

FÍSICA DO SOLO E GESTÃO DE ÁGUA

Sistema de porosidade do solo numa topossequência Luvisolo-Solonetz no Sul de Portugal

Pore space characteristics in a Luvisol-Solonetz toposequence in Southern Portugal

F. Monteiro¹, M. Madeira¹, V. Marcelino² & E. Sousa¹

RESUMO

Os solos com propriedades estagnicas que ocorrem no Alentejo caracterizam-se por apresentar baixa porosidade. O estudo duma topossequência típica revelou, para além disso, que o sistema poral diferia significativamente com a posição dos pédones na encosta. No pédone de topo, o horizonte Ap1 mostrou-se mais poroso do que o Ap2, mas com uma distribuição semelhante dos vazios $30 < \emptyset < 500 \mu\text{m}$ e de $\emptyset > 500 \mu\text{m}$. Inversamente, no pédone de sopé, o volume poral dos horizontes Ap1 e Ap2 equivalia-se mas, neste último, tal como nos Bt, os poros $> 500 \mu\text{m}$ eram escassos. Os horizontes Bt, muito fechados e com um volume poral total idêntico ao longo da encosta, diferiam entre si no tipo e padrão de orientação dos respectivos vazios, sendo os poros aplanados mais frequentes e maiores no pédone de topo.

Não foram encontrados padrões consistentes de orientação preferencial dos poros que sugiram compactação do solo e justifiquem a diminuta porosidade dos pédones estudados e a sua muito reduzida “porosi-

dade de condução”, as quais se podem explicar pela sodicidade e baixo teor de C orgânico dos mesmos.

ABSTRACT

Soils with stagnic properties occurring in Alentejo commonly have low porosity. The study of a typical soil toposequence, showed that soil pore features were significantly different amongst summit and foot/toe slope pedons. In the summit pedon the Ap1 horizon was more porous than the Ap2, both exhibiting similar void distribution patterns. Conversely, the Ap1 and Ap2 horizons of the footslope pedon had a similar pore space volume, but pores with diameter larger than $500 \mu\text{m}$ were less important in the later. Pore space volume of Bt horizons was low whatever the slope position of pedons. However, they differ significantly in terms of void type and orientation patterns. No preferred orientation patterns were found in soil voids that could be related with soil compaction, being their low porosity, namely their low “conducti-

¹ Instituto Superior de Agronomia, Depto de Ciências do Ambiente, Tp. da Ajuda – 1349-017 Lisboa, e-mail: fgmonteiro@isa.utl.pt; ² Laboratório de Mineralogia, Petrologia e Micropedologia, Universidade de Gent, Krijgslaan 281/S8, Gent, Bélgica.

ve” porosity, not attributable to soil compaction. Those features can instead be due to the sodicity and/or the low organic C of these soils.

INTRODUÇÃO

Os solos com propriedades estagnicas que ocorrem sobre formações ígneo-metamórficas em vastas áreas do Alentejo apresentam, em regra, condições físicas deficientes. Sobressai, entre outros aspectos, uma porosidade muito baixa, cujo padrão de variação em profundidade não acompanha muitas vezes a variação textural dos diferentes horizontes. Diversas outras características de muitos daqueles solos estão em consonância com este facto, entre as quais a baixa permeabilidade dos seus horizontes B, o baixo teor de água “útil” que são capazes de reter e a pequena profundidade de penetração das raízes.

As razões subjacentes à sua diminuta porosidade estão ainda muito pouco esclarecidas. Silva *et al.* (1965) e Teixeira (1969) atribuíram as limitações destes solos ao elevado teor de argila e à má agregação dos respectivos horizontes B, bem assim como à possível existência de calos de lavoura. Silva *et al.* (1965) notaram que o Na poderia contribuir para a instabilidade da sua agregação. No presente trabalho apresenta-se a caracterização do sistema de porosidade de pédones representativos de solos com propriedades estagnicas, usando não apenas métodos indirectos convencionais mas recorrendo também a técnicas micromorfológicas de estudo directo, e discutem-se sumariamente as causas das principais características do respectivo sistema poral.

MATERIAIS E METODOLOGIAS

Estudaram-se os pédones extremos de uma toposequência representativa de solos com características estagnicas, situada numa encosta com ~1% de declive, próximo de Viana do Alentejo. O pédone de topo de encosta (P 5N, doravante designado por PT) é um Luvissole háplico (Typic Haploxeralf); o de sopé (VI 16, que será designado por PS) é um Solonetz estagnico (Typic Natraqualf), respectivamente de acordo com a WRB (ISSS/ISRIC/FAO, 1998) e com a Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003).

As características físicas e químicas mais relevantes dos horizontes principais de tais solos apresentam-se no Quadro 1. A fracção argilosa de ambos os pédones é constituída maioritariamente por vermiculites e/ou vermiculites expansíveis e por caulinite, cuja proporção aumenta dos horizontes Bt para os Ap.

A caracterização do sistema de vazios foi feita em amostras triplicadas, não perturbadas, dos horizontes Ap1, Ap2 e Bt, impregnadas com uma mistura de resina de poliéster e tinta fluorescente (Uvitex). Depois de curadas, as amostras foram seccionadas longitudinal e transversalmente e ambas as faces de cada bloco assim obtido foram polidas e fotografadas sob luz UV. O estudo dos poros $\varnothing > 500 \mu\text{m}$ fez-se em imagens digitais da totalidade da superfície de cada uma das secções (6 em corte vertical e 1 em corte horizontal); para a análise dos poros $30 < \varnothing < 500 \mu\text{m}$ utilizaram-se fotomicrografias digitais obtidas em microscópio de fluorescência (6 por cada secção, totalizando 36 em corte vertical e 18 em corte horizontal).

Analisaram-se, para além do número, perímetro e área médios dos poros, a sua forma e orientação (Murphy *et al.*, 1977b).

QUADRO 1 - Areia total (Ar), limo (L), argila (A), carbono orgânico (C), massa volúmica aparente (Mvap), porosidade total (P)¹, pH(H₂O) (pH), teores de Ca, Mg e de Na permutáveis e capacidade de troca catiônica (CTC)² dos horizontes Ap1, Ap2 e Bt dos pédones estudados

Pédone	Horiz.	Granulometria			C	Mvap	P	pH (H ₂ O)	Complexo de troca			
		Ar	L	A					Ca	Mg	Na	CTC
		g kg ⁻¹			g cm ⁻³				cmol _c kg ⁻¹			
PT	Ap1	767	93	140	5,3	1,35	49,1	6,17	8,15	3,40	0,06	9,51
	Ap2	784	90	126	4,4	1,53	42,4	6,15	8,39	3,35	0,21	8,96
	Bt	548	122	330	3,0	1,68	36,5	6,65	19,31	9,40	0,28	25,21
PS	Ap1	745	162	93	8,5	1,60	39,7	6,41	3,26	1,49	0,19	7,55
	Ap2	771	136	93	3,6	1,64	38,0	6,30	2,41	1,18	0,14	6,05
	Bt2	592	84	324	1,2	1,84	30,5	8,73	6,26	8,79	4,98	21,04

¹ calculada por via da Mvap, através da expressão $P=(1-Mvap/Mvps)*100$, em que Mvps é a massa volúmica das partículas do solo, a que se atribuiu o valor de 2,65 g cm⁻³.

² valor correspondente ao somatório de S (soma das bases de troca) com o H de troca (Mehlich).

A análise incidiu sobre os vazios 30<Ø<500 µm (P30) e >500 µm (P500), que foram agrupados em classes limitadas por Ø de 60, 100 e 500 µm (P30), e 1000, 2000, 5000 e >5000 µm (P500). A análise de imagem foi realizada com o programa de utilização livre "Image Tool" (v. 2.00) da UTHSCSA.

A quantificação da porosidade foi feita segundo o procedimento descrito em Ringrose-Voase (1994), medindo a superfície de todos os poros visíveis, incluindo os intersectados pelas margens da imagem. No entanto, para a quantificação do número de poros – em que se deveriam levar em conta apenas os que não tocavam uma "linha proibida" definida por duas margens adjacentes da imagem, mas que o programa de análise utilizado não permite separar – consideraram-se somente os vazios visíveis em toda a sua extensão, a exemplo do procedimento também adoptado por Dillon & Philip (2004). O número de poros foi, por isso, determinado por defeito.

A orientação dos vazios foi avaliada pelos valores angulares (reduzidos ao primeiro quadrante) definidos pelo eixo maior dos poros relativamente à horizontal, tendo os

valores angulares medidos sido agrupados em três classes: <30°, entre 30-60° e >60°.

A terminologia utilizada é a de Bullock *et al.* (1985), com as modificações introduzidas por Stoops (2003); a respectiva tradução segue o recomendado em Stoops (1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos horizontes Ap, entre os poros 30<Ø<500 µm (P30) predominam cavidades e vazios de empacotamento, que são de tipo complexo nos horizontes Ap1 e por vezes também simples nos Ap2, em especial no PS. Nestes horizontes, os poros de Ø>500 µm (P500) têm a mesma tipologia em ambos os pédones, à excepção do Ap2 do PS, no qual praticamente só são observáveis alguns vazios de empacotamento em torno de fragmentos de material muito pouco poroso e de numerosos nódulos (Figuras 1 e 2). Nos horizontes Bt, entre a P30 predominam fissuras, que são acompanhadas por pequenas cavidades no PS. Porém, a P500 destes horizontes é bastante distinta nos dois pédones: como pode ser observado

nas Figuras 1 e 2, no PT predominam fissuras de orientação maioritariamente vertical, esboçando uma agregação prismática, enquanto que no PS existe uma matriz densa, com pequenas cavidades e fissuras distribuídas aleatoriamente. O elevado teor de Na e de Mg permutáveis (Quadro 1) que ocorrem no horizonte Bt do PS será, provavelmente, a razão para o menor desenvolvimento da sua pedalidade.

A porosidade de $\varnothing > 30 \mu\text{m}$ dos horizontes analisados (Quadro 2) é em geral baixa ou muito baixa. Os seus valores são particularmente reduzidos nos horizontes Bt de ambos os pédones (6,75% e 6,60% no PT e no PS, respectivamente). O valor mais elevado observou-se no horizonte Ap1 do PT (17,48%), valor que no horizonte Ap2 se reduz em cerca de 20% (13,85%). No PS, a porosidade de $\varnothing > 30 \mu\text{m}$ dos horizontes Ap1 e Ap2 é mais aproximada (10,28% e 9,56%, respectivamente), mas a sua distribuição por classes é mais diferenciada do que no PT (Figura 3).

No respeitante à distribuição da P30 e da P500 nos vários horizontes (Quadro 2, Figura 3), verificou-se que enquanto nos horizontes Bt predominam largamente poros de $\varnothing < 500 \mu\text{m}$, nos Ap1 a porosidade de $\varnothing > 500 \mu\text{m}$ representa quase 40% do somatório da P30 e da P500 no PT e cerca de 45% no PS. A P500 diminui acentuadamente entre os Ap1 e os Ap2, em particular no PS, no qual a proporção desta classe de poros é extremamente baixa, situando-se a nível ainda inferior ao dos horizontes Bt (apenas 1%).

A comparação dos horizontes de cada um dos pédones [Quadro 3 (A)] evidencia que a) as diferenças entre os horizontes Ap1 e Ap2 são significativas ($p > 0,999$) no pédone localizado na base da encosta, mas não no de topo, para qualquer das classes de poros consideradas; b) os horizontes Ap1 diferenciam-se mais claramente dos Bt por via da

P500 do que da P30, a qual, no PS, é mesmo semelhante entre estes horizontes e c) a diferença entre os horizontes Ap2 e Bt é bastante mais marcada no PT (no qual, para ambas as classes de poros, as diferenças são significativas) do que no PS, em que estes horizontes se diferenciam apenas em termos da porosidade mais fina (P30).

Confrontando os horizontes homólogos dos dois pédones [Quadro 3 (B)], verificou-se que os respectivos horizontes Ap1 diferem significativamente entre si em termos da porosidade mais fina e que os Ap2 se distinguem sobretudo pela porosidade de maior diâmetro. Todavia, em qualquer dos casos, os horizontes do PT são sempre mais porosos do que os do PS. Entre os horizontes Bt, mau grado as diferenças qualitativas de porosidade já assinaladas, não se verificaram diferenças quantitativas significativas.

Globalmente, foi observado que no PS os poros mais finos (30 - 500 μm) representam a maior parte da porosidade, ao contrário do que sucede no PT, em que os poros 100 $\mu\text{m} < \varnothing < 1000 \mu\text{m}$ constituem o essencial do volume poroso, sendo a porosidade 2mm $< \varnothing < 5\text{mm}$ ainda significativa no horizonte Ap1 deste pédone (Quadro 4 e Figura 3).

Dos resultados acima pode concluir-se que, apesar de ambos os pédones apresentarem porosidade muito baixa, o pédone do topo apresenta uma melhor agregação, o que se reflecte, em termos qualitativos, pela presença de fissuras tanto nos Ap como no Bt e, em termos quantitativos, pela maior abundância de poros grandes nos horizontes Ap1 e Ap2.

As características do sistema poral destes pédones deverão estar relacionadas tanto com a natureza das bases de troca predominantes no complexo de adsorção, como com a actividade biológica que neles tem lugar. Com efeito, a maior sodicidade do PS não só dificulta a floculação

P 30

P 500

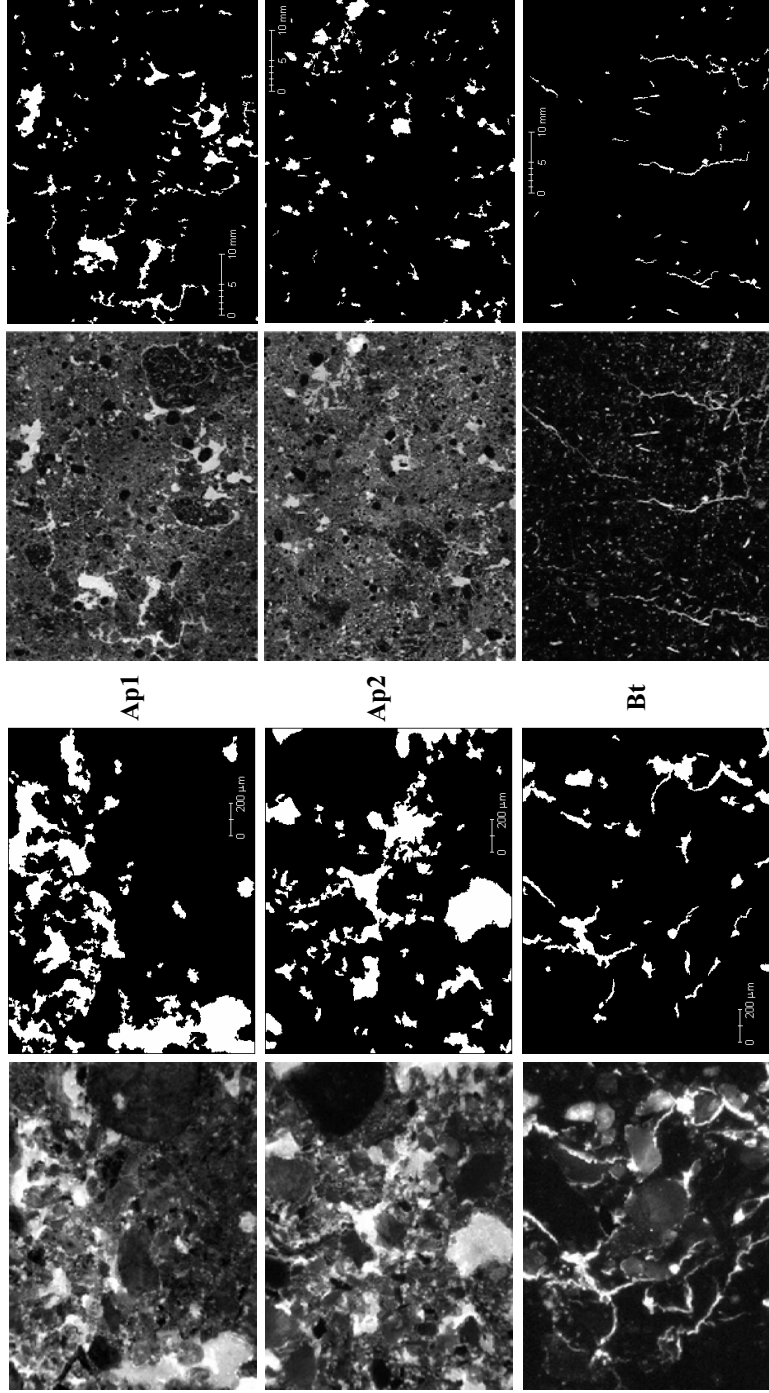


Figura 1 - imagens da P30 (30-500 μm) e da P500 (>500 μm) em amostras dos horizontes Ap1, Ap2 e Bt do pédone PT. Em cada conjunto mostra-se, à esquerda, uma imagem fotográfica contrastada e, imediatamente à sua direita, o conjunto de poros nelas identificados por análise da primeira, com indicação aproximada da escala. Os poros não completos (seccionados na orla das imagens) não foram considerados. As imagens estão orientadas, sendo a sua parte superior a mais próxima da superfície do solo. O campo de observação tem cerca de 2x1,5 mm (P30) e de 55x45 mm (P500)

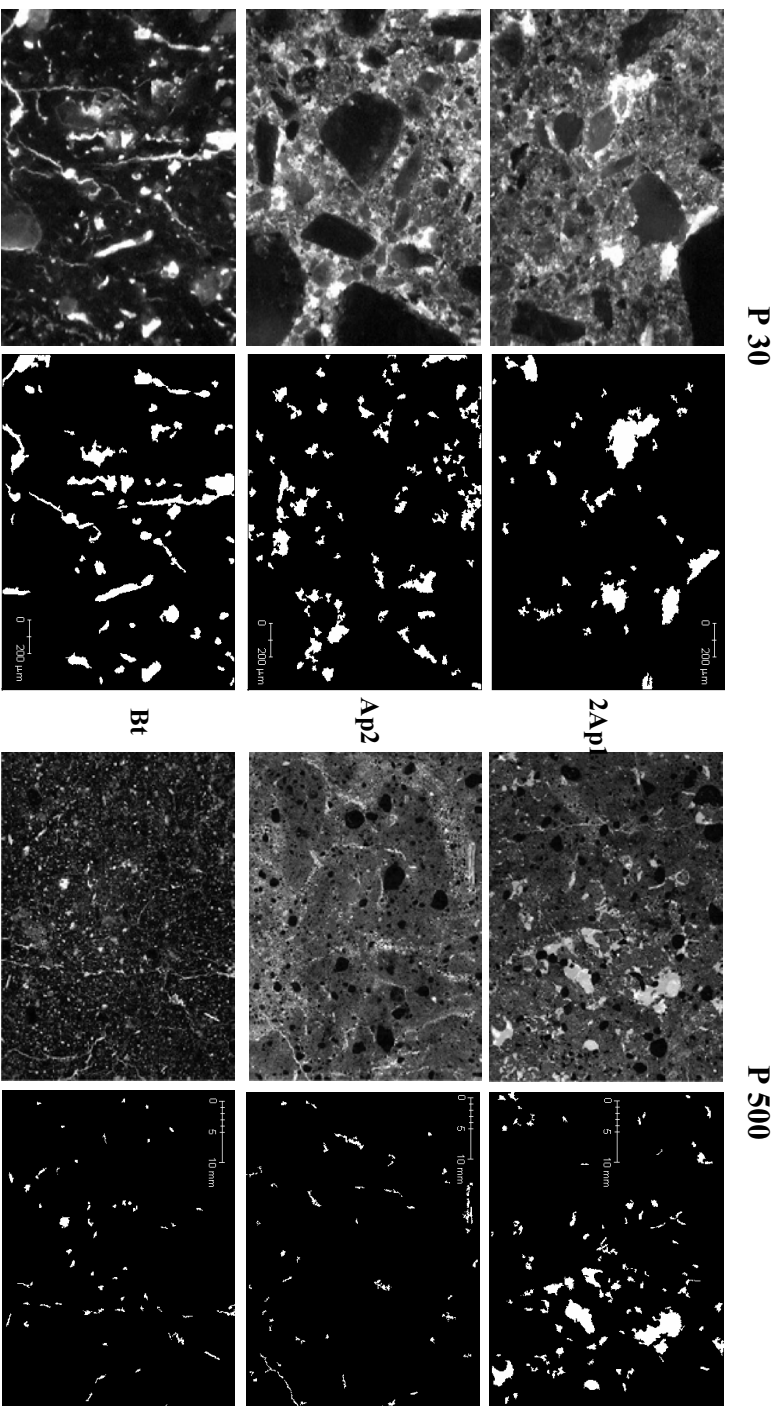


Figura 2 - Aspectos idênticos aos referidos na Figura 1, mas referentes aos horizontes Ap1, Ap2 e Bt do pédone PS

QUADRO 2 - Área (% do campo de observação) ocupada por poros de diâmetro compreendido entre 30 e 500 μm (P30), superior a 500 μm (P500) e pelo somatório de ambos [$\Sigma (>30\mu\text{m})$], com indicação e respectivo intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) nos horizontes Ap1, Ap2 e Bt dos pédones PT e PS

	PT			PS		
	P30	P500	$\Sigma (>30\mu\text{m})$	P30	P500	$\Sigma (>30\mu\text{m})$
Ap1	10,97 \pm 1,01	6,51 \pm 0,89	17,48	5,65 \pm 0,65	4,63 \pm 1,03	10,28
Ap2	9,84 \pm 1,11	4,01 \pm 0,55	13,85	8,54 \pm 1,01	1,02 \pm 0,29	9,56
Bt	5,32 \pm 0,68	1,43 \pm 0,36	6,75	5,26 \pm 0,77	1,34 \pm 0,32	6,60

QUADRO 3 - Significância estatística das diferenças entre os diversos horizontes dos pédones PT e PS (A) e entre horizontes homólogos nos mesmos pédones (B)

A					B		
	PT		PS			PT vs PS	
	P30	P500	P30	P500		P30	P500
Ap1 vs Ap2	N	N	***	***	Ap1 vs Ap1	***	*
Ap1 vs Bt	***	***	N	***	Ap2 vs Ap2	N	***
Ap2 vs Bt	***	***	***	N	Bt vs Bt	N	N

N – Sem significância; * Significativo para $p \geq 0,95$; *** Significativo para $p \geq 0,999$

dos colóides e o desenvolvimento de agregação estável, como parece também influenciar o desenvolvimento das plantas, que apresentavam, à data da amostragem destes pédones, melhor desenvolvimento vegetativo na área do topo do que na de sopé da encosta.

Por outro lado, verificou-se que, em ambos os pédones, a esfericidade dos poros diminuía à medida que aumentava o seu diâmetro equivalente, particularmente nos horizontes Bt (Quadro 4), o que está em conformidade com o facto de nestes, e em especial no do pédone PT, se desenvolverem maioritariamente fissuras.

O grau de esfericidade dos vazios e o respectivo padrão de orientação espacial são influenciados pela ocorrência de compactação no solo (Murphy *et al.*, 1977a). No caso presente, os poros de maior diâmetro ($>100 \mu\text{m}$) – mais susceptíveis à

deformação por compactação do que os de menor dimensão, que são mais isotrópicos (Dillon & Philip, 2004) – não evidenciaram qualquer tendência consistente de orientação preferencial, nem a existência de poros claramente alongados nos horizontes Ap dos pédones estudados (Quadro 4, Figura 4). Com efeito, embora no horizonte Ap2 do pédone PS os poros $100 \mu\text{m} < \varnothing < 500 \mu\text{m}$ estejam em boa parte dispostos segundo ângulos inferiores a 30° relativamente à horizontal, uma proporção semelhante de poros da classe de dimensão imediatamente superior ($500 \mu\text{m} < \varnothing < 1000 \mu\text{m}$) apresenta-se disposta segundo ângulos entre 60 e 90° .

Por outro lado, a compactação do solo provoca frequentemente o alinhamento das partículas do solo (massa basal) numa direcção particular, o que também não foi observado nas amostras analisadas. Ainda que a ocorrência de tal orientação possa ser

QUADRO 4 - Número médio (aproximado) de poros por cm² e respectiva área (em % do campo), esfericidade e posição angular (% de poros cujo eixo maior define com a horizontal ângulos <30°, entre 30 e 60° e >60°), em cada uma das classes consideradas, nos horizontes Ap1, Ap2 e Bt dos pédones PT e PS

Hor.	Pédone PT						Pédone PS							
	Nº cm ⁻²	Área (%)	Esfericidade	Posição angular			Nº cm ⁻²	Área (%)	Esfericidade	Posição angular				
				<30°	30-60°	>60°				<30°	30-60°	>60°		
30-60 µm														
Ap1	840	1,65	0,50	±0,01	39,5	39,5	21,0	1203	1,68	0,46	±0,01	39,6	28,0	32,4
Ap2	1007	1,57	0,50	±0,01	36,3	32,1	31,6	1457	2,17	0,47	±0,01	36,6	35,3	28,1
Bt	527	0,75	0,56	±0,02	30,5	36,4	33,1	737	1,01	0,57	±0,02	32,7	30,9	36,4
60-100 µm														
Ap1	257	2,60	0,35	±0,02	39,2	35,1	25,7	263	1,21	0,29	±0,02	35,0	36,4	28,7
Ap2	307	2,37	0,35	±0,01	35,3	36,5	28,2	350	1,72	0,31	±0,01	35,8	35,2	29,0
Bt	193	0,93	0,40	±0,02	33,3	31,0	35,7	260	1,16	0,40	±0,02	28,2	37,1	34,7
100-500 µm														
Ap1	167	6,72	0,22	±0,02	31,3	38,5	30,2	110	2,76	0,23	±0,02	39,3	37,5	23,2
Ap2	183	5,90	0,23	±0,02	29,7	44,9	25,4	153	4,65	0,21	±0,02	48,2	32,9	18,8
Bt	130	3,64	0,30	±0,03	36,8	31,0	32,2	150	3,09	0,31	±0,03	24,1	34,5	41,4
500-1000 µm														
Ap1	295x10 ⁻²	2,67	0,36	±0,01	25,3	31,6	43,1	241x10 ⁻²	1,16	0,40	±0,02	25,8	30,6	43,6
Ap2	362x10 ⁻²	1,57	0,35	±0,01	25,7	36,6	37,7	181x10 ⁻²	0,73	0,34	±0,02	18,8	38,3	42,9
Bt	210x10 ⁻²	0,75	0,37	±0,02	37,5	28,1	34,4	170x10 ⁻²	0,70	0,39	±0,02	34,0	33,2	32,8
1000-2000 µm														
Ap1	72x10 ⁻²	1,52	0,25	±0,02	28,9	35,1	36,0	73x10 ⁻²	1,48	0,30	±0,02	37,5	28,3	34,2
Ap2	84x10 ⁻²	1,15	0,25	±0,02	24,2	35,2	40,6	17x10 ⁻²	0,22	0,20	±0,04	28,0	32,0	40,0
Bt	32x10 ⁻²	0,48	0,16	±0,03	37,7	20,8	41,5	33x10 ⁻²	0,53	0,23	±0,04	43,9	26,3	29,8
2000-5000 µm														
Ap1	46x10 ⁻²	2,03	0,18	±0,02	30,6	25,0	44,4	26x10 ⁻²	1,88	0,26	±0,04	14,3	35,7	50,0
Ap2	20x10 ⁻²	1,29	0,19	±0,03	9,7	48,4	41,9	0,4x10 ⁻²	0,07	0,08	± -	-	-	-
Bt	4,4x10 ⁻²	0,20	0,12	±0,06	37,5	25,0	37,5	2,4x10 ⁻²	0,11	0,11	±0,10	-	-	-
>5000 µm														
Ap1	0,4x10 ⁻²	0,29	0,16	± -	-	-	-	1,2x10 ⁻²	0,11	0,14	±0,02	-	-	-
Ap2	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-
Bt	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-

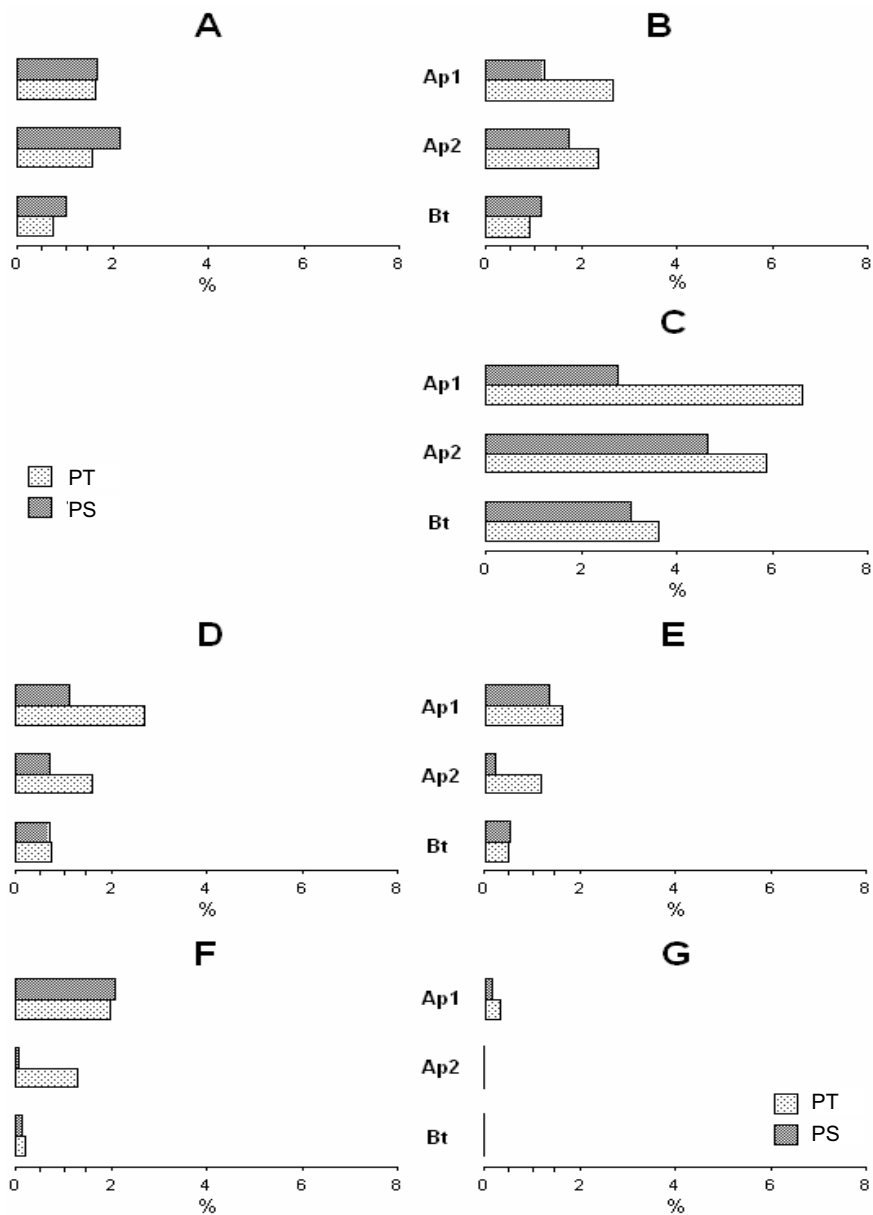


Figura 3 – Representação gráfica da proporção (%) de poros de diâmetro compreendido entre 30-60 μm (A), 60-100 μm (B), 100-500 μm (C), 500-1000 μm (D), 1000-2000 μm (E), 2000-5000 μm (F) e superiores a 5000 μm (G), nos horizontes Ap1, Ap2 e Bt dos pédones PT e PS

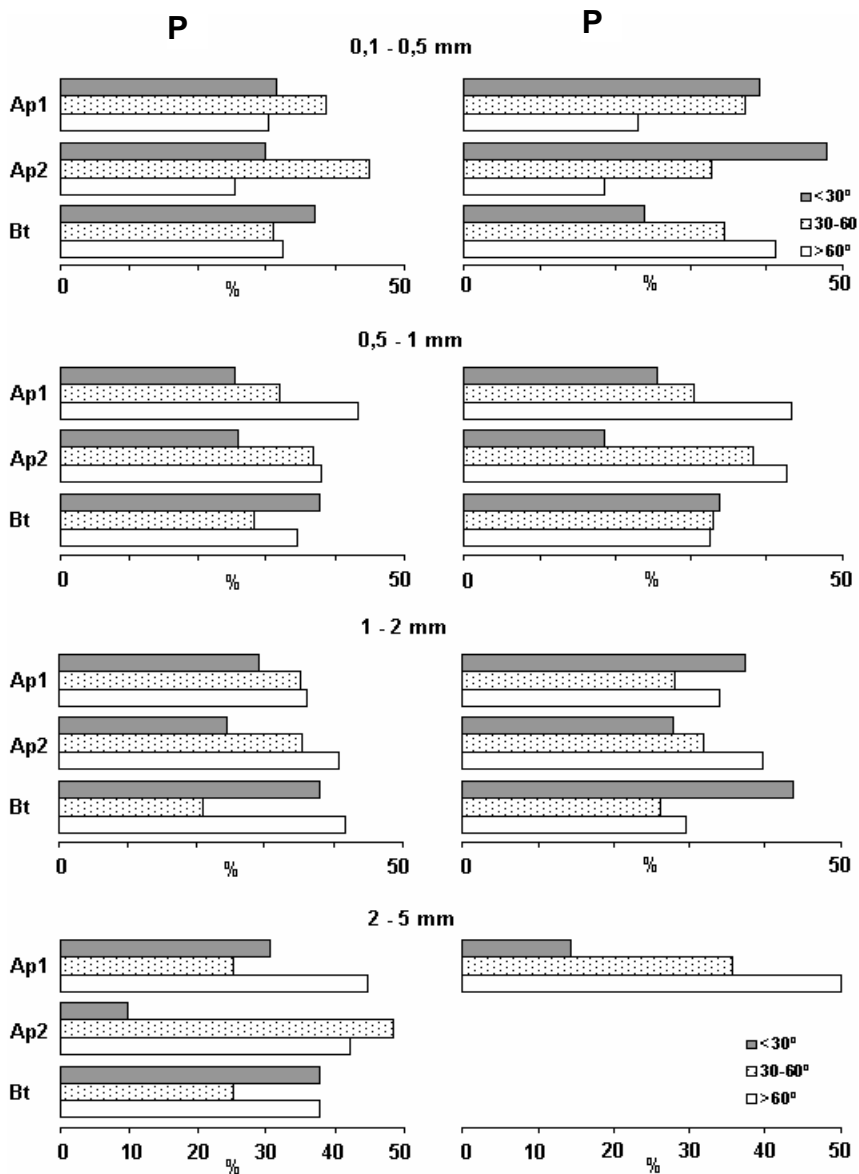


Figura 4 - Distribuição percentual das classes de poros de diâmetro superior a $100\ \mu\text{m}$ pelas três classes de orientação consideradas ($<30^\circ$, $30-60^\circ$ e $>60^\circ$) nos pódones PT e PS

significativa apenas quando as forças que a provocam são elevadas ($>1\text{MPa}$) (Kooistra & Tovey, 1994), os aspectos referidos sugerem que, nos solos em apreço, a baixa macroporosidade dos horizontes Ap2 relativamente aos Ap1 não é correlacionável com a actuação de processos de compactação.

Assim, o arranjo mais fechado dos constituintes dos horizontes Ap2 deverá resultar essencialmente do baixo teor de matéria orgânica e da tendência para a desfloculação da fracção argilosa (o Na representa quase 3% da CTC nos horizontes Ap), os quais contribuirão fortemente para a elevada instabilidade da já muito fraca agregação que caracteriza estes horizontes.

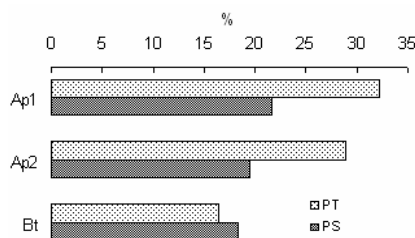


Figura 5 – Volume dos poros de $\text{Ø}>60\ \mu\text{m}$ em % da porosidade total estimada

É de destacar, por outro lado, que a comparação entre os valores acumulados da P30 e da P500 que se têm vindo a referir e os que se podem estimar através da massa volúmica aparente (M_{vap}), suscita algumas considerações sobre aspectos que são muito relevantes em termos do funcionamento destes solos.

Com efeito, a porosidade dos pédones em consideração estimada por via dos valores da massa volúmica aparente (Quadro 1) varia entre 49,1% (horizonte Ap1 do PT) e 30,5% (horizonte Bt do PS). Muito embora tal estimativa não reflecta as condições reinantes em solo húmido (dado o elevado teor de minerais expansíveis na fracção argilosa destes pédones), ela permite evidenciar que o volume

dos poros de $\text{Ø}>30\ \mu\text{m}$ representa uma fracção diminuta da porosidade total do solo.

Resulta, portanto, que a grande maioria dos vazios do solo são micro-poros de $\text{Ø}<30\ \mu\text{m}$ e que a porosidade de “arejamento” ou de “transmissão” (poros de $\text{Ø}>60\ \mu\text{m}$) representa sempre menos de 35% do volume total de vazios (Figura 5). Tendo em conta a expansibilidade da fracção argilosa, poderá mesmo considerar-se que os valores referidos para a porosidade de arejamento serão ainda menores quando o solo está húmido, aspecto que é inquestionavelmente relevante do ponto de vista do funcionamento destes solos.

CONCLUSÕES

A localização na paisagem dos solos com propriedades estagnicas derivados de rochas ígneo-metamórficas que ocorrem no Alentejo é factor de discriminação das características do seu sistema poral. Os pédones de topo de encosta, apesar de serem também pouco porosos, apresentam horizontes Ap em regra melhor agregados e com poros mais abundantes e de maiores dimensões do que os pédones de sopé. Os resultados também sugerem que as características do sistema de porosidade de tais solos não estão correlacionadas com a ocorrência de processos de compactação, mas sim com a natureza da guarnição catiónica do respectivo complexo de adsorção e com o baixo teor de matéria orgânica que os caracteriza. Estes factores são determinantes da estabilidade da agregação e estão na base do predomínio nestes solos de poros das classes mais finas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G. & Tursina, T. 1985. *Hand-*

- book for Soil Thin Section Description*. Waine Research Publications. Wolverhampton.
- Dillon, C.G. & Philip, L.K. 2004. Determining the petrographic fabric of a compacted soil using semivariance analysis: sample preparation and digital petrographic image analysis. *Geoderma*, **120**: 47-61.
- ISSS/ISRIC/FAO. 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports 84, FAO. Rome. (também disponível on-line em: "<http://www.fao.org/docrep/>").
- Kooistra, M.J. & Tovey. 1994. Effects of compaction on soil microstructure. In B.D. Soane & C. van Ouwerkerk (eds) *Soil Compaction in Crop Production*, pp. 91-111. Elsevier Science B. V.. Amsterdam.
- Murphy, C.P., Bullock, P. & Biswell, K.J. 1977a. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part II – Applications. *The Journal of Soil Science*, **28**: 509-518.
- Murphy, C.P., Bullock, P & Turner, R.H. 1977b. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I – Principles and techniques. *The Journal of Soil Science*, **28**: 498-508.
- Ringrose-Voase, A.J. 1994. Some principles to be observed in the quantitative analysis of sections of soil. In A.J. Ringrose-Voase & G.S. Humphreys (eds), *Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis*, pp. 483-493. Proceedings of the IX International Meeting on Soil Micromorphology, Townsville, Australia, July 1992. Developments in Soil Science 22. Elsevier. Amsterdam.
- Silva, A.A., Garcia, J.S. & Rodrigues, J.L. 1965. Alguns aspectos da drenagem dos Campos de Évora. Seu estudo experimental no Posto Experimental de Évora. *Agronomia Lusitana*, **27 (2)**: 155-171.
- Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*, 9th ed. United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service. Washington D.C..
- Stoops, G. (ed). 1986. Multilingual translation of the terminology used in the "Handbook for Soil Thin Section Description". *Pedologie*, **XXXVI (3)**: 337-348.
- Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. SSSA. Madison, WI., 184 pp + CD. ISBN 0-89118-842-8.
- Teixeira, A.J.S. 1969. Nota preliminar sobre drenagem de terras agrícolas. O caso particular do Alentejo. *Pedologia*, **4 (1)**: 1-11.