

Caracterização geral dos solos da ilha Terceira (Açores) que se enquadram na Ordem *Andisol*

JORGE PINHEIRO (1)

RESUMO

Os solos da ilha Terceira, originários de materiais vulcânicos modernos que evoluem sob condições de clima atlântico temperado e húmido cumprem, na maioria dos casos, os critérios analíticos que permitem integrá-los na Ordem *Andisol*, repartindo-se maioritariamente pelos grandes-grupos dos *Hapludands*, *Placudands* e *Udivitrands*. A génese está ligada à alteração do material rico em vidro e à síntese de alofana e imogolite, podendo ainda ocorrer a formação de complexos organo-minerais. O desenvolvimento e a estabilidade da fase alofânica típica estão grandemente dependentes das condições pedoclimáticas, mas a natureza dos constituintes coloidais tende a modificar-se à medida que o processo de meteorização progride no tempo, observando-se por vezes a evolução dos produtos alofânicos para formas cristalinas, mormente as haloisíticas, acompanhada do desaparecimento progressivo das características pedológicas definidas como *propriedades ândicas*. A distribuição dos *Andisols* da ilha Terceira está estreitamente relacionada com a zonalidade climática altitudinal, podendo considerar-se a existência de três níveis. No nível intermédio, caracterizado por condições de humidade permanentemente húmidas mas com boa drenagem, predominam os solos cujas propriedades ândicas se apresentam melhor desenvolvidas, nomeadamente os *Hapludands*. No nível inferior, em que as condições climáticas são marcadas por um período de relativa secura durante os meses estivais, os Andossolos apresentam por vezes uma tendência éutrica e alternam com solos cujas propriedades ândicas são pouco marcadas, ou mesmo se perderam completamente, sobretudo em áreas de maior antiguidade geológica. No nível superior, o clima hiper-húmido favorece a formação e acumulação de um húmus ácido que dá lugar a um horizonte orgânico espesso o qual, através de processos de oxidação-redução, provoca a segregação de ferro que se acumula em delgadas camadas do perfil formando horizontes de tipo *placic* que definem os *Placudands*. Os *Udivitrands* desenvolvem-se sobre os materiais de projecção mais modernos, podendo ocorrer em qualquer dos níveis climáticos.

(1) Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, 9700 Angra do Heroísmo.

SUMMARY

Soils of Terceira island, which have developed from modern volcanic materials under humid temperate climatic conditions, accomplish, in most cases, the analytical criteria to qualify for the *Andisol* Order, being mainly represented, at great group level, by *Hapludands*, *Placudands* and *Udivitrands*. Their genesis is associated with the weathering of vitric materials and the synthesis of allophane and imogolite being also possible the occurrence of organo-mineral complexes. The development and the stability of the typical allophanic phase are greatly dependent upon pedoclimatic conditions but, as the weathering process advances in time, the nature of colloidal constituents tends to change, being observed, some times, the evolution of the allophanic products to crystalline forms, mainly haloysitics, with the progressive banishment of the pedological characteristics defined as *andic properties*. The distribution of *Andisols* of Terceira island is closely related to the altitudinal climatic zonality, where three levels can be considered. At the intermediate one, characterized by well drained permanently humid condition, soils with well expressed andic properties predominate, namely the *Hapludands*. At the lower level, where climatic conditions are marked by a summer dry spell, Ando soils tend to evolve to an eutric character and alternating with soils where andic properties are now poorly defined or even completely lost, mainly in the older geological areas. At the upper level, hyper humid climatic conditions favor the accumulation of an acidic humus in a thick organic layer which, by oxi-reduction processes, promotes iron segregation and its accumulation in thin ironpans or *placic* horizons, which define the *Placudands*. The *Udivitrands* develop over younger pyroclastic materials and may occur at any climatic level.

1. Introdução

Os Andossolos dos Açores foram pela primeira vez como tal designados por Ricardo *et al.* (1977), através da publicação do Esboço Pedológico da Ilha de S. Miguel (Açores), à qual se seguiu uma aproximação ao enquadramento taxonómico dos principais tipos de solos dos Açores (Ricardo *et al.*, 1978-79).

Mais tarde, os solos da ilha Terceira (Açores) foram objecto de um estudo apresentado por Pinheiro (1990), o qual levou à sua separação em três tipos principais que se designaram por *Andossolos Típicos*, *Andossolos Ferruginosos* e *Solos Pardos*. Dentro da categoria dos *Andossolos Típicos* foram, por sua vez, identificados três tipos distintos: os de perfil pouco diferenciado, vítricos, e os de perfil bem diferenciado com horizonte Bw, tanto os insaturados como os de tendência êutrica, que em geral correspondem respectivamente a *Vitrandepts*, *Dystrandepts* e *Eutrandepts* na primeira versão de *Soil Taxonomy* (*Soil Survey Staff*, 1975). Os *Andossolos Ferruginosos*, por seu lado, correspondem, no âmbito desta mesma classificação taxonómica, aos *Placandepts*.

O presente trabalho tem por objectivo fazer uma apreciação de carácter geral acerca das propriedades e da génese dos solos da ilha Terceira que se enquadram na Ordem *Andisol* (*Soil Survey Staff*, 1994).

2. Material e métodos

De um total de 28 perfis estudados (Pinheiro, 1990) seleccionaram-se 9 de modo a cobrir uma gama representativa da diversidade de solos da ilha Terceira subordinada à Ordem *Andisol*.

As determinações químicas e mineralógicas foram efectuadas na terra fina em amostras secas ao ar. As determinações físicas foram feitas em relação à amostra não crivada, nas condições de humidade natural. A massa volúmica foi determinada em amostra não perturbada, colhida com sonda apropriada. A retenção de humidade a 1,5 MPa foi determinada pelo método da membrana de pressão em amostra húmida. O pH foi determinado potenciométricamente em H₂O, em KCl 1M (1:2,5) e em NaF 1M (1:50). A capacidade de troca catiónica (CTC) foi determinada pelo método do acetato de amónio 1M a pH 7 e as bases de troca foram determinadas por absorção atómica. O Al de troca foi extraído com KCl 1M (1:10) e determinado por espectrofotometria de absorção atómica (Blakemore *et al.*, 1981). A retenção de fosfato (P ret) foi efectuada após equilíbrio da reacção de 5 g de solo com 25 ml de uma solução de 1 mg P/ml (KH₂PO₄) a pH 4,6 (Blakemore *et al.*, 1981). O carbono orgânico (C) foi determinado pelo método de Walkley & Black (1934). O Al e o Fe extraíveis pelo pirofosfato de sódio (Alp e Fep) foram determinados conforme descrito por Wada & Higashi (1976). O Al, Fe e Si extraíveis pelo oxalato de amónio a pH 3 (Alo, Feo e Sio) foram determinados conforme descrito por Blakemore *et al.* (1981).

Para os estudos mineralógicos foram utilizados também vários métodos de análise instrumental dos quais se destaca a difracção aos raios X obtida num aparelho Phillips PW10 com radiações do Cu, a partir da amostra total em pó, sedimentada sobre lâmina, ou da fracção argila colhida por sedimentação e decantação. Recorreu-se também ao uso da microscopia electrónica de varrimento e de transmissão com equipamentos Zeiss. Prepararam-se ainda lâminas delgadas, a partir de amostras secas ao ar e impregnadas com uma resina poliéster, que foram estudadas ao microscópio petrográfico.

3. Condições ambientais

3.1. Tectónica, estrutura e geologia da ilha Terceira

As Ilhas Açorianas estão situadas entre as latitudes 37° e 40° N e as longitudes 25° e 31° W sobre a Dorsal Média do Atlântico, numa zona onde se verifica a junção de três placas litosféricas: a Americana, a Euroasiática e a Africana (Machado *et al.*, 1972). Estas ilhas constituem pois a expressão sub-aérea de uma continuada e intensa actividade sismo-vulcânica desta zona oceânica de confluência de placas, a qual determinou a formação da Plataforma dos Açores, região grosseiramente triangular com cerca de 130 km de largura, centrada sobre a linha do *Rift* da Terceira.

A Terceira é uma ilha vulcânica jovem, formada essencialmente por rochas ígneas e materiais de projecção que recobrem quase totalmente a sua superfície. De forma grosseiramente oval (28 km por 17 km), a sua estrutura alicerça-se em quatro grandes aparelhos vulcânicos do tipo estrato-cone: Cinco Picos, Guilherme Moniz, Pico Alto e S. Bárbara. A “zona de fissura”, associada ao vulcanismo de natureza basáltica, constitui também elemento importante na definição da génese da Ilha (Self, 1973).

Do ponto de vista litológico, a Terceira parece ser a ilha mais complexa dos Açores, mostrando uma maior variedade de rochas, as quais, segundo Lloyd & Collis (1981), podem ser divididas em 3 Grupos: lavas do Quaternário, materiais de projecção do Pleistoceno Recente e depósitos termais e sedimentos do Pleistoceno Recente.

Segundo Self (1973), os depósitos de piroclastos são muito menos significativos do que em outras ilhas do arquipélago Açoriano, sobretudo S. Miguel e Faial. Contudo, depósitos pomíticos de composição traquítica encontram-se localmente bem desenvolvidos nas zonas do Pico Alto e de S. Bárbara, ocorrendo depósitos de escória basáltica ao longo da “zona de fissura”. Os depósitos pomíticos são todos de tipo policomposto, onde predomina o material vítrico vesicular, mas com proporções variáveis de cristais “juvenis” de anortoclase e de fragmentos líticos arrancados às paredes da cratera, ou de obsidiana.

Self (1973) estima que nos últimos 23 000 anos os vulcões da ilha Terceira produziram um volume de 5,25 km³ de lava e piroclastos, o que dá uma média por século de 0,023 km³. Com base nesta taxa, considera que a massa sub-aérea da Terceira poderá ter sido formada em menos de 1 milhão de anos.

Contudo esta taxa é, pelo menos, quatro vezes inferior à que se verificou em S. Miguel nos últimos 5000 anos.

As datações relativas à ilha Terceira são escassas pelo que não é possível determinar correctamente a periodicidade das erupções. Contudo, a partir de uma das poucas datações existentes, sabe-se que nos últimos 2000 anos ocorreram 21 erupções (Self, 1973).

3.2. Características climáticas

O clima da ilha Terceira é, tal como o das restantes ilhas do Arquipélago, caracterizado por uma fraca amplitude térmica e por uma precipitação e humidade do ar elevadas, reflectindo uma forte influência oceânica e condicionado pelo movimento do centro de altas pressões conhecido por anticiclone dos Açores, sofrendo igualmente o efeito moderador da corrente quente do Golfo.

As condições térmicas junto ao nível do mar, onde se situam as duas únicas estações meteorológicas da ilha Terceira, podem resumir-se do seguinte modo:

- a temperatura média anual é de 17 °C;
- no trimestre de Inverno (Janeiro-Março) a temperatura média situa-se por volta dos 14 °C, sendo a média das temperaturas mínimas do mês mais frio (Fevereiro) de 11,5 °C;
- no Verão (Julho-Agosto) a temperatura média ronda os 21 °C, sendo a média das temperaturas máximas do mês mais quente (Agosto) de 25 °C;
- A variação média diurna da temperatura é de cerca de 5 °C, sendo um pouco menor no Inverno do que no Verão.

Muito embora a carência de dados não permita uma caracterização precisa do clima em altitude, admite-se que a temperatura do ar diminua a uma taxa de 0,6 °C/100 metros (Agostinho, 1938).

Os valores mais baixos da precipitação média anual, entre os 900 e os 1000 mm, situam-se apenas numa faixa estreita da costa leste. Segundo Agostinho (1941), até aos 600 metros a pluviosidade aumenta a uma taxa aproximada de 25% por cada 100 metros sendo mais elevada a partir daquela cota. Assim sendo, os valores da precipitação média anual estimada, para as zonas mais altas, ultrapassam os 3000 mm.

Em regra, a precipitação é mais elevada na encosta N do que na encosta S, devendo a diferença situar-se para valores da ordem dos 20-25% para a mesma

altitude (estimado a partir dos valores da pluviosidade média observados a 130 m nas duas encostas).

O tipo de distribuição das chuvas é o mesmo em todo o arquipélago com um máximo de precipitação na segunda metade do Outono e no Inverno, e um mínimo de Junho a Agosto. Contudo, a precipitação nos 3 meses de Verão representa ainda 15% da precipitação total do ano, o que está muito longe da secura característica do Verão da região Mediterrânica (Agostinho, 1941).

4. Resultados

4.1. Características morfológicas

A descrição morfológica detalhada dos perfis que constam do presente estudo, encontra-se em Pinheiro (1990). Aqui, referem-se apenas as características mais significativas que, de um modo genérico, se podem identificar nos Andossolos e que são, em larga medida, específicas deles.

A transição nítida ou abrupta que em geral ocorre entre os horizontes dos Andossolos, tanto no que toca à cor como à estratificação textural, reflecte o efeito cumulativo dos sucessivos eventos vulcânicos no desenvolvimento dos perfis. As descontinuidades litológicas e os horizontes soterrados ocorrem com muita frequência nestes solos.

Os horizontes superficiais, escurecidos pela matéria orgânica, apresentam em geral texturas francas, com estruturas grumosas bem desenvolvidas e particularmente estáveis. Nos horizontes subsuperficiais que tendem a apresentar cores pardo-amareladas a pardo-avermelhadas, menos escurecidas pela matéria orgânica, predominam igualmente as texturas francas, tendendo por vezes para as franco-limosas. Nestes horizontes a estrutura é em geral muito pouco desenvolvida pelo que eles apresentam frequentemente um aspecto maciço embora com boa permeabilidade. Quando identificável, a estrutura é do tipo anisforme subanguloso, de grau fraco.

A consistência mais habitual é a friável, pouco plástica e não adesiva, conferindo uma sensação untuosa ao tacto (*smeary*), observável especialmente nos perfis que estão sob condições de humidade permanente. O solo, ao secar perde essa consistência “untuosa” e torna-se friável e pulverulento (*fluffy*), sobretudo na camada superficial onde a desidratação pode ser suficientemente intensa para permitir o desenvolvimento desta característica.

Apesar de bem drenados, estes solos apresentam em geral um elevado teor de humidade associado à natureza da sua microestrutura, que facilmente se reconhece pela exsudação de água em resposta à compressão entre os dedos. Esta característica, designada por tixotropia, era anteriormente tomada como característica diferenciadora da Subordem *Andepts* (*Soil Taxonomy*, 1975), tendo deixado de o ser a partir da definição da nova Ordem *Andisol* (Leamy, 1988), dada a subjectividade que encerra a sua avaliação. Tal como para a consistência untuosa a tixotropia é uma característica observável unicamente nos Andossolos mais característicos, que se desenvolvem sob condições de humidade permanente, situados em geral acima dos 350 metros no caso da ilha Terceira.

Os *Andossolos Ferruginosos*, localizados a altitudes superiores a 500 metros, sob condições de intensa pluviosidade e fraca evapotranspiração favoráveis ao desenvolvimento de hidromorfia, diferenciam-se pela presença, a profundidades variáveis no perfil, de um horizonte *placic* bem como de horizontes orgânicos em superfície.

4.2. Micromorfologia

As características micromorfológicas mais relevantes dos Andossolos são, no horizonte superficial, uma elevada microporosidade formada por microagregados de tendência esferoidal constituindo uma microestrutura característica a qual, nos horizontes Bw, se apresenta menos porosa de tipo anisforme sub-anguloso. A abundância de grãos minerais simples e de fragmentos vítricos, em geral pouco alterados, evidencia que estes solos se caracterizam por estados evolutivos pouco avançados ou intermédios, razão que justifica, em parte, a ausência de minerais secundários cristalinos indicada pela isotropia que sempre se observa, muito embora o processo de andossolização, desde que evoluindo em condições ambientais favoráveis seja, ele próprio, contrário à diferenciação de formas cristalinas dos produtos secundários e favorável à persistência, por longos períodos de tempo, dos constituintes não cristalinos nomeadamente os de natureza alofânica.

Nos *Andossolos Ferruginosos* as características micromorfológicas mais específicas ocorrem ao nível do horizonte *placic*, que é definido por uma intensa acumulação de sesquióxidos de Fe que preenchem os vazios e impregnam profundamente os grãos minerais, constituindo uma massa densa e contínua, sem estratificação, de cor vermelha intensa, isotrópica.

4.3. Características físicas e químicas

As propriedades físicas e químicas seleccionadas para o presente estudo apresentam-se na tabela 1.

Em geral, os Andossolos exibem características físicas muito distintas das de outros solos minerais, tais como uma baixa massa volúmica, dificuldades de dispersão, elevada capacidade de retenção de água e alterações irreversíveis após a dessecação.

Uma das características físicas mais significativas nos Andossolos é a massa volúmica aparente, a qual apresenta neste tipo de solos valores particularmente baixos. Nos solos seleccionados apresenta um valor sempre inferior a $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$, o qual constitui o limite de referência para os Andossolos (*Soil Taxonomy*, 1994).

Como consequência da sua baixa massa volúmica, os Andossolos apresentam em geral uma elevada capacidade de retenção de água. Nos perfis em estudo a retenção de humidade a 1,5 MPa, determinada em amostra húmida, assume os valores mais elevados (entre os 0,4 e os $0,7 \text{ kg.kg}^{-1}$) nos horizontes mais ricos em alofana. Contrariamente, os horizontes mais vítricos apresentam, para este parâmetro, os valores mais baixos.

A diminuição acentuada dos valores de retenção de humidade, quando determinada em amostras previamente secas, é uma característica física amplamente referida em relação aos Andossolos. Fields & Claridge (1975) procuram explicá-la dizendo que quando a água é removida, a estrutura "hidrogel" do material, permanentemente húmido nas condições naturais, colapsa por efeito da dessecação, aumentando os pontos de ligação com formação de novas unidades estruturais mais densas e estáveis, de elevada tenacidade.

Nos Andossolos é bem conhecida a dificuldade em obter uma dispersão adequada, pelo que a análise da textura oferece muito pouca confiança como parâmetro de caracterização. No solo húmido, a desfloculação química é problemática enquanto que no solo seco se dão cimentações irreversíveis com formação de "pseudo-areias" e "pseudo-limos" de tal modo que nestes solos é difícil se não impossível saber o que é a partícula unitária (Fields & Claridge, 1975).

Nos perfis seleccionados, os teores de carbono orgânico são elevados sobretudo nos horizontes superficiais, verificando-se que tendem a aumentar com a altitude, atingindo o valor máximo nos perfis dos Andossolos Ferruginosos, onde ocorrem em geral horizontes orgânicos.

A maioria dos valores do pH (H_2O) situa-se no intervalo 5 a 7 observando-se uma tendência para diminuir nos perfis situados a maior altitude, sujeitos a uma pluviometria mais intensa a qual se manifesta igualmente sobre a soma de bases de troca. Os valores mais baixos de pH encontram-se nos horizontes superficiais devido ao efeito acidificante da matéria orgânica; em profundidade o pH aumenta em consequência também de um menos intenso processo de lixiviação. O pH (KCl), em geral entre 5 e 6, adquire nos horizontes superficiais valores mais baixos em consequência da troca de iões H^+ da matéria orgânica por acção do K^+ .

O pH em NaF apresenta em geral valores superiores a 9,6, com excepção dos horizontes superficiais dos perfis *Cabrito*, *S. Bárbara* e *Lavaçal*. Este parâmetro que segundo a *Soil Taxonomy* (1975) constituía critério diferenciador da Subordem *Andepts* para valores superiores a 9,4, deixa de o ser para a Ordem *Andisol*, porquanto outros solos ricos em materiais não cristalinos, nomeadamente os *Spodosols*, reagem igualmente ao NaF (Leamy, 1988).

O Al de troca (extraível por KCl 1M) é em geral muito baixo ou nulo, o que se explica pela ausência de minerais 2:1 que são normalmente os responsáveis pela existência de uma carga electrostática fixa, favorável à ocorrência de alumínio de troca. A alofana e a imogolite apresentam propriedades ácidas relativamente fracas pelo que não desenvolvem pontos de carga electrostática suficientemente forte para a retenção do Al^{3+} em posições de troca (Henmi & Wada, 1974).

A capacidade de troca cationica efectiva (CTCE), resultante quase exclusivamente da soma das bases, apresenta valores bastante mais elevados nos perfis *D. Joana* e *Padrão*, indiciando, para estes solos, uma certa tendência eútrica.

A natureza estrutural particular dos componentes coloidais dos Andossolos limita grandemente as possibilidades de aplicação ao estudo destas substâncias das técnicas instrumentais usualmente utilizadas para a caracterização de minerais de cristalinidade bem definida, nomeadamente a difracção aos raios X. Assim, os métodos de dissolução selectiva constituem presentemente as técnicas mais adequadas para o estudo da fracção coloidal não cristalina dos solos vulcânicos (Parfitt & Wilson, 1985; Shoji *et al.*, 1988).

O pirofosfato de sódio (pH 10) dissolve preferencialmente os complexos húmicos de Al e Fe (Bascomb, 1968; Higashi & Shinagawa, 1981), enquanto que o oxalato de amónio (pH 3) dissolve não apenas estes complexos, mas extrai também o Al e o Si da alofana e imogolite e o Fe da ferridrite, bem como de outros compostos de "ordenação curta" (Parfitt & Henmi, 1982).

Tabela 1

Propriedades físicas e químicas dos perfis selecionados

Pédone Horiz.	Pro-fund. (cm)	Massa volúmica aparente (g.cm ⁻³)	1,5 MPa (kg.kg ⁻¹)	C (g.kg ⁻¹)	pH			Bases de troca (cmol(+)kg ⁻¹)				CTCE (KCl)	Al Ext. (KCl)	P ret. (%)	Alo			Alp/ Alo	Fep/ Feo	Al/ Sio	Alofana (g.kg ⁻¹)		
					H ₂ O	KCl	NaF	Ca	Mg	Na	K				Feo	Sio	Alp					Fep	
Morião																							
Ap	0-25	0,52	0,41	102	5,1	4,8	9,7	2,7	1,5	0,5	0,4	0,2	5,3	87	22	27	3	19	21	0,86	0,78	1,0	16
Bw	25-46	0,43	0,42	26	6,2	5,9	11,3	0,7	0,2	0,5	0,2	0,3	1,9	90	34	30	15	6	3	0,18	0,10	1,9	103
Ab	46-82	0,69	0,45	23	6,6	5,9	10,9	1,5	1,1	0,6	0,3	0,0	3,5	98	54	48	28	4	1	0,07	0,02	1,8	187
Bwb	82-95	0,55	0,58	6	6,6	5,9	10,7	1,6	1,2	0,7	0,3	0,0	3,8	92	34	27	13	5	3	0,14	0,11	2,3	108
2Ab	95-130	0,49	0,46	39	6,6	5,6	11,0	2,2	1,5	0,2	0,2	0,0	4,1	95	50	39	22	7	6	0,14	0,15	2,0	126
Junco																							
Ap	0-23	0,76	0,27	80	4,9	4,4	10,1	2,3	0,9	0,6	0,4	0,1	4,3	90	14	18	2	10	13	0,70	0,56	2,0	16
Bw1	23-30	0,59	0,46	46	5,8	5,3	11,2	1,2	0,4	0,4	0,2	0,2	2,4	98	26	29	8	13	19	0,50	0,66	1,7	52
Bw2	50-65	0,54	0,75	36	5,8	5,4	11,0	1,4	0,8	0,5	0,3	0,1	3,1	99	56	34	25	11	14	0,20	0,40	1,9	170
BC	65-90	0,55	0,24	5	6,0	5,5	10,5	1,0	0,4	0,6	0,1	0,0	2,1	94	29	15	17	3	1	0,10	0,07	1,6	99
2Bw	90-140	0,57	0,67	28	6,2	5,6	10,3	1,8	1,0	1,0	0,2	0,3	4,3	99	79	69	44	11	9	0,13	0,13	1,6	280
D. Joana																							
Ap	0-13	0,78	0,26	38	6,1	4,9	9,6	3,9	2,5	1,1	1,3	0,2	9,0	85	25	39	8	8	4	0,30	0,10	2,2	64
Bw1	13-34	0,83	0,23	34	6,2	5,1	9,7	3,4	2,2	1,4	0,8	0,2	8,0	86	26	40	9	10	6	0,38	0,15	1,8	60
Bw2	34-38	0,76	0,26	21	6,4	5,4	9,9	5,8	3,4	2,8	0,9	0,1	13,0	88	29	41	15	5	5	0,17	0,12	1,6	97
BC	48-80	0,76	0,25	15	6,7	5,5	10,0	5,7	2,2	2,8	0,6	0,0	11,3	84	23	50	3	3	5	0,13	0,10	1,6	65
Padrão																							
Ap	0-14	0,89	0,17	37	5,4	4,6	10,7	7,3	1,6	1,0	2,2	0,2	12,3	85	25	34	13	4	3	0,16	0,09	1,6	84
Bw	14-31	0,90	0,20	35	5,2	4,3	9,7	4,3	1,0	1,0	0,9	0,3	7,5	86	25	34	13	5	3	0,22	0,09	1,5	82
2ABb	31-60	0,76	0,70	30	6,4	5,2	9,8	10,0	6,2	4,4	1,2	0,1	21,9	88	46	59	32	5	4	0,11	0,07	1,3	186
2Bwb	60-124	0,80	0,31	8	7,0	5,7	10,0	7,9	2,1	2,5	0,1	0,4	13,0	78	16	18	14	1	1	0,06	0,06	1,1	76
Serreta																							
Ap	0-13	0,67	0,29	56	5,1	4,6	9,9	3,7	1,5	1,2	0,3	0,1	6,8	65	11	12	5	6	6	0,54	0,50	1,0	26
BC1	13-20	0,74	0,23	19	5,5	5,0	10,7	1,2	0,3	0,8	0,1	0,0	2,4	81	16	9	7	5	3	0,30	0,30	1,6	44
BC2	20-35	0,77	0,13	14	6,0	5,0	10,9	1,1	0,7	0,8	0,1	0,0	2,7	67	13	11	6	2	1	0,15	0,09	1,9	41
BC3	35-80	0,79	0,12	12	6,3	5,4	10,3	1,5	1,2	0,8	0,4	0,0	3,9	59	13	10	6	1	1	0,07	0,10	2,0	43

Tabela 1 (continuação)
Propriedades físicas e químicas dos perfis seleccionados

Pédone Horiz.	Profund. (cm)	Massa volumica aparente (g.cm ⁻³)	1,5 MPa (kg.kg ⁻¹)	C (g.kg ⁻¹)	pH			Bases de troca (cmol.(+).kg ⁻¹)				CTCE (%)	P ret. (%)	Alo	Feo	Sto	Alp	Fep	Alp/ Alo	Fep/ Feo	Al/ Sto	Alofana (g.kg ⁻¹)	
					H ₂ O	KCl	NaF	Ca	Mg	Na	K												Al Ext. (KCl)
Cabrito	AC	0-15	0,57	84	5,0	3,9	8,5	1,4	0,5	0,7	0,3	0,2	3,1	71	4	8	1	4	6	0,10	0,75	0,0	0
	C1	15-90	0,81	3	6,0	5,4	9,8	0,9	0,2	0,2	0,1	0,0	1,4	65	6	6	4	1	1	0,16	0,16	1,3	23
	C2	90-105	0,80	8	6,2	5,5	10,2	1,2	0,6	0,3	0,1	0,0	2,2	76	10	8	6	1	1	0,10	0,13	1,6	37
	2Ab	105-150	0,70	34	6,4	5,5	10,2	1,5	2,6	0,8	0,1	0,2	5,2	96	24	33	11	7	9	0,30	0,27	1,6	70
	2Bwb	150-170	0,68	27	6,4	5,4	10,5	1,2	1,7	0,8	0,2	0,2	4,1	98	41	26	19	5	3	0,12	0,20	2,0	135
Carvão	A	0-5	0,40	184	4,8	4,4	10,2	2,0	4,0	1,6	1,3	0,1	9,0	83	27	40	8	22	23	0,80	0,60	0,6	38
	AC	5-20	0,56	109	6,0	5,2	10,5	1,2	1,8	0,6	0,3	0,2	4,1	95	36	41	14	24	17	0,70	0,40	0,9	71
	Bsm	20-22	nd	52	6,1	5,4	9,9	1,4	1,7	0,3	0,2	0,2	3,8	96	44	74	18	5	4	0,10	0,10	2,2	138
	BC	22-35	nd	24	6,9	5,9	10,2	1,1	1,6	0,4	0,1	0,0	3,2	93	44	53	22	3	2	0,10	0,00	1,9	152
	S. Bárbara	O1	20-10	0,32	340	4,8	3,8	7,9	1,4	1,5	0,6	0,3	0,1	3,9	41	5	2	1	7	2	1,40	1,00	0,0
O2	10-0	0,61	300	5,2	4,1	10,7	0,9	0,6	0,1	0,6	0,0	2,2	87	10	7	2	11	5	1,10	0,71	0,0	0	
A	0-18	0,56	172	5,1	4,2	11,2	0,9	0,5	0,1	0,6	0,2	2,3	92	24	1	1	32	1	1,30	1,00	0,0	0	
Bsm	18-22	0,71	58	5,2	4,8	11,0	0,6	0,6	0,1	0,1	0,2	1,6	96	35	106	7	24	85	0,69	0,81	1,6	43	
BC	22-45	0,68	9	5,4	5,2	10,8	1,0	0,5	0,1	0,5	0,1	2,2	98	51	13	25	4	1	0,10	0,10	2,0	176	
2Bwb	45-120	0,57	29	5,5	5,1	10,8	1,0	0,7	0,1	0,5	0,2	2,3	99	55	33	22	7	7	0,13	0,21	2,3	183	
Lavaçal	A	0-8	0,40	177	4,6	3,6	8,9	0,4	1,6	1,4	0,8	0,2	4,4	60	10	7	3	9	7	0,90	1,00	0,3	0
	AC	8-18	0,69	78	4,9	4,0	11,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,8	86	15	17	1	2	16	1,30	0,90	0,0	0
	2ACb	18-39	0,48	56	5,0	4,6	11,8	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,6	92	28	5	8	13	4	0,50	0,80	1,8	57
	3Bsm	39-42	0,51	28	5,3	5,4	11,4	0,1	0,5	0,1	0,1	0,3	1,1	98	52	84	18	7	5	0,10	0,06	2,6	174
	3BCb	42-60	0,52	10	5,6	5,4	10,9	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6	96	65	30	42	3	1	0,05	0,03	1,5	260
3Cb	60-120	nd	4	5,9	5,6	10,8	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,6	88	34	18	22	2	1	0,06	0,04	1,5	135	

nd - não determinado

Os valores das análises de dissolução selectiva, mostram que o conteúdo de Alo é superior a 20 g.kg^{-1} em todos os horizontes estudados com excepção daqueles onde está patente o carácter vítrico: perfil Serreta, primeira sequência do perfil Cabrito e horizonte superficial do perfil Junco. O Feo segue a tendência do Alo mas em geral com valores mais baixos.

As percentagens de Alp são sempre inferiores às de Alo o que indica a predominância de compostos minerais do tipo alofânico sobre os complexos organo-minerais. Os valores mais elevados de Alp e Fep encontram-se, como é lógico, nos horizontes superficiais onde, em alguns casos, as formas dominantes de Al e Fe activos são de natureza organo-metálica, como se pode observar pelos valores das relações Alp/Alo e Fep/Feo.

Característicos também dos Andossolos, e que os diferencia de outros tipos de solos, são os elevados valores de Sio. A razão atómica Alo-Alp/Sio, que indica aproximadamente a razão atómica Al/Si da alofana e imogolite, apresenta, para os perfis seleccionados, valores entre 1,3 e 2,3. Com base nesta razão e no teor de Sio, tido como sílica estrutural da alofana e imogolite, é possível estimar o conteúdo nestes materiais (Parfitt & Wilson, 1985). Os valores de alofana assim calculados situam-se por volta dos 100 g.kg^{-1} , em média, em relação à terra fina, com um valor máximo de 186. Os valores mais baixos verificam-se em geral nos horizontes superficiais, numa relação inversa com o teor em complexos Al-húmus, a qual se deverá ao facto de o Al apresentar uma maior afinidade para os constituintes orgânicos complexantes, estabelecendo com eles ligações fortes que limitam a coprecipitação de Al e Si, contrariando assim a formação de compostos alofânicos.

A acumulação de húmus nos horizontes superficiais dos Andossolos poderá ser favorável à formação de sílica opalina (Wada, 1980), constituinte que não lográmos contudo identificar nos nossos perfis. Em horizontes soterrados, no entanto, ao verificar-se a interrupção de novas adições de matéria orgânica, o processo de formação da alofana passa a ser preponderante, conforme se pode deduzir dos elevados teores em alofana que alguns desses horizontes apresentam, como no caso dos perfis Morião e Padrão.

Outro dado importante nestes solos é a retenção de fosfato (P ret), parâmetro que, tal como o pH em NaF, está associado à presença de Al e Fe activos. Nos perfis estudados a retenção de fosfato é em geral elevada, situando-se acima dos 85% em todos os horizontes, com excepção dos de carácter mais marcadamente vítrico onde o Alo apresenta valores igualmente mais baixos, conforme referido anteriormente.

4.4. Caracterização mineralógica

Para melhor caracterização da mineralogia destes solos, realizaram-se, para além das análises de dissolução selectiva, difractogramas de raios X e observações ao microscópio electrónico de transmissão e de varrimento.

Nos difractogramas predominam reflexões dos minerais primários, especialmente do tipo sanidina e plagioclases, observando-se em menor proporção piroxenas, magnetite e mais raramente olivinas.

Unicamente nos perfis *Padrão* e *D. Joana* foram observadas reflexões a 10 Å, correspondentes a halosite, nos horizontes mais profundos. No caso dos horizontes 2ABb e 2Bwb do perfil *Padrão*, estas reflexões apresentam-se relativamente bem expressas, enquanto que no perfil *D. Joana* apenas no horizonte inferior elas são identificáveis. O estudo das amostras ao microscópio electrónico de transmissão permitiu a identificação, nestes dois perfis, de halosite tubular e globular em coexistência com geles de carácter mineral, provavelmente alofânicos.

4.5. Classificação dos perfis estudados

Todos os solos estudados apresentam propriedades ândicas características, cumprindo os critérios analíticos da Ordem dos *Andisols* (Soil Survey Staff, 1994). Na tabela 2 apresenta-se o seu enquadramento na *Soil Taxonomy*, a nível de subgrupo.

Tabela 2
Classificação dos perfis e características ambientais

Designação do perfil	Classificação (Soil Taxonomy)		Altitude (m)	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
	1975	1994			
Andossolos Típicos					
Morião	Typic Dystrandept	Typic Hapludand	530	2600	14,0
Junco	Typic Dystrandept	Typic Hapludand	520	2550	14,0
D. Joana	Entic Dystrandept	Vitric Hapludand	240	1500	15,5
Padrão	Entic Eutrandedpt	Vitric Hapludand	120	1250	16,0
Andossolos Ferruginosos					
S. Bárbara	Aquic Placandept	Aquic Placudand	760	3800	12,5
Lavaçal	Aquic Placandept	Aquic Placudand	600	3000	13,5
Andossolos Víttricos					
Serreta	Typic Vitrandept	Typic Udivitrand	330	1900	15,0
Cabrito	Umbric Vitrandept	Typic Udivitrand	430	2400	14,2
Carvão	Placic Vitrandept	Placic Udivitrand	630	3200	13,0

5. Discussão

5.1. Aspectos genéricos

A gênese dos Andossolos está ligada à alteração do material vulcânico rico em vidro, à síntese de alofana e imogolite e à formação de complexos organo-minerais.

Os materiais de origem em geral de natureza piroclástica, vítricos, muito porosos, dão lugar a uma rápida alteração e à formação abundante de produtos amorfos e criptocristalinos, que constituem a mineralogia típica destes solos.

A rapidez dos processos de alteração determina a existência abundante de nutrientes, o que permite o desenvolvimento precoce de um coberto vegetal favorecido por condições de humidade e temperatura. Assim, nas etapas iniciais de desenvolvimento, estes solos apresentam, por vezes, um carácter humífero em superfície sobre uma camada pouco meteorizada de tipo rególico. O excesso de bases libertadas nesta fase inicial é eliminada, num período de tempo relativamente curto, devido à humidade do clima, e vão-se formando geles siliciosos e alumínicos cuja precipitação conjunta dá origem à síntese dos compostos alofânicos e imogolite.

A natureza dos constituintes coloidais destes solos vai-se modificando em função do tempo e das condições ambientais que influenciam os processos de alteração. O período de persistência e de estabilidade da fase alofânica típica, está grandemente dependente das condições pedoclimáticas. À medida que o processo de meteorização progride no tempo e sob o estímulo de soluções siliciosas, a alofana tende a evoluir para halosite ou outros minerais cristalinos, sobretudo em horizontes mais profundos. Se o ambiente favorece a dessilicificação formar-se-á gibsite (Parfitt *et al.*, 1984).

A existência de um período relativamente seco afecta as propriedades físicas e químicas, sobretudo dos horizontes superficiais, e estimula a transformação da alofana em halosite, pelo que nestas condições a fase ândica é muito menos bem expressa e duradoura. Conforme se vai dando a evolução dos compostos alofânicos para formas cristalinas, desaparecem as propriedades características dos Andossolos: baixa massa volúmica, carga variável, elevado poder de fixação de fosfatos, dando assim lugar à formação dos Solos Pardos (Pinheiro, 1990).

5.2. Zonalidade climática altitudinal e distribuição dos solos

A distribuição dos solos da ilha Terceira está estreitamente relacionada com a zonalidade climática altitudinal, muito embora a idade e a natureza geoquímica do material vulcânico originário, bem como as formas do relevo, contribuam necessariamente para o tipo de diferenciação pedológica que se verifica.

Em linhas gerais, pode considerar-se que existem três níveis climáticos na ilha Terceira, embora não coincidentes entre as vertentes Norte e Sul.

O nível inferior, que se estende até aos 250–300 m na vertente Sul e até aos 150–200 m na vertente Norte, apresenta umas condições climáticas que, embora difíceis de caracterizar de forma precisa, são claramente marcadas por um período de relativa secura durante os meses estivais, provavelmente suficientemente intenso para, na maioria dos anos, provocar a dessecação de, pelo menos, a parte superior dos perfis. Neste nível os Andossolos apresentam por vezes uma tendência êutrica (perfis *D. Joana* e *Padrão*) e alternam com solos cujas propriedades ândicas são pouco marcadas ou mesmo se perderam completamente, como acontece na plataforma Este correspondente à zona mais antiga da ilha, onde predominam os Solos Pardos, correspondentes à Ordem dos *Inceptisols* (*Soil Taxonomy*, 1994).

O segundo nível climático-altitudinal, que se estende até cerca dos 600 m na vertente Sul e até por volta dos 500 m na zona Norte, caracteriza-se por um clima permanentemente húmido com precipitações estimadas que variam entre os 1500 e os 2500 mm, sem que seja habitual a existência de um período seco como na zona baixa. Aqui predominam os Andossolos, em geral insaturados, muitos dos quais satisfazem integralmente às características mais típicas do conceito central da Ordem *Andisol*.

No nível climático superior, hiper-húmido, com precipitações médias anuais superiores a 2500 mm, favorece-se a formação e acumulação de um húmus ácido que dá lugar a um horizonte orgânico muito escuro e espesso. Nestas altitudes é comum a segregação de ferro que se acumula em delgadas camadas do perfil formando por vezes horizontes de tipo *placic*, que caracterizam os *Andossolos Ferruginosos*.

Os Andossolos vítricos desenvolvem-se sobre os materiais de projecção mais modernos, podendo ocorrer em qualquer dos níveis climáticos, sendo disso exemplo os três *Vitrands* incluídos neste estudo, dos quais o perfil Carvão representa um caso particular de um *Vitrاند* com horizonte *placic*.

5.3. Caracterização da gênese. Apreciação comparativa

Os valores das razões Alp/Alo e Fep/Feo indicam que se bem que nos horizontes superficiais dos perfis *Morião*, *Junco*, *D. Joana* e *Padrão*, classificados como *Hapludands* (tabela 2), as formas organo-minerais representem uma parte importante do Al e do Fe activo, nos *Placudands* (perfis *S. Bárbara* e *Lavaçal*) constituem praticamente a sua totalidade, nomeadamente as formas ferruginosas. Por outro lado, o facto de estes horizontes conterem muito baixas quantidades de Sio, reflecte a ausência de alofana e imogolite, cujos valores variam de forma inversa aos da relação Alp/Alo . Nestes solos é notória a existência de um processo de redistribuição a qual se manifesta de forma drástica em relação ao Feo nos horizontes Bsm, e é também evidente em relação ao Alo e Sio cujos valores máximos se verificam nos horizontes BC, subjacentes ao Bsm, nos quais se verifica igualmente um máximo de alofana. No entanto, a par destas características específicas, os Andossolos Ferruginosos apresentam nos horizontes Bsm, bem como nos que lhe estão subjacentes, propriedades ândicas bem definidas. A ausência de alofana e de imogolite nos horizontes superiores, com elevados teores de matéria orgânica, ácida, resultará não só de um fenómeno de bloqueio do Al através da formação de complexos organo-minerais, como também do facto de as condições de pH do meio serem desfavoráveis à estabilidade dos constituintes alofânicos. Diversos estudos têm demonstrado que a alofana em geral não ocorre em solos cujo pH (H_2O) seja inferior a 5 (Shoji *et al.*, 1982; Farmer, 1984; Parfitt & Saigusa, 1985; Parfitt & Kimble, 1989).

Quanto aos *Hapludands*, os valores da distribuição do Alo, Feo e Sio, evoluem todos no mesmo sentido, evidenciando que a sua origem se deve principalmente a processos de alteração *in situ* e não a fenómenos de redistribuição. As variações graduais que se verificam ao longo dos perfis são consequência de diferenças quanto ao estado de alteração dos horizontes bem como quanto à natureza dos respectivos materiais originários. Nestes solos, embora se formem em ambiente de humidade permanente, as condições climáticas não são suficientemente severas para que se desenvolvam horizontes orgânicos associados a uma vegetação acidificante como no caso dos *Placudands*. O pH é em geral superior a 5, mesmo nos horizontes superficiais mais ricos em matéria orgânica, portanto favorável à estabilidade da alofana. A maioria dos horizontes onde os teores de alofana são mais elevados (perfis *Morião* e *Junco*), apresenta valores de pH por volta de 6.

Nalguns solos, como os dos perfis *D. Joana* e *Padrão*, localizados num ambiente climático menos húmido, a valores elevados de Alo correspondem valores de retenção de fosfato relativamente mais baixos, situados pouco acima dos 85%. Tal facto poderá estar relacionado com a ocorrência de um tipo de alofana mais siliciosa e menos reactiva, conforme é sugerido pelos valores da relação Si/Al, sobretudo no caso do perfil *Padrão*.

Assim sendo, o equilíbrio Si-Al desempenhará portanto um papel determinante na intensidade com que a andossolização se expressa. Tendo em conta que o Al é relativamente imóvel quando comparado com o Si, devido não só às condições de pH mas também por ser imobilizado quer na forma de alofana quer na de complexos Al-húmus (Wada, 1980), teremos que concluir que aquele equilíbrio é pois grandemente governado pelo teor de Si na solução do solo o qual depende, em última análise, do regime de humidade.

Parfitt *et al.* (1984), analisando as condições de formação da alofana e da halosite a partir de cinzas vulcânicas com a mesma origem mas sob diferentes condições de humidade, acabam por concluir que quando a drenagem do solo é inferior a 250 mm/ano a halosite forma-se em quantidades consideráveis; quando a drenagem é superior a 200 mm/ano predomina a alofana. Estes autores mostram ainda que a relação molar Al/Si da alofana aumenta de 1,2 para 2,1 à medida que a taxa de lixiviação aumenta de 250 para 600 mm.

Na ilha Terceira, nos níveis mais húmidos permanecem exclusivamente os produtos de natureza alofânica, tal como se verifica tanto para os *Hapludands* de zona mais húmida — caso dos perfis *Morião* e *Junco* — como para a generalidade dos *Placudands*. Por outro lado, nas zonas menos húmidas, favorece-se a génese de minerais de argila cristalinos, mormente haloisíticos, que coexistem com os produtos alofânicos, tal como acontece no caso dos perfis *Padrão* e *D. Joana*. A ocorrência dos *Solos Pardos* nas zonas climáticas sujeitas a uma relativa secura no Verão, cuja fracção argilosa é predominantemente haloisítica, deixa clara a dependência que a diferenciação mineralógica apresenta em relação ao clima.

Assim, o teor de Si na solução do solo, governado pelas condições climáticas e dependente da composição química do material originário e do tempo, será, em última análise, o factor de maior relevância na evolução da fracção argilosa dos solos vulcânicos.

Esta apreciação de conjunto indicia que os Andossolos, com propriedades ândicas melhor definidas, só ocorrem na zona climática que permite o desenvolvimento de um pedoclima permanentemente húmido. Se ocorrer uma alternância de fases de dessecação e de humedecimento do perfil, indispensável

para que se dê a cristalização dos geles minerais, verificar-se-á uma evolução irreversível dos constituintes minerais e o Andossolo dará lugar ao *Solo Pardo*, o qual evoluirá certamente para outros tipos como é admitido em relação ao que se passa na ilha de S. Maria, a mais antiga do Arquipélago (Madeira, 1981).

Constata-se pois que na ilha Terceira, tal como em outras regiões do Mundo, os *Andossolos Típicos* não ocorrem senão sob condições climáticas bem definidas, formando um “estrato” característico cujos limites altitudinais são função do clima geral. Às altitudes superiores ou inferiores o *Andossolo Típico* dá lugar a formas de transição: *Andossolos Ferruginosos*, às altitudes superiores, e solos ândicos sob a forma de *intergrades* diversos para *Solos Pardos* nas zonas inferiores.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINHO, J. (1938) — Clima dos Açores, *Açoreana*, Angra do Heroísmo, 2(2): 107-118.
- AGOSTINHO, J. (1941) — Clima dos Açores, *Açoreana*, Angra do Heroísmo, 2(4): 224-267.
- BASCOMB, C.L. (1968) — Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups, *J. Soil Sci.*, 19: 251-268.
- BLAKEMORE, L.C.; SEARLE, P.L.; DALY, B.K. (1981) — Soil Bureau laboratory methods: A. Methods for chemical analysis of soils, *N. Z. Soil Bur. Sci. Rep.*, 10A (revised).
- FARMER, V.C. (1984) — Distribution of allophane and organic matter in podzol B horizons: reply to Buurman and Van Reeuwijk, *J. Soil Sci.*, 35: 453-458.
- FIELDS, M.; CLARIDGE, G.C.C. (1975) — In “Inorganic Compounds” (J.E. Gieseking, Ed.), *Soil Components*, vol. 2, Springer-Verlag, Berlin and New York, 351-393.
- FIELDS, M.; PERROTT, K.W. (1966) — The nature of allophane in soils. Part 3. Rapid field and laboratory test for allophane, *N. Z. J. Soil Sci.*, 9: 623-629.
- HENMI, T.; WADA, K. (1974) — Surface acidity of imogolite and allophane, *Clay Min.*, 10: 231-245.
- HIGASHI, T.; SHINAGAWA, A. (1981) — Comparison of sodium hydroxide-tetraborate and sodium pyrophosphate as extractants of Al/Fe-humus complexes in Dystrandeps, Japan, *Geoderma*, 25: 292-295.
- LEAMY, M.L. (1988) — *International Committee on the Classification of Andisols (ICOMAND)*, Circular 10, New Zealand Soil Bureau, N.Z.
- LLOYD, E.F.; COLLIS, S.K. (1981) — *Geothermal Prospection - Ilha Terceira, Açores: Geological Report*, Geothermal Energy New Zealand: Mitsubishi Corporation, Secretaria Reg. do Comércio e Indústria, Ponta Delgada, (policopiado).
- MACHADO, F.; QUINTINO, J.; MONTEIRO, J.H. (1972) — Geology of the Azores and the Mid-Atlantic Rift, 24th *I. G. C. Section*, 3: 134-142.

- MADEIRA, M.A.V. (1981) — *Esboço Pedológico da Ilha de S.^{ta} Maria*, Instituto Nacional de Investigação Científica, Centro de Pedologia da Universidade Técnica de Lisboa.
- PARFITT, R.L.; HENMI, T. (1982) — Comparison of an oxalate extraction method and an infrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 28: 183-190.
- PARFITT, R.L.; KIMBLE, J.M. (1989) — Conditions of formation of allophane in soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 971-977.
- PARFITT, R.L.; SAIGUSA, M. (1985) — Allophane and humus-aluminium in Spodosols and Andepts formed from the same volcanic ash beds in New Zealand, *Soil Sci.*, 139: 149-155.
- PARFITT, R.L.; SAIGUSA, M.; COWIE, J.D. (1984) — Allophane and halloysite formation in a volcanic ash bed under different moisture conditions, *Soil Sci.*, 138: 360-364.
- PARFITT, R.L.; WILSON, A.D. (1985) — *Estimation of allophane and halloysite in three sequences of volcanic soils, New Zealand*, in "Volcanic Soils" (E.F. Caldas and D.H. Yaalon, Eds.), Braunschweig, 1-8.
- PINHEIRO, J. (1990) — *Estudo dos Principais Tipos de Solos da Ilha Terceira (Açores)*, Tese de Doutoramento, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- RICARDO, R.P.; MADEIRA, M.V.; MEDINA, J.M.B.; MARQUES, M.M.; FURTADO, A.F.S. (1977) — Esboço pedológico da ilha de S. Miguel (Açores), *An. Inst. Sup. Agron.*, 37: 275-385, Lisboa.
- RICARDO, R.P.; MADEIRA, M.A.V.; MEDINA, J.M.B. (1978-79) — Enquadramento taxonómico dos principais tipos de solos que se admite ocorrerem no arquipélago dos Açores, *An. Inst. Sup. Agron.*, 38: 167-180, Lisboa.
- SELF, S. (1973) — *Recent Vulcanism on Terceira, Azores*, PhD Thesis, London, Imperial College.
- SHOJI, S.; FUGIMARA, Y.; YAMADA, I.; SAIGUSA, M. (1982) — Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown Forest Soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, northeastern Japan, *Soil Sci.*, 133: 69-86.
- SHOJI, S.; TAKAHASHI, T.; SAIGUSA, M.; YAMADA, I.; UGOLINI, F.C. (1988) — Properties of Spodosols and Andisols showing climosequential and biosequential relations in southern Hakkoda, northeastern Japan, *Soil Sci.*, 145: 135-150.
- SOIL SURVEY STAFF (1975) — *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, Agric. Handbook, 436, USDA-SCS, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- SOIL SURVEY STAFF (1994) — *Keys to Soil Taxonomy*, Sixth Edition, USDA-SCS, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- WADA, K. (1980) — *Mineralogical characteristics of Andisols*, in "Soils with Variable Charge" (B.K.G. Theng, Ed.), N. Z. Soc. Soil Sci., Lower Hutt, 87-107.
- WADA, K.; HIGASHI, T. (1976) — The categories of aluminium and iron-humus complexes in Ando soils determined by selective dissolution, *J. Soil Sci.*, 27: 357-368.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. (1934) — An examination of the Degtjaeff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Sci.*, 37: 29-38.