

Complexo de troca, classificação e gestão dos Solos Ferralíticos de Angola

Exchangeable complex and taxonomy and management of Ferralitic Soils from Angola

Manuel Madeira¹ e Rui Pinto Ricardo²

¹Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal

E-mail: *mavmadeira@isa.utl.pt, author for correspondence

²Professor Catedrático Jubilado do Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal

Recebido/Received: 2014.09.15

Aceite/Accepted: 2015.04.17

RESUMO

Compararam-se os valores da capacidade de troca catiónica, da soma das bases de troca e do grau de saturação em bases de Solos Ferralíticos da República de Angola, obtidos pelos métodos de Mehlich e do acetato de amónio, e determinou-se a acidez de troca dos mesmos para efeitos da estimativa da capacidade de troca catiónica efectiva e de aferição taxonómica. Consideraram-se 48 pédones representativos das subordens dos Solos Ferralíticos (*Tipoferrálicos*, *Fracamente Ferrálicos* e *Psamoferrálicos*). Os valores da soma das bases e do Ca^{2+} e do Mg^{2+} de troca pelos dois métodos estão fortemente correlacionados; a capacidade de troca catiónica, o grau de saturação em bases e o K^+ de troca apresentaram correlações mais fracas e variáveis consoante as subordens. A acidez de troca corresponde sobretudo a Al^{3+} , cujo teor é generalizadamente inferior a $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; mas a sua percentagem em relação à capacidade de troca catiónica efectiva é maioritariamente superior a 60%. Os solos estudados apresentam em geral horizontes subsuperficiais com as características do horizonte ferrálico, além de outras características também importantes, enquadrando-se por isso, quase na totalidade, nos *Ferralsolos*; estes, ao primeiro nível, considerando as características do respectivo complexo de troca, correspondem a *Ferralsolos géricos*, *véticos* e *háplicos*; além disso, a segundo nível são genericamente *dístricos* e maioritariamente *alúmicos*. A sua limitação de uso devida à baixa capacidade de troca catiónica efectiva poderá ser minimizada pela aplicação de resíduos e compostos orgânicos e pela correcção calcária.

Palavras-chave: Angola, capacidade de troca catiónica, horizonte ferrálico, método de Mehlich, método do acetato de amónio

ABSTRACT

The cation exchange capacity, sum of exchangeable bases, and saturation base degree of Ferralitic soils from the Republic of Angola, determined by the Mehlich and ammonium acetate methods, were compared to update their taxonomy; also, the exchangeable acidity was determined for deeper insight in their classification. Forty eight representative pedons of subordens of those soils (*Tipoferralic*, *Weakly Ferralic* and *Psamoferralic*) were analysed. Values of sum bases and exchangeable Ca^{2+} and Mg^{2+} by the two methods were strongly correlated; cation exchange capacity, base saturation degree and exchangeable K^+ showed weaker and variable correlations, according to soil type. Exchangeable acidity largely corresponded to Al^{3+} , but its content was mostly less than $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; its percentage regarding the effective cation exchange capacity was mostly higher than 60%. Study soils show in overall subsurface horizons with the characteristics of a ferralic horizon; therefore, they are mostly *Ferralsols*, which can be separated at first level in *geric*, *vetic* and *haplic Ferralsols*, according to the effective cation exchange capacity value; also, at second level they are largely *dystric* and, in great proportion, *aluminic*. The weakness of study soils regarding the low nutrient retention capacity can be alleviated by organic matter additions and liming.

Keywords: ammonium acetate method, Angola, cation exchange capacity, ferralic horizon, Mehlich method

Introdução

A actividade desenvolvida em Angola no âmbito da Ciência do Solo, como resultado da cooperação entre o Instituto Superior de Agronomia e o Instituto de Investigação Científica Tropical, atingiu ampla expressão e contribuiu de forma destacada para o profundo conhecimento científico dos solos do território angolano e conseqüentemente dos solos das regiões tropicais, havendo tido marcada influência no desenvolvimento da Ciência do Solo nessas regiões (Ricardo e Réffega, 2003; Ricardo *et al.*, 2006). Dado o valioso património acumulado sobre o conhecimento científico dos solos da República de Angola, nomeadamente no que toca à sua cartografia e classificação (MPA, 1960 e 1964; MPAM e CEP, 1968; CEP, 1997), ele não pode ser esquecido e muito menos desprezado; antes, sim, ele deve ser aprofundado e até ampliado (Ricardo *et al.*, 2006), de uma forma sistemática e coordenada, tendo sobretudo em atenção o aprofundamento da caracterização física, química e mineralógica dos solos mais representativos, por intermédio dos parâmetros adequados que possibilitem a aferição do Sistema de Classificação Pedológica do Centro de Estudos de Pedologia (CEP, 1995)- Classificação dos Solos de Angola - e o enquadramento das suas unidades-solo nos sistemas taxonómicos internacionais em uso, nomeadamente a *World Reference Base for Soil Resources* (WRB, 2006) e a *Soil Taxonomy* (SSS, 1999). Assim, entendeu-se aplicar a um universo representativo de amostras-padrão, já estudadas pelos métodos analíticos seguidos pelo CEP (1995), a metodologia adoptada por aqueles sistemas taxonómicos de referência (SSS, 1999; WRB, 2006), a fim de definir correlações que, muito simplesmente, permitam a possibilidade de transposição dos inúmeros dados analíticos existentes sobre os solos de Angola para os parâmetros considerados por esses sistemas. Tais estudos também permitirão o aprofundamento do conhecimento de parâmetros químicos do solo com relevância para a avaliação e gestão da fertilidade do mesmo e para a definição de bases para o planeamento agro-ecológico e para a adequação de sistemas de uso dos solos consentâneos com a sustentabilidade dos sistemas agrários.

Esses estudos deverão iniciar-se pelos *Solos Ferralíticos* (CEP, 1995), aos quais tem sido apontada uma grande representatividade no território angolano (MPA, 1960 e 1964; MPAM e CEP, 2000; CEP, 1997b), nomeadamente no planalto antigo, ocorrendo em

condições climáticas algo diferenciadas e evoluindo sobre materiais originários muito distintos. Estes solos também são os mais representativos em vastas áreas de Angola consideradas de grande importância para o desenvolvimento do sector agrícola (Asanzi *et al.*, 2006). As características gerais dos *Solos Ferralíticos* são detalhadamente enumeradas na Carta de Solos da Província de Malange (CEP, 1995). Entre as mais relevantes, especificamente no que se refere ao horizonte B, avultam a nula ou fraca “reserva mineral alterável” na fracção arenosa, uma capacidade de troca catiónica directa a pH 7 (método do acetato de amónio) da “fracção coloidal inorgânica” (com razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ inferior a 2) geralmente inferior a $15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, reacção do solo fortemente a moderadamente ácida e grau de saturação em bases geralmente inferior a 50%. Os *Solos Ferralíticos* apresentam, contudo, uma certa diversidade, que se evidencia pelas características das respectivas subordens (CEP, 1995).

A *Carta Generalizada dos Solos de Angola* teve, até à data, quatro aproximações (MPA, 1960 e 1964; MPAM e CEP, 2000; CEP, 1997b). A *quarta aproximação* (CEP, 1997b), elaborada em versão digital (formato vectorial), foi adaptada de forma preliminar à última versão da Legenda da FAO (1988). Assim, aproxima-se de certo modo ao sistema da WRB (2006), o qual se tornou a referência para a nomenclatura e a classificação dos solos na Comissão Europeia e foi adoptado como ferramenta preferida pela “West and Central African Soil Science Association” para a harmonização e troca de informação na região (WRB, 2006). Os princípios da classificação WRB baseiam-se nas características dos solos em termos de horizontes, propriedades e materiais de diagnóstico, bem como em características de diagnóstico relacionadas com a génese do solo.

A classificação dos *Solos Ferralíticos* de Angola (CEP, 1995) baseou-se em critérios que só aproximada e parcialmente são adoptados pela SSS (1999) e pela WRB (2006). De facto, nestes sistemas, os solos de índole semelhante aos *Solos Ferralíticos* (*Oxisolos* e *Ferralsolos*) são classificados de acordo com a ocorrência de horizontes *óxico* (SSS, 1999) e *ferrálico* (WRB, 2006), respectivamente; estes, além da baixa percentagem (<10%) de minerais alteráveis na fracção 0,05-0,2 mm, são definidos a partir do valor da capacidade de troca catiónica da fracção argila - determinada pelo acetato de amónio a pH 7 - e da capacidade de troca catiónica efectiva do

solo (também por unidade de massa da fracção argila), obtida a partir da acidez de troca e da soma das bases de troca, também pelo acetato de amónio. Neste contexto, os dados da capacidade de troca catiónica disponíveis para os *Solos Ferralíticos* de Angola apresentam necessidade de aferição porque foram determinados pelo método de Mehlich (CEP, 1995) – o método que foi considerado o adequado para os solos de reacção alcalina das regiões áridas (com calcário), mas que continuou a ser adoptado para os solos das restantes regiões; além disso, os dados disponíveis não possibilitam estimar a capacidade de troca catiónica efectiva do solo porque não foi determinada a respectiva acidez de troca (CEP, 1995). Assim, não se dispõe de alguns dados essenciais para a identificação inequívoca dos horizontes *óxico* ou *ferrálico*; para o efeito torna-se, portanto, necessário correlacionar os valores da capacidade de troca catiónica pelo método de Mehlich com os obtidos pelo método do acetato de amónio e avaliar a capacidade de troca catiónica da fracção argila; também é indispensável dispor de informação pertinente sobre a acidez de troca que, para além dos requisitos taxonómicos, também é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de gestão da reacção e da fertilidade do solo (Van Wambeke, 1992; Sanchez, 1976). Esta informação é também essencial para a especificação de qualificadores que permitem detalhar as propriedades do Grupo de Referência *Ferralsolos* (WRB, 2006), nomeadamente o carácter *gérico*, *vético*, *háptico*, *alúmico*, *êutrico* e *dístico*.

Neste contexto, foi desenvolvido o presente estudo com os objectivos de, em primeiro lugar, comparar os parâmetros do complexo de troca catiónica (capacidade de troca catiónica, bases de troca, soma das bases de troca e grau de saturação em bases) de um leque representativo de *Solos Ferralíticos* de Angola, obtidos pelo método de Mehlich (o utilizado pelo CEP na caracterização dos solos de Angola) com os do método do acetato de amónio, cujos dados são os utilizados para a especificação dos horizontes (*óxico* e *ferrálico*) inerentes aos *Oxisols* (SSS, 2003) e aos *Ferralsols* (WRB, 2006) – os solos mais característicos das áreas tropicais húmidas; em segundo lugar, determinar a acidez de troca e, a partir dela, determinar a capacidade de troca catiónica efectiva dos mesmos solos; em terceiro, aferir como os parâmetros do complexo de troca e outros derivados consubstanciam a definição dos *Solos Ferralíticos* (e as subdivisões taxonómicas pertinentes) e clarificam o seu enqua-

dramento no sistema WRB; finalmente, identificar as questões cruciais da gestão dos *Solos Ferralíticos* associadas às características do respectivo complexo de troca.

Material e Métodos

Material

No presente estudo foram considerados 48 pédones procedentes de diferentes regiões representativas de Angola (Figura 1) a que correspondem 222 amostras de outros tantos horizontes de *Solos Ferralíticos* do território angolano (MPA, 1959 e 1961; MPAM, 1968; MPAM e CEPT, 1968 e 1972; CEP, 1985; CEP, 1995; CEP, 1997a; CEP, 2000; CEP, 2002; CEP, 2009). Em cada pédone consideraram-se todos os horizontes até à presença de material originário ou até 150 cm de profundidade, dado que para a definição dos *Ferralsolos* é necessária a ocorrência de um *horizonte ferrálico* até essa profundidade (WRB, 2006). Alguns dos pédones já tinham sido alvo de estudos preliminares com vista às determinações do alumínio de troca (Neto, 2006; Neto *et al.*, 2006), do teor de ferro livre e da reserva total de bases (Teixeira, 2006; Teixeira *et al.*, 2006), considerando-se esta última uma alternativa à quantificação de minerais alteráveis (Herbillon, 1989; WRB, 2006), bem como à comparação dos métodos de Mehlich e do acetato de amónio na avaliação da capacidade de troca catiónica de *Solos Ferralíticos* e afins (Sertoli, 2009).

Todos os pédones estudados foram descritos morfológicamente e classificados de acordo com a Classificação dos Solos de Angola (CEP, 1995). Localizam-se generalizadamente nas regiões planálticas do País, a altitude entre 1000 e 1600 m, em que a precipitação média anual varia entre 800 e 1400 mm e a temperatura média anual entre 19 e 25°C; o clima, de acordo com a classificação de Köppen, varia entre o tropical chuvoso de savana (Aw), o temperado húmido com estação seca no Inverno e Verão longo e quente (Cwa) e o temperado húmido com estação seca no Inverno e Verão longo e fresco (Cwb).

Esses pédones, considerando o Esboço Geológico de Angola (Mouta, 1954), ocorrem generalizadamente sobre as *Formações do Maciço Antigo* e as *Formações de Cobertura* (MPAM, 1968). As *Formações do Maciço Antigo* são representadas pelas rochas eruptivas (geralmente rochas eruptivas ácidas e, tam-

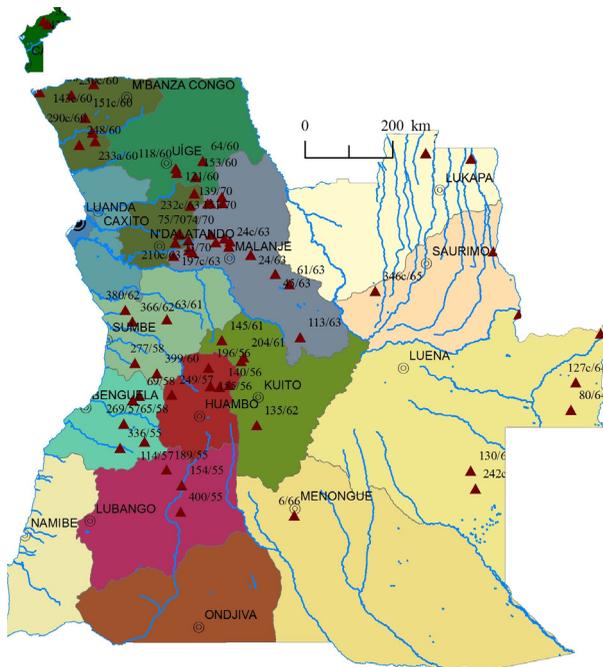


Figura 1 - Mapa de Angola com a localização dos pédones estudados.

bém, a grande intrusão gabro-anortosítica do Sul de Angola), pelo “Complexo de Base” (constituído por granitos gnáissicos, gnaisses de composição variável e migmatitos, e por uma série superior que engloba formações sedimentares fortemente metamorfizadas - agrupando filádios, xistos vários e quartzitos) e pelo “Sistema do Congo Ocidental” (formações sedimentares que correspondem a arcoses, grauvaques, quartzitos, xistos argilosos, argilitos e alguns calcários). As *Formações de Cobertura* estão representadas pelo “Sistema do Kalahari” (em que predominam os conglomerados, grés finos-argílicos do Cretácico Continental, grés polimorfos, areias eólicas, possivelmente pliocénicas, e cascalheiras roladas fluviais), bem como pelo “Sistema do Karroo”, em que as formações xisto-gresosas são predominantes.

Metodologia laboratorial

Os parâmetros respeitantes à caracterização do complexo de troca (Brady & Weil, 2008) dos solos do presente estudo foram determinados pelo método de Mehlich a pH 8,1 e pelo método do acetato de amónio a pH 7,0. Determinaram-se (i) a capacidade de troca catiónica, ou seja, a máxima quantidade de catiões que a unidade de massa de um material pode reter sob a forma permutável; (ii) a concentração de catiões não ácidos de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) – tradicionalmente designados por bases de troca - e a respectiva soma; e (iii) o grau de saturação em ca-

tões não ácidos (correntemente designado grau de saturação em bases). Além disso, determinou-se a acidez de troca ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) e, a partir da mesma, a capacidade de troca catiónica efectiva.

A caracterização do complexo de troca pelo método de Mehlich a pH 8,1 seguiu a metodologia descrita por Póvoas e Barral (1992). As amostras (10 g) foram lixiviadas com 20 mL de uma solução de trietanolamina-cloreto de bário tamponizada a pH 8,1. Fez-se uma segunda lixiviação com 20 mL da solução de BaCl_2 0,05 M de modo a assegurar uma completa saturação do complexo de troca pelo Ba^{2+} , sendo o excesso do mesmo eliminado por seis lixiviações sucessivas com 10 mL de água destilada. A determinação do Ca^{2+} e do Mg^{2+} de troca foi feita no lixiviado por espectrofotometria de absorção atómica (EAA); a determinação do K^+ e do Na^+ por fotometria de chama. A capacidade de troca catiónica foi determinada por substituição do Ba^{2+} adsorvido na amostra pelo Ca^{2+} , por lixiviação com 60 mL de uma solução de CaCl_2 0,3 M a pH 8,1. O Ba^{2+} de troca removido foi então doseado por colorimetria.

Na determinação da capacidade de troca catiónica pelo método do acetato de amónio, seguiu-se a metodologia igualmente descrita por Póvoas e Barral (1992). A amostra (5 g) foi percolada com um excesso (100 mL) de acetato de amónio 1 M ajustado a pH 7, sendo o excesso de NH_4^+ lixiviado com 100 mL de etanol; as bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) foram determinadas no lixiviado por EAA. O ião NH_4^+ adsorvido na amostra foi trocado pelo K^+ , por percolação com 100 mL de KCl 1 M acidificado. O NH_4^+ removido foi doseado por destilação (método Kjeldhal), a partir do qual se determinou o valor da capacidade de troca catiónica da amostra.

O Al^{3+} e o H^+ de troca (cuja soma corresponde à acidez de troca) foram extraídos por uma solução de KCl 1M (razão amostra/extractante de 1/10) durante uma hora (por agitação em agitador rotativo), a que se seguiu a centrifugação durante 15 minutos a 2500 g e a filtração da solução sobrenadante. No filtrado determinou-se a acidez total e o H^+ e o Al^{3+} de troca por titulação, segundo o método descrito por Thomas (1982).

Para a determinação da capacidade de troca catiónica da fracção argila (método de Mehlich e método do acetato de amónio) excluíram-se os horizontes superficiais de cada pédone estudado, visto estarem fortemente influenciados pela ma-

téria orgânica; tal valor foi obtido pela diferença entre a capacidade de troca catiónica determinada em cada horizonte e a correspondente à respectiva matéria orgânica, considerando-se para esta uma capacidade de troca catiónica média de 200 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Ricardo, 1968; Franco e Ricardo, 1998; Brady e Weil, 2008). A capacidade de troca catiónica efectiva de cada horizonte obteve-se pela soma dos catiões não ácidos de troca determinados pelo método do acetato de amónio com a acidez de troca pelo KCl 1M (ST, 1999; WRB, 2006). A capacidade de troca catiónica efectiva do solo também foi expressa por unidade de massa da fracção argila (SSS, 1999; WRB, 2006), excluindo-se igualmente o horizonte superficial de cada pedone.

Os dados obtidos foram analisados estabelecendo correlações entre os resultados dos dois métodos laboratoriais utilizados no estudo (método de Mehlich e método do acetato de amónio): (i) globalmente, tomando em consideração o conjunto de todos os horizontes analisados, independentemente das subordens e da natureza dos respectivos horizontes dos *Solos Ferralíticos* estudados; (ii) por tipo de solo (subordem), tendo em mente que os solos estudados apresentam características diferenciadas, nomeadamente no que respeita à textura, ao teor de matéria orgânica e à própria constituição mineralógica da fracção argilosa. Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando o Software Excel.

Resultados e Discussão

Comparação de metodologias

A caracterização do complexo de troca (pelo método de Mehlich) das subordens dos *Solos Ferralíticos* estudados está indicada no Quadro 1. Destaca-se que as características do complexo de troca dos *Solos Tipoferrálicos* são, no geral, bastante próximas daquelas exibidas pelos *Solos Fracamente Ferrálicos*, ressaltando em qualquer deles o baixo valor do grau

de saturação em bases. Por seu turno, os *Solos Psamoferrálicos* apresentam concentrações de bases de troca (e da respectiva soma) muito menores do que os anteriores, nomeadamente no caso do Ca^{2+} e do Mg^{2+} ; aliás, os valores da capacidade de troca catiónica também são bastante inferiores aos determinados nas outras subordens, o que se pode atribuir à textura grosseira dos mesmos (CEP, 1995) e, portanto, ao baixo teor da fracção argilosa, bem como aos baixos teores de matéria orgânica que tal textura geralmente acarreta (Brady e Weil, 2008).

Embora os resultados da capacidade de troca catiónica expressem uma grande variabilidade (valores até cerca de 20 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), a grande maioria dos horizontes dos solos estudados apresenta valores inferiores a 10 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Figura 2). Isto é, a maior parte dos casos apresentam uma baixa capacidade de retenção de catiões (bases de troca e alumínio de troca).

Os resultados evidenciam, porém, que os valores da capacidade de troca catiónica obtidos pelos métodos do acetato de amónio e de Mehlich estão fortemente correlacionados ($r=0,9245$, $p<0,001$), não se observando uma clara diferenciação dos valores entre os dois métodos. De facto, em geral, os valores de capacidade de troca catiónica pelos dois métodos aproximam-se de uma linha 1:1 (Figura 2).

Como já foi dito para a capacidade de troca catiónica, a concentração das bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) é bastante variável para o conjunto das amostras estudadas. A maioria delas apresenta concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} inferiores a 2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Figura 2), enquanto que as de K^+ e Na^+ são inferiores a 0,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (dados não apresentados para o Na^+). A análise global dos resultados obtidos indica que as concentrações do Ca^{2+} e do Mg^{2+} de troca pelo método de Mehlich e do acetato de amónio apresentam uma forte correlação entre si (Figura 2), a qual é ainda mais forte do que a obtida para a capacidade de troca catiónica. A correlação no caso do Mg^{2+} ($r=0,9743$, $p<0,001$) é semelhante à obtida para o Ca^{2+} ($r=0,9727$, $p<0,001$). A correlação corres-

Quadro 1 - Valores médios da concentração das bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), da soma das bases de troca (SB), da capacidade de troca catiónica (CTC) e do grau de saturação em bases (GSB) das subordens dos *Solos Ferralíticos* obtidos pelo método de Mehlich.

Subordens	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SB	CTC	GSB
	----- $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ -----						%
Solos Tipoferrálicos	0,56	0,25	0,09	0,10	0,99	7,03	13,0
Solos Fracamente Ferrálicos	0,66	0,39	0,12	0,08	1,25	4,89	26,6
Solos Psamoferrálicos	0,10	0,06	0,04	0,05	0,26	2,80	11,1

pondente ao K^+ de troca é mais fraca do que para os cátions anteriores ($r=0,9139$; $p<0,001$), enquanto que o Na^+ (dados não apresentados) mostra uma correlação ainda mais baixa ($r=0,7481$, $p<0,001$) do que qualquer das outras bases. As correlações mais fracas obtidas para o K^+ e o Na^+ poderão, em parte, atribuir-se ao facto de no método de Mehlich a sua determinação ter sido efectuada na maior parte dos casos por fotometria de chama, ao passo que no do acetato de amónio foram sempre determinadas por espectrometria de absorção atómica.

A soma das bases de troca apresenta uma grande variabilidade, em consonância com a observada para cada uma das bases de troca. Os respectivos valores são na grande maioria inferiores a $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 2), observando-se uma forte correlação entre os obtidos pelos dois métodos ($r=0,9771$; $p<0,001$), o que pode atribuir-se, por um lado, à

forte dominância do Ca^{2+} e do Mg^{2+} no complexo de troca dos solos estudados e, por outro, ao facto da quantidade de bases extraídas não ser afectada pelos métodos em comparação.

As subordens dos *Solos Ferralíticos* apresentam diferenças acentuadas relativamente às suas características (CEP, 1995). Por esta razão, foi necessário analisá-las em separado para, por um lado, avaliar a aplicabilidade dos métodos a cada uma delas e, por outro, para reavaliar as respectivas diferenças e similitudes das características e propriedades.

Verifica-se que as correlações respeitantes às concentrações do Ca^{2+} ($r=0,975-0,951$, $p<0,001$) e do Mg^{2+} ($r=0,977-0,928$, $p<0,001$) de troca, bem como à soma das bases de troca ($r=0,978-0,938$, $p<0,001$), foram em todas as subordens muito fortes e semelhantes às observadas para o conjunto dos solos. Por seu

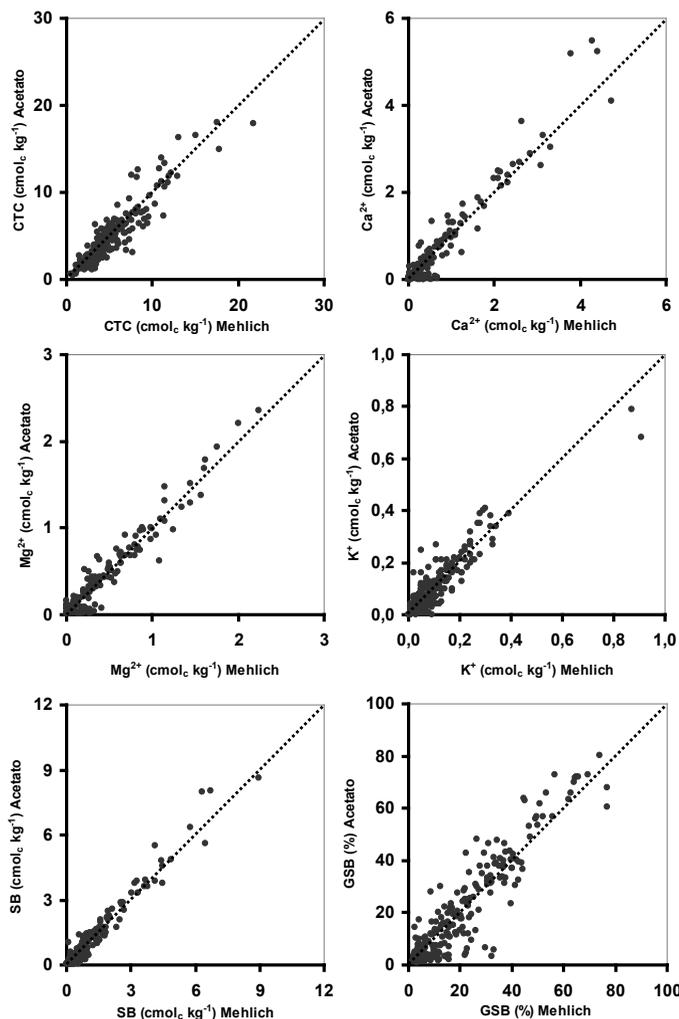


Figura 2 - Valores da capacidade de troca catiónica (CTC), das concentrações de bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), da soma das bases de troca (SB) e do grau de saturação em bases (GSB), pelos métodos de Mehlich e do acetato de amónio para o conjunto dos *Solos Ferralíticos* estudados.

Quadro 2 - Coeficientes de correlação (r) e respectivos valores de prova (p value) entre os valores da concentração das bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), da soma de bases de troca (SB), da capacidade de troca catiónica CTC e do grau de saturação em bases (GSB) das três subordens dos *Solos Ferralíticos* estudados, obtidos pelo método de Mehlich e pelo do acetato de amónio a pH 7.

Subordens		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SB	CTC	GSB
TF	r	0,969	0,961	0,861	0,583	0,978	0,934	0,778
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,00000	<0,001	<0,001
FF	r	0,975	0,977	0,917	0,733	0,977	0,836	0,953
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PF	r	0,951	0,928	0,855	0,918	0,938	0,895	0,556
	p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

TF – Solos Tipoferrálicos, FF – Solos Fracamente Ferrálicos, PF – Solos Psamoferrálicos.

turno, os valores da capacidade de troca catiónica obtidos pelos dois métodos apresentaram uma forte correlação entre si ($r=0,934-0,836$, $p<0,001$) (Quadro 2) nas três subordens, sendo a mais forte observada nos *Solos Tipoferrálicos*. Finalmente, as correlações respeitantes ao K^+ ($r=0,917-0,855$, $p<0,001$) e ao Na^+ ($r=0,918-0,583$, $p<0,001$) de troca, bem como ao grau de saturação em bases ($r=0,953-0,556$, $p<0,001$), embora ainda fortes, foram maioritariamente mais fracas do que as anteriores e com diferenças apreciáveis entre as diversas subordens (Quadro 2).

Acidez de troca

A acidez de troca ($\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$) dos *Solos Ferralíticos* estudados não se diferencia muito entre as respectivas subordens; de facto, os seus valores, considerando simultaneamente os horizontes superficiais e subsuperficiais, foram de 0,05-2,38, 0,0-2,75 e 0,17-1,40 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nos *Solos Tipoferrálicos*, *Solos Fracamente Ferrálicos* e *Solos Psamoferrálicos*, respectivamente (Figura 3); por seu turno, os valores do Al^{3+} de troca foram, pela mesma ordem, 0,05-2,19, 0,0-2,31 e 0,17-0,96 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Constatou-se assim que os valores da acidez de troca e do alumínio de troca são as mais das vezes da mesma ordem de grandeza, dado que a concentração do H^+ de troca toma frequentemente valores nulos ou negligenciáveis (Figura 3). Estes baixos valores da acidez de troca (sobretudo no que se refere ao Al^{3+}) observados para os *Solos Ferralíticos* estudados estão em linha com os considerados para os *Ferralsolos* (WRB, 2006), nos quais são genericamente inferiores aos observados para outros grupos principais de solos, tais como os *Acrissolos* e os *Lixissolos* (Driessen *et al.*, 2001), dada a baixa actividade da respectiva fracção argilosa (Uehara e Gillman, 1981). Este facto está associado à baixa capacidade troca catiónica

dos *Solos Ferralíticos* e também está expresso, de certo modo, na diferença entre os *Solos Psamoferrálicos* (Al^{3+} de troca sempre inferior a um $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e as outras subordens.

Os valores da concentração de Al^{3+} de troca obtidos foram na maior parte dos casos inferiores a 1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 4, A). Em qualquer dos *Solos Ferralíticos* estudados esta concentração é largamente dominante, atingindo mesmo 100% no caso dos *Solos Psamoferrálicos*; os valores superiores a 2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ representam uma reduzidíssima proporção. Os baixos valores de concentração de Al^{3+} de troca são derivados, por um lado, da baixa capacidade de troca catiónica do solo, o que está associado a uma constituição mineralógica (CEP, 1995) em que se destaca a presença de caulinite, minerais de ferro (nomeadamente hematite e goetite) e de alumínio (gibsite); por outro, do valor de pH do solo devido à fraca expressão de cargas negativas que o mesmo pode apresentar nessas condições (Franco e Póvoas, 1998).

Mais do que a concentração de Al^{3+} de troca, uma avaliação útil das condições de acidez do solo consiste na determinação do grau de saturação de Al^{3+} em relação à capacidade de troca catiónica efectiva (Sanchez, 1976). De acordo com este autor, a concentração de alumínio na solução do solo sobe rapidamente quando a percentagem de saturação deste atinge valores da ordem de 60%, a qual é um indicador de um limiar crítico para a manifestação de toxicidade por muitas plantas. Percentagens desta ordem ou superiores são consideradas típicas dos *Oxissolos* e dos *Ferralsolos* (Guerrero, 1971; Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992). Entre os *Solos Ferralíticos* estudados, nos *Tipoferrálicos* e nos *Psamoferrálicos* a percentagem de saturação em Al^{3+} su-

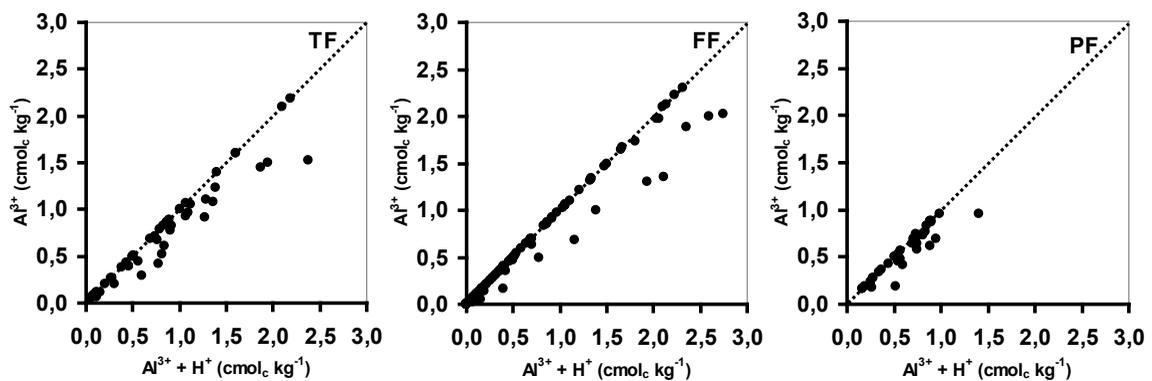


Figura 3 - Relação entre a concentração de $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ (acidez de troca) e a do Al^{3+} de troca das subordens dos Solos Ferralíticos estudados. TF – Solos Tipoferrálicos, FF – Solos Fracamente Ferrálicos, PF – Solos Psamoferrálicos.

perior a 60% é dominante, enquanto que nos *Fracamente Ferrálicos* é a percentagem inferior a 60% que é preponderante (Figura 4, B). Tais valores de saturação em Al^{3+} estão necessariamente associados a baixíssimas concentrações de bases de troca, nomeadamente de Ca^{2+} e de Mg^{2+} , indicando inequivocamente que, além da possível toxicidade associada ao Al^{3+} , há que ter em devida consideração as deficiências destes nutrientes no que respeita ao estado nutricional das plantas.

Embora as concentrações mais elevadas de Al^{3+} tendam a ocorrer para valores de pH (em KCl 1 M)

entre 4 e 5 (entre 5 e 6 para o pH em H_2O), também é verdade que para o mesmo valor de pH pode ocorrer uma grande variabilidade de concentração de Al^{3+} ou, inversamente, a concentrações semelhantes deste podem corresponder valores de pH assaz variados (Figura 5). Assim, a correlação negativa entre a concentração de Al^{3+} de troca e os valores de pH foi bastante fraca, sendo a correlação com o pH em KCl 1M, ainda assim, mais forte ($r = -0,391$; $p < 0,001$) do que com o pH determinado em H_2O ($r = -0,312$, $p < 0,001$). A correlação da concentração do Al^{3+} de troca com o grau de saturação em bases (pelo acetato de amónio) foi mais forte ($r = -0,467$, $p <$

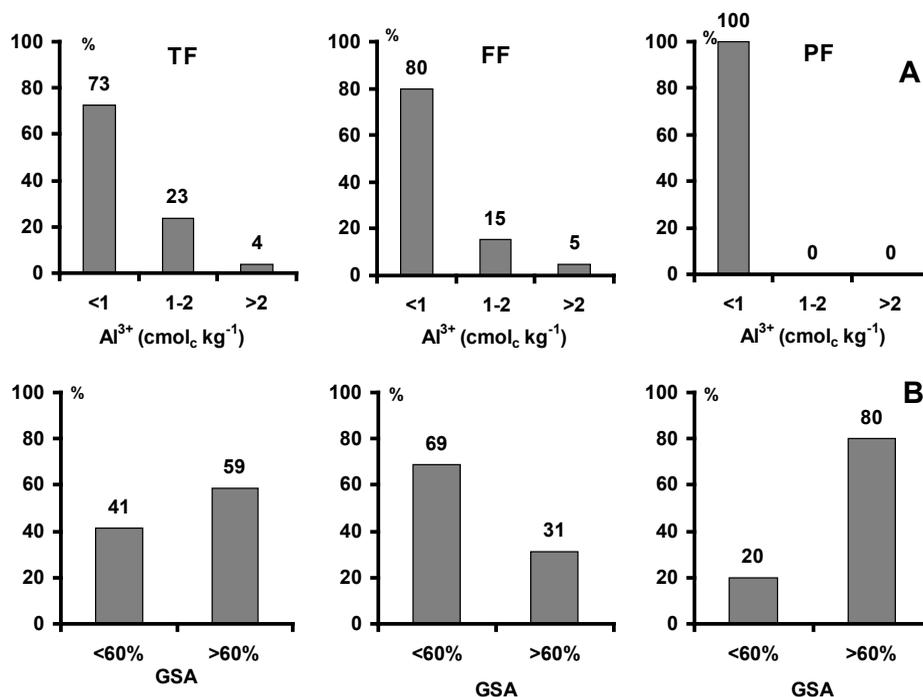


Figura 4 - Proporção de diferentes classes de concentração de Al^{3+} de troca (A) e do grau de saturação em alumínio, GSA (B) das subordens de Solos Ferralíticos estudados. TF – Solos Tipoferrálicos, FF – Solos Fracamente Ferrálicos, PF – Solos Psamoferrálicos.

0,001) do que com os valores de pH; mas a correlação mais forte foi observada entre o grau de saturação em Al^{3+} [$Al^{3+}/(Al^{3+}+H^+SB)$] e o grau de saturação em bases ($r=-0,788$, $p<0,001$), sendo notório que graus de saturação em Al^{3+} superiores a 60% estão, em geral, em correspondência com valores do grau de saturação em bases inferiores a 20% (Figura 5).

O padrão da relação da acidez de troca ($Al^{3+}+H^+$) com outros parâmetros foi semelhante à observada para a concentração de Al^{3+} de troca. De facto, a correlação do valor da acidez de troca com o valor do pH em H_2O ($r=-0,3183$, $p<0,001$) e em KCl ($r=-0,4156$, $p<0,001$) foi também muito baixa; a correlação com o grau de saturação em bases (a partir da capacidade troca obtida pelo método do acetato de amónio) foi ligeiramente mais forte ($r=-0,4781$, $p<0,001$) do que a obtida com o Al^{3+} de troca. Também, a correlação do grau de saturação em acidez de troca [$(Al^{3+}+H^+)/(Al^{3+}+H^+SB)$] com o grau de saturação em bases ($r=-0,7898$, $p<0,001$) foi semelhante à obtida para o grau de saturação em Al^{3+} .

As fracas correlações respeitantes ao alumínio ou à acidez de troca com os parâmetros mencionados

indicam que nos *Solos Ferralíticos* é imprescindível a respectiva determinação, nomeadamente para efeitos da quantificação de correctivo a aplicar para eliminar a acção do alumínio ou da acidez de troca no solo (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992).

O complexo de troca e taxonomia

A capacidade de troca catiónica da fracção argila inferior a $16\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ (pelo acetato de amónio) é um dos requisitos para a identificação dos horizontes *óxico* (SSS, 1999) e *ferrálico* (WRB, 2006), característicos dos *Oxissolos* e *Ferralsolos*, respectivamente. No caso do estudo presente, a larga maioria dos horizontes considerados (excepto o superficial, como se referiu), de qualquer das subordens dos *Solos Ferralíticos*, apresenta esse requisito (Figuras 6 e 7); isto é, caracteriza-se por apresentar fracção argilosa de baixa actividade, como é considerado característico dos *Oxissolos* (SSS, 1999) e *Ferralsolos* (WRB, 2006); aliás, determinações directas da capacidade de troca catiónica realizadas na fracção argilosa de *Solos Ferralíticos*, pelo método do acetato de amónio, indicam valores entre 4,92 e $17,50\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ de argila (CEP, 1985 e 1995). Noutro estudo sobre a avaliação da carga variável de *Solos*

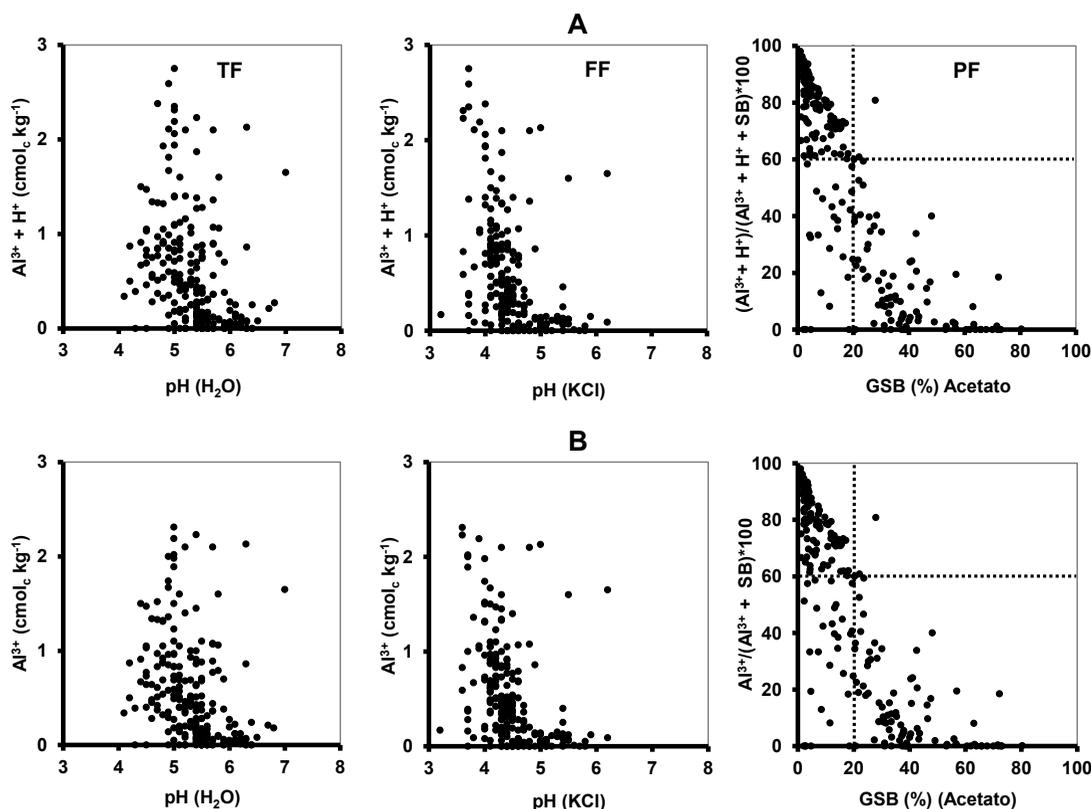


Figura 5 - Relação entre a acidez de troca (A) e o alumínio de troca (B) com os valores de pH, bem como dos respectivos graus de saturação com o grau de saturação em bases pelo acetato de amónio, nas subordens de *Solos Ferralíticos* estudados. TF – *Solos Tipoferrálicos*, FF – *Solos Fracamente Ferrálicos*, PF – *Solos Psamoferrálicos*.

Ferralíticos de Angola (Franco e Póvoas, 1998) também é confirmada a baixa actividade da respectiva fracção argilosa. Porém, também é evidente que em alguns dos solos a capacidade de troca catiónica da argila é claramente superior a esse valor, o que, para além da eventual influência do valor da capacidade de troca catiónica considerado para a matéria orgânica ser inadequado, também deve estar associado a uma constituição mineralógica da fracção argilosa algo diferenciada da relatada para os *Solos Ferralíticos* (CEP, 1995). Este facto deverá relacionar-se com particularidades associadas aos factores de formação do solo, como por exemplo a natureza do material originário e as condições topográficas, determinando a ocorrência de solos com características um tanto diferentes das atribuídas aos *Ferralsolos*.

Isto quer dizer que a grande maioria dos *Solos Ferralíticos* pertence ao Grupo Principal dos *Ferralsolos* (WRB, 2006). Refere-se a propósito, de acordo com as informações constantes nas cartas de solos já publicadas (CEP, 1985, 1995, 1997a, 2000, 2002 e 2009; CEPT, 1981; MPA, 1959, 1961 e 1968; MPAM e CEPT, 1968), que alguns dos *Solos Ferralíticos* poderão todavia classificar-se como *Arenossolos* (os de textura mais grosseira do que franco-arenoso ou, seja, parte dos *Solos Psamoferralíticos*), *Plintossolos*, *Nitissolos*, *Acrissolos*, *Lixissolos* ou *Cambissolos*.

é evidente que para valores menores do que $16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ determinados pelo método de Mehlich correspondem quase na totalidade também valores inferiores a esse limiar quando a capacidade de troca foi determinada pelo método do acetato de amónio. Quer isto dizer que os valores determinados a partir dos dados obtidos pelo método de Mehlich são compatíveis com os determinados pelo acetato de amónio (Figura 6).

O valor da capacidade de troca catiónica efectiva da argila é outro dos parâmetros utilizados para identificar os horizontes *Ferralíticos* (dos *Ferralsolos*), devendo ser inferior a $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila (WRB, 2006). Este critério, tal como se disse para a capacidade de troca catiónica da argila, ocorre também generalizadamente nas subordens dos *Solos Ferralíticos* estudados (Figura 6). As excepções observadas estão em linha com as referidas para a capacidade de troca catiónica e o grau de saturação em bases.

No caso da capacidade de troca catiónica efectiva, observa-se uma correlação muito forte ($r=0,9721$, $p<0,001$) entre os valores obtidos via método de Mehlich com os do método do acetato de amónio, estando os valores próximos de uma linha 1:1 (Figura 6); aliás, esta figura indica que os valores da capacidade de troca catiónica efectiva pelo méto-

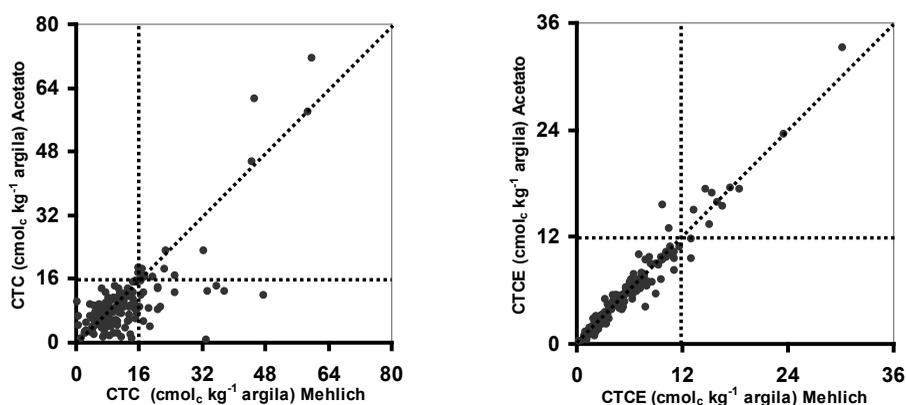


Figura 6 - Relação entre os valores da capacidade de troca catiónica (CTC) e os da capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE) da fracção argila dos horizontes subsuperficiais de *Solos Ferralíticos*, valores esses obtidos pelos métodos de Mehlich e do acetato de amónio.

Como seria de esperar, pelas razões já explicitadas, existem desvios acentuados entre os valores da capacidade de troca catiónica da argila determinada pelos métodos de Mehlich e do acetato de amónio, os quais estão ainda assim correlacionados ($r=0,7721$, $p<0,001$); no entanto, também

do de Mehlich inferiores a $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ também o são quando obtidos pelo acetato de amónio. Este padrão indica-nos que a simples determinação da acidez de troca e o valor da soma das bases de troca pelo método de Mehlich deverá permitir de forma segura uma avaliação da capacidade

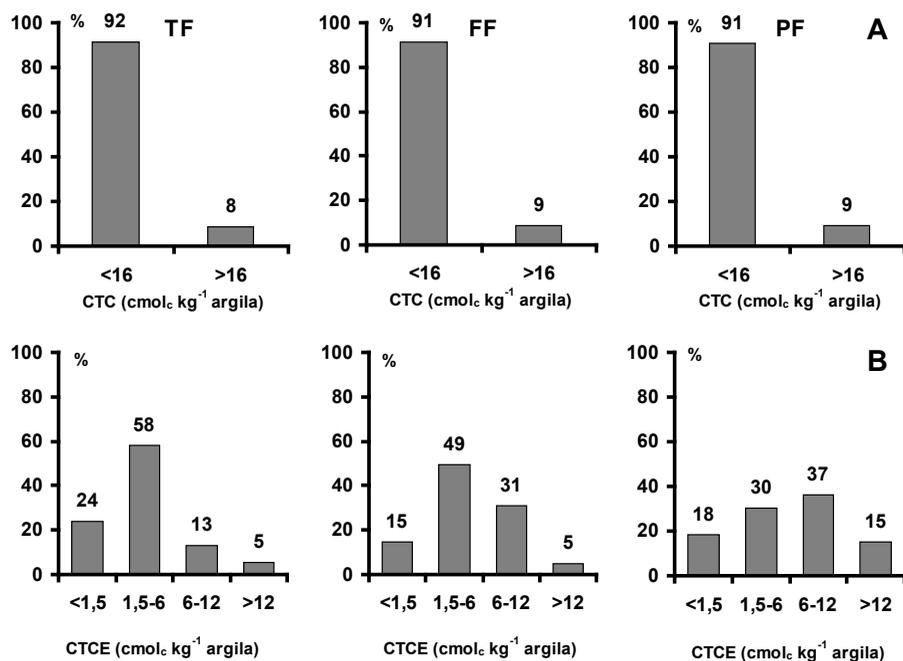


Figura 7 - Proporção dos valores da capacidade de troca catiónica (CTC, A) da argila inferiores ou superiores a 16 cmol_c kg⁻¹, bem como das classes dos valores da capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE, B) da argila, pelo método do acetato de amónio, dos horizontes subsuperficiais das subordens dos Solos Ferralíticos. TF – Tipoferrálticos, FF – Fracamente Ferrálticos, PF – Psamoferrálticos.

de troca catiónica efectiva dos Solos Ferralíticos de Angola equivalente à obtida pelo método do acetato de amónio.

Ainda, diferentes valores da capacidade de troca catiónica efectiva (pelo acetato de amónio) são utilizados para diferenciar o horizonte ferráltico pelos qualificadores de primeiro nível (“prefix qualifiers”) gérico, vético e háptico (WRB, 2006): valores inferiores a 1,5, entre 1,5 e 6,0 e entre 6 e 12 cmol_c kg⁻¹ de argila, respectivamente. Os resultados do presente estudo permitem afirmar que em qualquer das subordens dos Solos Ferralíticos são aplicáveis esses qualificadores. Porém, os qualificadores gérico e vético estão muito mais expressos nos Solos Tipoferrálticos do que nos outros (Figura 7); nos Solos Psamoferrálticos observa-se a maior frequência da excepção à presença destes qualificadores. Assim, a capacidade de troca catiónica efectiva dos Solos Ferralíticos é bastante baixa, apresentando maioritariamente valores inferiores a 6 cmol_c kg⁻¹, confirmando o baixo desenvolvimento de cargas negativas pela fracção argilosa de tais solos (Franco e Póvoas, 1998). Sublinha-se, ainda, que alguns dos Solos Ferralíticos estudados poderão também qualificar-se como gíbicos (no caso da respectiva terra fina conter mais de 25% de gibsite) ou pósicos, quando o respectivo pH em KCl for igual ou supe-

rior ao determinado em H₂O (WRB, 2006).

A baixa capacidade de troca efectiva dos Solos Psamoferrálticos está associada à textura grosseira que os mesmos apresentam; aliás, no caso de apresentarem textura arenosa-franca deverão mesmo ser considerados Arenossolos e não Ferralsolos (WRB, 2006). No caso dos Solos Tipoferrálticos e dos Solos Fracamente Ferrálticos, com textura muito mais fina do que os anteriores, a baixa capacidade de troca catiónica efectiva associa-se aos constituintes de carga variável da fracção argilosa - minerais de ferro (goetite e hematite) e de alumínio (gibsite) – os quais para os valores de pH do solo apresentam uma capacidade troca catiónica muito baixa (Uehara e Gillman, 1981; Franco e Póvoas, 1998).

De modo mais objectivo e aproximando-se do conceito de grau de saturação em Al³⁺ (*sensu* Sanchez, 1976) considera-se na WRB (2006), também para os Ferralsolos, o carácter alúmico para os casos em que o grau de saturação em alumínio (percentagem do Al³⁺ de troca em relação à soma das bases de troca com o Al³⁺ de troca) nos horizontes subsuperficiais (entre 50 e 100 cm de profundidade) é superior a 50%. Neste contexto, a maior parte dos Solos Ferralíticos estudados, nomeadamente os Tipoferrálticos e os Psamoferrálticos, tem claramente carácter alúmico (Fi-

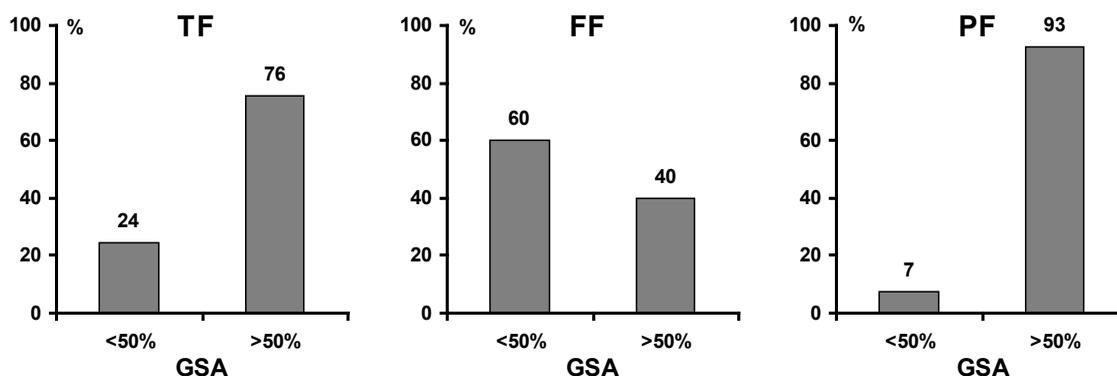


Figura 8 - Proporção dos horizontes subsuperficiais dos solos de cada uma das subordens dos Solos Ferralíticos com grau de saturação em alumínio (GSA) menor ou maior do que 50%. TF – Solos Tipoferrálicos, FF – Solos Fracamente Ferrálicos, PF – Solos Psamoferrálicos.

gura 8); por seu turno, os *Fracamente Ferrálicos* apresentam esse carácter em muito menor proporção.

No sistema da WRB (2006), o grau de saturação em bases, a partir da determinação da capacidade de troca catiónica pelo acetato de amónio, em horizontes a profundidade superior a 20 cm, apesar da artificialidade de que se reveste, é utilizado para definir o carácter *dístrico* (< 50%) e o carácter *êutrico* (> 50%) que constituem qualificações de segundo nível (“suffix qualifiers”) para diferenciação dos *Ferralsolos*. Os resultados do presente estudo indicam que a quase totalidade dos *Solos Ferralíticos* estudados apresenta nítido carácter *dístrico* (Figura 9). Este facto está em geral associado às condições de forte lixiviação das áreas tropicais húmidas (Hardy, 1970; Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992) e à generalizada baixa reserva em bases do mesmo (Teixeira, 2006; Teixeira *et al.*, 2006). No entanto, na subordem dos *Solos Fracamente Ferrálicos* ocorrem solos com carácter *êutrico*, o que, aliás, é considerado na definição geral dos *Solos Ferralíticos* (CEP,

1995). Tal facto pode ser atribuído a particularidades da natureza do seu material originário, associadas a valores mais elevados da reserva total em bases, ou seja de minerais alteráveis (Teixeira, 2006; Teixeira *et al.*, 2006), bem como a acções de rejuvenescimento e, até, à afectação das características dos solos na área de influência de termiteiras (Ricardo *et al.*, 2001).

Sublinha-se que, além das qualificações decorrentes das características do complexo de troca catiónica, alguns *Ferralsolos* em Angola podem também ser considerados ao primeiro nível (“prefix qualifiers”; WRB, 2006) como *plínticos*, *ácricos* líxicos ou *úmbricos*; a segundo nível (“suffix qualifiers”), alguns desses solos poderão qualificar-se como *sômbricos*, *fêrricos*, *húmicos*, *arénicos*, *argílicos*, *ródicos* ou *xânticos* (CEP, 1985, 1995, 1997a, 2000, 2002 e 2009; CEPT, 1981; MPA, 1959, 1961 e 1968; MPAM e CEPT, 1968).

O complexo de troca e a gestão do solo

Os resultados do presente estudo indicam inequi-

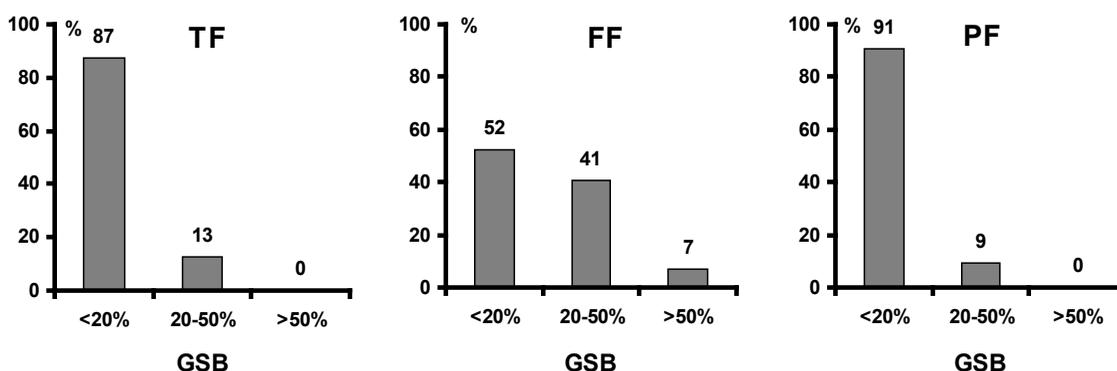


Figura 9 - Proporção de classes do grau de saturação em bases (GSB) dos horizontes subsuperficiais dos solos de cada uma das subordens dos Solos Ferralíticos. TF – Solos Tipoferrálicos, FF – Solos Fracamente Ferrálicos, PF – Solos Psamoferrálicos.

vocamente que os solos estudados, para as condições de reacção vigentes (ao pH do solo) apresentam baixa capacidade de troca catiónica efectiva e, por isso, uma baixa retenção de catiões não ácidos, sendo a disponibilidade dos mesmos para as plantas muito limitada, como, aliás, é considerado para os solos das regiões tropicais húmidas (Sanchez, 1976; Van Wambeke, 1992; Botelho da Costa, 1995; Anda *et al.*, 2013). De facto, de acordo com Sanchez (1976) será necessária uma capacidade de troca catiónica efectiva de pelo menos $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para que o solo apresente capacidade de contrariar a lixiviação pela retenção de catiões. Devido, por um lado, à forte alteração ou, por outro, à textura grosseira, muitos solos das regiões tropicais húmidas têm valores de capacidade de troca catiónica efectiva inferiores aos níveis mínimos aceitáveis ($4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Com efeito, no presente estudo observa-se que os valores deste parâmetro nos horizontes superficiais são maioritariamente (77%) inferiores a $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e apenas 6% são superiores a $7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 10, A); aliás, no caso dos *Solos Psamoferrálicos* todos os valores são inferiores a $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Nos horizontes subsuperficiais esses valores atingem, em geral, níveis ainda mais baixos, sendo quase na totalidade (99%) inferiores a $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 10, B). Padrão semelhante para a capacidade de troca catiónica efectiva foi também relatado num estudo sobre a produtividade de culturas em Angola (Asanzi *et al.*, 2006), em que apenas dois num universo de 23 solos (horizontes superficiais) do Planalto Central de Angola apresentavam valores superiores ao limiar de $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Além da baixa capacidade de troca catiónica efectiva deve ser sublinhado que o teor de Al^{3+} de troca, não apresentando as mais das vezes valores muito elevados, corresponde a percentagens de saturação acima dos limiares considerados aceitáveis (San-

chez, 1976). Nestas circunstâncias, também deve ser reconhecido que as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} de troca (as bases mais abundantes nos solos estudados) atingem valores muito baixos (nomeadamente no caso do Mg^{2+}), o que está em consonância com a baixa reserva total em bases que os mesmos apresentam (Teixeira, 2006). As deficiências, entre outras, de cálcio, magnésio e potássio nos *Solos Ferralíticos* de Angola (Asanzi *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 2006; Ucuassapi, 2006) são reflexo dessa fraca capacidade de retenção de catiões não ácidos. Assim, é por demais evidente que os sistemas de gestão do solo devem considerar o acréscimo dessas concentrações para aumentar a disponibilidade de tais nutrientes.

A capacidade de troca catiónica efectiva nos horizontes superficiais dos solos estudados correlaciona-se positiva e significativamente com o teor de matéria orgânica ($r=0,5356$, $p<0,001$) e em menor extensão com o valor do pH em H_2O ($r=0,3890$, $p<0,01$) e o teor de argila ($r=0,3034$, $p<0,05$); nos horizontes subsuperficiais, apenas se observou correlação significativa com o teor de matéria orgânica ($r=0,2865$, $p<0,001$). Com efeito, nos solos estudados, assim como em muitos solos das regiões tropicais fortemente alterados (Cunningham, 1963; Brams, 1971), a manutenção de elevados níveis de matéria orgânica é crucial para a manutenção da capacidade de troca catiónica e da capacidade de troca catiónica efectiva em níveis aceitáveis; por exemplo, Brams (1971) refere que o decréscimo de 50% do teor de matéria orgânica em *Oxisolos* na Serra Leoa, em consequência da desflorestação, reduziu em 30% a capacidade de troca catiónica efectiva dos mesmos. Aliás, Franco e Póvoas (1995-1996) referem uma contribuição de 75% da matéria orgânica para a capacidade de troca catiónica de *Solos Tipoferrálicos* de Angola, o que expressa que

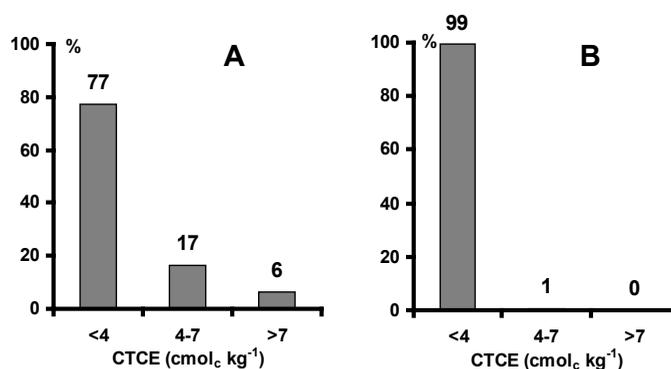


Figura 10 - Proporção de classes dos valores da capacidade de troca catiónica efectiva (CTCE) nos horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B) dos solos estudados.

a contribuição da matéria orgânica para a capacidade de troca catiónica dos *Solos Ferralíticos* e solos similares (Van Wambeke, 1992; Zech *et al.*, 1997) é mais importante do que noutros solos.

Assim, aumentar a capacidade de troca catiónica nos *Solos Ferralíticos* é um objectivo de suma importância, sendo a correcção calcária (ou melhor, calcária e magnésica) e o aumento do teor de matéria orgânica no solo duas vias muito utilizadas para o efeito; por exemplo, a aplicação de dolomite, além de ser uma medida determinante para aumentar o valor do pH e o da capacidade de troca catiónica efectiva dos horizontes superficiais, também o é para reduzir ou eliminar a deficiência de Ca e Mg e a eventual toxicidade associada ao Al. Mokwunye e Hammond (1992) referem que o acréscimo do teor de matéria orgânica, ou melhor, a aplicação de estrumes, compostos ou outros resíduos orgânicos tem também importância decisiva no acréscimo da produtividade do solo, tanto isoladamente como associada à aplicação de fertilizantes. A propósito, Anda *et al.* (2013) relatam o efeito positivo da aplicação de composto de casca arroz e de rocha básica moída na capacidade de troca efectiva de um *Oxis-solo vermelho*, bem como na concentração de Ca e Mg na solução do solo; estes efeitos repercutiram-se também no aumento da produtividade do solo.

A aplicação de matéria orgânica também é uma fonte adicional de azoto, o que é determinante para a redução das carências generalizadas do mesmo que foram observadas nos *Solos Ferralíticos* de Angola (Dias *et al.*, 2006); ainda, a matéria orgânica também liberta fósforo por mineralização e contribui para bloquear a adsorção aniónica nas superfícies dos constituintes da fracção argilosa (Van Wambeke, 1992; Hunt *et al.*, 2007), reduzindo a capacidade de adsorção deste nutriente. Finalmente, o acréscimo do teor de matéria orgânica também é um meio considerado decisivo para aumentar a resistência à erosão nos solos *Ferralíticos* (Van Wambeke, 1992).

Conclusões

Os valores dos parâmetros do complexo de troca pelo método de Mehlich e do acetato de amónio apresentam em geral elevada compatibilidade entre si, nomeadamente no que toca aos valores do Ca^{2+} e do Mg^{2+} de troca e à soma das bases de troca. Assim, o valor do último parâmetro a partir

de qualquer dos dois métodos, associado à acidez de troca, permite estimar a capacidade de troca catiónica efectiva dos *Solos Ferralíticos* de Angola. Os valores do Al^{3+} de troca são generalizadamente baixos e similares aos observados para solos do mesmo tipo, mas correspondem a um elevado grau de saturação deste elemento. A capacidade de troca catiónica efectiva permitiu identificar que os qualificadores *geric* (capacidade de troca efectiva inferior a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e *vetic* (capacidade de troca efectiva inferior a $6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) aplicam-se a uma elevada proporção de *Solos Ferralíticos*. A grande maioria dos pédones estudados indica que os *Solos Ferralíticos* cartografados em Angola correspondem maioritariamente ao grupo de referência dos *Ferralsolos* ou à ordem dos *Oxisolos*. Porém, alguns dos *Solos Ferralíticos* devem incluir-se noutros grupos de referência tais como os *Arenossolos* (os de textura mais grosseira do que franco-arenoso ou, seja, parte dos *Solos Psamoferrálicos*), os *Plintossolos*, os *Nitissolos*, os *Acrissolos*, os *Lixissolos* e os *Cambissolos*. A capacidade de retenção dos catiões exibida pelos *Solos Ferralíticos de Angola* é em geral extremamente baixa, sendo, ainda assim, mais elevada nos horizontes superficiais do que nos subsuperficiais. O acréscimo do teor de matéria orgânica e a correcção cálcico-magnésica são duas das vias para reduzir essa limitação, bem como para reduzir deficiências nutricionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao pessoal do Laboratório de Solos do Instituto Superior de Agronomia (Departamento de Recursos Naturais, Ambiente e Território) a execução dos vários processamentos analíticos. Ao Mestre Paulo Marques agradecem o apoio na execução das figuras e na organização gráfica do texto.

Referências Bibliográficas

- Anda, M.; Shamshuddin, J. e Fauziah, C.I. (2013) - Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. *Tillage & Soil Research*, vol. 132, p. 1-11.
- Asanzi, C.; Kiala, D.; Cesar, J.; Lyvers, K.; Querido, A.; Smith, C. e Yost, R.S. (2006) - Food production in the planalto of southern angola. *Soil Science*, vol. 170, n. 10, p. 810-820.

- Brady, N.C. e Weil, R.R. (2008) - *The nature and properties of the soils*. Twelfth Edition. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 975 p.
- Botelho da Costa, J. (1995) - *Caracterização e constituição do solo*. 5ª ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 527 p.
- Brams, E. (1971) - Continuous cultivation of West African soils: organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. *Plant and Soil*, vol. 35, n. 1-3, p. 401-414.
- CEP (1985) - *Carta geral dos solos de Angola*. 7. *Província de Cuanza Sul*. Memórias (2ª Série), 69. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical.
- CEP (1995) - *Carta geral dos solos de Angola*. 8. *Província de Malanje*. Memórias (2ª Série), 71. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical.
- CEP (1997a) - *Carta geral dos solos de Angola*. 10. *Províncias de Lunda Norte, Lunda Sul e Moxico*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical. (Policopiado).
- CEP (1997b) - *Carta generalizada dos solos de Angola (4ª Aproximação)*. Lisboa, Centro de Estudos de Pedologia, Instituto de Investigação Científica Tropical. (Policopiado).
- CEP (2000) - *Carta geral dos solos de Angola*. 11. *Província de Cuando-Cubango*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical. (Policopiado).
- CEP (2002) - *Carta geral dos solos de Angola*. 9. *Província de Bié*. Memórias (2ª Série), 72. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical.
- CEP (2009) - *Carta geral dos solos de Angola*. 12. *Províncias de Luanda, Bengo e Cuanza Norte*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical. (em preparação).
- CEPT (1981) - *Carta geral dos solos de Angola*. 6. *Distrito de Benguela*. Memórias (2ª Série), 65. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar. (Policopiado).
- Cunningham, R.K. (1963) - The effect of clearing a tropical forest soil. *Journal Soil Science*, vol. 14, p. 334-345.
- Dias, J.S.; Costa, A.V.; Moreira, T. e Ucuassapi, A.P. (2006) - Acerca da fertilidade dos solos de Angola. II. Elementos sobre a fertilidade de importantes agrupamentos de solos das Províncias do Bengo, Cuanza Sul, Benguela, Huambo, Bié, Moxico, Huila e Cunene. In: Moreira, I. (Org.) - *Angola. Agricultura, recursos naturais, desenvolvimento rural*, Vol. I. Lisboa, ISA Press, p. 479-515.
- Driessen, P.M.; Deckers, J.; Spaargaren, O. e Nachtergaele, F. (2001) - *Lectures notes on the major soils of the world*. World Soil Resources Report No. 94. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 334 p.
- FAO (1988) - *Soil map of the world. Revised legend*. World Soil Resources Report Nº 60. Rome, FAO-UNESCO-ISRIC.
- Franco, E.P.C. e Póvoas, I.M. (1995-1996) - Efeito do pH sobre a contribuição da fracção orgânica e da fracção mineral para a capacidade de troca catiónica em Solos Tipoferalíticos de Angola. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, vol. 45, p. 487-522.
- Franco, E.P.C. e Póvoas, I.M. (1998) - Estudo electroquímico do horizonte Bws de alguns solos ferralíticos típicos de Angola. *Garcia de Orta, Sér. Est. Agron.*, vol. 20, n. 1-2, p. 31-42.
- Franco, E.P.C. e Ricardo, R. Pinto (1998) - Uma aproximação estatística no estudo da contribuição da matéria orgânica e da argila para a capacidade de troca catiónica dos solos ferralíticos de Angola. *Garcia de Orta, Sér. Est. Agron.*, vol. 20, n. 1-2, p. 15-30.
- Guerrero, R. (1971) - *Soils of the Colombian Llanos Orientales - Composition and classification of selected soil properties*. Ph.D. Thesis. Raleigh, North Carolina State University.
- Hardy, F. (1970) - *Suelos tropicales - Pedologia tropical com ênfase em America*. Ed. Herrero Hermanos. Sucesores. S. A., Mexico.
- Herbillon, A.J. (1989) - Chemical estimation of weatherable minerals present in the diagnostic horizons of low activity clay soils. In: *Proc. 8th Int. Clay Classification Workshop*. Rio de Janeiro, Brasil, p. 39-48.
- Hunt, J.F.; Ohno, T. e He, Z. (2007) - Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 44, n. 2, p. 277-288.
- WRB (2006) IUSS Working Group - *World reference base for soil resources 2006*. 2ª ed. World Soil Resources Report vol 103. Rome, FAO, 128 p.
- Lal, R. e Sanchez, P.A. (1992) - *Myths and science of soils of the tropics*. SSSA Special Publication Number 29. Madison, Wisconsin, SSSA, ASA, 185 p.

- Mokwunye, A.U. e Hammond, I.L. (1992) - Myths and science of fertilizer use in tropics. In: Lal, R. e Sanchez, P.A. (Eds.) - *Myths and science of soils of the tropics*. SSSA Special Publication Number 29. Madison, Wisconsin, SSSA, ASA, p. 121-134.
- Mouta, F. (1954) - *Notícia explicativa do esboço geológico de Angola* (1:2.000.000). Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- MPA (1959) - *Carta geral dos solos de Angola. 1. Distrito de Huíla*. Memórias (2ª Série), 9. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- MPA (1960) - Generalized soil map of Angola. *Trans. 7th International Congress Soil Science*, Madison, Wisconsin (EUA), vol. 4, p. 56-62.
- MPA (1961) - *Carta geral dos solos de Angola. 2. Distrito de Huambo*. Memórias (2ª Série), 27. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- MPA (1964) - Generalized soil map of Angola (2nd approximation). *Transactions 8th International Congress of Soil Science*, Bucharest (Roménia), vol. 5, p. 153-162.
- MPAM (1968) - *Carta geral dos solos de Angola. 4. Distrito de Cabinda*. Memórias (2ª Série), 57. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- MPAM e CEPT (1968) - *Carta generalizada dos solos de Angola* (3ª Aproximação). Memórias (2ª série), 56. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- MPAM e CEPT (1972) - *Carta geral dos solos de Angola. 5. Distrito de Uíge e Zaire*. Memórias (2ª série), 63. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- Neto, A.G. (2006) - *O Alumínio dos solos de Angola*. Dissertação de Mestrado em Agronomia e Recursos Naturais. Huambo, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Agostinho Neto e Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 81 p.
- Neto, A.G.; Ricardo, R. Pinto e Madeira, M. (2006) - O alumínio nos solos de Angola. In: Moreira, I. (Org.) - *Angola: agricultura, recursos naturais, desenvolvimento rural*. I Volume. Lisboa, ISAPress, p. 121-143.
- Póvoas, I. e Barral, M. F. (1992) - *Métodos de análise de solos*. Comunicações, Série de Ciências Agrárias. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical.
- Ricardo, R. Pinto (1968) - Contribuição da matéria orgânica e da argila para a capacidade de troca catiónica em solos ferralíticos de Angola. *Garcia de Orta*, vol. 16, n. 3, p. 367-374.
- Ricardo, R. Pinto (1998) - Aspectos químicos e físico-químicos relacionados com as argilas ácidas. *Revista Agros*, vol. 52, n. 4-6, p. 79-85.
- Ricardo, R. Pinto; Franco, E.P. C. e Conceição, F.A.M. (2001) - As térmitas como agente determinante de características de solos do Sueste de Angola. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 24, n. 3-4, p. 239-244.
- Ricardo, R. Pinto; Raposo, J. A. e Madeira, M. (2006) - Estudos dos solos de Angola pelo ISA e pelo IICT. Contribuição para a Ciência do Solo Tropical. In: Moreira, I. (Org.) *Angola: agricultura, recursos e desenvolvimento*. Lisboa, ISAPress, p. 97-120.
- Ricardo, R. Pinto e Réffega, A. (2003) - Contribution portugaise au développement de la science du sol tropical. In: Stoops, G. (Ed.) - workshop *Evolution of tropical soil Science: past and future*. Brussels, Royal Academy of Overseas Sciences, p. 49-78.
- Sanchez, P.A. (1976) - *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley and Sons, 618 p.
- Sertoli, P.E. (2009) - *As Características do complexo de troca e a classificação dos solos da República de Angola*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 71 p.
- SSS (Soil Survey Staff) (1999) - *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edition. Agriculture Handbook 436. Washington D. C., Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, 871 p.
- Teixeira, A.M. (2006) - *Os minerais de ferro e alumínio nos solos de Angola*. Dissertação de Mestrado em Agronomia e Recursos Naturais. Huambo, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Agostinho Neto e Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 153 p.
- Teixeira, A. M.; Ricardo, R. Pinto; Monteiro, F. e Madeira, M. (2006) - Os minerais de ferro e alumínio nos solos de Angola. In: Moreira, I. (Org.) - *Angola: agricultura, recursos e desenvolvimento*. Lisboa, ISAPress, p. 145-167.
- Thomas, G.W. (1982) - Exchangeable cations. In: Page, A. L. (Ed.) - *Methods of soil analysis Part 2. Chemical and microbiological properties* (Second Edition). Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 159-165.

- Ucuassapi, A. P. (2006) - *Alguns elementos sobre a fertilidade e fertilização dos solos de Angola*. Dissertação de Mestrado em Agronomia e Recursos Naturais. Huambo, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Agostinho Neto e Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 48 p.
- Uehara, G. e Gillman, G. (1981) – *The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays*. Westview Tropical Agriculture Series, No. 4. Boulder, Colorado, Westview Press Inc., 170 p.
- Van Wambeke, A. (1992) - *Soils of the tropics – properties and appraisal*. New York, McGraw-Hill Inc., 343 p.
- Zech, W.; Senesi, N.; Guggenberger, G.; Kaiser, K.; Lehmann, J.; Miano, T.M.; Milner, A. e Schroth, G. (1997) – Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, vol. 49, n. 3-4, p. 619-628.