

**SOLOS VERMELHOS MEDITERRANEOS DO ALENTEJO E FORMAÇÕES DE TERRA
ROSSA DA ESTREMADURA PORTUGUESA – CORRELAÇÕES DE GENESE**

M.M. Abreu

ABSTRACT

Red Mediterranean Soils and Terra Rossa samples collected in the south of Tagus River and Estremadura region (Portugal), respectively, were studied in order to determine the dynamic of iron oxides and silicate weathering and neoformation. The samples were studied by X-ray and chemical analysis and by scanning and transmission electron microscopy. The iron oxides from these samples occurred in two forms: (i) concentrated in nodules and ferruginous pisolites, both magnetic (maghemite) and non-magnetic (goethite and hematite); and (ii) as photohematite and hematite ($\phi < 5$ nm) associated to clay minerals, leading to the formation of water stable aggregates.

The quartz grains, separated from the sandy fraction and from pisolites and nodules, presented dissolution etch pits, which indicates a high degree of weathering. Kaolinite was identified in Terra Rossa and in the soils, except in three soil samples. The identification of smectite in these three samples agrees with the paleogeographical evolution of the region (poorly drained conditions) where they are located. Similar characteristics presented by Terra Rossa and Red Mediterranean Soils may indicate related genesis conditions. So, these formations may represent bioclimatic relic conditions very close to those prevailing in the warm and humid tropical regions.

RESUMO

Amostras de Solos Vermelhos Mediterrâneos desenvolvidos sobre materiais não calcários colhidos a Sul do Rio Tejo, na região do Alto e Baixo Alentejo, e formações de Terra Rossa da Estremadura, região centro-oeste de Portugal, foram estudadas relativamente à dinâmica dos óxidos de ferro af presentes e ainda da alteração e neoformação de silicatos, através de técnicas mineralógicas e químicas clássicas e da microscopia electrónica de varrimento e transmissão. Os óxidos de ferro ocorrem nas amostras sob duas formas: (i) concentrados em nódulos ou pisólitos magnéticos e não magnéticos, nos primeiros identificaram-se a maghemite e a hematite e nos últimos goethite e hematite; (ii) associados aos minerais argilosos sob a forma de photohematite e hematite de dimensões nanométricas e contribuindo para a formação de agregados estáveis em água. Dos silicatos presentes destacam-se a caulinite e o quartzo. Este apresenta figuras de dissolução intensa. Três das amostras de solos estudados apresentam características distintas dos outros (presença de esmectite), mas compatíveis com a evolução paleogeográfica da região onde se situam; condições de drenagem deficientes. As características comuns apresentadas por ambas as formações parecem indicar condições de génese muito semelhantes. Estas formações poderão ser encaradas como relíquias de condições bioclimáticas próximas das que existem actualmente nas regiões tropicais de características quentes e húmidas.

INTRODUÇÃO

Desde 1962 que Kubiena considerou os Solos Vermelhos da bacia Mediterrânea desenvolvidos a partir de rochas siliciosas como formações relíquias, pois que, a génese dos seus constituintes (minerais argilosos e óxidos de ferro) requer condições de intensa meteorização que não existem actualmente nessa zona. De facto os Solos Vermelhos Mediterrâneos do Alentejo, situados numa região caracterizada por um progressivo aumento das condições de aridez, têm sido considerados poligenéticos (Carvalho Cardoso, 1965; Ricardo et al., 1972; Abreu, 1986).

Por outro lado, as formações de Terra Rossa, normalmente associadas a regiões de rochas carbonatadas e actualmente sob

climas mediterrâneos, têm sido frequentemente interpretadas relativamente à sua génese, como um resíduo insolúvel dos calcários subjacentes. Esta teoria "residual", aceita pela grande maioria dos autores, não considera os parâmetros climáticos sob os quais a alteração das rochas teria ocorrido. Em acréscimo, Boero & Schwertmann (1989), consideram ainda as características climáticas mediterrâneas e a drenagem interna das regiões calcárias, como condições de formação da Terra Rossa.

Porém, outros autores consideram a Terra Rossa como um produto de intensa alteração e neoformação sob condições climáticas subtropicais e tropicais (Skowronek, 1979).

Neste trabalho, sugere-se, através do estudo dos óxidos de ferro e da alteração e neoformação dos silicatos presentes em amostras de Terra Rossa, colhidas na Estremadura portuguesa e em amostras de Solos Vermelhos Mediterrâneos (Alfisols e Ultisols), desenvolvidos sobre materiais não calcários colhidos a Sul do Rio Tejo, que ambas as formações serão uma resultante de paleoambientes com características de dinâmicas muito semelhantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de Terra Rossa foram colhidas nas diaclases de calcários jurássicos do maciço calcário Estremenho (região centro-oeste de Portugal). Das amostras totais separaram-se por crivagem e sedimentação agregados estáveis em água, cuja dimensão vai desde $< 2 \mu\text{m}$ a $> 1 \text{mm}$ e, ainda, nódulos ferruginosos magnéticos e não magnéticos, cujas dimensões podem atingir, nalguns casos, centímetros. Os Solos Vermelhos Mediterrâneos foram colhidos a Sul do Rio Tejo, no Alto e Baixo Alentejo e desenvolveram-se sobre rochas granitóides, metavulcanitos, gabro-dioritos, xistos e material de cobertura alóctone. As amostras estudadas compreendem as fracções argila ($< 2 \mu\text{m}$) e areia, separadas por sedimentação e crivagem.

Os óxidos de Fe contidos nas formações estudadas distribuem-se pelas seguintes fracções: 1) nas amostras de Terra Rossa, estão presentes nos nódulos ferruginosos e em agregados estáveis em água; 2) nas amostras de Solos Vermelhos Mediterrâneos ocorrem em todas as fracções, estando particularmente relacionadas com a fracção $< 2 \mu\text{m}$; nas fracções areia de alguns solos distinguem-se também grãos magnéticos e não magnéticos e, em dois dos solos estudados, foram separados pisólitos ferruginosos.

As amostras foram caracterizadas mineralógicamente por difracção de raios X e microscopia electrónica de varrimento e transmissão. Os diagramas de raios X das amostras (em pó e orientadas) foram obtidos em difractómetros Philips utilizando radiação $\text{Cu K}\alpha$ e $\text{Co K}\alpha$. Foi utilizado um microscópio electrónico de varrimento Jeol JSM 35 (SEM), equipado com um espectrómetro de energia dispersiva (Tracor) e microscópios electrónicos de transmissão (TEM) - Jeol JME 200 CX, operando a 200 kV de tensão, e Philips 420, operando a

120 kV de tensão. As amostras para estudo ao TEM (fracção argila e agregados estáveis em água) foram previamente impregnados com resina (Spurr), de acordo com a metodologia de Tessier (1984) e, em seguida, foram feitos cortes ultrafinos com faca de diamante num ultramicrotomo Reichert.

Quimicamente o Fe e o Al livres totais e amorfos foram determinados nas amostras totais, excluindo os nódulos e areias ferruginosas por absorção atómica nas soluções resultantes de extracções selectivas, respectivamente citrato-bicarbonato-ditionito (Mehra & Jackson, 1960) e oxalato de amónio-solução Tamm (Schwertmann, 1964).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas amostras totais, quer de Terra Rossa, quer dos Solos Vermelhos Mediterrâneos, os teores em Fe solubilizado pela solução de oxalato (Fe o) são muito baixos, sugerindo que a maioria do Fe livre contido nestas amostras se encontra numa forma cristalina (Tabela 1). De facto, sendo os teores em Fe livre total (Fe d) cerca de 12% em média para a Terra Rossa e de 4% para os Solos Vermelhos Mediterrâneos, a relação $\text{Fe o}/\text{Fe d} \times 100$, que mede a % em ferro livre cristalino na amostra, é superior a 90% em ambos os casos.

Quanto ao Al livre (Al d), este encontra-se em teores relativamente baixos ($< 0,6\%$) nos Solos Vermelhos Mediterrâneos, atingindo valores superiores a 1% nas formações de Terra Rossa. Estes valores estão de acordo com os resultados da difracção de raios X; nas amostras de Terra Rossa identificou-se gibsite, que não foi identificada nos Solos Vermelhos Mediterrâneos, mesmo no solo Vgn(B) desenvolvido sobre gnaisses e cujo teor em Al livre é superior ao dos outros solos.

A análise mineralógica realizada nas várias fracções das amostras (Tabelas 2 e 3) permite agrupá-las da seguinte forma:

- Nódulos de Fe provenientes de Terra Rossa, subdivididos em magnéticos e não magnéticos. Nos primeiros, identificaram-se a hematite e a maghemite e, nos segundos, a hematite e a goethite. A gibsite está no geral associada aos óxidos de Fe e, numa das amostras magnéticas foi identificada a nordstrandite. A caulinite e o quartzo estão também presentes em pequenas quantidades. Os picos de difracção dos óxidos de Fe parecem indicar

Tabela 1 – Resultados analíticos do ferro e do alumínio determinados quimicamente por métodos de extracção selectiva nas amostras de Terra Rossa e de Solos Vermelhos Mediterrâneos.

	Amostras	Fe d	Fe o	$\frac{\text{Fe d}-\text{Fe o}}{\text{Fe d}} \times 100$	Al d	Al o
Solos Vermelhos Mediterrâneos Horizonte B	Pv (1)	3.49	0.16	95.42	0.41	-
	Pv (9)	2.99	0.16	94.65	0.36	-
	Vm	3.69	0.13	96.48	0.39	-
	Vgn (M)	3.26	0.33	89.88	0.64	-
	Vgn (B)	4.75	0.23	95.16	1.05	-
	Vmg	2.52	0.18	92.86	0.50	-
	Vx (A)	7.60	0.63	91.71	0.63	-
	Vx (B)	5.92	0.47	92.06	0.47	-
Terra Rossa	TR 1	8.92	0.57	93.61	0.84	0.80
	TR 2	12.17	1.44	88.17	1.06	0.99
	TR 3	14.60	0.37	97.47	1.21	0.48
	TR 4	11.68	0.36	96.92	1.56	0.64
	TR 5	9.26	0.39	95.79	1.35	0.68
	TR 6	12.20	0.30	97.54	1.67	0.72
	TR 7	17.60	0.68	96.14	2.25	1.18

Fe e Al expressos sob a forma de óxidos em %. Fe d - Ferro ditonito; Fe o - Ferro oxalato; Al d - Alumínio ditonito; Al o - Alumínio oxalato.

Tabela 2 – Caracterização mineralógica das amostras de Terra Rossa.

	Nódulos de Fe		Agregados estáveis em água
	Magnéticos	Não magnéticos	
Óxidos de Fe	Hematite Maghemite	Hematite Goethite	Hematite protohematite Goethite
Hidróxidos de Al	Gibbsite Nordstrandite	Gibbsite	Gibbsite
Silicatos	Caulinite Quartzo	Caulinite Quartzo	Caulinite, Inters. Mica-Verm. Quartzo

não só um grau de cristalinidade bastante acentuado, mas também ausência de substituição isomorfa de Fe por Al.

- Os agregados de Terra Rossa são compostos por hematite e protohematite com alguma goethite associada (vestígios) e ainda gibbsite, caulinite, interstratificados mica-vermiculite e quartzo.
- Os Solos Vermelhos Mediterrâneos estu-

dados podem subdividir-se em solos com goethite, protohematite e hematite sem nódulos ferruginosos, solos desenvolvidos sobre material de cobertura com goethite, protohematite e hematite e com pisólitos magnéticos e não magnéticos e ainda solos com protohematite e hematite e com areias magnéticas e não magnéticas. As fases magnéticas são constituídas

Tabela 3 – Caracterização mineralógica das amostras de Solos Vermelhos Mediterrâneos.

	Sem nódulos de Fe	Com nódulos de Fe	Com pisólitos (material de cobertura)
Solos	Goethite, protohematite, hematite, inters. vermiculite-esmectite	Protohematite, hematite, caulinite, mica, inters. mica-vermiculite, quartzo	Goethite, protohematite, hematite, caulinite, mica, inters. mica-vermiculite, quartzo
Nódulos magnéticos		Hematite, maghemite quartzo, mica, caulinite	
Nódulos não magnéticos		Hematite, quartzo mica	Hematite, goethite quartzo, mica, caulinite

por hematite e maghemite, às quais se associam quartzo, caulinite e mica. As fases não magnéticas diferem das primeiras relativamente à presença de goethite e ausência de maghemite. As areias não magnéticas apenas contêm a hematite como óxido de Fe.

Pela análise das Tabelas 2 e 3 verifica-se que, dos óxidos de ferro identificados, a hematite está presente em todas as fracções das amostras estudadas, enquanto que a protohematite ocorre sempre aliada às fracções finas, nomeadamente aos minerais argilosos. A protohematite apresenta-se sob a forma de pequenas esferas de diâmetro inferior a 5 nm, formando por vezes pequenos agregados (Fig. 1) e foi identificada por microdifracção electrónica. Nos diagramas de microdifracção são identificáveis as distâncias a 0.354; 0.263; 0.246; 0.215; 0.165 e 0.142 nm, as quais são próximas da hematite.

Estes óxidos de ferro representam provavelmente o primeiro estágio da evolução dos policatões de ferro (Towe & Bradley, 1967) e têm uma relação muito estreita com os minerais argilosos, contribuindo para a formação de agregados estáveis em água. Em todas as amostras estudadas, os agregados de dimensão < 2 µm podem ser separados relativamente à sua forma e mineralogia dos silicatos presentes, em agregados esféricos e alongados. Os primeiros são constituídos por caulinites, protohematite e hematite, enquanto que os outros são formados por micas e/ou os seus interstratificados e óxidos de ferro (protohematite e hematite). A Figura 2 (A e B)

ilustra os dois tipos de agregados. O agregado de forma aproximadamente esférica (Fig. 2A) pertence a uma amostra de Terra Rossa, tendo sido identificados caulinite, protohematite e hematite. Os agregados de forma alongada provêm dum Solo Vermelho Mediterrâneo e são constituídos por micas e interstratificados mica-vermiculite, agregados por pequenas esferas de protohematite e hematite (Fig. 2B). Nos agregados de dimensão > 2 µm (Fig. 3), esta diferenciação não se manifesta e, num mesmo agregado, estão presentes, indiferentemente, os dois tipos de minerais argilosos (1:1 e 2:1).

A existência de Solos Vermelhos Mediterrâneos com e sem goethite é explicada através das evoluções paleogeográficas a que foram sujeitas as regiões onde se enquadram, nomeadamente condições de drenagem diferenciadas (Abreu, 1986, 1991), as quais se reflectiram também ao nível da alteração e neoformação dos silicatos - caulinites, nos solos sem goethite, e esmectites ou os seus interstratificados, nos solos com goethite e sem nódulos ferruginosos.

Por outro lado, os diferentes óxidos de Fe presentes nos nódulos ferruginosos sugerem condições de génese aliadas a micro-sistemas caracterizados por parâmetros físico-químicos específicos - temperatura, [Fe], actividade da água, taxas de oxidação e influência das fases sólidas (Abreu, 1986; Tardy et al., 1988; Schwertmann & Taylor, 1989).

Os pisólitos presentes nos Solos Vermelhos Mediterrâneos e os nódulos ferruginosos contidos nas formações de Terra

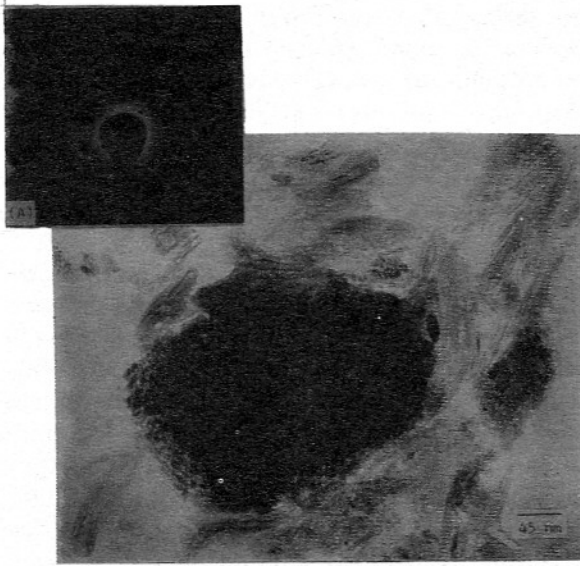


Figura 1 - Agregado de pequenas esferas de protohematite, identificada por microdifracção electrónica. No diagrama de microdifracção (A) são identificadas as distâncias a 0.354; 0.263; 0.246; 0.215; 0.165 e 0.142 nm, as quais são próximas da hematite.

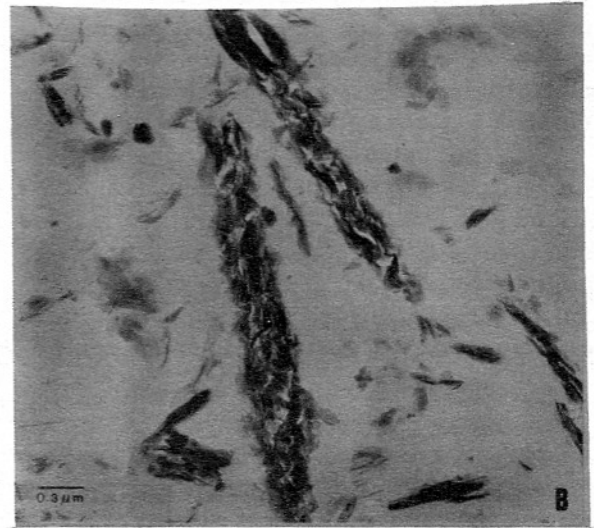
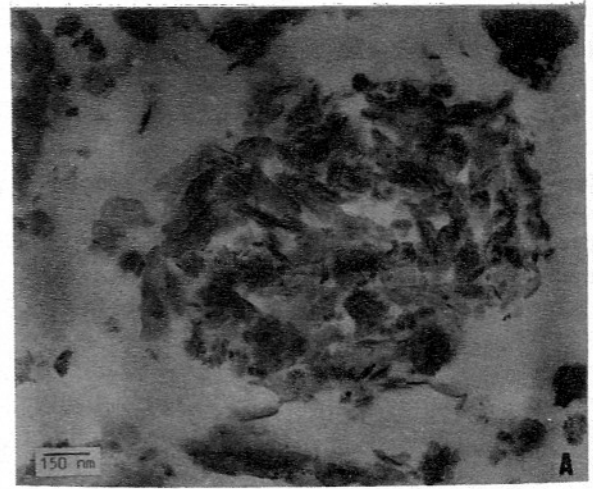


Figura 2 - Microagregados ($< 2 \mu\text{m}$) compostos de minerais argilosos e óxidos de ferro. Todas as amostras estudadas apresentam dois tipos de microagregados: (A) Microagregado de Terra Rossa, de forma esferoidal formado de caulinite, protohematite e hematite. (B) Microagregado dum solo Vermelho Mediterrâneo, com forma alongada e formado de minerais micáceos, protohematite e hematite.

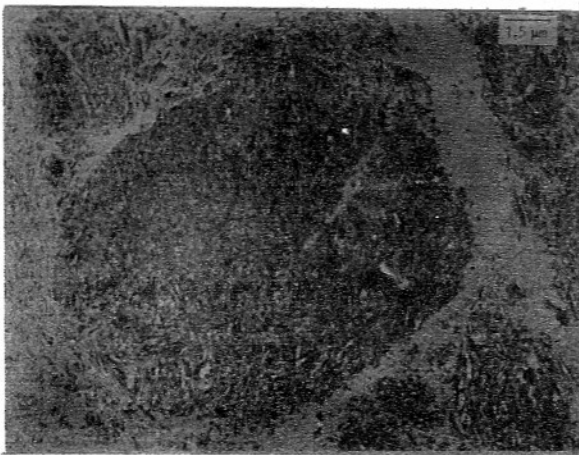


Figura 3 - Agregado dum amostra de Terra Rossa (dimensão $\approx 15 \mu\text{m}$) formado de caulinites, minerais micáceos, protohematite e hematite e ainda alguns grãos de quartzo e gibsite. Os agregados de dimensão $> 2 \mu\text{m}$ não são formados por associações de pequenos agregados.

Rossa apresentam estruturas muito semelhantes, com plasma rico em óxidos de ferro, os quais, embora aparentemente bem cristalizados, não são observáveis ao microscópio electrónico de varrimento. Nos nódulos e pisólitos estão inclusos grãos de quartzo, os quais se apresentam com aspecto esponjoso, cariado e, por vezes, mesmo folheado, indicativo de alteração química bastante intensa e cujo aspecto de superfície é semelhante ao apresentado pelos grãos de quartzo da fracção areia dos solos estudados (Abreu & Robert, 1987). De facto, não só o quartzo testemunha a intensa alteração sofrida pelos materiais que originaram as amostras estudadas, mas também a presença da caulinite é um indicativo de condições climáticas e/ou geomorfológicas peculiares da região que permitiram a génese daquele mineral.

Assim, embora enquadrados em regiões geograficamente distintas, os Solos Vermelhos Mediterrâneos e as formações de Terra Rossa apresentam características cuja correlação de génese parece compatível. De facto, a presença comum, quer do quartzo bastante alterado, quer da caulini-

te, bem como dos óxidos de ferro sob a forma de protohematite e hematite desempenhando um papel importante na agregação dos minerais argilosos, ou concentrados em nódulos ou pisólitos, parecem indicar condições bioclimáticas actuantes com características de regiões quentes e húmidas.

Porém, o clima actual do Alentejo e da Estremadura Portuguesa, em que as precipitações médias regionais têm respectivamente os valores de 500-600 mm e de 900-1000 mm, com distribuição não uniforme ao longo do ano, correspondendo o máximo à estação mais fria, sendo favorável à génese da hematite, não parece corresponder às condições de génese da maghemite, dos nódulos ferruginosos e da caulinite, bem como à intensa alteração sofrida pelo quartzo.

Assim, as formações estudadas poderão ser encaradas como testemunho de condições bioclimáticas de evolução muito semelhantes e próximas das que se fazem actualmente sentir nas regiões tropicais de características quentes e húmidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M.M. (1986) Aspectos do comportamento do ferro na crosta de meteorização. Alto e Baixo Alentejo. Tese, Univ. Técnica Lisboa, 250p.
- ABREU, M.M. (1991) Ferruginous pisolites from South of Portugal. *Paleoenvironmental Quaternary Relics. Sci. Geol. Bull.*, **43**, X, Strasbourg (no prelo).
- ABREU, M.M. & ROBERT, M. (1987) Relations maghemite-quartz. Études dans le milieu naturel (Sols Rouges du Portugal) et en conditions experimentales. In: N. Fédoroff, L.M. Bresson et M. Courty (Eds.). *Soil Micromorphology*, AFES, Pris. p.165-170.
- BOERO, V. & SCHWERTMANN, U. (1989) Iron oxide mineralogy of Terra Rossa and its genetic implications. *Geoderma*, **44**: 319-327.
- CARVALHO CARDOSO, J.V.J. (1965) Os solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese. 1. A Sul do Rio Tejo. Secretaria de Estado da Agricultura, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. (1960) Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, **7**: 317-327.
- RICARDO, R.P.; SANCHES FURTADO, A. F.A.; MONTEIRO MARQUES, M. (1972) Génese dos Solos Mediterrâneos - o caso de Solos Vermelhos Mediterrâneos de xistos paleozóicos. *An. Inst. Sup. Agron.*, **23**: 109-123.
- SCHWERTMANN, U. (1964) Différenciation des oxides ferriques du sol par extraction avec une solution d'oxalate d'ammonium. *Z. Pflanz. Bodenkd.*, **105**: 195-202.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. (1989) Iron oxides. In: *Minerals in soil environments*. 2nd ed. (J.B. Dixon & S.B. Weed), p. 379-438.
- SKOWRONEK, A. (1979) Die Terra Rossa in Spanien und ihre Bedeutung für Klimageomorphologische Fragestellungen. *Z. Geomorph. N.F.*, **33**: 135-142.
- TARDY, Y.; MELFI, A.J.; VALENTON, I. (1988) Climats et paléoclimats tropicaux périatlantiques. Rôle des facteurs climatiques et thermodynamiques: température et activité de l'eau sur la répartition et la composition minéralogique des bauxites et des cuirasses ferrugineuses au Brésil et en Afrique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **306**: 289-295.
- TESSIER, D. (1984) Étude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hy-

dratation, gonflement et structuration au cours de la dissecation et de la réhumectation. Thèse d'État. Univ. Paris VII, 366p.
TOWE, K.M. & BRADLEY, W.F. (1967) Mi-

neralological constitution of colloidal hydrous ferric oxides. *J. Colloid Interface Sci.*, **24**: 384-392.