

Recebido em 2 de Dezembro de 1983

As argilas dos solos da Ilha da Madeira. Alguns aspectos relacionados com a sua génese *

por

A. F. A. SANCHES FURTADO

Centro de Estudos de Pedologia — Instituto de Investigação
Científica Tropical

RESUMO

As argilas dos solos da ilha da Madeira, derivados de materiais vulcânicos (basaltos e piroclastitos), foram estudadas utilizando métodos físicos e químicos.

Os resultados obtidos mostram que os constituintes fundamentais das argilas são: os minerais do grupo da caulinite, a montmorilonite, «os minerais a 14 Å», a gibsite e os materiais amorfos sílico-aluminosos e ferruginosos.

Os minerais do grupo da caulinite aparecem, em quantidades elevadas, em solos desenvolvidos a partir de rochas basálticas e piroclastitos, em todas as condições climáticas. A haloisite é normalmente o mineral dominante nas zonas mais húmidas ao contrário do que sucederá com a meta-haloisite e a caulinite.

A montmorilonite encontra-se fundamentalmente em solos derivados de basaltos em correspondência com climas mais secos e em situações de deficiente drenagem.

Os produtos amorfos sílico-aluminosos estão presentes, em quantidades variáveis, nos solos situados em regiões de climas húmidos onde a pluviosidade é,

(*) Trabalho realizado no âmbito do projecto conjunto do Centro de Estudos de Pedologia (Instituto de Investigação Científica Tropical), e Centro de Pedologia da Universidade Técnica de Lisboa (Instituto Nacional de Investigação Científica).

em geral, superior aos 1400 mm. Aparecem, na maioria dos casos, associados a materiais piroclásticos finos, depositados durante as últimas fases da actividade vulcânica. Em situações idênticas a gibbsite está presente nalguns perfis.

Os «minerais a 14 Å» encontram-se, em geral, nas argilas dos solos situados na parte norte da ilha onde predominam os climas mais húmidos, associados a meios ricos em alumínio.

RESUMÉ

Les argiles des sols de l'île de Madeira, dérivés des matériaux volcaniques (basaltes et produits pyroclastiques), ont été étudiées en utilisant des méthodes physiques et chimiques.

Les minéraux argileux plus fréquents dans les différents types de sols sont: les minéraux du groupe de la kaolinite, la montmorillonite, les «minéraux à 14 Å», la gibbsite et les produits amorphes silico-alumineux et ferrugineux.

Les minéraux du groupe de la kaolinite se trouvent, en quantités élevées, dans les sols dérivés de roches basaltiques et pyroclastites sous toutes les conditions climatiques. L'halloysite domine, en général, dans les régions plus humides au contraire du que paraît s'observer en relation à la metahalloysite et à la kaolinite.

La montmorillonite apparaît fondamentalement dans les sols de basaltes et en liaison avec des climats secs et des milieux mal drainés.

Les produits amorphes silico-alumineux sont plus abondants dans les zones climatiques plus humides et dans les sols formés, principalement, à partir de matériaux pyroclastiques fins. En identiques conditions on a observé, dans quelques profils, la gibbsite bien représentée.

Les «minéraux a 14 Å» apparaissent dans la plupart des profils situés dans la partie nord de l'île (la plus humide) et probablement associés à des milieux riches en aluminium.

SYNOPSIS

The clay of Madeira Island soils was studied using physical and chemical methods. These soils developed from volcanic materials (basaltic and pyroclastic).

Results obtained show that the main constituents of clay are kaolinite group minerals, montmorillonite, «14 Å clay minerals», gibbsite and silico-aluminous and ferruginous amorphous materials.

Kaolinite group minerals are present in high quantities in soils developed from basaltic rocks and pyroclastic materials, regardless the prevailing climatic conditions. Halloysite is usually the dominant mineral in wetter regions, while metahalloysite and kaolinite are more frequent in less wet environments.

Montmorillonite is well represented in basalt derived soils, connected with driest climates and difficult drainage situations.

Silico-aluminous amorphous materials dominate in soils of wet climates, where rainfall is generally above 1400 mm. They seem to be associated with fine materials deposited during the last period of volcanic activity. In some soils, under similar conditions, gibbsite is also well represented.

In the northern part of the island where climates prevail, «1:1 clay minerals» are found in aluminium rich media.

Neste trabalho faz-se um primeiro inventário das argilas dos solos da ilha da Madeira que se integra dentro da linha de trabalhos — as argilas dos solos vulcânicos — iniciada com o estudo das argilas de algumas ilhas do arquipélago dos Açores (Furtado, 1975; 1978-1979; 1980).

I. MEIO NATURAL

1. GEOLOGIA

A Madeira é uma ilha de origem vulcânica constituída, na sua parte central, por um grande maciço montanhoso onde se situam os grandes centros vulcânicos que constituíram o núcleo original, a partir do qual se desenvolveu a ilha.

Do ponto de vista litológico a ilha da Madeira é constituída por rochas eruptivas (fundamentalmente vulcânicas), piroclástitos e formações sedimentares (Zbyszewski *et al*, 1975).

As rochas vulcânicas são essencialmente de natureza basáltica, ocupando na sua maior parte o substracto da ilha. Encontram-se também outras rochas menos básicas e até ácidas, cuja representação, no entanto, é bastante diminuta.

Os materiais piroclásticos, que cobrem extensas zonas da ilha, são também predominantemente de natureza basáltica constituídos por tufos, cineritos, *lapillis* e cones de escórias.

As rochas sedimentares, que ocupam pequenas extensões em diversos pontos, sobretudo da periferia da ilha, são representadas por aluviões, cascalheiras fluviais e marinhas, depósitos de vertente e pequenas intercalações de calcários recifais.

2. MORFOLOGIA

A ilha da Madeira do ponto de vista morfológico é constituída pelas seguintes unidades (Zbyszewski *et al*, 1975): maciço vulcânico central, parte ocidental da ilha e parte oriental da ilha.

Maciço vulcânico central

Corresponde ao complexo vulcânico principal que se encontra situado no centro da ilha. Na sua parte oriental estende-se pelas áreas do Pico Ruivo e do Pico do Arieiro, prolongando-se para NE pelo vale da Ribeira Grande e para E pelos vales da Ribeira Seca e da Metade. A sua extremidade ocidental estende-se até às zonas do Curral das Freiras, do Pico Grande e da Serra de Agra.

O aparelho vulcânico central é constituído, na sua maior parte, por um complexo caótico de materiais piroclásticos.

Toda esta zona apresenta um relevo bastante movimentado, com vertentes altas e íngremes no flanco norte e menos inclinadas, mas profundamente entalhadas por vales, para sul.

Parte ocidental da ilha

Esta unidade morfológica está separada do maciço vulcânico central pelos profundos vales de S. Vicente e da Ribeira Brava, sendo constituída por um conjunto vulcânico de orientação geral NW-SE cujo elemento principal é o planalto do Paul da Serra e suas dependências. Este planalto, que se desenvolve a altitudes que oscilam entre os 1200 e os 1500 m, encontra-se profundamente recortado a ocidente pelos vales das ribeiras da Janela e do Seixal, as quais vão desaguar na costa norte da ilha.

O planalto do Paul da Serra e suas dependências encontra-se semeado de aparelhos vulcânicos secundários, formando diversos alinhamentos de orientação NW-SE. A superfície do planalto está coberta por derrames provenientes daqueles aparelhos, constituindo uma cobertura sub-horizontal profundamente dissecada na sua parte ocidental, onde fica reduzida a dois retalhos mais ou menos desenvolvidos. Recobrando os derrames basálticos, embora numa maneira irregular, encontram-se depósitos de materiais piroclásticos finos ou grosseiros e cones de escórias.

Parte oriental da ilha

Esta região, embora diferente da zona ocidental, apresenta, contudo, algumas semelhanças. Assim, nas partes altas da periferia do maciço vulcânico central encontram-se pequenos planaltos recobertos por lavas basálticas, provavelmente contemporâneas daquelas que se encontram à superfície no planalto do Paul da Serra.

Tal como na vertente sul daquele planalto, também nesta zona se observa um degrau situado aproximadamente entre os 800 e os 1000 m. Por baixo deste degrau observa-se uma região muito irregular e inclinada para a periferia da ilha, profundamente entalhada por uma rede de linhas de água que correm para norte, sul e este.

3. CLIMA

A ilha da Madeira situa-se numa região de climas temperados onde a repartição das chuvas apresenta variações consideráveis devido à diferença de relevo e exposição. Segundo a classificação de Thorntwaite o clima oscila entre o semi-árido (D) e o super-húmido (A), a que correspondem quantidades de precipitação que variam entre os 500 e os 3000 mm aproximadamente.

Toda a encosta norte, bastante abrupta e exposta aos ventos dominantes, é muito mais chuvosa, enquanto que a encosta meridional (menos declivosa) apresenta um aumento de pluviosidade mais gradual. As zonas mais secas encontram-se a oeste e a sul, enquanto que as mais pluviosas se situam nas zonas mais elevadas.

As temperaturas médias respeitantes à estação de Verão oscilam entre os 25°C na zona litoral e os 12°C nas regiões mais elevadas. As médias da estação de Inverno oscilam entre os 15°C e os 5°C, observando-se nas mesmas regiões.

4. VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal da ilha da Madeira foi profundamente transformada pela acção do homem. Na encosta sul, menos declivosa, ela foi progressivamente destruída pelo avanço das culturas, apenas permanecendo pequenas manchas de vegetação primitiva nas zonas mais íngremes, onde domina a formação do tipo Laurisilva. Na encosta norte, onde a agricultura e o povoamento encontram grandes

obstáculos à penetração devido às características do relevo, ocorrem ainda importantes extensões da vegetação primitiva. Nas zonas mais elevadas a vegetação é quase totalmente constituída por fetos e urzes.

II. MATERIAL E MÉTODOS

1. MATERIAL

As amostras estudadas foram colhidas a diferentes profundidades em 113 perfis de solos localizados em várias regiões da ilha da Madeira (Mapa I).

2. MÉTODOS

A argila foi colhida depois de previamente destruída a matéria orgânica com água oxigenada. Nalgumas amostras foi extremamente difícil essa destruição pelo facto da matéria orgânica se encontrar em quantidades elevadas e possivelmente ligada ao ferro, que aparece bem representado nos solos da ilha da Madeira. No entanto, procurou-se o mais possível evitar que o tratamento com a água oxigenada se prolongasse, para evitar que os constituintes fossem afectados no seu comportamento, nomeadamente a haloisite, o que dificultaria a sua caracterização.

As argilas foram posteriormente sujeitas a tratamentos pelos métodos de Mehra e Jackson (1976) e Segalen (1968), para a extracção dos materiais amorfos; foram também tratadas pelo método de Tamura (1957) para extracção do alumínio interfoliar.

As amostras no estado natural e depois dos tratamentos referidos foram estudadas por métodos físicos (difracção pelos raios X, análise térmica diferencial e espectroscopia dos infravermelhos) referidos em trabalhos anteriores (Furtado, 1975; 1983). A quantificação dos materiais amorfos foi feita utilizando os dois métodos atrás referidos.

III. RESULTADOS

Os resultados obtidos no estudo das amostras dos perfis mais representativos encontram-se nos Quadros I a V, correspondendo aos agrupamentos referidos mais abaixo. No Mapa I estão assinalados

a localização dos perfis estudados assim como a composição média das amostras dos perfis mais representativos

Uma primeira constatação que se retira da observação dos resultados é que na ilha da Madeira se encontram argilas com composições muito variadas. Os minerais argilosos mais bem representados nos diferentes agrupamentos considerados são os montmorilonóides, os minerais do grupo da caulinite, «os minerais a 14 Å» e a gibsite. Além destes constituintes é de destacar a presença, em alguns perfis, de produtos amorfos sílico-aluminosos e aluminosos em quantidades elevadas (20 a 60 %) e de materiais amorfos ferruginosos cuja presença é constante em todas as amostras. Aparecendo geralmente em baixas quantidades e distribuindo-se irregularmente nos perfis estudados, encontram-se minerais micáceos, minerais interestratificados, magnetite e hematite.

Certos aspectos são de destacar em relação a alguns dos constituintes acima referidos:

«*Minerais a 14 Å*» — São minerais que, em geral, não expandem quando saturados com etileno-glicol e que colapsam parcialmente depois do tratamento com citrato de sódio pelo método de Tamura. Nas amostras aquecidas a 500°C o pico a 14 Å desaparece total ou parcialmente, observando-se o aparecimento de reflexões na região dos 12 a 14 Å e, nalgumas amostras, mesmo próximo dos 10 Å. Este comportamento, que distingue os «minerais a 14 Å» dos montmorilonóides típicos (Fig. 1), parece indicar que se estará em presença de minerais do tipo vermiculite ou clorite com camadas de alumínio interfoliar, podendo mesmo, nalguns casos, corresponder a montmorilonites aluminosas. É esta, aliás, a indicação que parece ressaltar de alguns espectros de infravermelhos de amostras onde se identificaram minerais a 14 Å do tipo dos montmorilonóides.

Minerais do grupo da caulinite — Aparecem representados nas três variedades: haloisite, meta-haloisite e caulinite.

A haloisite, que ao microscópio electrónico, como referimos em trabalho anterior (Furtado, 1983), aparece nas formas glomerulares e tubulares, parece ser o mineral mais frequente. É no entanto de referir que quando em ambientes menos húmidos pode sofrer uma desidratação (passando a meta-haloisite e perdendo assim as características de expansibilidade), o que torna difícil a sua identificação

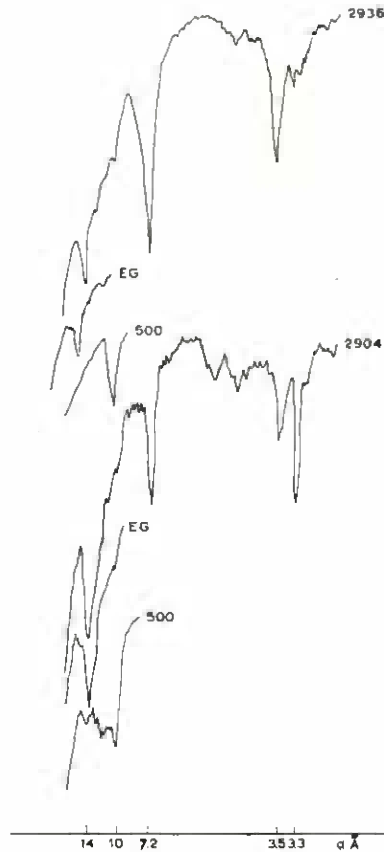


Fig. 1 — Diagrama de raios X das amostras 2904 e 2936

por difracção pelos raios X. Neste caso a espectroscopia dos infra-vermelhos (Fig. 2) permitirá, no caso da impossibilidade de estudo ao microscópio electrónico, tornar em parte as dificuldades.

A caulinite parece encontrar-se mais ou menos desorganizada, podendo confundir-se com a meta-haloisite, tanto mais que estes minerais aparecem simultaneamente nalgumas amostras. Daí que tenhamos classificado como caulinite/haloisite amostras presumivelmente constituídas por meta-haloisite mas onde poderá aparecer também caulinite desordenada.



Fig. 2 — Espectros de infravermelhos das amostras 2933, 3342 e 3365 e de uma haloisite padrão

Materiais amorfos silico-aluminosos e aluminosos — A caracterização das argilas contendo percentagens elevadas destes materiais foi feita num outro trabalho (Furtado, 1983). Os resultados obtidos naquele estudo, assim como o efectuado sobre amostras de outras zonas, mostraram que a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dos produtos dissolvidos oscila entre 0,4 e 1,5. Estas características químicas, juntamente com os resultados obtidos por espectroscopia dos infravermelhos (Fig. 3), parecem indicar que os materiais amorfos dos solos da ilha da Madeira poderão ser incluídos nas alofanas aluminosas e nas alofanas haloisíticas (Quantin, 1974).

Para além destes materiais silico-aluminosos foram também identificados produtos amorfos aluminosos.

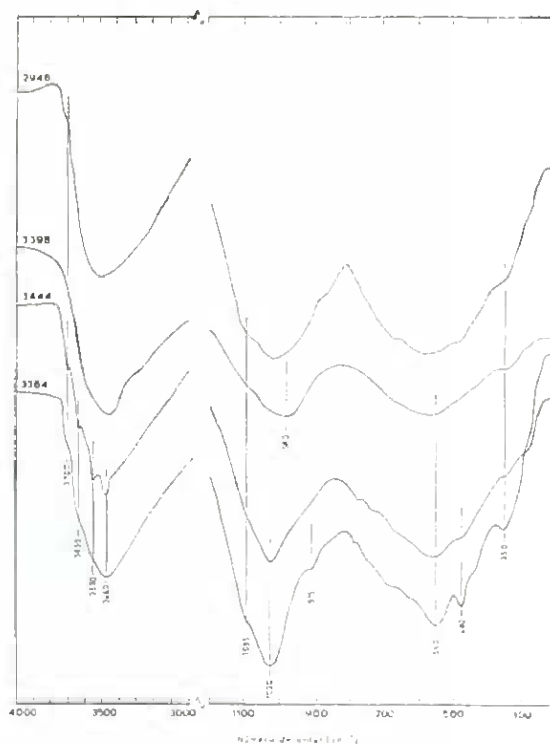


Fig. 3 — Espectros de infravermelhos das amostras 2946, 3444, 3364 e 3198

Em função dos resultados obtidos e como se referiu anteriormente, vamos considerar os agrupamentos nos quais se distribuíram os diferentes tipos de argila.

1. ARGILAS MONTMORILONÍTICAS

As argilas fundamentalmente constituídas por montmorilonite encontram-se nalgumas zonas da costa oriental e sul da ilha, cujos solos se desenvolveram predominantemente sobre rochas basálticas e em climas que variam entre o sub-húmido seco (C_1) e o semi-árido (D).

A montmorilonite encontra-se associada à caulinite e por vezes a minerais micáceos. O ferro está sempre presente no estado amorfo mas encontram-se também, nalgumas amostras, formas cristalinas (hematite e magnetite).

QUADRO I

Composição mineralógica da argila dos perfis do agrupamento 1.

Perfil	Amostra	Profundidade (cm)	Pluviosidade (mm)	Montmorilonite	Caulinite	Minerais micáceos	Hematite	Magnetite	Amorfos Fe
52	3128	20-50	1000	1	3/4	4	3/4	—	3
	3129	60-90		1	3/4	4	3/4	—	3
58	3135	20-50	800	1	4	—	3/4	—	3
35	3189	0-23		1	2	3/2	—	—	3
103	3198	40-65		1	2	—	—	—	3
234	3501	20-65	700	1	2	—	—	V	3
	3502	55-95		1	3	—	—	V	3
199	3479	35-75		1	2	—	3/4	4	3
410	4216	40-70		1	3	—	—	—	3
233	3498	40-80	600	1	3	—	—	V	3
	3499	90-115		1	3	—	—	V	3
222	3437	25-55		1	2/3	—	—	—	3
	3438	75-115		1	2/3	—	—	—	3
51	3097	45-75		1	3/4	—	—	—	3
196	3473	38-48	500	1	3	4	—	—	3

1 — > 50 % 2 — 50-20 % 3 — 20-5 % 4 — < 5 % V — Vestígios.

2. ARGILAS CAULINITICAS

Neste agrupamento podemos considerar os três conjuntos seguintes:

2.1. ARGILAS PREDOMINANTEMENTE CAULINITICAS

As argilas deste tipo encontram-se, na sua grande maioria, numa zona para sul duma linha que passa a norte do Pico Ruivo até Santa Cruz e que se prolonga para oeste até às proximidades de Calheta, seguindo depois junto à costa até à Ponta do Pargo. Grande parte dos perfis encontra-se em zonas cartografadas como materiais piroclásticos, e nalguns casos como basaltos, e sob climas que vão desde o sub-húmido chuvoso (C₂) ao super-húmido (A).

A haloisite parece ser o mineral caulinitico mais frequente, embora a caulinite e/ou a meta-haloisite se encontrem também presentes, sobretudo nos horizontes superficiais e nas zonas menos húmidas. Acompanhando aqueles minerais, duma forma irregular e em

QUADRO II

Composição mineralógica da argila dos perfis do agrupamento 2.1.

Perfil	Amostra	Profundidade (cm)	Pluviosidade (mm)	Caulinite	Haloisite	Minerais micáceos	Interstratificados	Minerais a 14 Å	Gibbsite	Amorfos Al	Hematite	Magnetite	Amorfos Fe
31 1M	3188	35-70	3200	1	—	—	4	—	3/4	3/4	4	4	3
	2897	12-44	2800	1	—	—	3	—	4	3/4	—	4	2/3
	2898	44-65	—	1	—	—	4	—	4	4/3	3	4	3
25	2899	65-100	2400	1	—	—	4	—	4	3/4	3	—	3
	3177	25-55	2000	1	—	4	4	4/3	4	3/4	3/4	4	3
	3178	55-85	—	1	—	4	—	4	3	4	4/3	V	3
11M	2940	37-75	—	1	—	—	—	—	4	4	3	4	3
	2941	75-115	—	1	—	—	4	—	4	4	3	4	3
63	3160	20-42	—	1	—	—	4	—	3/4	4/3	4	—	3
18	3167	32-50	1600	1	—	—	4/3	—	—	3/4	3	4	3
	3168	60-95	—	1	—	—	4/3	—	—	4	3	V	3
134	3342	40-70	1400	1	—	—	—	—	—	—	3	—	3/4
	3343	80-120	—	1	—	—	—	—	—	—	3	V	3/4
264	3373	15-45	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
66	3148	15-40	1200	1	—	—	4/3	—	—	—	—	V	3
	3149	40-60	—	1	—	—	4	—	—	—	—	4	3
391	3967	40-60	—	—	1	—	—	—	4	4	—	—	3
473	4432	48-78	—	—	1	—	—	—	—	—	3	—	3/4
	4434	107-130	—	—	1	—	—	—	—	—	3	—	3/4
7M	2921	15-29	—	1	—	—	4/3	—	—	—	—	4	3
	2922	29-45	—	1	—	4/3	3	—	—	—	—	4	3
	2923	45-80	—	1	—	3	3/4	—	—	—	—	4	3
8M	2926	35-58	—	1	—	—	—	—	—	—	—	4	3
	2927	58-95	—	1	—	—	—	—	—	—	—	4	3
111	3216	32-64	1000	1	—	—	—	4/3	3/4	3/4	4/3	—	3
	3217	70-100	—	1	—	—	—	4/3	3	3/4	4/3	—	3
435	4275	20-50	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
439	4282	20-50	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
	4283	52-80	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
39	3107	50-85	800	1	—	—	4/3	—	—	4	3/4	—	3
18	3493	0-25	—	1	—	4	4	—	—	—	4	—	3/4
9M	2932	40-80	—	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3
	2933	80-107	—	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3
162	3378	40-70	—	1	—	—	4	—	—	—	V	3	
247	3513	40-75	—	1	—	—	4/3	—	—	—	V	3	
254	3522	60-90	—	1	—	4	4	—	—	—	4/3	4	3
	3523	95-135	—	1	—	4	4	—	—	—	4	4	3
160	3361	25-55	700	1	—	4	4	—	—	—	4/3	4	3
212	3392	37-60	—	1	—	—	4	—	—	—	4	4	3
	3393	60-90	—	1	—	—	4	—	—	—	—	4	3
181	3459	20-55	—	1	—	4	—	—	—	—	4/3	4	3
	3460	60-90	—	—	1	4	—	—	—	—	4/3	V	3
192	3463	43-85	600	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3
	3464	85-120	—	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3

1 — > 50 % 2 — 50-20 % 3 — 20-5 % 4 — < 5 % V — Vestígios.

reduzidas quantidades, encontram-se minerais micáceos, «minerais a 14 Å», interestratificados e gibsite. Detectou-se também nalgumas amostras, em quantidades reduzidas, amorfos aluminosos.

2.2. ARGILAS CAULINITICAS ASSOCIADAS A «MINERAIS A 14 Å»

As argilas com esta composição encontram-se *grosso modo* para norte da região onde predominam as argilas cauliniticas, excluindo as zonas onde predominam as argilas essencialmente constituídas por materiais amorfos e as argilas com montmorilonites. A maioria dos perfis localiza-se em zonas cartografadas com piroclastitos embora se encontrem também sobre basaltos. O clima das regiões onde se situam os perfis oscila entre o húmido (B₃) e o super-húmido (A).

Embora os minerais cauliniticos sejam sempre dominantes, eles aparecem associados a «minerais a 14 Å» normalmente bem representados. Para além destes dois constituintes encontram-se nalgumas amostras, geralmente em quantidades reduzidas, minerais micáceos, interestratificados e gibsite. Amorfos aluminosos, em baixas quantidades, estão também presentes em todos os perfis.

2.3. ARGILAS CAULINITICAS ASSOCIADAS A MONTMORILONITE

As argilas com esta composição aparecem na região do Funchal e na costa oriental, onde também se encontram as argilas montmoriloniticas, a norte de Machico e na zona da Ponta de S. Lourenço. Os perfis encontram-se em zonas cartografadas com basaltos, sob climas que oscilam entre o semi-árido (D) e o sub-húmido chuvoso (C₂).

A caulinite e/ou a halosite embora sendo os minerais dominantes encontram-se associadas a quantidades médias de montmorilonite, aparecendo também nalgumas amostras minerais micáceos, geralmente em quantidades reduzidas.

Para além dos componentes referidos nos três conjuntos deste agrupamento aparecem também amorfos ferruginosos e, nalgumas amostras, hematite e magnetite.

QUADRO II

Composição mineralógica da argila dos perfis do agrupamento 2.1.

Perfil	Amostra	Profundidade (cm)	Pluviosidade (mm)	Caulinite	Halosite	Minerais micáceos	Interstratificados	Minerais a 14 Å	Gibsite	Amorfos Al	Hematite	Magnetite	Amorfos Fe
31 1M	3188	35-70	3200	1	—	—	4	—	3/4	3/4	4	4	3
	2897	12-44	2800	1	—	—	3	—	4	3/4	—	4	2/3
	2898	44-65	—	1	—	—	4	—	4	4/3	3	—	3
25	2899	65-100	2400	1	—	—	4	—	4	3/4	3	4	3
	3177	25-55	2000	1	—	4	4	4/3	4	3/4	3/4	4	3
	3178	55-85	—	1	—	4	—	4	3	4	4/3	V	3
11M	2940	37-75	—	1	—	—	—	—	4	4	3	4	3
	2941	75-115	—	1	—	—	4	—	4	4	3	4	3
63 18	3160	20-42	—	1	—	—	4	—	3/4	4/3	4	—	3
	3167	32-60	1600	1	—	—	4/3	—	—	3/4	3	4	3
134	3168	60-95	—	1	—	—	4/3	—	—	4	3	V	3
	3342	40-70	1400	1	—	—	—	—	—	—	3	—	3/4
	3343	80-120	—	1	—	—	—	—	—	—	3	V	3/4
264	5673	15-45	—	1	—	—	—	—	—	—	—	3	
66	3148	15-40	1200	1	—	—	4/3	—	—	—	—	V	3
	3149	40-60	—	1	—	—	4	—	—	—	—	4	3
391	3967	40-60	—	—	1	—	—	—	4	4	—	—	3
473	4432	48-78	—	—	1	—	—	—	—	—	3	—	3/4
	4434	107-130	—	—	1	—	—	—	—	—	3	—	3/4
7M	2921	15-29	—	1	—	—	4/3	—	—	—	—	4	3
	2922	29-45	—	1	—	4/3	3	—	—	—	—	4	3
	2923	45-80	—	1	—	3	3/4	—	—	—	—	4	3
8M	2926	35-58	—	1	—	—	—	—	—	—	—	4	3
	2927	58-95	—	1	—	—	—	—	—	—	—	4	3
111	3216	32-64	1000	1	—	—	—	4/3	3/4	3/4	4/3	—	3
	3217	70-100	—	1	—	—	—	4/3	3	3/4	4/3	—	3
435	4275	20-50	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
439	4282	20-50	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
	4283	52-80	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
39 18	3107	50-85	800	1	—	—	4/3	—	—	4	3/4	—	3
	3493	0-25	—	1	—	4	4	—	—	—	4	—	3/4
9M	2932	40-80	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
	2933	80-107	—	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3
162	3378	40-70	—	1	—	—	4	—	—	—	—	V	3
247	3513	40-75	—	1	—	—	4/3	—	—	—	—	V	3
254	3522	60-90	—	1	—	4	4	—	—	—	4/3	4	3
	3523	95-135	—	1	—	4	4	—	—	—	4	4	3
160	3381	25-55	700	1	—	4	4	—	—	—	4/3	4	3
212	3392	37-60	—	1	—	—	4	—	—	—	4	4	3
	3393	60-90	—	1	—	—	4	—	—	—	—	4	3
181	3459	20-55	—	1	—	4	—	—	—	—	4/3	4	3
	3460	60-90	—	—	1	4	—	—	—	—	4/3	V	3
192	3463	43-85	600	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3
	3464	85-120	—	1	—	—	—	—	—	—	—	V	3

1 — > 50 % 2 — 50-20 % 3 — 20-5 % 4 — < 5 % V — Vestígios.

QUADRO IV

Composição mineralógica da argila dos perfis do agrupamento 2.3.

Perfil	Amostra	Profundidade (cm)	Pluviosidade (mm)	Caulinite	Halosite	Montmorilonite	Minerais micáceos	Hematite	Magnetite	Amorfos Fe
89	3320	0-23	1400	1	—	3	—	—	V	3
16	3120	30-58	1200	1	—	3	—	4	4	3/2
	3121	58-90		1	—	3	—	4	4	3
	3122	110-145		1	—	3/2	—	4	4	3
67	3155	20-45	1000	1	—	3	—	4/3	V	3
59	3137	15-40	800	1/2	—	2	—	—	V	3
102	3194	25-50		1	—	4/3	3	4	—	3
	3195	65-90		1	—	2	3	4	—	3
256	3530	20-50		1	—	2	—	4	4	3
	3531	60-90		1	—	2	—	4	4	3
36	3108	45-75	700	1	—	3	—	3/4	—	3
60	3140	15-40		1	—	2	3	—	—	3
	3141	45-90		1	—	2	3/4	—	V	3
10M	2936	15-44		1	—	2	—	—	—	3
	2937	50-90		1	—	2	3/4	—	—	3
232	3495	30-70	600	1/2	—	2	—	—	4	3
	3496	85-125		2/3	—	1	—	—	4	3
447	4350	50-80		1	—	2	—	—	—	3
5M	2913	15-32		1	—	3	—	—	—	3
	2914	32-60		1	—	3	—	—	—	3
46	3088	37-69		1	—	3	—	3/4	4	3
	3089	75-110		1	—	3	—	3/4	V	3
195	3475	10-30		1	—	3	4	—	V	3
194	3477	26-53	500	1	—	3	—	—	V	3
	3478	60-95		1	—	3	—	4/3	V	3

1 — > 50 % 2 — 50-20 % 3 — 20-5 % 4 — < 5 % V — Vestígios.

3. ARGILAS COM MATERIAIS AMORFOS SILICO-ALUMINOSOS BEM REPRESENTADOS

A maioria dos perfis com argilas deste tipo encontra-se na região do Planalto do Paul da Serra e zonas envolventes e a norte de Porto Moniz. Nas zonas de Santana e S. Jorge ocorrem também argilas deste tipo, embora os materiais amorfos se encontrem menos bem representados.

Os perfis localizam-se em zonas cartografadas como basaltos e piroclastitos (em geral finos), parecendo no entanto que foi sobre estes últimos materiais que se desenvolveram os solos cujas argilas

são fundamentalmente constituídas por produtos amorfos. O clima das zonas onde se encontram estes perfis é dos tipos húmido (B₃ e B₁) e super húmido (A).

Para além dos materiais amorfos sílico-aluminosos que predominam na maioria dos perfis, é de salientar a presença dos amorfos ferruginosos, da gibsite bem representada nalgumas amostras, embora ausente ou mal representada noutras, dos «minerais a 14 Å» e dos minerais do grupo da caulinite que mostram, em geral, características de haloisite.

QUADRO V

Composição mineralógica da argila dos perfis do agrupamento 3.

Perfil	Amostra	Profundidade (cm)	Pluviosidade (mm)	Caulinite	Haloisite	Minerais micáceos	Minerais 14 Å	Gibsite	Amorfos Si-Al	Hematite	Magnetite	Amorfos Fe
12 M	2946	15-47	2800	4		4	2/3	—	2/1	4	4	3/2
	2947	47-65		4		4	2/3	—	2/1	4	V	3/2
221	3452	27-54		3/4		—	3	2	2	3	V	3
	3453	60-90		3		—	—	1	3/2	3	V	3
13 M	3454	120-150	2400	3		4	—	1	3/2	3	V	3
	2949	15-40		—	4	4	3	2/3	2	4	—	3/2
140	2950	40-60	2000	—	4	4	3	2	2	4	—	3/2
	3333	20-50		2/3		—	3	3/2	2	4	—	3
148	3355	51-72		2		—	2/3	4	3	3	V	3
	3356	72-108		2		4	2/3	4	3	3	V	3
163	3357	115-145		2		4	2/3	3/4	3/2	3	4	3
	3358	150-170		2		4	2/3	3/4	2	3	—	3
202	3425	20-45		3		—	3	—	2	4	—	3
	3457	17-45		3/4		—	3	3/4	2	4	—	2
170	3398	35-60	1600	4		—	3	3/4	2/1	—	—	3
	3399	70-100		4		—	3	3/4	2/1	—	—	3
6 M	2917	35-63		3		3	2	3/4	3/2	4	4/3	3
	2918	75-110		3		3	2	3/4	3/2	4/3	3/4	3
91	2919	113-150		3		4	2	4/3	3/2	4/3	4/3	3
	3322	30-60		3		—	2	3	3/2	4/3	V	2/3
135	3323	65-100	1400	3		—	2	3	3/2	3	4	2/3
	3348	40-65		2/3		—	2/3	4	3	4/3	—	3/2
131	3349	75-110		2/3		3/4	2/3	4	3	4	—	3/2
	3364	30-60		2		—	2	4/3	2/3	—	V	3
86	3365	70-110		2		—	2	3	3/4	—	V	3
	3345	40-70		2/3		—	2/3	3/4	2	4/3	V	3/2
207	3444	20-40		3/4		—	2/3	3	2/3	3	4	3
	3445	85-100		3		—	3	1	3/2	4	4	3
157	3429	25-60	1200	2		—	2	—	2/3	4/3	4	3
	3384	25-50		1/2		4	2	4/3	3	4/3	4	3
156	3385	65-85	800	1/2		—	2	4/3	3	4/3	4	3

1 — > 50 % 2 — 50-20 % 3 — 20-5 % 4 — < 5 % V — Vestígios.

IV. APRECIACÃO DOS RESULTADOS

A natureza dos minerais argilosos dos solos da ilha da Madeira resulta da conjugação da acção do clima e dos factores ditos locais (rocha-mãe, vegetação e topografia).

O clima parece ser, no entanto, o factor que mais contribui para a diversificação da composição das argilas. Efectivamente quando se caminha de leste para oeste a partir da costa, passando dum clima semi-árido a climas cada vez mais húmidos, a que correspondem quantidades de precipitação que oscilam entre 500 e 3200 mm, encontram-se argilas que vão desde os montmorilonóides à gibsite passando pelos minerais caulínicos (considerando apenas os minerais de neoformação e excluindo a presença dos materiais amorfos).

Mas se o clima joga um papel essencial na diversificação da composição dos minerais argilosos, não menos importância terão, em certas situações, os factores locais que poderão mesmo modificar profundamente o processo climático de conjunto.

Não se pretende num trabalho de âmbito geral como é este, discutir a importância de todos estes factores na génese das argilas e por isso vamos apenas considerar aquele que, depois do clima, parece afectar mais aquele processo — a rocha-mãe. A influência desta pode manifestar-se por três aspectos: composição química e mineralógica, modo como se apresenta e idade.

A composição química no caso da ilha da Madeira é um factor que dada a uniformidade composicional das rochas que parece existir, fundamentalmente basálticas, não terá influenciado, duma forma geral a diversificação dos minerais argilosos. No entanto, a composição mineralógica, tendo em consideração que os constituintes das diferentes rochas se podem apresentar cristalizados ou amorfos, poderá contribuir, em menor ou maior grau, para o aparecimento de produtos amorfos na fracção argilosa.

Como se referiu, a ilha da Madeira caracteriza-se litologicamente por apresentar quer rochas consolidadas (basaltos compactos ou vesiculares) quer rochas detríticas (piroclastitos finos ou grosseiros). Serão estes diferentes aspectos da rocha-mãe do solo que se poderão contrapor ao processo climático de conjunto e provocar aparentes anomalias na sequência normal de distribuição dos minerais argilosos. Efectivamente o processo de meteorização pode desenvolver-se de

maneira diferente conforme actua sobre materiais compactos, vesiculares ou detríticos, dada a diferença de permeabilidade e consequentemente de grande lavagem do meio.

A influência da idade da rocha-mãe no estado de evolução dos solos e consequentemente na composição mineralógica das argilas é um factor também em ter em conta, dado que a actividade vulcânica na ilha da Madeira se estendeu até aos tempos modernos.

Para corroborar o que se acaba de referir considere-se o que se passa no Planalto do Paul da Serra e zonas limítrofes, unidade geomorfológica bem definida, onde se encontram argilas essencialmente cauliniticas, argilas com percentagens elevadas de materiais amorfos sílico-aluminosos e argilas em que a estes constituintes se junta a gibsite em percentagens relativamente elevadas. A diversificação mineralógica é aqui atribuída mais às características da rocha-mãe, e possivelmente à sua idade, do que ao clima, pois este não apresenta diferenças assinaláveis em toda a região. Efectivamente tendo em conta que o Planalto do Paul da Serra se desenvolveu sobre derrames basálticos que posteriormente foram recobertos total ou parcialmente por materiais piroclásticos, durante períodos diversos da actividade vulcânica, poderemos encontrar nestes diferentes aspectos a explicação dos tipos de argila que aí se encontram.

Tendo em consideração o que se referiu anteriormente faz-se em seguida uma caracterização genética dos minerais argilosos.

Montmorilonite — Aparece fundamentalmente em solos desenvolvidos a partir de rochas basálticas localizadas na parte oriental e sul-sudeste da ilha, em correspondência com os climas mais secos e com situações de deficiente drenagem. A génese da montmorilonite estará assim ligada a condições de baixa pluviosidade (em geral inferior a 800 mm), de reduzida permeabilidade do meio, o que proporcionará um nível elevado de bases, em particular de magnésio. São situações deste tipo que se encontram na região do Machico, Santa Cruz, Funchal e Ribeira Brava, que correspondendo, além disso, a zonas para onde também se faz a drenagem dos produtos resultantes da alteração das rochas dos níveis superiores, mais intensivamente determinam a génese deste mineral.

Minerais do grupo da caulinite — Encontram-se como minerais predominantes em solos formados a partir de rochas basálticas e de

piroclastitos, em todas as condições climáticas. É de salientar, no entanto, que a haloisite será o mineral que prevalecerá nas zonas mais húmidas, ao contrário do que sucederá com a meta-haloisite e a caulinite mais ou menos desorganizada. Aliás esta hipótese está de acordo com a noção que se tem de que a haloisite se forma geralmente em regiões sujeitas a fortes precipitações e com humidade prolongada, condições que se verificam em muitas zonas da ilha.

Um outro aspecto que se observa é o da diminuição da haloisite em superfície, o que poderá resultar da passagem para formas desidratadas, tipo meta-haloisite, em consequência, provavelmente de uma dessecação periódica dos horizontes superficiais do solo.

A presença de haloisite tubular e glomerular e de minerais caulínicos mal definidos juntamente com produtos amorfos sílico-aluminosos, leva-nos a admitir, que a génese daqueles minerais se teria processado de acordo com a sequência:

amorfos (Si-Al) → haloisite → meta-haloisite

Gibbsite — Mineral que se encontra em solos localizados nas regiões em que a pluviosidade excede os 1000 mm anuais, embora só apareça bem representada nalguns perfis de rochas piroclásticas da região do Planalto do Paul da Serra, onde as quedas pluviométricas atingem os 3000 mm. A sua génese deve estar relacionada com a alta precipitação e boa drenagem interna do material, o que facilitará uma lavagem intensa com a consequente acumulação do alumínio.

A sua pouca representação nalguns perfis situados na mesma região poderá explicar-se por qualquer dos seguintes factos: ou por os solos estarem menos evoluídos, ou porque factores particulares impedem a passagem para o estado cristalino dos materiais amorfos aluminosos.

«*Minerais a 14 Å*» — Como se referiu anteriormente estes minerais mostram características de vermiculite ou clorite e nalguns casos mesmo de montmorilonite, com alumínio na camada interfoliar. Poder-se-á admitir que a vermiculite e a clorite aluminosas provieram directamente da alteração das piroxenas ou anfíbolas, ou através duma fase montmorilonítica, tendo-se desenrolado qualquer dos processos, muito provalmente, num meio rico em alumínio.

Materiais amorfos silico-aluminosos — Encontram-se em solos situados em regiões de climas húmidos onde a pluviosidade é, em geral, superior aos 1400 mm. Aparecem, na maioria dos casos, associados a materiais piroclásticos finos que se terão depositado durante as últimas fases de actividade vulcânica verificada na ilha.

Como se sabe os materiais piroclásticos finos, porosos e hidratados, libertam muito rapidamente os seus constituintes amorfos silico-aluminosos ao contrário do que sucede com os basaltos duros onde esse processo é mais lento. A evolução dos materiais sílico-aluminosos no sentido da cristalização, no decurso do envelhecimento dos solos, pode ser retardada pela abundância de matéria orgânica, situação que, aliás, se observa no Planalto do Paul da Serra.

Tendo em atenção que a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dos materiais amorfos da maioria das amostras estudadas se encontra abaixo de 1,5, o sentido da evolução daqueles materiais será provavelmente no da formação de uma mistura de gibsite e imogolite, numa primeira fase, o que dará como termo final uma argila fundamentalmente constituída pela gibsite associada a um mineral do grupo da caulinite.

Materiais ferruginosos — Como se referiu, grande parte do ferro que se encontra nas argilas apresenta-se no estado amorfo. O atraso da cristalização destes materiais, comparativamente ao que se observa com os minerais silico-aluminosos, poderá resultar, como diz Schwertman *et al* (1968), da facilidade que possuem os produtos ferruginosos amorfos de serem adsorvidos pelas substâncias orgânicas.

Quanto à hematite, ela deverá ter-se formado numa fase anterior à génese dos solos, dada a sua presença nos mais diversos climas e em associação com os diferentes tipos de argila. A hipótese admitida é a de que durante a deposição das lavas poderá ter havido uma alteração do tipo hidrotermal levando à formação de vários minerais entre os quais a hematite.

BIBLIOGRAFIA

- FURTADO, A. F. A. Sanches (1975) — Os minerais argilosos dos solos da ilha de S. Miguel (Açores). *An. Inst. Sup. Agron.*, XXXV: 41-76. Lisboa.
- FURTADO, A. F. A. Sanches (1978-1979) — Os minerais argilosos dos solos da ilha de Santa Maria (Açores). Alguns aspectos relacionados com a sua génese. *An. Inst. Sup. Agron.*, XXXVIII: 39-61. Lisboa.

- FURTADO, A. F. A. Sanches (1980) — As argilas dos solos da ilha Graciosa. Alguns aspectos relacionados com a sua genése. *An. Inst. Sup. Agron.*, XXXIX: 87-106. Lisboa.
- FURTADO, A. F. A. Sanches (1983) — Os materiais amorfos dos solos da região do Paul da Serra (Ilha da Madeira). *Garcia de Orta, série de Estudos Agronómicos*. Em publicação.
- MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L. (1960) — Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite — citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7:317-327.
- QUANTIN, P. (1974) — Hypothèses sur la genése des andosols en climat tropical: Evolution de la «pédogenèse initiale» en milieu bien drainé, sur roches volcaniques. *Cah. ORSTOM, sér. Pedol*, XII (1): 3-12.
- SCHWERTMAN U., FISCHER, W. R. & PAPENDORF, H. (1968) — The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. *9th Int. Cong. of Soil Sc.*, 1:645-655. Adelaide.
- SEGALEN, P. (1968) — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxides tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VI (1): 105-126.
- TAMURA, T. (1957) — Identification of 14 A clay minerals component. *Amer. Min.*, 42:107-110.
- ZBYSZEWSKY, G. *et al* (1975) — Carta Geológica de Portugal (Esc. 1/50 000) — *Noticia explicativa das Folhas «A» e «B» da ilha da Madeira*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.