cl/Ct %	Humina
8/79*	A1	11.2	13.7	14.9	1.71	19.7	10.5	7.1	4.1	—	—
	A/BA1 (B)	8.1 16.7	10.1 13.1	14.0 15.5	1.38 2.73	15.8 19.2	11.5 10.1	5.3 12.2	2.8 4.5	—	—
12/79*	A1	12.6	14.4	11.7	0.85	17.1	9.2	5.8	6.8	—	—
	A/BA1 (B)	13.0 21.2	16.5 18.8	11.9 15.3	0.99 1.74	17.8 18.0	9.1 10.4	6.5 13.5	6.6 7.8	—	—
8/79**	A1	30.4	23.8	23.2	0.45	24.1	22.9	9.4	21.0	—	—
	A/BA1 (B)	32.9 28.6	23.6 22.9	20.3 15.2	0.37 0.92	17.0 11.6	21.9 21.0	8.9 13.7	24.0 14.9	—	—
12/79**	A1	21.5	24.5	11.7	0.42	16.6	10.4	6.3	15.2	—	—
	A/BA1 (B)	26.2 29.0	26.5 27.5	14.9 14.2	0.48 1.09	13.6 13.9	15.7 14.5	8.6 15.2	17.6 13.9	—	—
8/79***	A1	41.6	37.5	20.2	0.65	22.0	19.1	16.5	25.1	24.6	33.80
	A/BA1 (B)	41.0 45.3	38.7 36.0	18.6 15.3	0.53 1.34	16.5 14.3	20.0 14.2	14.2 25.9	26.8 19.3	23.4 18.8	35.60 38.00
12/79***	A1	34.1	38.9	11.7	0.55	16.8	10.0	12.1	22.0	37.6	28.30
	A/BA1 (B)	39.2 50.2	43.0 46.4	13.8 14.6	0.63 1.33	15.2 15.6	13.1 13.5	15.1 28.7	24.1 21.7	35.1 25.5	25.70 24.10

(\*) e (\*\*\*) — Valores relativos à extração com soda a pH ≤ 10, com soda 0.1 M e aos conjuntos das duas anteriores, respectivamente.  
 Ce — Carbono extraído, Ct — Carbono total, Cl — Carbono correspondente à matéria orgânica livre, CAF — Carbono dos ácidos fúlvicos,  
 CAH — Carbono dos ácidos húmicos, Ne — Azoto extraído, NAF — Azoto dos ácidos fúlvicos, NAH — Azoto dos ácidos húmicos.

em azoto. Distribuição dos constituintes húmicos como a referida, são indicadas por outros autores para solos com características podzólicas (HERBAUTS, 1982) e para a sequência dos horizontes B21h, B22h e B23h (HIGASHI *et al*, 1981).

A razão C/N dos ácidos fúlvicos da extracção a  $\text{pH} \leq 10$  é elevada e tende a ter valores uniformes para qualquer dos perfis e horizontes; na extracção com soda 0.1M os valores daquela relação são mais elevados nos horizontes superficiais e tendem a diminuir com a profundidade. No que toca aos ácidos húmicos a razão C/N é baixa e muito semelhante na extracção a  $\text{pH} \leq 10$ , aumentando quando se trata da extracção com soda 0.1M.

Os resultados globais sugerem que no perfil 8/79 haverá biodegradação dos ácidos húmicos facilmente extractáveis, o que não favorecerá a acumulação de azoto, pois, os ácidos húmicos mais evoluídos e representativos são muito mais pobres em azoto. No perfil 12/79, por seu turno, os ácidos húmicos mais evoluídos do horizonte superficial não são significativamente mais pobres em azoto do que os ácidos húmicos facilmente extractáveis. Neste caso parece haver manifesta retenção de azoto no horizonte superficial por intermédio do processo de humificação global.

Não havendo diferenças acentuadas ao nível dos constituintes aluminosos livres (quadros 2 e 3), as particularidades indicadas poderão ser devidas à intensidade da biodegradação e de fixação pela matéria orgânica das formas de azoto minerais (BOUDOT, 1982). Para tal interpretação devem ter-se em conta as diferentes condições ecológicas onde os perfis se encontram, bem como o facto de o de maior altitude estar localizado em área de pastoreio secular.

## 6. EXTRACÇÕES SELECTIVAS (Quadro 6)

### Tetraborato e pirofosfato de sódio

Os resultados relativos a estes extractantes são assaz peculiares. Primeiro, é evidente que o  $\text{Fe}_i$  é mínimo relativamente ao  $\text{Fe}_d$ , não sendo visível, também, qualquer aspecto de redistribuição. Por seu turno, o  $\text{Al}_i$  é extraído em proporções muito mais elevadas, denotando, além disso, aspectos de redistribuição. Assim, no caso vertente, os chamados complexos móveis (BRUCKERT, 1979) apresentarão a fracção inorgânica predominantemente constituída por alumínio.

## QUADRO 6

Resultados relativos à extração do ferro, alumínio e carbono, pelo tetraborato de sódio, pirofosfato de sódio e reagente de Tamm

Perfil	Horizontes	CARBONO				FERRO						ALUMÍNIO						Relações atômicas						
		C <sub>t</sub> %	C <sub>p</sub> %	C %	C <sub>p</sub> %	Fe <sub>t</sub> %	Fe <sub>p</sub> %	Fe <sub>o</sub> %	Fe <sub>d</sub> %	Fe <sub>t</sub> %	Fe <sub>p</sub> %	Fe <sub>o</sub> %	Fe <sub>d</sub> %	Al <sub>t</sub> %	Al <sub>p</sub> %	Al <sub>o</sub> %	Al <sub>d</sub> %	Al <sub>t</sub> %	Al <sub>p</sub> %	Al <sub>o</sub> %	Al <sub>d</sub> %	Al <sub>t</sub> +Fe <sub>t</sub> C <sub>t</sub>	Al <sub>p</sub> +Fe <sub>p</sub> C <sub>p</sub>	
8/79	A1 A/BA1 (B) C	1.12	20.9	2.31	43.2	0.25	5.05	5.89	3.1	85.7	60.0	70.0	2.79	8.84	9.47	29.5	93.3	100.0	0.10	0.17	0.10	0.17	0.10	0.17
		0.93	21.9	2.12	48.5	0.11	3.99	4.75	1.7	84.0	61.3	73.0	2.89	10.20	10.90	26.4	97.0	104.0	0.14	0.22	0.14	0.22	0.14	0.22
		0.37	35.9	0.69	66.9	0.15	2.05	2.46	3.5	83.3	47.8	57.3	0.87	3.37	3.88	23.6	91.6	105.4	0.11	0.28	0.11	0.28	0.11	0.28
		0.28	70.0	0.34	85.0	0.10	0.81	0.81	4.9	100.0	39.9	39.9	0.41	1.92	2.47	22.5	105.0	135.7	0.07	0.29	0.07	0.29	0.07	0.29
9/79	A1 A/BA1 C1 C2	1.20	27.6	2.38	54.8	0.26	3.76	4.18	4.3	89.9	62.0	68.9	2.04	5.75	6.06	34.9	98.3	103.6	0.08	0.14	0.08	0.14	0.08	0.14
		1.05	18.0	3.75	64.8	0.11	4.16	4.48	1.7	92.9	65.1	70.1	2.93	11.70	11.90	25.0	100.0	101.8	0.13	0.16	0.13	0.16	0.13	0.16
		0.45	51.6	0.68	77.3	0.10	0.62	0.62	3.6	100.0	22.3	22.3	1.24	3.20	3.92	37.6	97.0	118.8	0.12	0.23	0.12	0.23	0.12	0.23
		0.24	77.4	0.29	93.5	0.05	0.20	0.20	1.9	100.0	7.5	7.5	0.56	1.94	2.45	27.5	95.1	120.1	---	---	---	---	---	---
12/79	A1 A/BA1 (B) C	1.47	26.3	2.33	42.6	0.37	4.47	6.39	2.6	70.0	30.9	44.1	2.50	6.39	7.60	31.7	81.1	96.4	0.08	0.16	0.08	0.16	0.08	0.16
		1.54	30.9	2.61	52.3	0.54	6.14	6.90	4.3	89.0	49.1	55.2	2.75	7.86	8.06	31.9	91.2	97.5	0.08	0.18	0.08	0.18	0.08	0.18
		1.07	46.1	1.61	69.6	0.36	2.06	2.47	4.2	83.4	23.8	28.5	2.59	6.49	7.01	38.9	87.5	94.5	0.12	0.21	0.12	0.21	0.12	0.21
		0.58	53.2	0.33	87.5	0.20	0.61	0.81	5.5	100.0	16.7	22.1	1.68	3.46	4.88	39.3	80.8	114.3	0.13	0.20	0.13	0.20	0.13	0.20

O  $Fe_p$  atinge valores próximos dos do  $Fe_o$ , o que dá uma ideia da influência da matéria orgânica na amorfização do ferro; os valores de  $Fe_p$ , num dos casos pelo menos, indicam clara redistribuição do ferro ligado à matéria orgânica. Por outro lado, o valor de  $Fe_p$  relativamente ao  $Fe_d$  é sempre máximo ao nível do horizonte subsuperficial, tal como acontece com o  $Fe_o$ . As percentagens da ordem de 100 % ao nível do horizonte de alteração poder-se-ão dever, em parte, à extracção de partículas ferruginosas (MADEIRA & JEANROY, 1983).

No caso do  $Al_p$ , o nível de extracção é muito superior ao indicado para o  $Fe_p$ , o que significa a ocorrência de complexos organo-minerais imóveis (BRUCKERT, 1979) cuja fracção inorgânica é ainda essencialmente aluminosa. A redistribuição do  $Al_p$  é evidente em todos os perfis considerados, notando-se, ainda, que a relação  $Al_p/Al_d$  é máxima nos horizontes subsuperficiais (A/BA1). Este aspecto reforça, ainda mais, a ideia da influência da matéria orgânica no estado dos elementos livres nos solos em estudo (McKEAGUE *et al*, 1971; HIGASHI *et al*, 1981).

Os valores de  $Si_p$  caracterizam-se por apresentar um máximo no horizonte subsuperficial; no caso do  $Si$ , tal aspecto não é evidente, pois que o respectivo nível de extracção é praticamente nulo.

Alguns dados disponíveis da extracção com soda 0.1M, tanto no que respeita ao ferro como ao alumínio, indicam máximos de extracção ao nível do horizonte subsuperficial. Tal facto, demonstra ainda mais uma vez a redistribuição ou diferentes formas destes elementos e a sua íntima relação com as substâncias húmicas extraídas.

#### Reagente de Tamm

As extracções com o reagente de Tamm indicam, para os perfis estudados, nítida redistribuição de alumínio e, em alguns casos, de ferro (ferro amorfo). O  $Al_o$  apresenta valores semelhantes ao  $Al_d$ , nos horizontes superficiais, podendo ser superior nos horizontes mais profundos, o que eventualmente se poderá dever à dissolução de minerais ou formas de alumínio mais susceptíveis ao reagente de Tamm (BOUDOT, 1982). Por isso, não nos parece, como adiante se dirá, muito correcto determinar o «coeficiente de redistribuição» do alumínio a partir dos valores relativos ao reagente de Tamm.

Os valores de  $Fe_o$  relativamente aos de  $Fe_d$  («activity

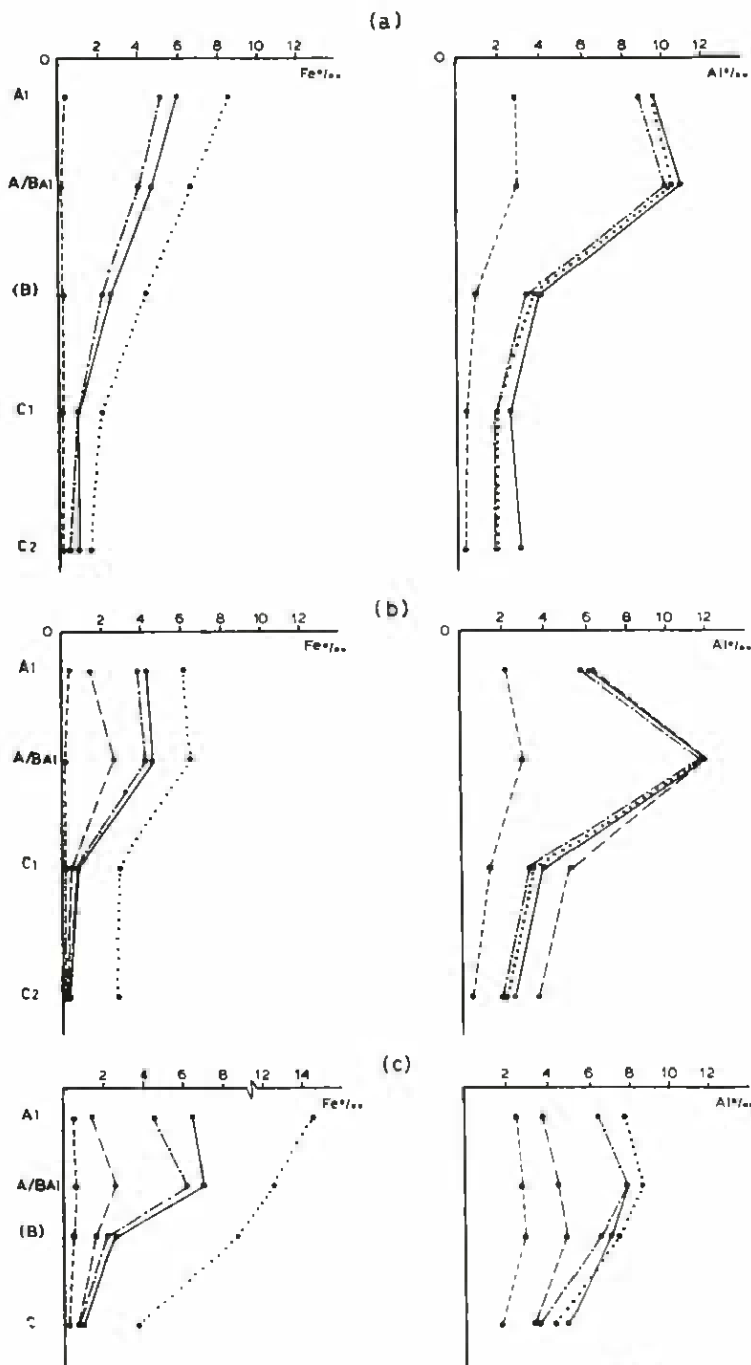


Fig. 2 — Distribuição do ferro e do alumínio, em profundidade, extraídos pelo tetraborato de sódio a pH 9.7 (---), pelo pirofosfato de sódio 0.1M (-.-), pela soda 0.1M (\_\_\_), pelo reagente de Tamrn (—) e pelo método de Mehra e Jackson (....)

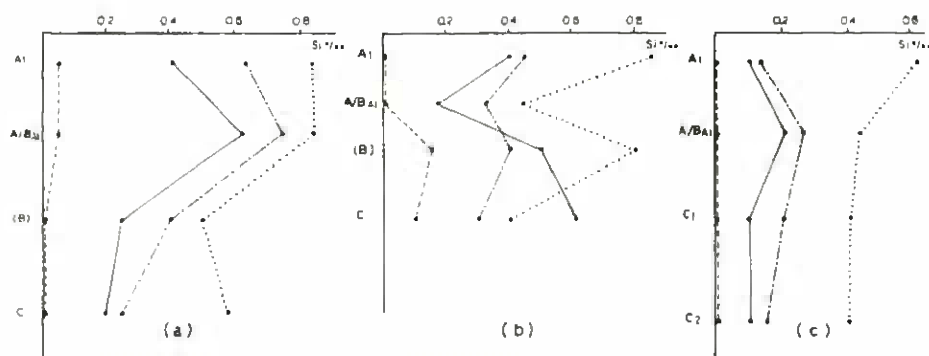


Fig. 3 — Distribuição do silício nos perfis 8/79 (a), 12/79 (b) e 9/79 (c), extraído pelo tetraborato de sódio (---), pelo pirofosfato de sódio 0.1M (-.-.-), pelo reagente de Tamm (—) e pelo método de Mehra e Jackson (.....)

ratio») (BLUME & SCHWERTMANN, 1969), representam sempre níveis muito elevados, coincidindo o respectivo máximo sempre com o horizonte subsuperficial (A/BAl). Os valores referidos estão no domínio do que já foi considerado para solos com carácter podzólico (LOVELAND & BULLOCK, 1976; HERBAUTS, 1982). Mas, mais importante do que isso é a diferença em relação aos horizontes de alteração (BLUME & SCHWERTMANN, 1969), o que demonstra claramente o efeito da matéria orgânica na manutenção e evolução do ferro sob forma amorfa nos horizontes superficiais.

Acrescente-se, por fim, que o perfil onde é evidente a redistribuição do ferro denominado amorfo corresponde a situação ecológica bastante diferenciada dos restantes (quadro 1).

#### Método de Mehra e Jackson

O ferro ( $Fe_d$ ) e o alumínio ( $Al_d$ ) livres, extraídos pelo método de Mehra e Jackson (1960), têm comportamento diferenciado tal como se pode constatar no quadro 2 e observar na figura 2. Com efeito, verifica-se que o  $Fe_d$ , embora exista em níveis elevados nos horizontes superficiais, apresenta decréscimo gradual com a profundidade. Ao  $Al_d$ , pelo contrário, quando ocorre diferenciação de horizontes no *solum*, correspondem-lhe valores máximos ao nível do horizonte subsuperficial (A/BAl). Assim, uma vez que os teores de argila não são suficientemente diferenciados, é pouco plausível que seja esta a causa do enriquecimento subsuperficial em alu-

mínio. Por outro lado, a distribuição do  $Fe_d$  está sempre em conformidade com valores máximos nos horizontes superficiais. Deste modo, o máximo de alumínio ao nível do horizonte subsuperficial (A/Bal) deverá ser explicado pela sua redistribuição (BLUME & SCHWERTMANN, 1969; SOUCHIER, 1971; BALL & BEAUMONT, 1972; ESPIAU & PEYRONEL, 1977; HERBAUTS, 1982; BOUDOT, 1982). A intensidade aparente de redistribuição do alumínio livre ( $Al_d$ ) pode ser definida por um «coeficiente de redistribuição» (SOUCHIER, 1971; HERBAUTS, 1982). O referido coeficiente apresenta valores próximos de 1.2 até valores um pouco superiores a 3. Estes têm sido considerados característicos do desencadeamento de um processo tipo podzolização incipiente sem que, porém, ocorram manifestações morfológicas evidentes: a criptopodzolização (SOUCHIER, 1971; DUCHAUFOR, 1978; ESPIAU & PEYRONEL, 1977; HERBAUTS, 1982; BOUDOT, 1982). O aspecto referido parece ocorrer em outros solos por nós caracterizados (MADEIRA & MEDINA, 1981).

Os resultados insertos no quadro 6 mostram que o  $C_i$  e o  $C_p$  podem apresentar máximos nos horizontes subsuperficiais, como é o caso do perfil em que se aludiu haver redistribuição de ferro amorfo. Trata-se de situação de certo modo análoga à referida para solos onde já ocorre podzolização incipiente (HERBAUTS, 1982). Entretanto, as percentagens de  $C_i$  e  $C_p$  relativamente ao carbono total não apresentam qualquer diferenciação especial no perfil; aumentam regularmente com a profundidade e, por isso, não permitem a obtenção de qualquer dado de diagnóstico.

A relação atômica  $Al_i + Fe_i / C_i$  apresenta valores de 0.08 a 0.10, nos horizontes superficiais e de 0.12 a 0.14 nos horizontes subsuperficiais. Por seu turno, a relação  $Al_p + Fe_p / C_p$  caracteriza-se por valores de 0.14 a 0.17 e 0.16 a 0.22 para os horizontes superficiais e subsuperficiais\*, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados na caracterização de horizontes B21h e B22h (HIGASHI *et al*, 1981), os quais, por outro lado, estão dentro do nível da relação fracção inorgânica/matéria orgânica obtida para complexos de ácidos fúlvicos-Fe (Al) (McKEAGUE *et al*, 1971).

(\*) Os valores de  $(Al_p + Fe_p) / C_p$  tendem a ser mais elevados, ainda, ao nível do horizonte (B) e mesmo de alteração, o que prova o efeito da matéria orgânica na mobilização e manutenção do alumínio e do ferro sob a forma de complexos.

Assinale-se que a relação  $Al_i + Fe_i / C_i$  é sempre inferior à relação  $Al_p + Fe_p / C_p$  para qualquer dos horizontes e, por outro lado, qualquer destas aumenta sempre nos horizontes subsuperficiais. De acordo com alguns autores (HIGASHI *et al.* 1981), este aumento dever-se-ia à contínua complexação provocada pelas substâncias húmicas formadas no horizonte superficial ou provenientes dos horizontes orgânicos suprajacentes, a que se associaria a variação da relação ácidos fúlvicos/ácidos húmicos (quadro 6).

Os resultados das extracções selectivas permitem concluir que os solos em estudo são caracterizados pela redistribuição de  $Al_i$ ,  $Al_p$ ,  $Al_o$  e  $Al_d$ . Em alguns casos, por outro lado, poderá ocorrer redistribuição de  $Fe_p$  e  $Fe_o$ . Tal facto, significa que, para as condições ecológicas locais, o alumínio manifesta solubilidade mais elevada do que o ferro (BLUME & SCHWERTMANN, 1969; BALL & BEAUMONT, 1972), sendo, por isso, mais facilmente mobilizado no respectivo perfil. Assim, o horizonte subsuperficial — que designamos por A/BAI — é um horizonte de diagnóstico com características peculiares. Com efeito, além de evidenciar acumulação de constituintes aluminosos ou, melhor, organo-aluminosos (e às vezes de ferro), caracteriza-se por relações  $Fe_p / Fe_d$ ,  $Fe_o / Fe_d$ ,  $Fe_p / Fe_o$ ,  $Al_p / Al_d$  e  $Al_p / Al_o$  muito elevadas e máximas no conjunto dos horizontes do *solum*, por valores máximos de capacidade de troca catiónica e de carga variável e, eventualmente, por máximos da razão C/N e de  $Si_p$  e  $Si_o$ . Por fim, nota-se que a aplicação do método de Segalen permite concluir que o horizonte A/BAI se caracteriza por extracção completa do alumínio ao fim dos 2.<sup>os</sup> ou dos 3.<sup>os</sup> tratamentos, enquanto que nos outros horizontes é bastante gradual e prolongada, o que corrobora as diferenças já indicadas.

## 7. ANÁLISE MINERALÓGICA DA FRACÇÃO ARGILOSA

### 7.1. DIFRACÇÃO PELOS RAIOS X

O diagramas de Raios X das amostras dos quatro perfis estudados estão representado nas figuras 4 e 5. Observa-se em todos os perfis uma diminuição mais ou menos acentuada das reflexões correspondentes à gibsite, dos horizontes de alteração para os horizontes do *solum*, o que é mais nítido nos perfis 2/79 e 9/79.

Nos horizontes A/BAI dos perfis P8/79, P9/79 e P12/79 (e presumivelmente no horizonte A1 do perfil P8/79) verifica-se o deslocamento parcial do pico a 4.83 Å da gibsite para 4.72 Å e uma

OS SOLOS FORMADOS A PARTIR DE ROCHAS GRANITICAS

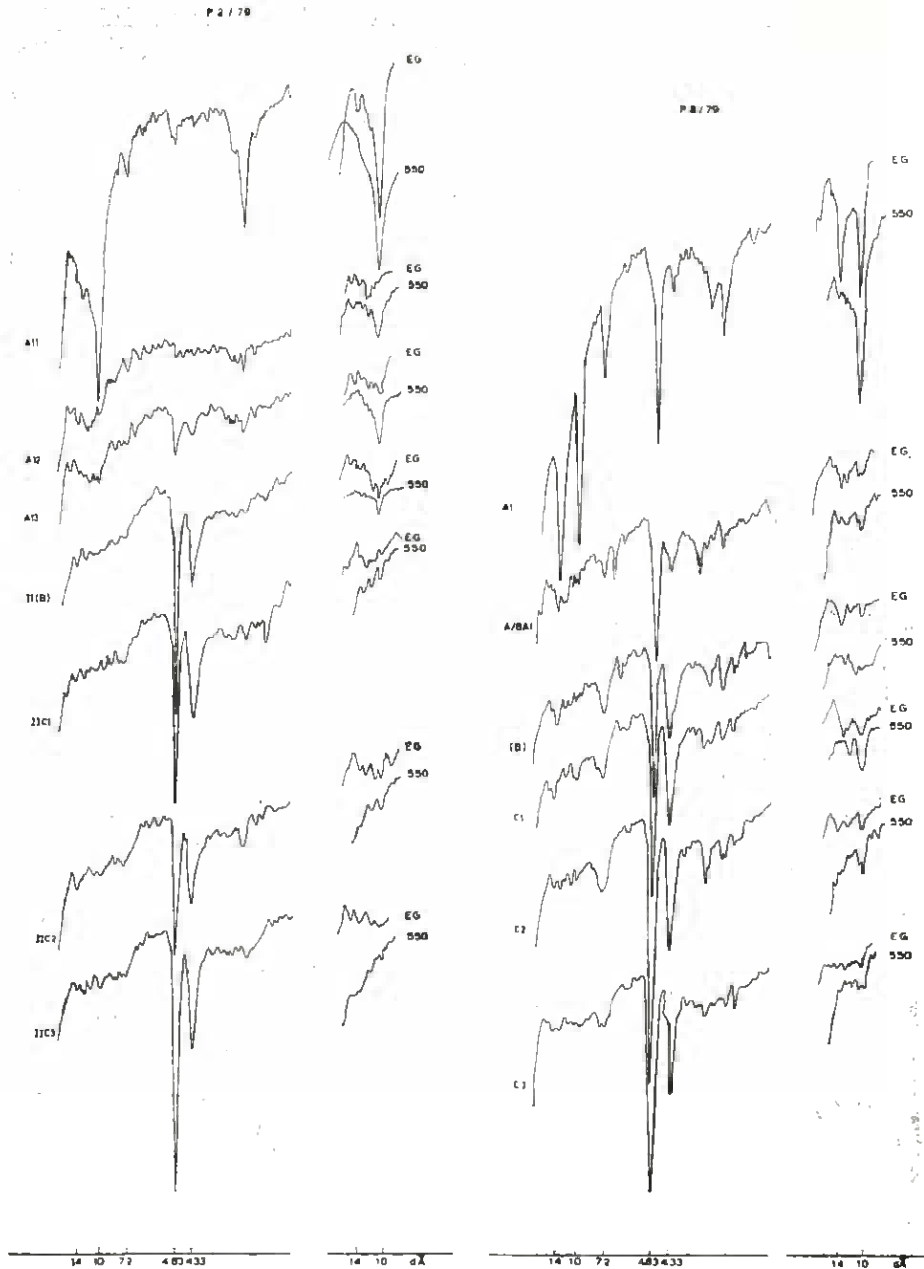


Fig. 4 — Diagramas de Rx da fracção argilosa dos diferentes horizontes dos perfis P2/79 e P8/79

diminuição da intensidade da reflexão a 4.33 Å. Estas modificações parecem corresponder a uma desorganização da estrutura da gibsite, podendo mesmo admitir-se a ocorrência dum polimorfo da gibsite, a bayerite (ROOKSBY, 1961). Por outro lado, a presença de um pico a cerca de 6.1 Å, principalmente nos horizontes A/BAl, poderá indicar, ainda, a presença de outra forma cristalizada de alumínio, a bohemite (ROOKSBY, 1961).

Por seu turno, o pico na região dos 7 Å, correspondente aos minerais do grupo da caulinite, é geralmente largo e dissimétrico

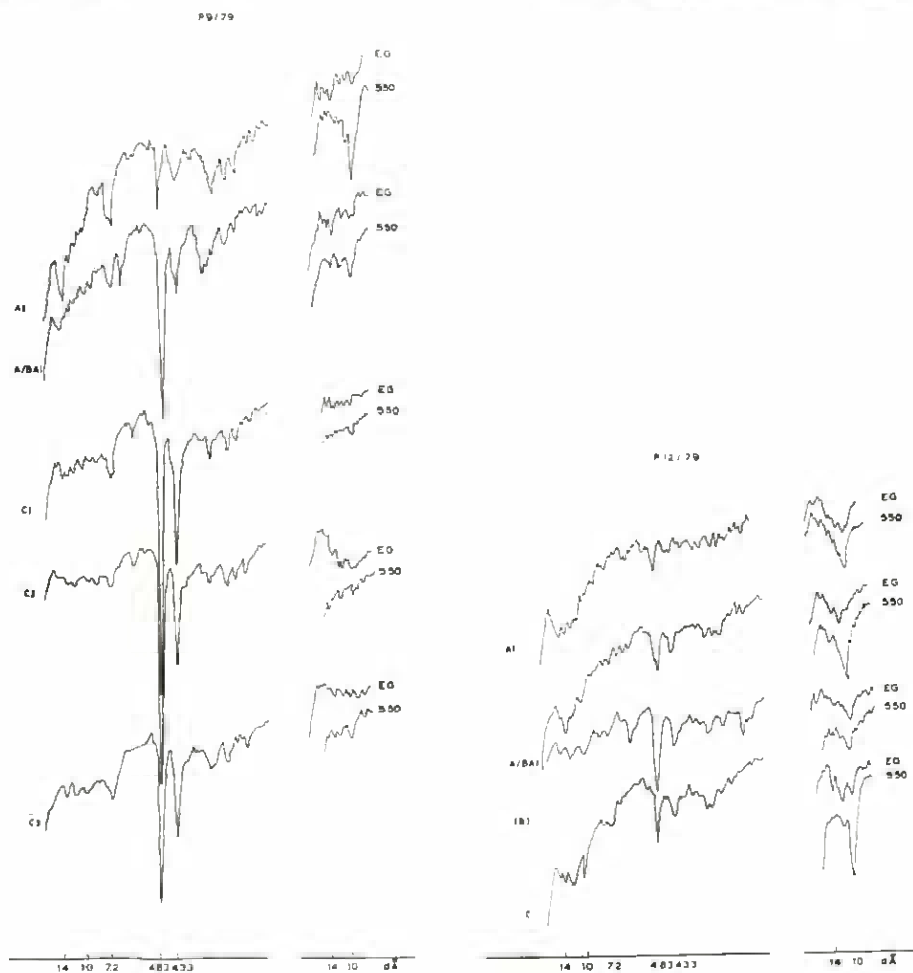


Fig. 5 — Diagramas de Rx da fracção argilosa dos diferentes horizontes dos perfis P9/79 e P12/79

e aberto para os pequenos ângulos nas amostras correspondentes aos horizontes A/BA1 e C, podendo acontecer o contrário nos horizontes superficiais (A1) dos perfis P2/79 e P8/79, onde o pico referido é estreito e simétrico, o que parece corresponder a melhor cristalinidade daqueles minerais. Esta diferenciação deverá corresponder à passagem de minerais de natureza haloisítica para minerais com características mais tipicamente de caulinite.

Os minerais micáceos encontram-se presentes em todos os horizontes, em diminutas quantidades, com excepção das amostras dos horizontes A1 dos perfis P2/79 e P8/79, onde se encontram bem representados. Tal facto significa, como é inequívoco para o caso do perfil P2/79, que esses horizontes podem encontrar-se fortemente influenciados por material alóctono, o qual é o resultado dos diferentes processos erosivos.

Os minerais a 14 Å, em geral mal representados (com exclusão da amostra do horizonte A1 do perfil P8/79), manifestam características quer da vermiculite quer de um mineral mais ou menos expansível do tipo montmorilonite, este sobretudo nos horizontes superficiais.

Os minerais interestratificados (14-10 Å) encontram-se presentes em diminutas quantidades, o que dificulta a sua correcta identificação. Parece, no entanto, que certas características observadas quando as amostras são submetidas a testes de aquecimento e tratamento com etileno-glicol são suficientes para se admitir a existência de interestratificados do tipo vermiculite-mica com alumínio na camada interfoliar.

## 7.2. ANALISE TERMODIFERENCIAL (ATD)

A observação dos diagramas de ATD (figuras 6 e 7) indica que a gibsite é o mineral secundário largamente predominante na fracção argilosa dos horizontes de alteração. Para além disso, verifica-se que o pico endotérmico a 300°C, atribuído à presença de gibsite (MACKENZIE, 1970), diminui bastante de intensidade dos horizontes de alteração para os horizontes do *soilum*, o que está em acordo com os resultados da análise radiográfica.

No respeitante ao pico endotérmico situado entre 500-550°C, atribuível aos minerais do grupo da caulinite, as variações da sua intensidade não são tão acentuadas nos diferentes horizontes comparativamente com o que sucede com a gibsite, muito embora nos

horizontes superficiais dos perfis P2/79, P8/79 e P12/79 ocorra uma diminuição de intensidade. É provável, todavia, que a intensidade do pico entre 500-550°C esteja afectada pelos acidentes exotér-

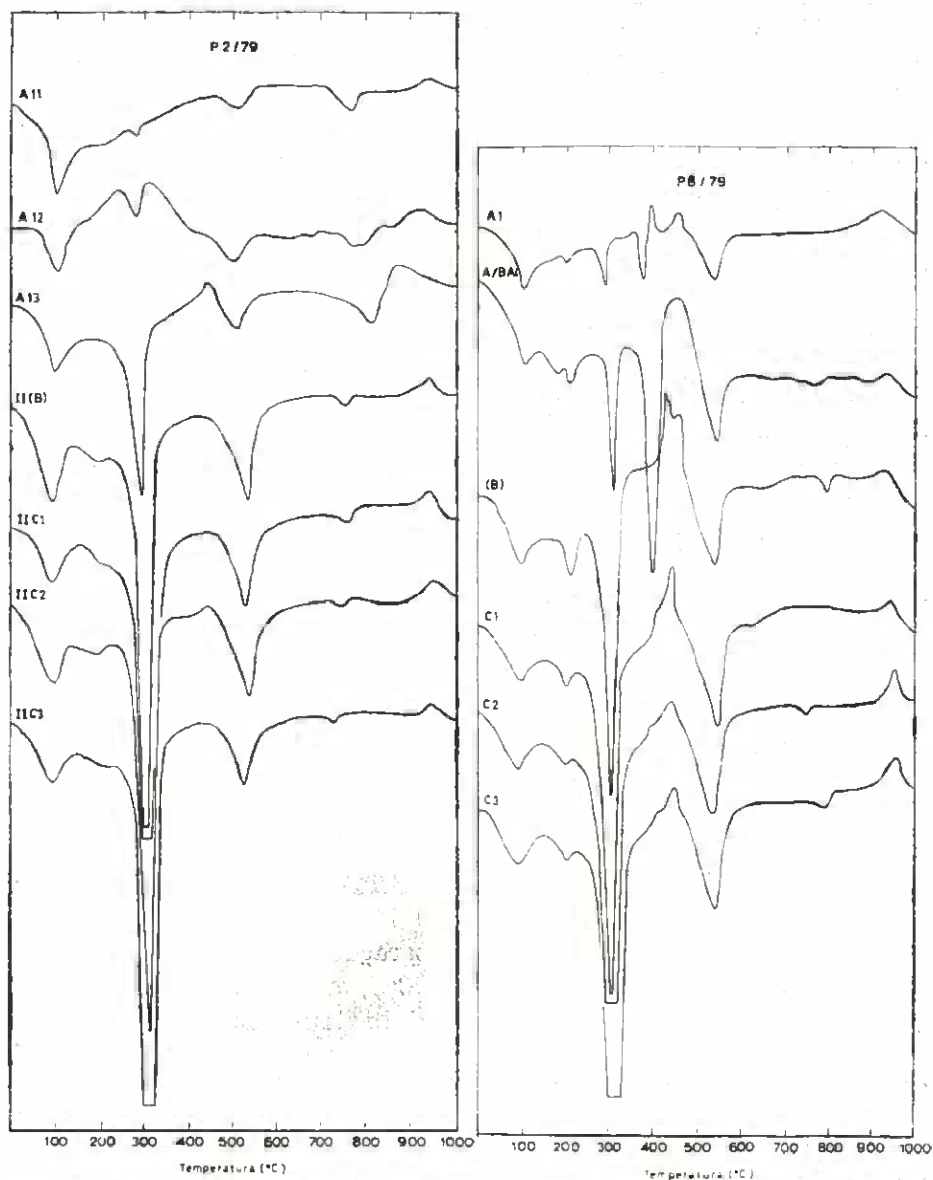


Fig. 6 — Diagramas de ATD da fracção argilosa dos diferentes horizontes dos perfis P2/79 e P8/79

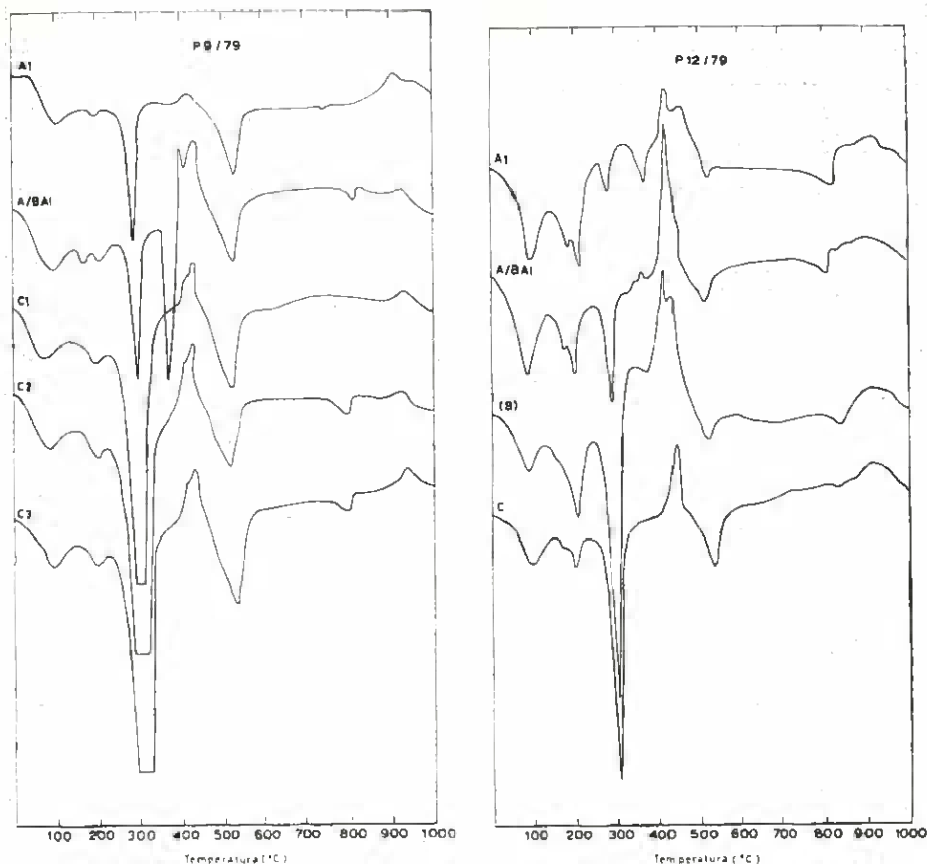


Fig. 7 — Diagramas de ATD da fracção argilosa dos diferentes horizontes dos perfis P9/79 e P12/79

micos na região dos 400-500°C observados nos diagramas da maior parte das amostras, os quais são atribuíveis às substâncias húmicas fortemente ligadas aos constituintes da fracção argilosa.

Em todas as amostras estudadas aparece, com intensidade variável, um pico endotérmico entre os 100-130°C correspondente à perda de água de hidratação e que poderá ser atribuído à presença da haloisite e/ou caulinite mal cristalizada. Aliás, nas amostras do perfil P12/79 onde aquele pico se manifesta relativamente bem marcado foi confirmada, pela observação no microscópio electrónico de transmissão, a presença de haloisite.

A ocorrência dum acidente endotérmico, em geral mais intenso nos horizontes do *solum*, a cerca de 200°C poderá atribuir-se a água

mais fortemente retida em estruturas possivelmente aluminosas (MACKENZIE, 1970; HSU, 1977), menos bem organizadas do que a gibbsite. Note-se, ainda, que nas amostras dos horizontes A/BAI o referido pico aparece desdobrado, denotando gradações do aspecto referido.

O pico endotérmico a 400°C que se manifesta, por vezes, nos diagramas correspondentes às amostras dos horizontes A1 e A/BAI dos perfis P8/79, P9/79 e P12/79, face aos conhecimentos de que se dispõe, é de explicação duvidosa. Com efeito, as amostras onde aquele pico é observado são aquelas onde, pela análise radiográfica, se ventilou a possível ocorrência de bayerite e bohemite. No entanto, a primeira é referida como tendo um pico endotérmico a uma temperatura ligeiramente inferior a 300°C e a segunda a temperaturas um pouco superiores a 400°C (MACKENZIE, 1970).

Finalmente, o acidente endotérmico verificável na região dos 750-900°C não é susceptível de explicação com os conhecimentos actuais.

### 7.3. ESPECTROSCOPIA DOS INFRAVERMELHOS

Nos diagramas dos espectros apresentados nas figuras 8 e 9 verifica-se, em todas as amostras correspondentes aos horizontes dos quatro perfis estudados (com excepção dos horizontes A11 e A12 do perfil P2/79), a ocorrência de bandas a 3530, 3460, 3400 e 3380  $\text{cm}^{-1}$  atribuídas à gibbsite (VAN DER MAREL & BEUTELPACHER, 1976). Estas bandas são intensas nos horizontes de alteração e tendem a esbater-se nos horizontes do *solum*, confirmando, assim, aspectos já referidos na análise dos dados radiográficos e termo-diferenciais.

Uma banda a 3660  $\text{cm}^{-1}$ , bem marcada nos espectros das amostras dos horizontes A1 e A/BAI, do perfil P8/79, e A/BAI do perfil P9/79, poderá corresponder à presença dum hidróxido de alumínio do tipo da bayerite (VAN DER MAREL & BEUTELPACHER, 1976) como, aliás, se admitiu pela interpretação dos diagramas de raios X.

Em todos os espectros, para além de outras, estão presentes bandas a 3695, 3610, 1095, 915 e 535  $\text{cm}^{-1}$  características dos mine-rais 1:1 (VAN DER MAREL & BEUTELPACHER, 1976). No geral, constata-se que a intensidade destas bandas diminui dos horizontes de alteração para os horizontes do *solum*, mormente os superficiais.

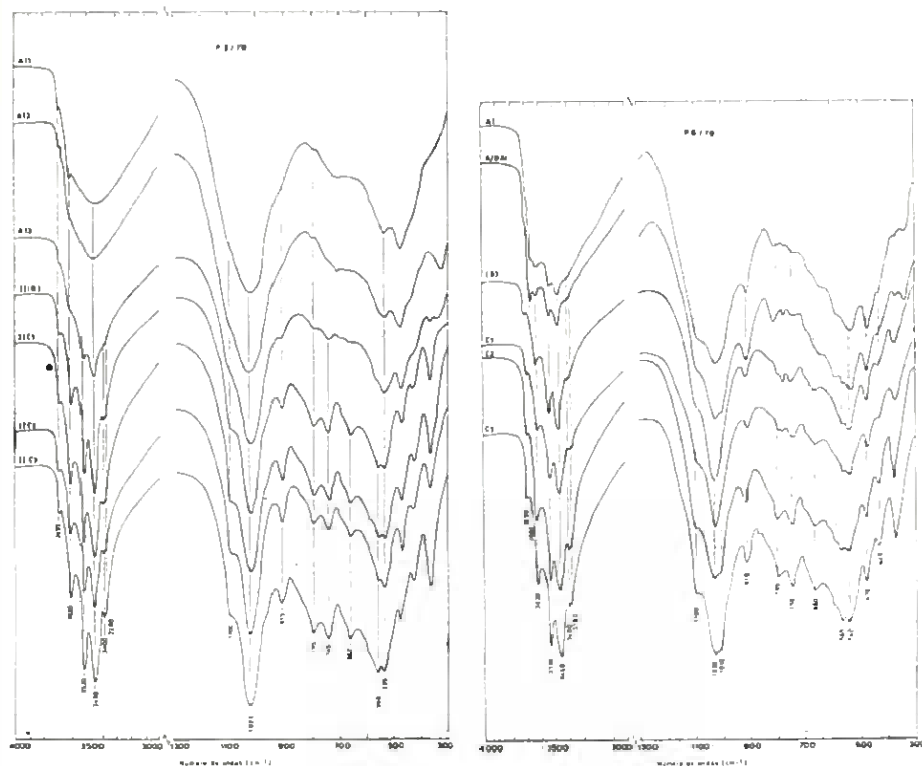


Fig. 8 — Diagramas de espectroscopia de infravermelhos da fracção argilosa dos diferentes horizontes dos perfis P2/79 e P8/79

Com efeito, nos espectros das amostras correspondentes aos horizontes A11 e A12, do perfil P2/79, e A1 e A/BA1, do perfil P12/79, são particularmente débeis as bandas atribuídas às vibrações de tensão dos grupos OH ( $3695$  e  $3610$   $\text{cm}^{-1}$ ), o que poderá indicar a presença de caulinite mal organizada ou mesmo de haloisite. Aliás, as bandas a  $1100$ ,  $1030$  e  $1010$   $\text{cm}^{-1}$ , correspondentes às vibrações do grupo SiO daqueles minerais, nalguns espectros convertidos numa única banda com máximos a  $1035$ - $1025$   $\text{cm}^{-1}$ , parecem confirmar a desorganização dos minerais caulínicos, muito embora a banda da gibsite existente na mesma zona dificulte esta interpretação. Interpretação semelhante pode ser feita em alguns casos, para as variações de intensidade da banda de deformação Al-OH ( $915$ - $\text{cm}^{-1}$ ). Para as restantes bandas não é possível estabelecer qualquer lei relativa à variação da respectiva intensidade.

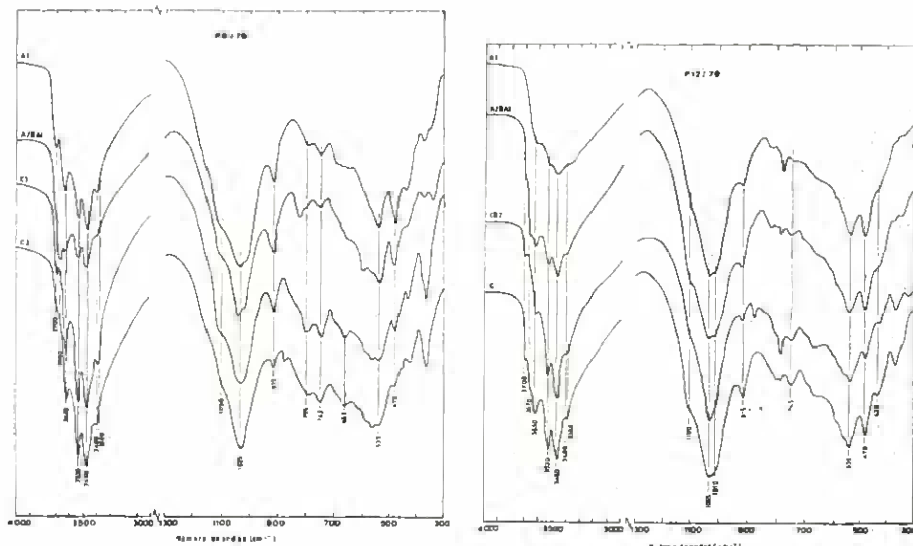


Fig. 9 — Diagramas de espectroscopia de infravermelhos da fracção argilosa dos diferentes horizontes dos perfis P9/79 e P12/79

Nos espectros das amostras dos horizontes A11 e A12, do perfil P2/79, observa-se na região dos  $3700-3000\text{ cm}^{-1}$  o desaparecimento quase total das bandas correspondentes aos minerais cauliniticos e à gibsite, ocorrendo, outrossim uma forte banda com um máximo a cerca de  $3440\text{ cm}^{-1}$ , atribuída à água; tal facto poderá indicar que materiais não cristalinos estão bem representados. Aliás, o mesmo parece indicar a banda larga que se encontra na região  $1200-900\text{ cm}^{-1}$ . A ocorrência de materiais não cristalinos também pode ser admitida nas amostras dos horizontes A1 e A/BAl do perfil P12/79, embora neste caso a presença de materiais cristalinos já esteja bem assinalada.

#### 7.4. CONCLUSÕES SOBRE A MINEROLOGIA DA FRACÇÃO ARGILOSA

Nos quatro perfis estudados constata-se que a gibsite predomina largamente nos horizontes de alteração, diminuindo em geral nos horizontes do *solum*. A menor evidência da gibsite nos horizontes do *solum* poderá resultar da sua degradação, o que se poderá corroborar pela presença de estruturas aluminosas, menos bem organizadas do que a gibsite, e, eventualmente, da bayerite, mineral que, segundo VAN DER MAREL & BEUTELPACHER (1976), é

considerado como uma fase metaestável intermédia entre a gibsite e os produtos amorfos do tipo  $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Aliás, nos horizontes superficiais dos perfis P2/79 e P12/79, particularmente do primeiro, os produtos amorfos aparecem nitidamente assinalados nos diagramas dos infravermelhos. Além disso, assinala-se a provável ocorrência da bohemite nos horizontes do *solum*.

Os minerais do grupo da caulinite apresentam características quer de haloisite quer de caulinite, podendo esta predominar nos horizontes superficiais.

Os minerais a 14 Å do tipo vermiculite e montmorilonite e os minerais micáceos encontram-se em geral mal representados. A montmorilonite parece circunscrever-se aos horizontes superficiais; as micas, por seu turno, parecem fortemente correlacionadas com a presença de materiais alóctonos.

As características mineralógicas dos minerais a 14-10 Å parecem indicar que se trata de interestratificados (14-10 Å do tipo vermiculite) com alumínio nas camadas interfoliares.

## 8. ANÁLISE QUÍMICA DA TERRA TOTAL E DA FRACÇÃO ARGILOSA (Quadro 7)

### 8.1. TERRA TOTAL

Na terra total constata-se que ocorre diminuição percentual de sílica relativamente à rocha-mãe, a qual baixa dos horizontes de alteração para os horizontes do *solum*, voltando a aumentar, todavia, no horizonte superficial. A percentagem de alumínio, que em geral é um pouco superior à da rocha-mãe, diminui sucessivamente dos horizontes de alteração para os horizontes do *solum*. O ferro por seu turno, não apresenta aparentemente qualquer lei no respeitante à respectiva variação percentual. O cálcio tanto pode aumentar como diminuir relativamente à rocha-mãe, assim como também pode diminuir ou aumentar dos horizontes de alteração para os horizontes do *solum*. As variações do teor de sódio são paralelas às indicadas para o cálcio; a relação  $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$  pode ser semelhante em todo o perfil ou, pelo contrário, pode ter valores muito mais elevados nos horizontes de alteração e rocha-mãe. O potássio, que toma valores em geral inferiores aos do material

originário, varia pouco de horizonte para horizonte; a relação  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})/\text{K}_2\text{O}$  não toma variação muito definidas. O magnésio, com valores superiores ou menores aos da rocha-mãe, toma valores decrescentes ou constantes dos horizontes de alteração para os do *solum*.

## QUADRO 7

Composição química da terra total e da argila de solos da área do Parque Nacional da Peneda-Gerês

Perfil n.º	Profundidade cm	Fracção	Em % de amostra seca a 110°C										
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO(*)	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
8/79	0-20	T.T.	62.19	14.64	2.65	0.38	0.08	0.12	0.31	0.25	2.09	5.57	11.00
		<2µm	31.27	30.23	11.72	0.90	0.12	1.08	1.04	0.83	0.44	1.41	20.24
	20-45	T.T.	58.29	17.34	2.82	0.38	0.11	0.14	0.33	0.29	2.22	5.42	12.46
		<2µm	22.36	34.96	8.29	0.52	0.11	0.96	2.16	0.53	0.31	0.85	28.64
	45-75	T.T.	58.83	20.64	3.40	0.48	0.09	0.18	0.42	0.37	2.70	5.12	6.95
		<2µm	23.42	36.85	6.22	0.50	0.17	0.46	4.54	0.46	0.27	0.73	25.47
	75-105	T.T.	60.20	21.16	2.86	0.40	0.06	0.14	0.51	0.33	3.20	5.42	5.99
		<2µm	25.76	41.57	3.79	0.30	0.04	0.44	2.30	0.36	0.42	0.73	23.78
	105-145	<2µm	20.42	47.71	1.89	0.15	0.02	0.44	1.35	0.26	0.42	0.41	26.08
	145-185	<2µm	21.24	45.35	1.79	0.15	0.04	0.52	3.28	0.14	0.49	0.41	25.70
Rocha alterada	—	69.03	16.39	1.89	0.23	0.05	0.10	0.65	0.21	3.88	7.23	0.99	
9/79	0-20	T.T.	63.17	16.58	2.41	0.34	0.04	n.d.	0.56	0.25	2.84	4.71	9.07
		<2µm	20.74	36.00	8.58	1.41	0.05	n.d.	1.15	0.91	0.74	1.39	29.03
	20-45	T.T.	60.25	17.48	2.18	0.36	0.03	n.d.	0.67	0.26	3.04	4.61	10.87
		<2µm	18.19	40.34	5.93	0.79	0.03	n.d.	0.35	0.91	0.37	0.90	32.19
	45-75	T.T.	62.86	20.28	1.97	0.36	0.04	n.d.	0.26	0.34	2.61	4.75	6.27
		<2µm	14.37	50.83	2.29	0.08	0.02	n.d.	2.62	0.25	0.29	0.24	29.03
	75-110	T.T.	62.87	21.20	1.75	0.35	0.04	n.d.	0.34	0.32	3.06	4.85	4.72
		<2µm	12.03	49.13	1.64	0.04	0.07	n.d.	5.95	0.17	0.34	0.15	30.48
	110-150	<2µm	14.46	49.98	2.00	0.04	0.10	n.d.	4.37	0.17	0.33	0.30	28.25
	12/79	0-15	T.T.	52.58	17.20	5.29	0.93	0.08	0.28	0.28	0.70	1.28	4.22
<2µm			25.26	25.51	14.58	1.50	0.10	1.00	5.61	1.08	0.17	2.73	22.17
15-30		T.T.	48.17	19.94	5.86	1.00	0.09	0.36	0.31	1.00	1.42	4.07	16.56
		<2µm	23.39	27.40	13.58	1.20	0.10	1.20	5.26	1.69	0.14	2.59	23.63
30-45		<2µm	19.14	39.85	7.94	0.39	0.13	1.60	3.60	0.80	0.28	1.27	24.82
		T.T.	55.89	20.55	5.08	0.96	0.08	0.36	0.47	1.24	2.22	5.27	6.36
45-75		<2µm	23.15	39.92	7.52	0.52	0.07	1.00	1.63	0.88	1.45	1.50	24.16
Rocha alterada		—	59.06	19.27	7.08	1.43	0.10	n.d.	0.19	2.07	1.69	6.32	2.63

T.T. — Terra Total; n.d. — não determinado.

(\*) — Os valores referentes ao cálcio da fracção argilosa não são tomados em consideração por má lavagem durante a colheita da argila.

## 8.2. FRACÇÃO ARGILOSA

A composição química da fracção argilosa mostra uma forte redução do teor de sílica relativamente ao material originário, verificando-se, ainda, que aquele teor é mais elevado na fracção argilosa dos horizontes superficiais. No que respeita ao alumínio ocorre, pelo contrário, um forte aumento percentual, sendo os valores mais elevados nos horizontes de profundidade. Os teores de ferro da fracção argilosa dos horizontes de alteração e do *solum* são superiores aos determinados para a rocha-mãe, os quais crescem regularmente na direcção dos horizontes superficiais. O magnésio, que em regra aumenta em relação ao material originário, pode tomar valores mais elevados nos horizontes do *solum*. O sódio diminui relativamente ao material originário, podendo, no entanto, apresentar variações diferentes nos diversos perfis. O potássio, que também baixa em relação ao material originário, toma máximos nítidos nos horizontes do *solum*, principalmente nos superficiais.

Os valores mais elevados de magnésio, sódio e principalmente, potássio que em regra ocorrem na fracção argilosa dos horizontes do *solum*, mormente nos superficiais, sugere a muito maior importância dos minerais micáceos, bem como dos seus produtos de transformação.

A relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (quadro 8), tal como os resultados da análise química fazem prever, diminui sucessivamente dos horizontes superficiais do *solum* para os horizontes profundos de alteração. Assim, os resultados do quadro 7 e outros disponíveis, permitem indicar que os valores médios daquela relação são de 1.41, 1.28, 0.91 e 0.74 para os horizontes A11 e A12, A/BA1 e (B), C1 e C2 e C3, respectivamente. Tal seriação de valores concorda perfeitamente com a identificação mineralógica já discutida. Por outro lado, se relacionarmos em alguns casos os valores da relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  com os acidentes endotérmicos a 300 e a 400°C dos diagramas ATD, aparece a possibilidade de os referidos acidentes endotérmicos a 400°C serem devidos a material de natureza essencialmente aluminosa.

Os teores de ferro da fracção argilosa são bastante mais elevados nos horizontes do *solum* do que nos horizontes de alteração. Tal facto pode ser verificado facilmente por intermédio dos valores das relações  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ , os quais na maioria dos casos, diferem substancialmente quando se passa do *solum* para os

## QUADRO 8

*Algumas relações moleculares das amostras estudadas*

Perfil n.º	Profundidade cm	Horizonte	Fracção	SiO <sub>2</sub> / /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> / /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/ /CaO	(Na <sub>2</sub> O+ CaO)/K <sub>2</sub> O
8/79	0-20	A1	T.T.	—	8.65	62.34	6.12	0.66
	20-45	A/BA1	<2µm	1.76	4.04	7.09	—	—
			T.T.	—	9.61	54.80	6.08	0.72
	45-75	(B)	<2µm	1.09	6.61	7.17	—	—
			T.T.	—	9.51	45.96	5.80	0.82
	75-105	C1	<2µm	1.08	9.30	9.19	—	—
			T.T.	—	11.60	55.98	5.67	1.05
105-145	C2	<2µm	1.05	17.26	18.09	—	—	
145-185	C3	<2µm	0.72	39.66	28.80	—	—	
Rocha alterada	—	—	—	0.79	39.72	31.56	—	—
				—	14.65	104.36	5.40	0.96
9/79	0-20	A1	T.T.	—	10.77	69.60	4.58	1.11
	20-45	A/BA1	<2µm	0.98	6.57	6.43	—	—
			T.T.	—	12.52	73.21	4.08	1.24
	45-75	C1	<2µm	0.77	10.66	8.16	—	—
			T.T.	—	16.15	85.05	9.15	0.92
	75-110	C2	<2µm	0.48	34.87	16.72	—	—
			T.T.	—	18.91	95.12	8.10	1.08
110-150	C3	<2µm	0.42	46.80	19.44	—	—	
		T.T.	—	39.22	19.25	—	—	
				—	—	—	—	—
12/79	0-15	A1	T.T.	—	5.10	26.44	4.12	0.57
	15-30	A/BA1	<2µm	1.68	2.74	4.60	—	—
			T.T.	—	5.33	21.84	4.16	0.66
	30-45	(B)	<2µm	1.45	3.16	4.58	—	—
			T.T.	—	—	—	—	—
	45-75	C1	<2µm	0.82	7.83	6.41	—	—
			T.T.	—	6.32	29.16	4.26	0.79
Rocha alterada	—	—	<2µm	0.98	8.31	8.18	—	—
			T.T.	—	—	—	—	—
				—	4.27	22.19	8.03	0.46

T.T. — Terra total.

horizontes de alteração. Por outro lado verifica-se que a relação  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  da terra total é superior à relação da argila, nos horizontes do *solum*, acontecendo o contrário nos horizontes mais profundos. Assim, parece evidente a concentração de ferro na argila dos horizontes do *solum*; aliás a relação  $SiO_2/Fe_2O_3$ , ao invés da relação  $SiO_2/Al_2O_3$ , aumenta em profundidade. Finalmente, a referida concentração de ferro, tal como se referiu a propósito do potássio,

sódio e magnésio, dever-se-á muito principalmente à argilização dos horizontes do *solum*, argilização esta expressa pela maior presença de minerais micáceos, minerais a 14 Å mais ou menos expansíveis e minerais interestratificados. De facto, não é previsível outro processo face à constituição mineralógica dos horizontes de alteração.

Por fim assinala-se que em muitos dos diagramas ATD e IV da fracção argilosa dos horizontes superficiais, com relações  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  muito mais elevadas do que nos horizontes mais profundos, não existe nítida diferenciação das espécies minerais constituintes. Tal facto apenas nos parece explicável pelas interacções que eventualmente se estabelecem entre os minerais de argila identificados e os constituintes amorfos livres de ferro e alumínio.

## 9. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os solos da área do Parque Nacional da Peneda-Gerês caracterizam-se, como já foi referido na Introdução, por possuírem um espesso horizonte de alteração (espessura arenizada) cuja fracção argilosa é predominantemente constituída por gibsite bastante bem cristalizada associada a pequenas proporções de minerais caulínicos (FURTADO, 1973; COUDÉ-GAUSSSEN, 1981).

O presente trabalho permite adiantar que nos horizontes do *solum* ocorre, todavia, nítida diferenciação da respectiva fracção argilosa, na qual a gibsite deixa de ser a espécie mineralógica dominante e, simultâneamente, apresenta menor cristalinidade. Além disso, aparecem melhor representados os minerais caulíníticos e, frequentemente, as micas, as montmorilonites e as vermiculites. Por fim, nomeadamente ao nível do horizonte subsuperficial, que designamos por A/BAl, parece ocorrerem outras espécies minerais aluminosas: a bayerite, a bohemite e, possivelmente, formas gibsiticas de cristalinidade intermédia.

Por outro lado, em termos de elementos livres, verifica-se nos perfis mais evoluídos, nítida mobilização de alumínio, o que não acontece em relação ao ferro. Este processo parece não ter relação com a possível aloctonia dos materiais dos horizontes superficiais, pois, se assim fosse, era natural que tal processo também afectasse as diferentes formas de ferro livre. É verosímil, por isso, afirmar-se que os solos em estudo caracterizam-se frequentemente por mani-

festarem mobilidade do alumínio, apresentando este solubilidade mais elevada do que o ferro. Aspectos semelhantes são definidos e discutidos por vários autores no estudo de solos evoluindo em situações um tanto diversas do caso vertente (BLUME & SCHWERTMANN, 1969; BALL & BEAUMONT, 1972; SOUCHIER, 1971; LOVELAND & BULLOCK, 1976; HERBAUTS, 1982; BOUDOT, 1982).

A solubilidade atribuída ao alumínio estará decerto relacionada com o elevado teor e o tipo de matéria orgânica, bem como com os baixos valores de pH. Admite-se, assim, que as elevadas precipitações inverniais associadas à libertação de constituintes hidrossolúveis das folhadas, para temperaturas pouco favoráveis à biodegradação, criam condições para a aludida mobilização. Durante o estio, pelo contrário, as fracas precipitações e as temperaturas mais elevadas determinam condições propícias à actividade biológica, biodegradação e imobilização e condensação das substâncias húmicas, tal como é discutido por DUCHAUFOR (1977) a propósito do processo da criptopodzolização nas zonas atlânticas.

Verifica-se que o limite inferior do horizonte A/BA1 constitui uma nítida demarcação na proporção e natureza da matéria orgânica; isto é, abaixo deste horizonte ocorre nítida diminuição do teor em carbono e, simultaneamente, há um brusco aumento da relação Ácidos fúlvicos/Ácidos húmicos. Tal facto, indica que a condensação das substâncias húmicas se situa primordialmente nos horizontes A1 e A/BA1.

A mobilização do alumínio, que pelas extracções selectivas parece dever-se principalmente aos constituintes orgânicos, é entretanto limitada no espaço e não dá origem a variações morfológicas visíveis. Para tal situação não deverá deixar de referir-se a influência do teor de argila e dos elementos livres no impedimento da fácil circulação dos complexos organo-minerais no perfil (SOUCHIER, 1971; TOUTAIN, 1974; BOUDOT, 1982). A mobilização global de elementos pela matéria orgânica parece de certo modo justificada pela diferença da fracção inorgânica da matéria orgânica, extraída por extractantes selectivos dos complexos organo-minerais, dos horizontes superficiais relativamente aos subjacentes (quadro 6).

A aludida mobilização de alumínio, incipientemente acompanhada pela do ferro, origina um horizonte de acumulação peculiar: o horizonte A/BA1. Este caracteriza-se frequentemente por razão carbono/azoto mais elevada, por maior nível de extracção de carbono

pelos extractantes dos complexos organo-minerais, por maior proporção de cargas variáveis e capacidade de troca catiónica mais elevada; no que respeita ao ferro estão mais representadas as formas amorfas e ligadas com a matéria orgânica. Por fim, no que respeita à mineralogia, é o horizonte onde estão melhores representadas as formas de cristalinidade intermédia da gibsite e onde provavelmente ocorrem a bayerite e a bohemite, o que contribuirá para a manutenção de baixos valores da relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

O processo de evolução discutido para os perfis mais evoluídos parece enquadrar-se de uma forma genérica no processo da criptopodzolização (SOUCHIER, 1971; DUCHAUFOR, 1977; ESPIAU, 1978; HERBAUTS, 1982). Este processo no caso vertente, parece atingir fortemente a cristalinidade e estabilidade dos minerais constituintes dos horizontes de alteração, primordialmente a gibsite (ESPIAU, 1978; WILKE & SCHWERTMANN, 1977) e, por outro lado, originar outras espécies mineralógicas de natureza aluminosa. Simultaneamente, a nítida diminuição percentual da gibsite dever-se-á, principalmente, à argilização dos horizontes do *solum*. Esta, expressa por menores percentagens de alumínio na terra total e na fracção argilosa dos horizontes do *solum*, deverá estar associada à maior disseminação de minerais neoformados (minerais caulínicos) e de transformação: minerais micáceos, vermiculites, montmorilonites, vermiculites aluminosas, etc. Só assim se compreenderá que a relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  seja mais elevada nos horizontes superiores do *solum*, o que, todavia, não está suficientemente expresso nos dados mineralógicos. De facto, depara-se com grandes dificuldades para distinguir as espécies mineralógicas constituintes da fracção argilosa, mesmo nos casos em que a aloctonia é evidente.

A presença dos minerais 2:1 referidos é atribuída de forma geral a solos com carácter podzólico (SOUCHIER, 1971; ESPIAU, 1978; LOVELAND & BULLOCK, 1976; ROBIN *et al.*, 1981; ROBERT *et al.*, 1980). Assim, nos solos em estudo, o processo de criptopodzolização já referido criará condições de forte alterabilidade no *solum* — devido à intensa lixiviação, à forte acidez e ao tipo de matéria orgânica —, o que parece ser determinante da actuação nítida da «complexolyse» (ROBERT *et al.*, 1980), a qual se expressa pela degradação da gibsite, pela possível transformação dos minerais micáceos no sentido das vermiculites e montmorilonites e, finalmente, pela nítida mobilização do alumínio.

Muito embora outros autores tenham referido modificações na cristalinidade da caulinite por via do processo podzolizante (ESPLAU, 1979), parece-nos, no caso vertente, que as alterações observadas corresponderão mais propriamente à evolução das espécies mineralógicas no grupo dos minerais cauliniticos.

Os solos estudados, mormente os de perfil mais evoluído, caracterizam-se por uma nítida distinção entre os horizontes de alteração e os horizontes constituintes do *solum*. Com efeito, os primeiros horizontes possuem por vezes espessuras bastante consideráveis e o mineral predominante da fracção argilosa é a gibsite, o que se adequa com o que tem sido discutido acerca da ocorrência deste mineral nas regiões temperadas e húmidas (DEJOU, 1967; DEJOU *et al.*, 1968; FURTADO, 1973; PEDRO *et al.*, 1975; DEJOU *et al.*, 1982; VASQUEZ & OJEA, 1980). Nos segundos, por seu turno, a gibsite constitui como que um «mineral relíquia» resultante da fase de arenização, — gibsite que para além das nítidas transformações sofridas subsequentemente é diluída por argilização operada essencialmente à custa dos minerais micáceos. A referida diferenciação mineralógica entre os horizontes de alteração e os horizontes do *solum*, associada à mobilidade do alumínio, é a expressão da tendência podzolizante dos solos em estudo. Esta tendência, para além da influência das características climáticas, deverá estar bastante relacionada com o tipo e evolução da matéria orgânica.

#### AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Direcção do Parque Nacional da Peneda-Gerês, em funções em Setembro de 1979, todas as facilidades que nos foram concedidas para a realização dos trabalhos de campo imprescindíveis ao estudo realizado.

Os dados analíticos relacionados com as extracções selectivas do ferro, do alumínio e do silício assim como os respitantes às substâncias húmicas, foram obtidos no Centre de Pedologie Biologique (C.N.R.S.), Nancy, durante um estágio efectuado pelo primeiro dos autores. Agradece-se ao Director daquele Centro de Investigação, Prof. Bénard Souchier, e às equipas de química mineral e de bioquímica, todos os ensinamentos e facilidades concedidas.

## BIBLIOGRAFIA

- BALL, D. F.; BEAUMONT, P. (1972) — Vertical distribution of extractable iron and aluminium in soil profiles from a brown earth/peaty podzol association. *Journal of Soil Science*, 23: 298-308.
- BLUME, H. P.; SCHWERTMANN, U. (1969) — Genetic evaluation of profile distribution of aluminium, iron and manganese oxides. *Soil Science Society of America Proceedings*, 33: 438-444.
- BOUDOT, J. P. (1982) — *Relations Entre l'Altération Minérale et le Cycle de l'Azote sur Matériel Chloriteux du Massif Schistograuwaqueux Vosgien*. Thèse d'État, Université de Nancy I.
- BRUCKERT, S. (1979) — Classification des Sols Bruns Ocreux et Cryptopodzoliques par analyse des extraits tetraborates tamponnés a pH 9.5 *Geoderma*, 22: 205-212.
- BRUCKERT, S. (1979) — Analyse des complexes organo-minéraux des sols. In (M. Bonneau et B. Souchier) *Pédologie. 2 — Constituants et Propriétés du Sol*. Masson. Paris.
- BRUCKERT, S.; SOUCHIER, B. (1975) — Mise au point d'un test de différenciation chimique des horizons cambiques et spodiques. *C. R. Acad. Sci. Paris, sér. D*, 280: 1237-1240.
- CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T.; JACQUIN, F. (1979) — Biodegradation and humification of organic matter in humiferous atlantic soils. I. Biodegradation. *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, XXXVIII (9-10): 1699-1716.
- CARDOSO, J. V. CARVALHO; BESSA, M. TEIXEIRA; MARADO, M. BRANCO (1973) — Carta dos solos de Portugal (1:1 000 000). *Agronomia Lusitana*, vol. 33 (1-4): 48-602.
- COSTA, J. V. B. (1975) — *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- COUDE-GAUSSSEN, G. (1981) — *Les Serras da Peneda et do Gerês. Étude Géomorphologique*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos. Instituto Nacional de Investigação Científica. Lisboa.
- DEJOU, J. (1967) — L'altération des granites à 2 micas du Massif de la Pierre qui Vire (2<sup>e</sup> partie). *Annales Agronomiques*, 18 (2): 145-201.
- DEJOU, J.; CLEMENT, P.; KIMPE, C. DE (1982) — Importance du site dans la genèse des minéraux secondaires issus des altérations superficielles. Exemple des granites et gabbros du Mont Mégantic, Quebec, Canada. *Catena*, 9: 181-198. Braunschweig.
- DEJOU, J.; GUYOT, J.; PEDRO, G.; CHAUMON, C.; ANTOINE, H. (1968) — Nouvelles données concernant la présence de gibbsite dans les formations d'altération superficielle des massifs granitiques (cas du Cantal et du Limousin). *C. R. Acad. Sci., série D*, tome 266: 1825-1827. Paris.
- DUCHAUFOUR, P. (1977) — *Pédologie. 1 — Pédogenèse et Classification*. Masson. Paris.

- ESPIAU, P. (1978) — Étude d'une série de sols de l'étage montagnard de Corse: contribution de la minéralogie des argiles et de l'acidité d'échange à l'interprétation de la pédogénèse. *Science du Sol*, 3: 167-183.
- ESPIAU, P.; PEYRONEL, A. (1977) — Acidité d'échange dans les sols. Application à une séquence altitudinale des sols du Massif du Mont Aigoual. *Science du Sol*, 1: 25-44.
- FURTADO, A. F. A. Sanches (1973) — Sobre a presença de gibsita em solos derivados de rochas graníticas em climas tropicais e temperados. *Garcia de Orta, sér. Géol.*, 1(1): 15-22. Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa.
- GRILLO, J. T. T. (1953) — *Contribuição para uma Carta-Esboço dos Solos de Portugal* — Rel. Fin. Curso Eng.º Agr. I.S.A., Lisboa (Dact.).
- GUILLET, B.; SOUCHIER, B. (1979) — Les oxyhydroxides amorphes et cristallins dans les sols (fer, aluminium, silicium). In (M. Bonneau et B. Souchier) *Pédologie. 2 — Constituants et Propriétés du Sol*. Masson. Paris.
- HERBAUTS, J. (1982) — Chemical and mineralogical properties of sandy and loamy-sandy ochreous brown earths in relation to incipient podzollization in a brown earth-podzol evolutive sequence. *Journal of Soil Science*, 33: 473-762.
- HIGASHI, T.; DE CONNICK, F.; GELANDE, F. (1981) — The comparison between sodium hydroxide, tetraborate and pyrophosphate as an extractant of «complexes» in some spodic horizons in the Campine (Belgium). *Geoderma*, 25 (1,2): 131-142.
- HSU, P. H. (1977) — Aluminium hydroxides and oxyhydroxides. In (J. B. Dixon and S. B. Weed editors) *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- LOVELAND, P. J.; BULLOCK, P. (1976) — Chemical and mineralogical properties of brown podzolic soils in comparison with soils of other groups. *Journal of Soil Science*, 27: 523-540.
- MACKENZIE, R. C. (1970) — *Differential Thermal Analyses. Volume I. Fundamental Aspects*. Academic Press. London. 775 pags.
- MADEIRA, M. A. V.; JEANROY, E. (1983) — Mise en évidence de goéthite en suspension dans les extraits pyrophosphate et tetraborate de certains sols gréseux du Portugal. *Canadian Journal Soil Science*, 64: 505-514.
- MADEIRA, M. A. V.; MEDINA, J. M. B. (1981) — Ensaio de aplicação da Pedologia à Arqueologia. O caso das mamoas da serra da Aboboreira. Resultados e perspectivas. *Arqueologia*, 4: 64-73.
- McKEAGUE, J. A.; BRYDON, J. E.; MILES, M. M. (1971) — Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Science Society America Proceedings*, 35: 33-38.
- MARTINS, J. A.; RIBEIRO, M. L. (1979) — *Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 2-C: Tourém*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

- MEDEIROS, A. C. de; TEIXEIRA, C.; LOPES, J. T. (1975) — *Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 5-B: Ponte da Barca*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. (1960) — Iron removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7: 317-327.
- OJEA, F. G.; CARBALLAS, T. (1967) — Suelos de la zona húmeda española. III — Ranker Atlántico. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 27: 57-73.
- PEDRO, G.; SEDDOH, F. K.; DELMAS, A. B. (1975) — Sur la présence de gibbsite dans les arènes granitiques des pays tempérés et la mise en évidence d'un phénomène d'inversion hydrolytique. *C. R. Acad. Sc., série D*, tome 279: 1975-1978. Paris.
- ROBERT, M.; CABIDOCHÉ, Y. M.; BERRIER, J. (1980) — Pédogénèse et mineralogie des sols de haute montagne cristalline (étages Alpin et Subalpin), Alpes-Pyrénées. *Science du Sol*, 4: 313-336.
- ROBIN, A. M.; GUILLET, B.; DE CONINCK, F. (1981) — Génèse et évolution des sols podzolisés sur affleurements sableux du Bassin Parisien. I. — Rôle du matériau. *Science du Sol*, 4: 315-329.
- ROGADO, N. J. Q. (1963) — *Contribuição para o Estudo dos Solos Derivados de Granitos Existentes em Portugal*. Missão de Estudos Agronómicos do Ultramar. Lisboa. 145 pags., mimeografado.
- ROOKSBY, H. P. (1961) — Oxides and hydroxides of aluminium and iron. In (G. Brown editor) *The x-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*. Mineralogical Society, London.
- ROUILLER, J. (1981) — *Analyses des Sols. Techniques de Laboratoire*. Note Technique n.º 2. Centre de Pédologie Biologique (C.N.R.S.). Nancy.
- ROUILLER, J.; GUILLET, B.; BRUCKERT, S. (1980) — Cations acides échangeables et acidités de surface. Approche analytique et incidences pédogénétiques. *Science du Sol*, 2: 161-175.
- SCHWERTMANN, U. (1964) — Differenzierung des Eisenoxides des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, 105: 194-202.
- SEGALEN, P. (1968) — Note sur une méthode de détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxides tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 6 (1): 105-126.
- SOUCHIER, B. (1971) — Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). *Mémoire du Service de la Carte Géologique d'Alsace Lorraine*, n.º 33. 134 pags.
- TEIXEIRA, A. J. S.; MARQUES, F. S. (1951-53) — Reconhecimento dos solos do Gerês. A flora e a vegetação da serra do Gerês. *Simpósio da I Reunião de Botânica Peninsular* (Julho de 1948). Instituto de Alta Cultura, Lisboa.
- TEIXEIRA, C. (1969) — *Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 2-A: Portos*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

- TEIXEIRA, C.; CARDOSO, J. L. (1979) — A não confirmação de fenómenos glaciários nas montanhas do norte de Portugal (Peneda-Gerês). *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, 21: 163-184. Lisboa.
- TOUTAIN, F. (1974) — *Étude Écologique de l'Humification dans les Hétraies Acidiphiles*. Thèse Doct. État, Université Nancy I.
- VAN DER MAREL, H. W.; BEUTELSPACHER, H. (1976) — *Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their Admixtures*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 396 págs.
- VASCONCELOS, J. C. (1951-53) — Protecção à flora do Gerês. *Simpósio da I Reunião de Botânica Peninsular* (Julho de 1948). Págs. 611-617. Instituto de Alta Cultura. Lisboa.
- VASQUEZ, F. M.; OJEA, F. G. (1980) — La presencia de gibbsite en suelos de climas templados: una revision de los conocimientos actuales. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 39 (1-2): 301-341.
- VOINOVITCH, I. A.; DERAS-GUEDON, J.; LOUVRIER, J. (1962) — *L'Analyse des Silicates*. Hermann. Paris.
- WILKE, B. M.; SCHWERTMANN, U. (1977) — Gibbsite and halloysite decomposition in strongly acid podzolic soils developed from granitic saprolite of the bayerischer wald. *Geoderma*, 19:51-61.