

Caracterização do enraizamento da beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.) num solo de aluvião

Rooting pattern of sugar beet (*Beta vulgaris* L. var. *saccharifera*) in a soil from alluvium

C. M. Toureiro¹, F. C. Brasil², M. R. Oliveira¹ & R. P. Serralheiro¹

RESUMO

O conhecimento do padrão de enraizamento das culturas e sua evolução ao longo do ciclo cultural é importante para a gestão do uso da água e nutrientes do solo. A promoção de práticas de rega eficientes – como a condução da água de rega em tempo real numa determinada área – requer o conhecimento, para além de parâmetros meteorológicos e pedológicos, de parâmetros culturais, como duração dos estádios de desenvolvimento da cultura, coeficientes culturais, capacidade de aprofundamento radical, sensibilidade da cultura à deficiência hídrica, défice de gestão permissível e dos parâmetros que caracterizam as regas efectuadas durante a campanha (data e dotação de rega efectivamente aplicada e avaliação dos sistemas de rega utilizados).

O presente estudo teve como objectivo avaliar o desenvolvimento da cultura da beterraba, num solo de aluvião (A – Solos Incipientes, Aluviosolo Moderno não Calcário de Textura Mediana), do Perímetro de Rega do Divor, cujo cenário de gestão da água de rega utilizado foi a optimização do rendimento óptimo da cultura. No ensaio realizado com a cultura da beterraba, duran-

te a campanha de rega de 2004 (Primavera-Verão), utilizou-se o método do minirizotróo, com o qual é possível acompanhar as variações temporais e espaciais do desenvolvimento radical da cultura, permitindo uma caracterização do sistema radical como órgão dinâmico. Para além deste método procedeu-se à abertura de perfis, perpendicularmente à linha de cultura, até à profundidade de 50 cm. Em várias datas de observação durante o ciclo cultural, avaliou-se a capacidade de aprofundamento e peso do túberculo. Em complemento, avaliaram-se outros índices culturais tais como a duração dos estados fenológicos, o índice de área foliar (IAF), matéria verde da parte aérea e a produção total. Consideraram-se as seguintes épocas de observação: desenvolvimento vegetativo (0-69 dias após a sementeira (DAS)); desenvolvimento vegetativo e formação do túberculo (69-166 DAS) e maturação (166-196 DAS).

Os resultados obtidos mostram o seguinte: 1) Relativamente aos parâmetros da parte aérea da cultura: os valores máximos relativos à massa verde e índice de área foliar ocorreram no período de 96-111 DAS, após o qual se registou um decréscimo acentuado dos valores, coincidindo com o início da se-

¹ Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora; e-mail: cmct@uevora.pt; ²Bolseiro de doutoramento da CAPES, Brasil

nescência da parte aérea da cultura e o desenvolvimento rápido do tubérculo; e 2) Relativamente aos parâmetros radicais e tubérculo: a evolução da massa e da profundidade da localização do tubérculo foi crescente ao longo do ciclo, mais significativa a partir dos 96-111 DAS, atingindo os valores máximos de 2000 g e 40 cm, respectivamente, 196 DAS. Da análise sequencial das imagens obtidas com o minirizotróon, foi possível observar raízes finas ($\varnothing < 1$ mm) até 90 cm de profundidade, registrando-se os valores mais elevados de densidade radical a partir dos 96-111 DAS, na camada 70-80 cm de profundidade.

ABSTRACT

Knowledge of plant rooting patterns and their evolution during the crop season is important for the appropriate soil water and nutrients management. The implementation of efficient irrigation practices – such as the irrigation management in real time for a certain area – needs information on meteorological, soil and crop parameters: such as crop growth stage, crop coefficients, paths of rooting depth, crop sensitivity to water stress, allowable soil water deficit, etc. Also, the characteristics of irrigation events should also be known, normally irrigation amount, opportunity, and evaluation.

The objective of the present study is to evaluate a sugar beet crop growth including root growth pattern, on an Alluvial soil, under irrigation to give the crop the optimum water amount for maximum growth. The minirizotron method was used for monitoring root growth during crop season. Later on, trenches were opened for directly observing and measuring root development and pattern, up to 50 cm depth. Beet root depth and weight were evaluated at several points – growing stage from 0 to 69 days af-

ter seeding (DAS), yield formation from 69 to 166 DAS, and ripening from 166 to 196 DAS - and crop growth indices were also determined: leaf area index (LAI), and the duration of crop growing stages. Finally, biomass and grain production were evaluated.

Data obtained showed that: 1) Maximum values for biomass and LAI were observed at 96 to 111 days, the values decreasing afterwards, while leaf senescence and rapid root growth occurred; and 2) Mass and depth of the beet root was observed to increase throughout the crop cycle, but faster between 96 and 111 DAS, reaching 2000 g and 40 cm respectively at 196 DAS. Images obtained with the minirizotron showed that fine beet roots had grown down to 90 cm depth.

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Para uma agricultura de regadio sustentável é essencial adoptar técnicas que permitam um melhor balanço entre a utilização dos recursos, a maximização da produção e a protecção ambiental. Com este sentido é essencial o desenvolvimento e implementação de um conjunto integrado de medidas de planeamento do uso da água, conservação e melhoramento do solo e de técnicas culturais adequadas, assentes na observação do comportamento das culturas.

Em termos ambientais, o conhecimento das características radicais das culturas representa um contributo importante para a modelação da eficácia da aplicação de nutrientes e de água às culturas e dos riscos para o ambiente, resultantes da lexiviação desses nutrientes, questões fundamentais para assegurar uma agricultura de regadio sustentável.

O presente estudo insere-se em duas linhas de trabalho: uma, que tem como

objectivo a elaboração de uma base de dados, com as características radicais consideradas mais importantes para a gestão do uso da água e nutrientes do solo, para as principais culturas regadas, sob diferentes condicionalismos edafo-climáticos e a outra, que tem como objectivo central o desenvolvimento e a experimentação de tecnologias de gestão da água em regadio, que permitam determinar em tempo real as necessidades hídricas das culturas, tendo como suporte os sistemas de informação geográfica e a detecção remota, consolidando conhecimentos e metodologias que possam servir de base a um sistema de gestão global da rega ao nível regional, como o Perímetro de Rega do Divor.

A promoção de práticas de rega eficientes requer o conhecimento de parâmetros de base: meteorológicos, pedológicos, e culturais. Entre estes últimos, os dados relativos aos aspectos eco-morfológicos dos sistemas radicais das culturas são relativamente escassos, quando comparados com o volume de trabalhos existentes sobre a parte aérea das plantas. No entanto, o seu conhecimento é de extrema importância, sendo os parâmetros radicais importantes indicadores do desenvolvimento das culturas, da aplicação de técnicas culturais e da gestão de recursos a implementar. Neste contexto, o presente estudo tem como objectivo principal a caracterização do crescimento e desenvolvimento da cultura da beterraba

num solo de Aluvião, regado por um sistema de aspersão fixo, dando especial atenção ao enraizamento da cultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da Parcela Experimental

O ensaio decorreu durante a campanha de rega de 2004 (Fev-Ago), numa parcela regada de um agricultor no Perímetro de Rega do Divor (38° 44' N, 7° 56' W, 309 m). A unidade pedológica que caracteriza a parcela experimental é um Aluviosolo Moderno, não Calcário de Textura Mediana (Cardoso, 1965), correspondente aos Fluviosols (FAO).

No Quadro 1 apresentam-se os dados relativos à caracterização pedológica da parcela experimental, nomeadamente análise granulométrica, densidade aparente e curvas de tensão-humidade. Estes dados foram obtidos por amostragem monolítica, com uma sonda pneumática, até à profundidade de 70 cm.

Da análise dos dados conclui-se que o perfil do solo apresenta uma textura predominantemente franco-argilo-arenosa, à excepção da camada 30 – 50 cm que apresenta uma textura franco-arenosa, com cerca de 70 % de areia grossa e apenas 8% de argila, o que se traduz numa capacidade utilizável reduzida nesta camada

QUADRO 1 – Caracterização pedológica da parcela experimental (0-70 cm)

Camada	Análise Granulométrica (%)				pF		dap	CC	CE	CU
	A.Grossa	A.Fina	Limo	Argila	pF 2.0	pF 4.2				
0-10	56,87	18,35	2,79	22,00	10,44	2,80	1,55	16,18	4,34	11,84
10-30	57,03	14,71	2,63	25,64	20,29	2,63	1,64	33,24	4,31	28,93
30-50	69,22	8,72	3,13	18,93	7,65	5,68	1,56	11,89	8,84	3,06
50-70	35,87	29,43	5,26	29,44	16,59	3,07	1,74	28,85	5,34	23,51

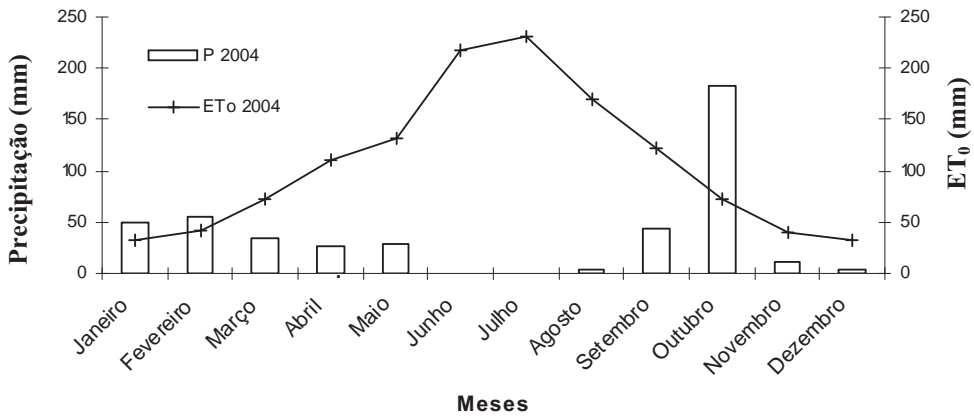


Figura 1 - Evolução dos valores da evapotranspiração de referência e da precipitação total em 2004 no Divor

do perfil do solo. A capacidade utilizável do perfil do solo da parcela experimental, até à profundidade de 70 cm, é cerca de 67 mm.

Relativamente às condições meteorológicas do local de ensaio, a Figura 1 mostra a evolução da evapotranspiração de referência mensal e da precipitação total mensal, registados na estação meteorológica do Perímetro de Rega do Divor.

Importa salientar que da precipitação total anual (442 mm), apenas 33% (148 mm) ocorreram durante o período do ensaio. Esta informação serviu base para o cálculo das necessidades hídricas da cultura, para aconselhamento ao regante.

Condução do ensaio

Os trabalhos experimentais decorreram numa parcela com cerca de 6 ha, regada por aspersão fixa. A cultura de beterraba sacarina (cv. Sherife), foi semeada no dia 17 de Fevereiro de 2004, com um espaçamento de 13 cm na linha e 50 cm na entrelinha, com uma densidade de sementeira de 110 000 plantas/ha.

Todas as operações culturais realizadas durante o ensaio seguiram o sistema tradicional da região. A preparação do solo para a sementeira constou de duas gradagens cruzadas, após as quais se procedeu à desinfestação do solo com um insecticida à base de carbofurão, aplicando-se 10 kg/ha na linha de sementeira. Em adubação de fundo foram aplicados 400 kg/ha de cloreto de potássio e 250 kg/ha de superfosfato de cálcio. Durante o ciclo cultural efectuaram-se duas adubações azotadas de cobertura, com adubo líquido (32 N), correspondente à aplicação de 80 kg/ha de azoto cada, a primeira no estado 4-6 folhas e a segunda no final da fase de crescimento vegetativo e início da formação do túberculo. Aplicaram-se ainda 5 kg/ha de borax. Durante o ciclo cultural foi ainda necessário realizar os seguintes tratamentos fitossanitários: uma monda química de pré-emergência com 1 kg/ha de Goltix e 0,5 kg/ha de Trammat 50, contra as infestantes monocotiledóneas e dicotiledóneas; em pós-emergência fizeram-se dois tratamentos com 1 litro/ha de Betanál e uma aplicação de 1,5 litros/ha de Fusilade. O controlo das infestantes contribui

indirectamente para a prevenção da doença cercosporiose, por serem hospedeiras do fungo *Cercospora beticola*.

O cenário de gestão da água utilizado teve como objectivo geral optimização do rendimento óptimo (maximização do lucro do agricultor). No cálculo das necessidades hídricas da cultura, para aconselhamento ao regante, seguiu-se a metodologia da FAO (Allen *et al.*, 1998) tendo como base de cálculo os dados apresentados na Figura 1.

Na parcela regada foi seleccionada uma faixa com características homogéneas, com uma área de aproximadamente 5 000 m², onde foi instalado o ensaio, e sobre a qual, ao longo do ciclo cultural, incidiram as observações relativas aos seguintes parâmetros:

- Parâmetros hidrológicos: regas efectuadas e perfil hídrico do solo;
- Parâmetros da parte aérea da cultura: duração dos estados fenológicos (em DAS), índice de área foliar (IAF) e matéria verde da parte aérea;
- Parâmetros radicais e do tubérculo: capacidade de aprofundamento e peso do tubérculo, capacidade de aprofundamento e densidade de raízes finas no perfil do solo e produção final da cultura.

Relativamente às metodologias utilizadas:

- Para monitorizar o estado hídrico do solo durante a campanha de rega, recorreu-se a um sistema de sondas capacitivas - Sistema EnviroSCAN, tendo-se instalado duas sondas (dois pontos de controlo) ligadas a um *data logger* com registo permanente de informação. Cada sonda é composta por 4 sensores, instalados às seguintes profundidades: 10, 30, 50 e 70 cm.
- Para observação e registo dos parâmetros da parte aérea da cultura, recorreu-se à observação de campo, registo fotográfico e à amostragem de plantas

(recolha de 4 plantas em cada observação) com uma periodicidade de 10 a 12 dias, para posterior determinação em laboratório dos seguintes parâmetros: matéria verde da parte aérea e IAF. Para determinar o IAF da cultura efectuaram-se registos de comprimento x largura das folhas da planta e em simultâneo determinações com o medidor de área foliar - LICOR (*Model Li-3000*), a fim de se poder estimar uma curva de regressão linear para posterior determinação directa do IAF, a partir de registos de campo. A equação obtida para a cultura da Beterraba foi a seguinte:

$$y = 0,7319x + 0,0589,$$

com um coeficiente de determinação superior a 90% ($r^2=0,93$).

- Para observação e quantificação dos parâmetros associados ao tubérculo, recorreu-se à abertura de perfis perpendicularmente à linha de cultura (Figura 2), até à profundidade de 50 cm, em várias datas de observação durante o ciclo cultural, avaliando-se a capacidade de aprofundamento e peso do tubérculo (Figura 3). Para observar e quantificar a capacidade de aprofundamento e densidade de raízes finas no perfil do solo utilizou-se o método do minirrizotróo, com o qual é possível acompanhar as variações temporais e espaciais do desenvolvimento radical da cultura, permitindo uma caracterização do sistema radical como órgão dinâmico.

A Figura 2 ilustra a metodologia utilizada para avaliar os parâmetros associados ao tubérculo (abertura e lavagem do perfis perpendiculares à linha de cultura).

A Figura 3 ilustra os tubérculos recolhidos aos 69 DAS (desenvolvimento vegetativo) e 176 DAS (maturação fisiológica).



Figura 2 – Abertura e lavagem do perfil do solo até 50 cm de profundidade, aos 83 DAS para avaliar o desenvolvimento do túberculo

- A determinação da produção total da cultura (ton/ha e % de açúcar) esteve sob responsabilidade da DAI (Sociedade de Desenvolvimento Agro-Industrial S.A.), empresa responsável pela actividade de apoio técnico ao agricultor e pelo fabrico e comercialização de açúcar, bem como dos sub-produtos derivados da beterraba sacarina.

A quantificação das raízes finas, foi feita a intervalos de tempo de 10 dias, em simultâneo com a avaliação dos restantes parâmetros agronómicos.

Na avaliação dos parâmetros radicais utilizou-se o método do minirizotróon, tendo sido instalados três tubos de acesso em acrí-

lico transparente, com 1,5 m de comprimento e 5,2 cm de diâmetro interno. Os tubos foram instalados paralelamente à linha de cultura, a cerca de 8 cm desta, com uma inclinação de 45° relativamente à vertical, a fim de reduzir a probabilidade das raízes crescerem na interface do solo-tubo, metodologia semelhante à utilizada por Vameralli *et al* (2003), na cultura da beterraba.

A recolha das imagens foi feita com o auxílio de uma câmara de vídeo *BTC Minirhizotron Camera Systems* (Bartz Technology Corporation, 1999) a qual permite registar sequencialmente no tempo e em profundidade, o desenvolvimento radical da cultura. Com este equipamento, as avaliações



Figura 3 – Túberculos recolhidos aos 69 DAS (desenvolvimento vegetativo) e 176 DAS (maturação)

cronológicas do sistema radical da cultura são asseguradas pelo auxílio de um indexador (*BTC/Smucker Indexing Handle System*) acoplado à câmara e fixado no tubo segundo um determinado ângulo de observação, garantindo o rigoroso controlo de posicionamento e da profundidade de inserção da câmara de vídeo (Ferguson & Smucker, 1989). No presente estudo, as imagens foram obtidas, nos três tubos de acesso, segundo um ângulo de observação da câmara vídeo de cerca de 50° com a vertical, direccionado para a linha de cultura e em sequência até à profundidade de 90 cm. O campo de visão da câmara corresponde a uma área de 243 mm² (18 x 13,5 mm). As imagens, quando visualizadas num monitor de 12", são ampliadas 15x a partir da escala original, permitindo assim realçar determinados detalhes (Bartz Technology Corporation, 2000).

Cada observação foi registada numa base de dados de imagens, em formato .jpg, para posterior determinação da intensidade radical (cm/cm²), recorrendo-se a um software específico para análise de imagem – *Root Tracker 2.0* © Duke University – Software for root image analysis (Tremmel, 2003), compatível com o sistema de captação de imagens utilizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relativamente, à monitorização do estado hídrico do solo e condução do regime de regas efectuado na parcela experimental, durante a campanha de rega, verificou-se que:

- O teor de água do solo, durante o ensaio, permaneceu na zona da reserva facilmente utilizável, acima do défice de gestão permissível (limite do rendimento óptimo).

No que se refere à parte aérea da planta,

especialmente aos estádios de desenvolvimento da cultura observou-se que a emergência e estabelecimento da cultura ocorreu entre 0-35 DAS; o desenvolvimento vegetativo até 6/8 Folhas entre 35-59 DAS; o desenvolvimento vegetativo até 16 folhas entre os 59-78 DAS; o desenvolvimento vegetativo e formação do tubérculo aos 78-166 e a maturação aos 166-196 DAS.

Os parâmetros agronómicos, evolução de biomassa verde da parte aérea e IAF, ilustram-se na Figura 4.

Em termos de matéria verde da parte aérea e IAF, os valores máximos registaram-se aos 111 DAS (fase final do desenvolvimento vegetativo da cultura), decrescendo substancialmente após este período, momento a partir do qual se desencadeou a senescência da parte aérea e o rápido desenvolvimento do tubérculo.

A Figura 5, apresenta os valores da capacidade de aprofundamento e peso do tubérculo registados durante o ciclo da cultura. Verificou-se um aumento significativo do peso do tubérculo a partir da fase final do crescimento vegetativo da cultura (111 DAS) e o valor máximo, 2000 gr, foi observado no período 176-196 DAS, fase de plena maturação da cultura, seguindo-se uma estabilização no aumento do peso, mas um aumento significativo da concentração da taxa de açúcar no tubérculo.

Quanto à raiz principal do tubérculo, verificou-se uma evolução aproximadamente constante da taxa de crescimento em profundidade, durante todo o ciclo, com picos de crescimento na fase de desenvolvimento vegetativo rápido, até aos 69 DAS e, posteriormente, aos 96 DAS, na fase de início da formação do tubérculo. Relativamente à capacidade de aprofundamento da raiz principal do tubérculo vs estádios de desenvolvimento da cultura, verificou-se a seguinte sequência: 20 cm de profundidade na fase do desenvolvimento vegetativo rápido da

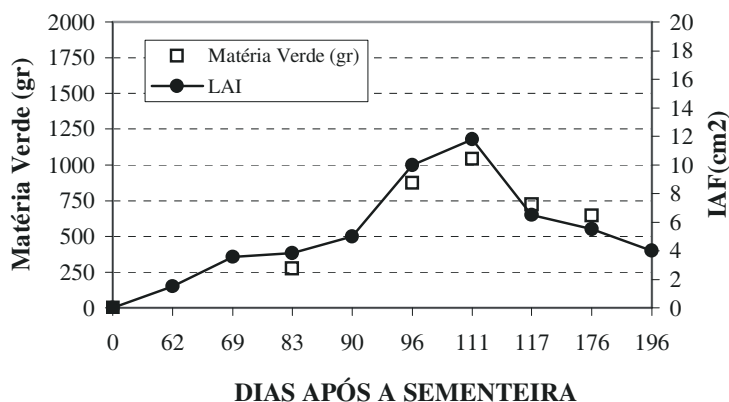


Figura 4 – Evolução matéria verde da parte aérea e índice de área foliar durante o ciclo cultural

cultura, 16 folhas (59-78 DAS); 32 cm de profundidade na fase final do crescimento vegetativo e formação do tubérculo (78-166 DAS), e 40 cm de profundidade na fase de maturação (176 DAS).

No que diz respeito às raízes finas (raízes $\varnothing < 1$ mm), os gráficos da Figura 6 mostram a evolução da intensidade radical da cultura, observada nos principais estádios de desenvolvimento.

A análise sequencial das imagens obtidas através do minirrizotróo, revela que:

- As raízes finas não foram além dos 50 cm de profundidade até ao final do crescimento vegetativo da cultura (96 DAS). A partir desta data verificou-se um aumento do crescimento em profundidade, até aos 90 cm. Nas imagens analisadas não foram observadas, raízes de diâmetro superior a 1 mm.
- O aprofundamento radical coincidiu com um acréscimo da densidade radical nas camadas profundas do perfil, a qual foi mais elevada (73 cm/cm^2) na fase de

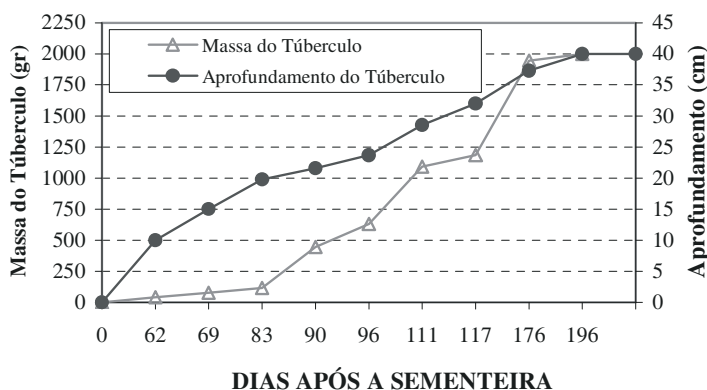


Figura 5 – Evolução massa do tubérculo e da capacidade de aprofundamento radical

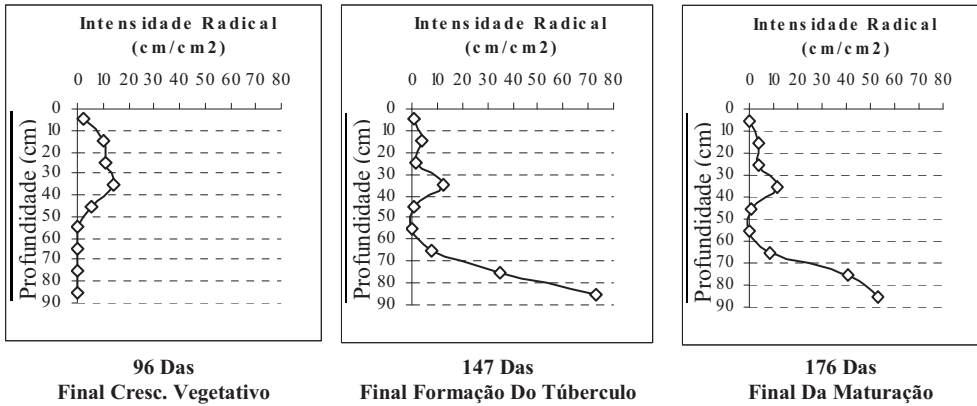


Figura 6 – Evolução da densidade radical nos principais estádios de desenvolvimento da cultura da beterraba

formação do tubérculo, seguida de um decréscimo até ao final da maturação, onde se registaram valores máximos da ordem de 53 cm/cm^2 .

- Nos primeiros 30 cm do perfil a densidade radical foi mais elevada (13 cm/cm^2) até aos 96 DAS. A partir desta data verifica-se um decréscimo da densidade radical nos primeiros, associado à eventual perda de actividade de algumas raízes finas nas camadas superiores do perfil do solo, à medida que a cultura evolui para a fase final da formação e maturação do tubérculo.

Na camada 40-60 cm de profundidade do perfil do solo observaram-se valores muito baixos de densidade radical. A justificação para este facto poderá estar associada às características pedológicas do perfil do solo nesta camada: cerca de 90% de areia e 6 a 7% de argila, traduzindo-se numa camada com capacidade de retenção de água baixa a muito baixa, onde a actividade radical da cultura é reduzida, estimulando o seu crescimento para camadas inferiores onde a capacidade utilizável apresenta valores superiores.

Relativamente ao rendimento da cultura, a produção total obtida foi de 58 ton/ha, com

15,5 % de polarização (% açúcar) (informação gentilmente fornecida pela DAI), valores que, de acordo com a FAO, representam um bom rendimento comercial da cultura.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo, comportamento da cultura e níveis de produção obtidos, permitem concluir que o sistema de gestão da água da rega seguido na cultura da beterraba sacarina tendo por base parâmetros agronómicos, nomeadamente os radicais, avaliados ao longo do ciclo da cultura, se mostrou eficiente. Assim, os parâmetros avaliados poderão, em condições edafoclimáticas semelhantes, servir de base à avaliação de tecnologias que permitam otimizar a gestão da água em regadio.

AGRADECIMENTOS

O estudo realizado foi possível com o apoio financeiro dos projectos de investigação POCTI AGR/2190/95/2001, AGRO 217 e PEDIZA 2002.64.002453.1.

Agradece-se ao empresário agrícola Sr. António Duarte Silva por ter colaborado na realização desta experimentação; e aos funcionários do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, a ajuda na realização dos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma.
- Bartz Technology Corporation. 2000. *Operation Manual BTC Minirhizotron Camera Systems*. Santa Barbara, CA, EUA.
- Bartz Technology Corporation. 1999. *Vídeo System Design and Manufacture: Products and Services*. Santa Barbara CA, EUA. <http://www.bartztechnology.com/products.htm>.
- Cardoso, C. J. 1965. *Os Solos de Portugal, Sua Classificação, Caracterização e Génese*. S.E. Agricultura, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- Ferguson, J. C. & Smucker, A. J. M. 1989. *Modifications of the minirhizotron video camera system for measuring spatial and temporal root dynamics*. *Soil Sci. Soc. Am. J. V.*, **53**:1601-1605.
- Tremmel, D. C. 2003. *Roottracker 2.0© - Software for Root Image Analysis*. Duke University.
- Vamerali, T., Ganis, A. Bona, S. & Mosca, G. 2003. *Fibrous root turnover and growth in sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*) as affected by nitrogen shortage*. *Plant and Soil*, **255**: 169-177.