

VINHOS QUE PENSAM - parte II|III

UTILIZAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO NA INSTALAÇÃO E GESTÃO DAS CULTURAS: EXEMPLIFICAÇÃO NA VINHA

Por: J. R. Marques da Silva^{1,ab}, José Maria Terron^c, Adélia Sousa^d, Paulo Mesquita^e, Filipe Vieira^f, Jorge Blanco^g, João Serrano^h, Luís Leopoldo Silvaⁱ, Renato Coelho^j, Carlos Alexandre^k e Fátima Baptista^l

INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a variabilidade espacial das características do solo é essencial para uma gestão agrícola moderna (Unamunzaga *et al.*, 2014). A utilização combinada da geoestatística e de diferentes tipos de estratégias de amostragem do solo é amplamente utilizada no estudo da estrutura espacial dos atributos do solo (Triantafyllis e Lesch, 2005), no entanto, este tipo de métodos são normalmente caros e lentos (Aimrun *et al.*, 2009), tornando-se inviáveis numa perspetiva da gestão diferenciada das culturas (Peralta e Costa, 2013). A medição da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo é uma tecnologia bem mais eficiente na deteção da variabilidade espacial das características do solo (Peralta e Costa, 2013), oferecendo dessa forma uma alternativa mais robusta e menos dispendiosa que a metodologia anterior (Aimrun *et al.*, 2009). Mertens *et al.* (2008) sugeriram que a medição da CEa do solo é uma abordagem bem mais rápida, bem mais económica e de maior detalhe geográfico quando existe a necessidade de estimar indicadores de qualidade do solo e

quando comparada com a abordagem clássica.

Compreender as relações entre a CEa do solo e as propriedades do mesmo pode em muito ajudar o desenvolvimento de estratégias inovadoras na gestão agrícola (Mertens *et al.*, 2008). A CEa é frequentemente utilizada no estudo dos padrões espaciais do solo, nomeadamente na amostragem inteligente destes, bem como, na identificação de zonas homogéneas de gestão (Piikki *et al.*, 2013). Vários estudos têm mostrado uma correlação evidente entre a CEa do solo e a sua textura, especialmente no que se refere à percentagem de argila (Lardo *et al.*, 2012; Mertens *et al.*, 2008; Peralta e Costa, 2013). De uma maneira geral o teor de argila no solo é um indicador da fertilidade, pois afeta as propriedades estruturais e hidrológicas, bem como a disponibilidade de nutrientes. Mapas de alta resolução do teor superficial de argila no solo podem ser usados como informação relevante para muitas e diferentes aplicações agrícolas (Piikki *et al.*, 2013). Em solos não salinos, quando as propriedades físicas dominam a CEa, esta poderá

ser usada como um indicador da textura do solo (Aimrun *et al.*, 2009).

Os componentes do solo que são normalmente melhor representados na forma de mapa pela CEa são a percentagem de argila, de limo e de areia (Pèrez *et al.*, 2011), no entanto, com comportamentos antagónicos, ou seja, coeficientes de correlação negativos para a percentagem de areia e coeficientes de correlação positivos para a percentagem de limo e argila (Fulton *et al.*, 2011; Pèrez *et al.*, 2011).

A medição da CEa do solo é, por isso, uma das ferramentas mais utilizadas atualmente para o estudo edáfico e antropogénico, no espaço e no tempo, das propriedades do solo (Doolittle e Brevik, 2014). Todavia, esta técnica tem algumas limitações, já que os resultados são normalmente específicos para os lugares de onde foram obtidos, pois as correlações dependem da interação existente entre diferentes tipos de variáveis do solo, normalmente muito complexas (Peralta e Costa, 2013; Doolittle e Brevik, 2014). A CEa pode ser influenciada por fatores estáticos e dinâmicos, tais como, a salinidade, a textura, a mineralogia,

¹Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora. P. O. BOX. 94, 7002 - 554 Évora, Portugal. Tel: (+351) 266760823, Fax: (+351) 266711189 / ²AgroInsider, Lda. - "Processos agrícolas inteligentes". Av. Sanches de Miranda Lote 2, 1.º. 7005 - 177 Évora, Portugal, Tel: (+351) 962 858 425. / ³Departamento de Cultivos Extensivos, Instituto de Investigaciones Agrarias Finca "La Orden-Valdesequera", Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) - Gobierno de Extremadura, Badajoz, España. / ⁴ICAAM, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas. / ⁵CITI, Centro de Inovação em Tecnologias de Informação, Évora, Portugal. / ⁶jmsilva@uevora.pt

o teor de água, a densidade aparente e a temperatura (Friedman, 2005). De uma forma geral, a magnitude e a heterogeneidade espacial da CEa do solo numa determinada parcela, são dominadas por um ou dois destes fatores, que variam de um campo para o outro, fazendo da interpretação da CEa um fenómeno dependente do local de estudo (Corwin e Lesch, 2005). Apesar de tudo, a CEa poderá ser utilizada como uma ferramenta de diagnóstico, estimando-se a partir desta as propriedades do solo e promovendo a amostragem inteligente do mesmo (Sudduth *et al.*, 2005).

Diante do exposto o principal objetivo deste trabalho passou por verificar:

- a relação entre a CEa do solo e os indicadores de textura;
- se a CEa do solo poderá ser um parâmetro importante na instalação e gestão de parcelas de vinha ou outro tipo de culturas.

DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E METODOLOGIAS

Características das zonas de estudo

O estudo foi conduzido em 3 locais distintos:

- a parcela 1 - "Casito" (Lat: 38° 32' 37.87"N, Long: 52° 7' 11.00"W, Datum WGS84), com 80 ha, situada no monte de PINHEIROS próxima da cidade de Évora (Portugal);
- a parcela 2 - "Cerro del Amo" (38° 58' 14"N, 6° 33' 3.94"W, Datum WGS84), com 33 ha, situada a 37 Km de Montijo, a Este de Badajoz (Espanha);
- a parcela 3 - "Herdade de Linhares" (37° 54' 49.44"N, 7° 57' 49.04"W, Datum WGS84), com cerca de 500 ha, situada a 15 Km (sudoeste) de Beja (Portugal).

As duas primeiras parcelas em virtude de apresentarem texturas muito diversas, "Casito" com solos mais arenosos e "Cerro del Amo" com solos mais argilosos, serviram para estudar as relações entre a CEa do solo e os parâmetros texturais do mesmo. A terceira parcela ("Herdade de Linhares") serviu como ensaio de aplicação para um potencial tipo de estudo que

se poderá efetuar a partir do conhecimento gerado pela tecnologia de medição da condutividade elétrica aparente do solo.

Os solos das parcelas 1 e 2 são mediterrânicos, não salinos, com teores de matéria orgânica inferiores a 1,5% e com uma distribuição de granulometria variada. Os solos da parcela 3 apresentam características semelhantes aos solos das parcelas 1 e 2, no entanto, face a uma ocupação pecuária prolongada (produção de vacas de carne), em algumas zonas o teor de matéria orgânica ultrapassa 1,5%.

Amostragem dos solos

Nas parcelas "Casito", "Cerro del Amo" e "Herdade de Linhares" foram recolhidas respetivamente 70, 80 e 45 amostras superficiais (até 0,30 m de profundidade) de solo tendo em conta o seu padrão de CEa. Estas amostras foram georreferenciadas por forma a relacionar os parâmetros texturais do solo com os respetivos valores de CEa. As amostras de solo nos três locais foram introduzidas em sacos de plástico, secas ao ar, crivadas num crivo de 2 mm e analisadas quanto:

- à textura, pelo método gravimétrico utilizando a metodologia da pipeta de Robinson (envolveu a remoção prévia de matéria orgânica e carbonatos);
- à matéria orgânica, pelo método de combustão a 1300 °C (num analisador elementar Leco SC144DR, LECO Corporation, St. Joseph, Michigan, USA).

Nas amostras de solo da parcela 3 foram ainda analisados:

- o pH, pelo método electro-métrico;
- a capacidade de troca catiónica (CTC), pelo método do acetato de amónio a pH 7;
- o fósforo e o potássio disponíveis (P₂O₅ e K₂O), pelo método de Égner-Rhiem;
- os micronutrientes: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Boro (Bo), Manganês (Mn), por espectrofotometria de absorção atómica.

Amostragem da CEa dos solos

A condutividade elétrica aparente do solo nas parcelas "Casito" e "Cerro del

Amo" foi obtida por intermédio de um sensor geoeletrico VERIS 3150 (Veris Technologies Inc., Salina, KS, USA). Na parcela "Herdade de Linhares" a CEa foi obtida por intermédio de um sensor geoeletrico VERIS 2000XA. As profundidades consideradas situaram-se entre 0,30 m e 0,50 m. As medições da CEa foram obtidas e georreferenciadas considerando uma frequência de registo de 1 s (~2,5 m de intervalo entre cada ponto registado, atendendo à velocidade de deslocamento), na direção do movimento. Foram realizadas passagens em linhas paralelas de levantamento com, aproximadamente, 10-15 m de intervalo entre si. Todas estas medições foram transferidas para o software ARCGIS 10.1 (ESRI 2012 - Spatial analyst) e foram interpoladas com o interpolador IDW (inverso do quadrado da distância) (Webster e Oliver, 1992), com um raio de pesquisa variável considerando o mínimo de 12 pontos e uma resolução da grelha de 5 m.

Média geométrica e desvio padrão geométrico da textura do solo

Shirazi e Boersma (1984) na tentativa de exprimir a textura do solo numa escala contínua desenvolveram a metodologia apresentada nas Equações 1 e 2.

Equação 1:

$$DMG = \exp^a, \text{ with } a = 0,01 \times \sum_{i=1}^n [f_i \times \ln(M_i)]$$

Equação 2:

$$DPG = \exp^b, \text{ with } b = [0,01 \times \sum_{i=1}^n (f_i \times \ln(M_i)^2 - a^2)]^{1/2}$$

Onde: f_i , a percentagem da classe textural i ; n , o número total de classes texturais (na classificação de Atterberg n é igual a 4: areia grossa, AG, com diâmetro entre 2,000-0,200 mm; areia fina, AF, com diâmetro entre 0,200-0,020 mm; limo, L, com diâmetro entre 0,020-0,002 mm; e argila, Arg, com diâmetro inferior a 0,002 mm); e M_i (mm), a média da classe textural i (na classificação de Atterberg, normalmente utilizada pelos laboratórios portugueses, $M_1=1,100$ mm, $M_2=0,110$ mm, $M_3=0,011$ mm e $M_4=0,001$ mm).

Estas equações foram utilizadas para calcular o diâmetro médio geométrico (DMG) e o desvio padrão geométrico (DPG) das amostras de solo

recolhidas nas parcelas 1 e 2, parâmetros considerados na avaliação da relação com a CEa do solo.

PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização textural das parcelas "Casito" e "Cerro del Amo"

Como se poderá constatar no Quadro 1, as 150 amostras de solo recolhidas nas parcelas "Casito" e "Cerro del Amo" cobrem uma ampla diversidade de texturas de solo, que vão desde texturas arenosas até texturas argilosas. No conjunto das amostras efetuadas as diferentes frações da textura apresentaram as seguintes distribuições:

- a areia variou entre 29-90 % (50 % das amostras apresentou valores abaixo de 71 %);
- o limo variou entre 3-45 % (50 % das amostras apresentou valores abaixo dos 10 %);
- a argila variou entre 5-56 % (50 % das amostras apresentou valores abaixo dos 18 %).

CLASSE TEXTURAL	%	AREIA		LIMO		ARGILA	
		fa*	fr**	fa*	fr**	fa*	fr**
1	0 - 5	-	-	9	6.0	-	-
2	5 - 10	-	-	66	44.0	14	9.3
3	10 - 15	-	-	14	9.3	42	28.0
4	15 - 20	-	-	15	10.0	26	17.3
5	20 - 25	-	-	41	27.3	25	16.7
6	25 - 30	1	0.7	4	2.7	13	8.7
7	30 - 35	11	7.3	-	-	1	0.7
8	35 - 40	13	8.7	-	-	8	5.3
9	40 - 45	4	2.7	-	-	10	6.7
10	45 - 50	6	4.0	1	0.7	7	4.7
11	50 - 55	16	10.7	-	-	3	2.0
12	55 - 60	10	6.7	-	-	1	0.7
13	60 - 65	6	4.0	-	-	-	-
14	65 - 70	7	4.7	-	-	-	-
15	70 - 75	13	8.7	-	-	-	-
16	75 - 80	25	16.7	-	-	-	-
17	80 - 85	28	18.7	-	-	-	-
18	85 - 90	10	6.7	-	-	-	-
19	90 - 95	-	-	-	-	-	-
20	95 - 100	-	-	-	-	-	-
TOTAL	-	150	100 %	150	100 %	150	100 %

* - Frequência absoluta (%); ** - Frequência relativa (%)

Quadro 1. **Frequência absoluta e relativa do teor de areia, limo e argila das 150 amostras de solos recolhidas nas parcelas "Casito" e "Cerro del Amo"**



As Figuras 1 e 2 ilustram a diversidade de valores de CEa amostrados até 0,30m de profundidade, respetivamente na parcela "Casito" (valores relativamente reduzidos) e na parcela "Cerro del Amo" (valores maioritariamente altos).

O Quadro 2, a título ilustrativo, permite observar como variam os valores do DMG e do DPG de algumas amostras de solo recolhidas. Por exemplo, a amostra nº 1 (48 % de areia grossa; 39 % de areia fina; 5 % de limo e 8 % de argila) apresenta um DMG mais perto da classe textural da areia (0,204 mm) do

que de outra classe textural qualquer. Tratando-se de uma amostra com 87 % de areia total, é pouco diversa e, como tal, apresenta um DPG baixo (13,4 mm). No caso da amostra nº 145 (13 % de areia grossa; 16 % de areia fina; 18 % de limo e 52 % de argila) apresenta um DMG mais perto da classe textural do limo/argila (0,008 mm) do que de outra classe textural qualquer. Esta é uma amostra mais diversa (proporções de areia, limo e argila mais distribuídas) e, por isso, apresenta um DPG elevado (227,5 mm). Estes resultados ilustrativos permitem ainda verificar que a CEa aumentou da amostra nº1 para a amostra nº143.

Caracterização da CEa do solo das parcelas "Casito" e "Cerro del Amo"

O solo da parcela do "Casito" (Figura 1, solos arenosos a arenosos francos) apresenta uma CEa superficial tendencialmente baixa e uma variabilidade espacial também relativamente baixa, ao contrário do que acontece no solo da parcela "Cerro del Amo" (Figura 2, solos franco argilosos a argilosos), onde é possível verificar uma elevada CEa superficial e uma variabilidade espacial também relativamente elevada.

A Figura 3 reúne todas as amostras de solo recolhidas nas parcelas "Casito" e "Cerro del Amo", bem como, os seus respetivos DMG, DPG e CEa. Esta figura mostra que os valores do DMG estão inversamente relacionados com a CEa do solo, ou seja, os solos com maiores DMG (solos mais arenosos) apresentam normalmente valores de CEa baixos e os solos com valores de DMG baixos (solos argilosos) apresentam valores de CEa normalmente mais altos. Por sua vez, o DPG tem um comportamento simétrico, ou seja, valores elevados de DPG estão normalmente associados a valores de CEa elevados, sendo o oposto também verdade.

As partículas de maior dimensão do solo (areia) estão normalmente associadas a uma CEa baixa pois têm normalmente menos pontos de contacto entre si e, logo, menor capacidade de conduzir a corrente elétrica no solo, menor capacidade de retenção de água e sólidos solúveis no solo

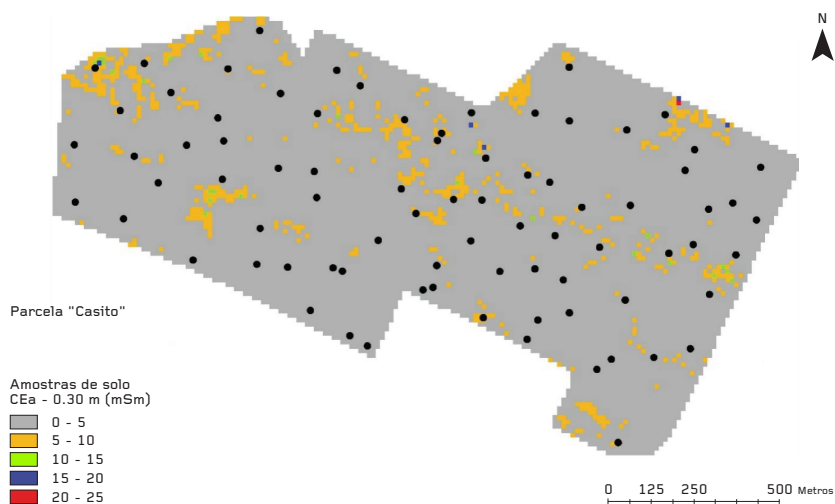


Figura 1. Condutividade elétrica aparente (CEa - 0,30 m de profundidade) para a parcela "Casito"

N	AG %	AF %	L %	ARG %	DMG mm	DPG mm	ECa mSm ⁻¹
1	48	39	5	8	0.204	13.4	0.97
2	38	40	6	16	0.110	26.3	1.57
3	41	35	7	16	0.113	26.9	12.08
4	35	39	9	17	0.090	31.4	5.70
5	46	37	5	12	0.160	18.7	1.48
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
145	13	16	18	52	0.008	227.5	21.52
146	17	19	22	42	0.014	154.0	21.20
147	31	33	16	19	0.062	42.9	13.00
148	25	29	23	24	0.038	63.8	11.69
149	33	30	13	24	0.057	51.2	16.78

Quadro 2. Valores ilustrativos do DMG, DPG e CEa de algumas amostras de solo

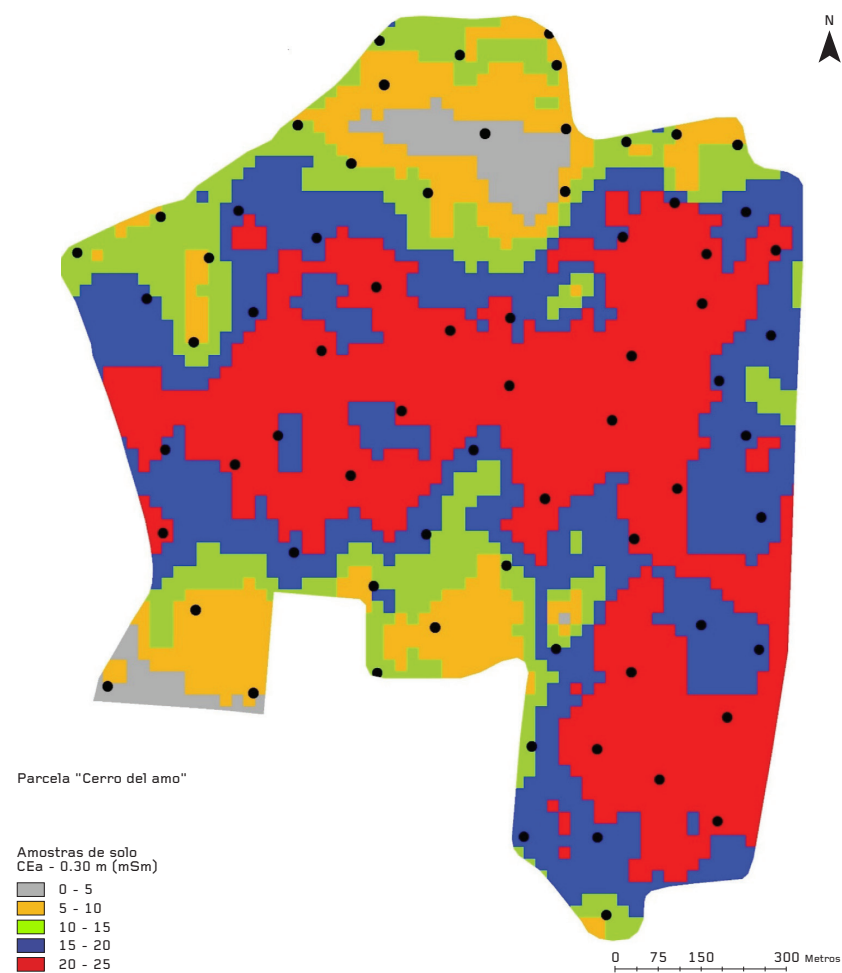


Figura 2. Condutividade elétrica aparente (CEa - 0,30 m de profundidade) para a parcela "Cerro del Amo"

e menor capacidade de troca catiónica, quando comparadas com as partículas mais pequenas (argila) que apresentam características opostas (Corwin e Lesch, 2005).

CEa versus DMG e DPG

De maneira a relacionar a CEa do solo com os parâmetros texturais (DMG e DPG), realizaram-se várias regressões:

- CEa versus DMG (Figura 4, Equação 3);
- CEa versus DPG (Figura 5, Equação 4);
- CEa versus DMG e DPG (Equação 5).

As Equações 3, 4 e 5 apresentam coeficientes de determinação (R²) estatisticamente significativos compreendidos entre os 75 % e os 84 %.

Equação 3:

$$DMG = 0,15353648 - 0,044366369 \times LN(CEa)$$

Equação 4:

$$DPG = 26,485659 + 0,059824419 \times (CEa)^{0,5}$$

Equação 5:

$$CEa = 39,205909 + 43015235 \times (DMG) + 11739368 \times LN(DPG)$$

As Figuras 4 e 5 e as Equações 3, 4 e 5 mostram que a CEa do solo, no caso dos solos testados, apresenta uma relação estatisticamente significativa com os parâmetros texturais do solo (DMG e DPG). Muitos outros autores encontraram também este tipo de associação, no entanto, muitos deles chamam também a atenção de que este tipo de relações é normalmente dependente das parcelas de onde são derivadas (Corwin e Lesch, 2005).

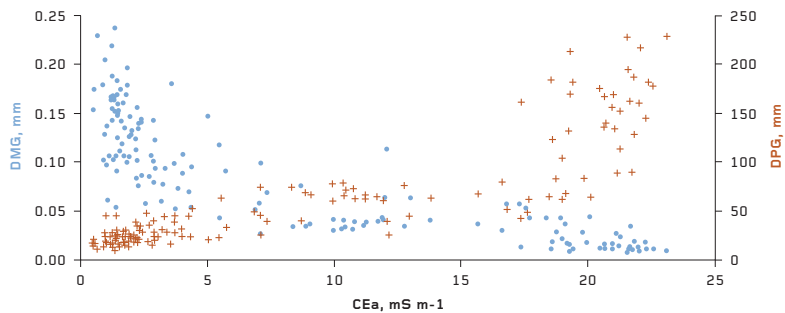


Figura 3. Condutividade elétrica aparente do solo (CEa - 0,30 m) vs.: diâmetro médio geométrico do solo (DMG) e desvio padrão geométrico do solo (DPG)

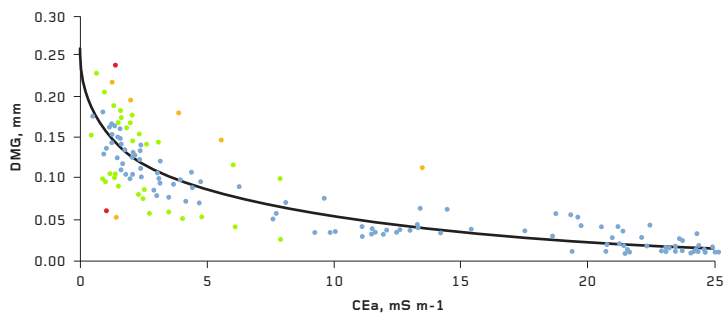


Figura 4. Relação entre a CEa (0.3 m) e o DMG do solo; os pontos azuis indicam as amostras que melhor se ajustam ao modelo e os pontos vermelhos indicam o oposto

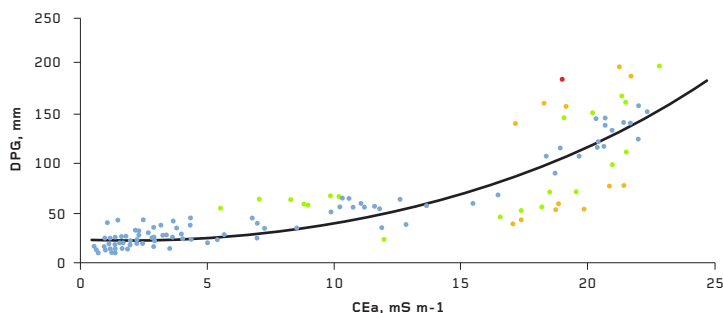


Figura 5. Relação entre a CEa (0.3 m) e o DPG do solo; os pontos azuis indicam as amostras que melhor se ajustam ao modelo e os pontos vermelhos indicam o oposto

As aplicações agronômicas associadas à CEa do solo, bem como à sua relação com os parâmetros texturais (DMG e DPG, Equações 3, 4 e 5), são diversas, pois da textura do solo depende um número elevado de processos agronômicos, nomeadamente: a densidade e a profundidade de sementeira; a capacidade de troca catiônica; a fertilização; a capacidade utilizável para a água; a temperatura do solo; a traficabilidade das máquinas; ou o vigor da vegetação.

Relativamente ao vigor da vegetação, no caso concreto da vinha pode observar-se que pequenas variações da CEa do solo têm impacto elevado no vigor da vegetação, como aliás pode ser observado na Figura 6. As zonas do solo com valores mais elevados de CEa (cores azuis mais fortes) são aquelas que apresentam o vigor das plantas, medido pelo índice de vegetação NDVI, mais baixo (cores vermelhas na carta de NDVI).

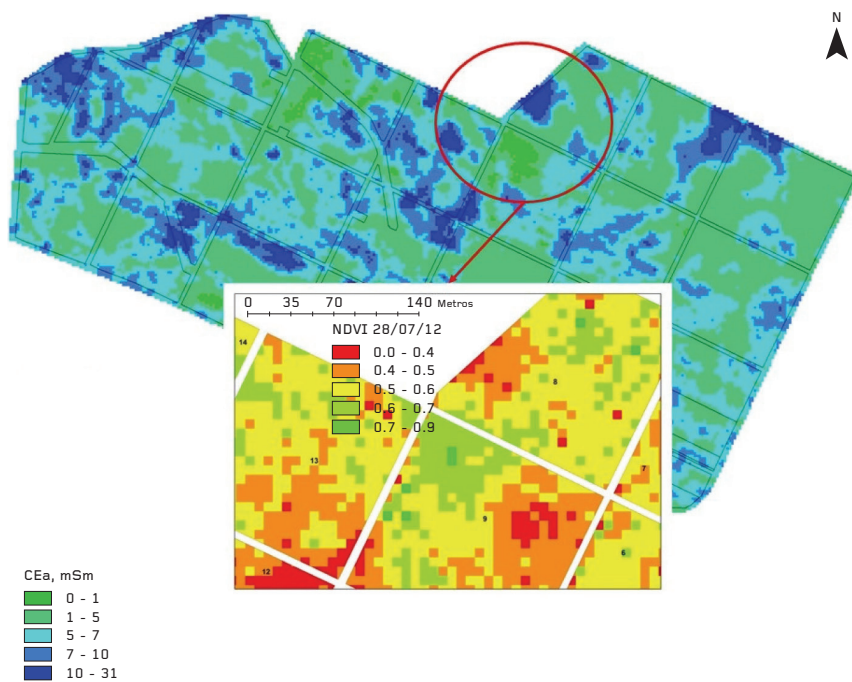


Figura 6. Pormenor da relação entre a CEa do solo e o vigor da vegetação (NDVI) na vinha do “Casito”

Tal é perfeitamente lógico atendendo a que esta vinha é gerida com stress hídrico elevado e que os solos mais argilosos são aqueles que maiores tensões colocam às plantas na ausência de água. Os princípios subjacentes às Equações 3, 4 e 5 poderão ser utilizados em outro tipo de parcelas e nesse sentido apresentar-se-á de seguida um estudo de caso, desenvolvido para a “Herdade de Linhares”, onde a tecnologia de medição da condutividade elétrica e a abordagem atrás referida foram aplicadas.

Estudo geoelectrico e dos parâmetros físicos e químicos dos solos da “Herdade de Linhares” tendo por base o conhecimento prévio da CEa

A carta de solos da “Herdade de Linhares” apresenta as famílias de solos que constam da Figura 7. É possível constatar a diversidade de famílias existente, desde os solos mais arenosos (Ex: Pag), aos solos mais argilosos (Ex: Bvc).

A Figura 8, por sua vez, apresenta a carta de CEa dos solos de toda a herdade. A observação conjunta destas duas cartas (Figuras 7 e 8) mostra que os solos marcadamente mais argilosos (Bvc) apresentam valores de CEa mais elevados. Tendo por base a relação CEa versus DMG e DPG do solo, pode utilizar-se a carta de CEa

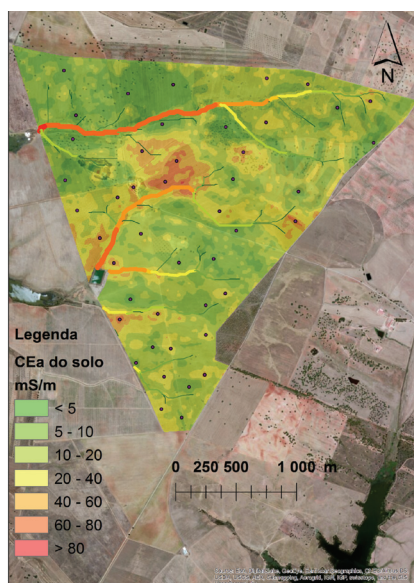
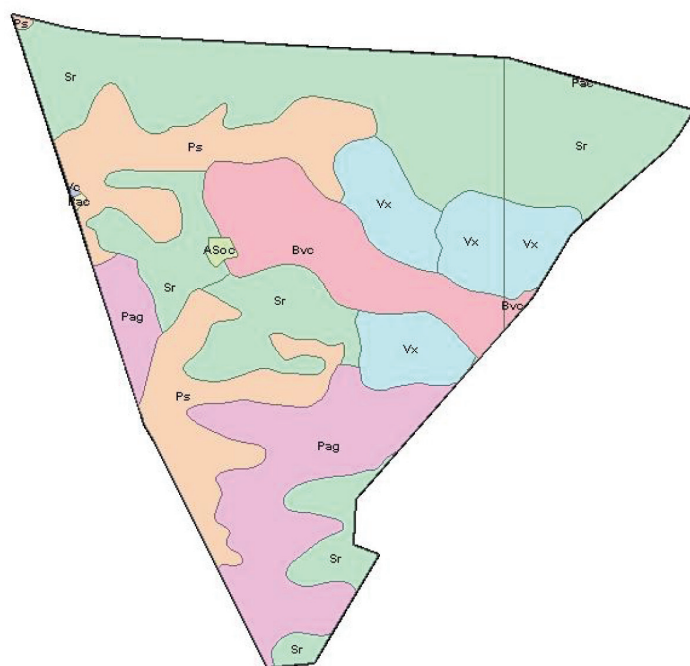


Figura 8. Carta da CEa (0,50 m de profundidade) do solo da “Herdade de Linhares”; encontram-se assinalados (▲) os pontos da amostragem dirigida do solo

do solo para definir uma amostragem inteligente do mesmo (Figura 8). Nesse sentido, foram recolhidas 45 amostras de solo para os 500 ha (~1 amostra por cada 10 ha) da “Herdade de Linhares” e elaboradas as cartas apresentadas nas Figuras 9 e 10.



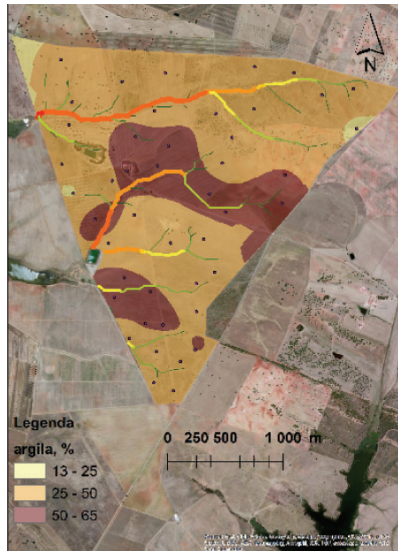
As Figuras 9a, 9b e 9c mostram que o padrão encontrado nas parcelas do “Casito” e do “Cerro del Amo” é semelhante, ou seja, existe uma relação direta entre a CEa do solo e o seu teor de argila ou de limo e uma relação inversa entre a CEa e o teor de areia, o que vem confirmar os padrões já observados nas Figuras 3, 4 e 5. Pode ainda observar-se que existe uma relação direta entre a CEa do solo (Figura 8) e a capacidade de troca catiónica (Figura 9d), o que, do ponto de vista da gestão da nutrição diferencial do solo, é algo extremamente relevante.

Pode também constatar-se que, em muitas das cartas apresentadas, existe um padrão espacial muito claro, onde numa mesma zona da parcela os nutrientes apresentam sistematicamente concentrações no solo mais elevadas (Figuras 9e, 9f, 9g, 9i, 10j, 10k e 10l). Este padrão espacial está associado à presença de animais, neste caso vacas, que há vários anos são criadas nesse mesmo local, indicando um enriquecimento diferencial do solo em nutrientes em resultado do retorno proporcionado pelos dejetos animais.

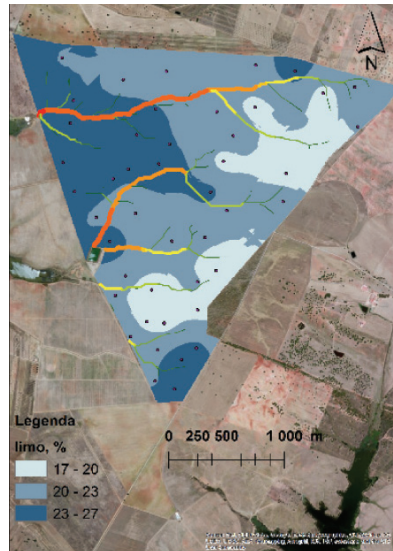
CONCLUSÕES

O presente estudo permite concluir que a CEa do solo pode ser uma ferramenta preciosa na amostragem e gestão do mesmo e, no que respeita especificamente à vinha, pode fazer diferença conhecê-la na fase prévia à instalação, mas também na fase de

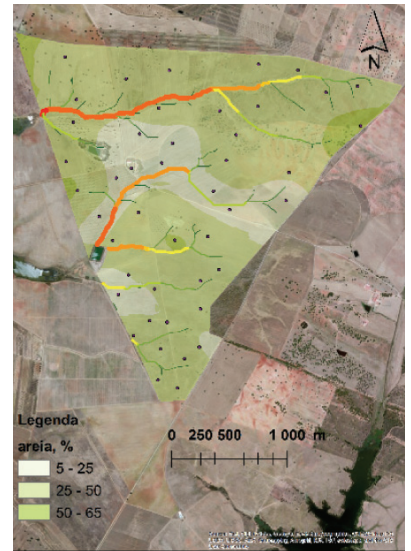
Figura 7. Extrato da carta de solos (escala: 1:50000) da “Herdade de Linhares” e respectivas famílias de solos: Sr - Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelados de “rañas” ou depósitos afins; Pag - Solos Mediterrâneos Pardos Para-Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos; Ps - Planossolos de arenitos ou conglomerados argilosos; Bvc - Barros vermelhos calcários; Vx - Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos de xistos



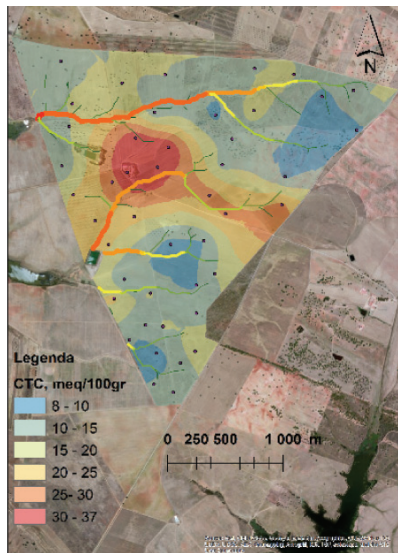
(a)



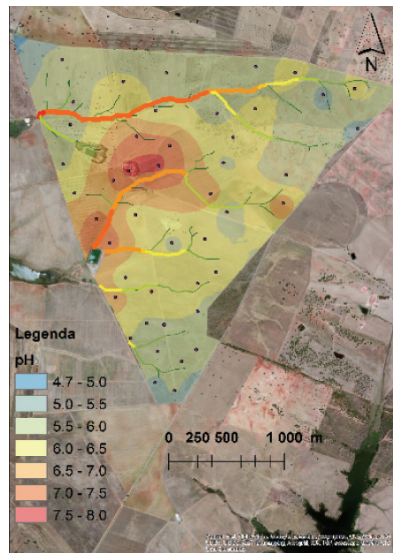
(b)



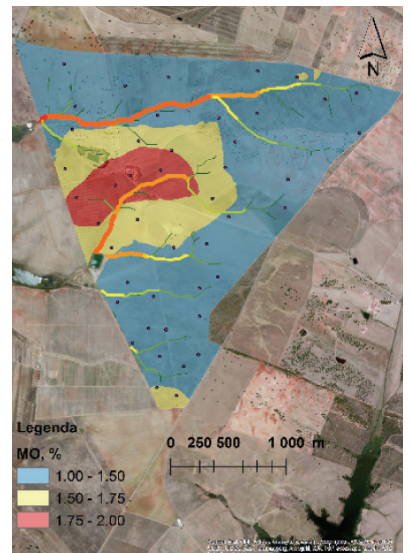
(c)



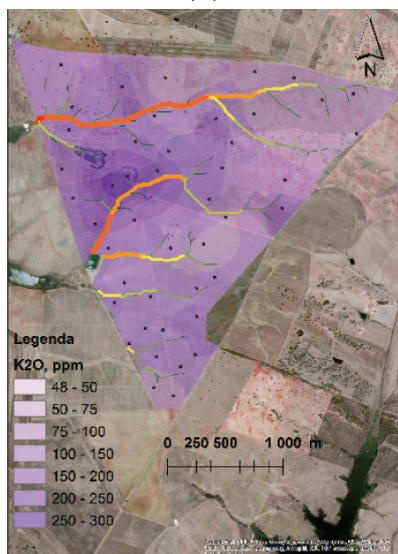
(d)



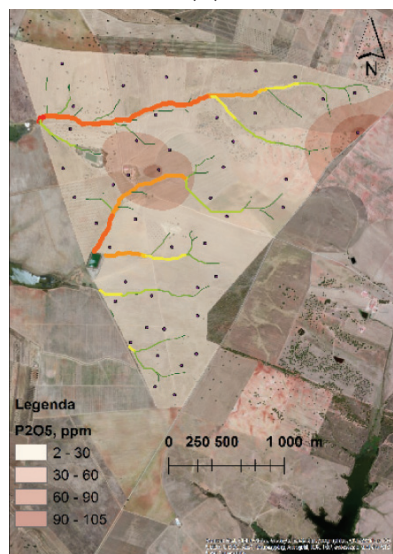
(e)



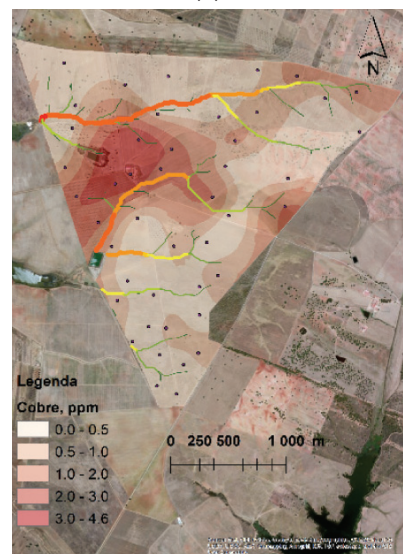
(f)



(g)



(h)



(i)



Figura 9. Variação espacial de propriedades do solo na “Herdeade de Linhares”: a) argila; b) limo; c) areia; d) capacidade de troca catiônica; e) pH; f) matéria orgânica; g) potássio; h) fósforo; i) cobre

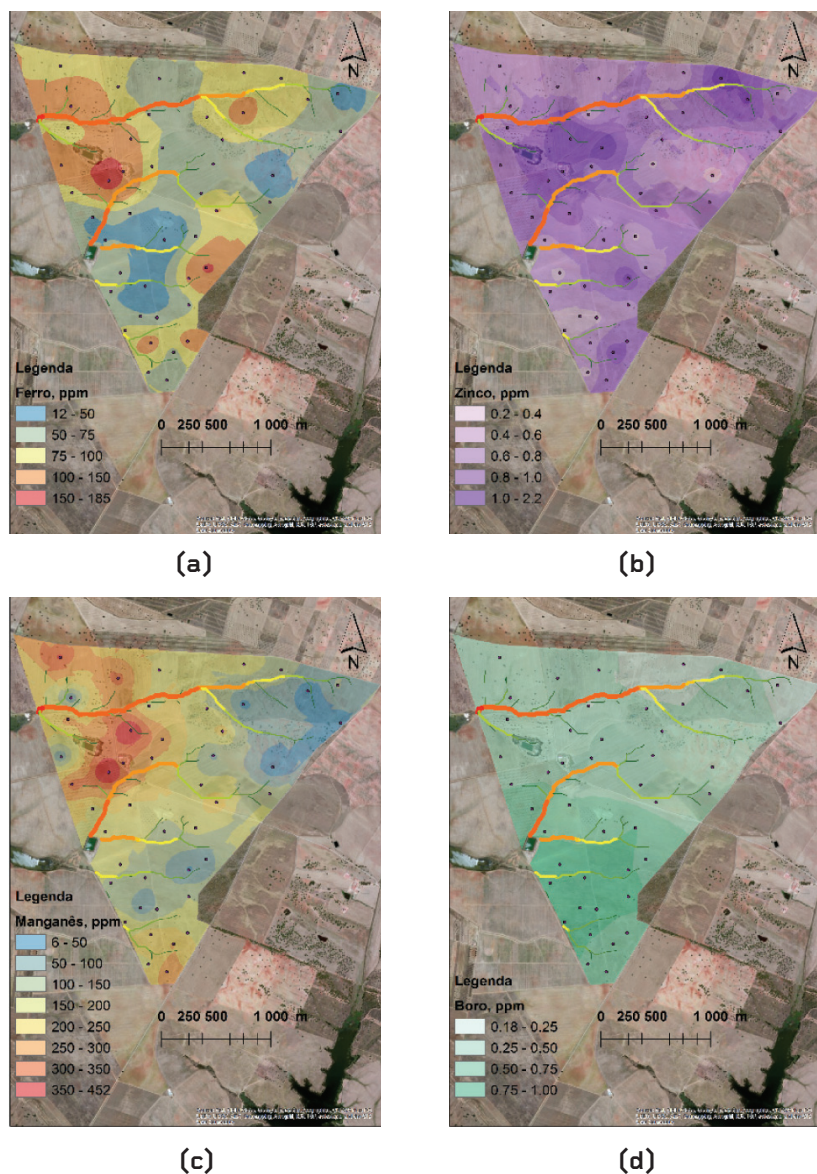


Figura 10. **Varição espacial de propriedades do solo na “Herdeade Linhares” : a) ferro; b) zinco; c) manganês; d) boro**



gestão e condução da cultura, nomeadamente, para planear e gerir:

- os talhões de rega;
- a nutrição e amostragem do solo;
- o vigor das plantas, considerando o facto de que em vinhas geridas sobre stress hídrico quanto mais argila no solo, maior CEa e menor vigor vegetativo;
- a genética, a qual deve ser escolhida em face da qualidade do solo e dos fins que se perseguem. As conclusões aqui apresentadas para a vinha são extensíveis a outras culturas, tendo em consideração as suas características particulares.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelos seguintes projetos: PRODER 43106; INALENTEJO - ALENT - 07-0224 - FEDER - 00172; RITECA (POCTEP); FCT project - EXCL_AGR-TEC_0336_2012.

O trabalho foi também suportado pela “Fundação Eugénio de Almeida” e pelo seu corpo técnico, particularmente pelos Engs. Pedro Baptista, Mariana Torres, Ana Simões e João Torres; e pelo Sr. Ilídio Matos pela possibilidade que nos deu de utilizar os dados da sua exploração de Linhares para ilustrar este artigo. ■

BIBLIOGRAFIA

- Aimrun, W.; Amin, M.; Ezrin, M. (2009). Small Scale Spatial Variability of Apparent Electrical Conductivity within a Paddy Field. *Applied and Environmental Soil Science*. doi:10.1155/2009/267378.
- Corwin, D.; Lesch, S. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 11-43.
- Doolittle, J.A.; Brevik, E.C. (2014). The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma*, 223-225, 33-45.
- Friedman, S. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 45-70.
- Fulton, A.; Schwankl, L.; Lynn, K.; Lampinen, B.; Edstrom, J.; Prichard, T. (2011). Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development. *Irrigation Science*, 29, 497-512.
- Lardo, E.; Coll, P.; Cadre, E.; Palese, A.; Villenave, C.; Xiloyannis, C.; Celano, G. (2012). Electromagnetic induction (EMI) measurements as a proxy of earthworm presence in Southern French vineyards. *Applied Soil Ecology*, 61, 76-84.
- Mertens, F.M.; Paetzold, S.; Welp, G. (2008). Spatial heterogeneity of soil properties and its mapping with apparent electrical conductivity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(2), 146-154.
- Peralta, N. R.; Costa, J. L. (2013). Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 218-226.
- Piikki, K.; Söderström, M.; Stenberg, B. (2013). Sensor data fusion for top-soil clay mapping. *Geoderma*, 199, 106-116.
- Shirazi, M.; Boersma, L. (1984). A Unifying Quantitative Analysis of Soil Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 48(1), 142-147.
- Sudduth, K.A.; Kitchen, N.R.; Wiebold, W.J.; Batchelor, W.D.; Bollero, G.A.; Bullock, D.G.; Clay, D.E.; Palm, H.L.; Pierce, F.J.; Schuler, R.T.; Thelen, K.D. (2005). Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 263-283.
- Triantafyllis, J.; Lesch, S.M. (2005). Mapping clay content variation using electromagnetic induction techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 203-237.
- Unamunzaga, O.; Besga, G.; Castellon, A.; Uson, M.; Cherry, P.; Gallejones, P.; Aizpurua, A. (2014). Spatial and vertical analysis of soil properties in a Mediterranean vineyard soil. *Soil and Use Management*, 30(2):285-296
- Webster, R.; Oliver, M. A. (1992). Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Journal of Soil Science*, 43, 177-192.