

Avaliação do potencial de variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de bioetanol

Bioethanol production potential of sweet and forage sorghum varieties

Maria Ermelinda Vaz Lourenço¹, Maria Isabel Nunes Januário² e Vitor Manuel Lopes Massa¹

¹ Universidade de Évora, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas [ICAAM], Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal. E-mail: melouren@uevora.pt, author for correspondence.

² Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Engenharia dos Biosistemas [CEER], Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal. E-mail: minj@isa.utl.pt.

Recebido/Received: 2012.01.18
Aceitação/Accepted: 2013.01.19

RESUMO

Apresentam-se os resultados de um estudo realizado em 2005 e 2006 com a cultura do sorgo sacarino no Alentejo. No primeiro ano, o principal objetivo foi comparar diferentes variedades sacarinas em termos produtivos e qualitativos, tendo sido avaliadas as variedades (genótipos): Brandes, Dale, Madhura, Ramada, Rio, Theis, Wiley e Wray. Em 2006, para além das três dessas variedades que formaram grão maduro (Brandes, Madhura e Theis), estudaram-se também duas variedades forrageiras (Nicol e Rocket). Verificou-se que a variedade sacarina Theis parece ser a mais vantajosa, pois formou semente no primeiro ano, sendo portanto fácil propagá-la na região, e também apresentou tendência para ser a mais produtiva das três variedades ensaiadas em ambos os anos, atingindo 93,5 t ha⁻¹ de caules frescos, 6,3 t ha⁻¹ de açúcares e 3149 L ha⁻¹ de rendimento estimado de etanol. As variedades de sorgo forrageiro, como espetável, evidenciaram ser menos interessantes para a produção de bioetanol.

Palavras-chave: Açúcares, bioetanol, produtividade, sorgo-forrageiro, sorgo sacarino

ABSTRACT

We present results of a study conducted in 2005 and 2006 with sweet sorghum crop in Alentejo. In the first year, main objective was to compare, quantitative and qualitatively, different sweet sorghum varieties. Thus, the following varieties (genotypes) were evaluated: Brandes, Dale, Madhura, Ramada, Rio, Theis, Wiley and Wray. In 2006, additionally to sweet varieties Brandes, Madhura and Theis (the ones that produced mature grain) two forage varieties (Nicol and Rocket) were also studied. The sweet variety Theis seems to be advantageous since it produced seed in the first year, what will allow an easier propagation in this region, and tended to be the most productive of the three varieties tested in both years achieving 93.5 t ha⁻¹ of fresh stems, 6.3 t ha⁻¹ of sugars and 3149 L ha⁻¹ of estimated ethanol yield. The forage sorghum varieties, as expected, showed to be less interesting for bioethanol production.

Keywords: Bioethanol, forage sorghum, productivity, sugars, sweet sorghum

Introdução

As culturas tradicionais de Primavera-Verão, que podem ser utilizadas para a produção de bioetanol, são o milho e a beterraba. Os custos de produção destas culturas são bastante elevados, facto que pode constituir um constrangimento à utilização das mesmas para aquela finalidade. O sorgo sacarino é referido na bibliografia como uma cultura de relativamente poucos *inputs*, nomeadamente por ser menos exigente em água e azoto do que o milho (Anderson *et al.*, 1995), necessitando de cerca de um terço do consumo

de água da cana-de-açúcar e de metade do registado para o milho (Woods, 2001; Bellmer, 2008). Por outro lado, existem variedades desta espécie com dupla aptidão, desenvolvidas nomeadamente na Índia (Rajvanshi e Nimbkar, 2008), nas quais não se verifica diminuição considerável do teor em açúcares nos caules com a formação do grão. Este aspecto constitui uma grande vantagem, pois não põe tanto em causa a segurança alimentar como no caso das culturas tradicionais. Conscientes desta particularidade, países como a China e as Filipinas já estão a pedir aos produtores de culturas tradicionais que, para a produção de biocom-

bustíveis, as substituam por sorgo sacarino, tornando assim possível produzir também grão, a usar na alimentação, além de bioetanol (Reddy *et al.*, 2007). Diferentes desempenhos das diversas variedades de sorgo sacarino têm sido reportados, nomeadamente no respeitante aos rendimentos em açúcares e em álcool, em resultado naturalmente também das condições em que é realizada a cultura (Venendaal *et al.*, 1997; Reddy *et al.*, 2005; Ratnavathi *et al.*, 2010).

Este estudo insere-se neste contexto e dá continuidade ao trabalho que tem vindo a ser realizado em Portugal, em particular no Alentejo, com o sorgo sacarino (Lourenço *et al.*, 2007). Neste caso, teve-se por objectivo avaliar as potencialidades de diferentes variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de bioetanol. A inclusão do sorgo-forrageiro neste estudo deve-se ao facto de, para além do interesse em avaliar o seu desempenho comparativo na perspectiva aqui avaliada, a semente certificada se encontrar facilmente disponível no mercado local.

Material e Métodos

Metodologia de campo

O estudo de comportamento da cultura foi realizado no Centro de Estudos e Experimentação da Mitra, da Universidade de Évora, em 2005 e 2006. Utilizou-se um solo mediterrâneo (Pmg) cujos valores da análise sumária foram os seguintes: 762 mg kg⁻¹ de P₂O₅, 348 mg kg⁻¹ de K₂O, 2,18% de matéria orgânica, 7,01 de pH (H₂O), 46 mg kg⁻¹ de nitratos e textura média. Em 2006, a análise do solo revelou 468 mg kg⁻¹ de

P₂O₅, 320 mg kg⁻¹ de K₂O, 7,48 de pH (H₂O), 19 mg kg⁻¹ de nitratos e textura média. Em função destes resultados, em cada ano, só se aplicaram 100 kg ha⁻¹ de azoto repartidos em duas aplicações de 50 kg ha⁻¹, à sementeira e quando as plantas apresentaram cerca de 30 cm de altura.

Em 2005, ensaiaram-se oito variedades (genótipos) de sorgo sacarino: Brandes, Dale, Madhura, Ramada, Rio, Theis, Wiley e Wray. No ano seguinte, testaram-se as três variedades que tinham produzido grão no ano anterior (Brandes, Madhura e Theis) e duas variedades de aptidão forrageira, Nicol e Rocket, híbridos de *Sorghum bicolor* L. × *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf. As restantes variedades ensaiadas no primeiro ano não foram posteriormente utilizadas pelo facto de não terem chegado a produzir semente, possivelmente devido à sua sensibilidade ao fotoperíodo, o que limitaria a divulgação das mesmas nas nossas condições, já que o estágio ideal de colheita para esta finalidade é o de grão leitoso-pastoso.

No primeiro ano, semeou-se a cultura em talhões de 6,75 m² (3 m x 2,25 m), enquanto no segundo foram de 10,13 m² (4,5 m x 2,25 m). A distância entre linhas foi de 75 cm. A sementeira foi efectuada, manualmente, no dia 17 de Maio, nos dois anos de ensaio, em covachos distanciados de 13,3 cm, de modo a assegurar um povoamento de 10 plantas/m², após desbaste, tendo-se utilizado uma densidade de sementeira de 12 kg ha⁻¹.

Os valores de temperatura e precipitação registados para a região durante os meses em que decorreram os ensaios e em idênticos períodos de anos anteriores (1951-1980) estão representados na Fig.1 (INMG, 1991).

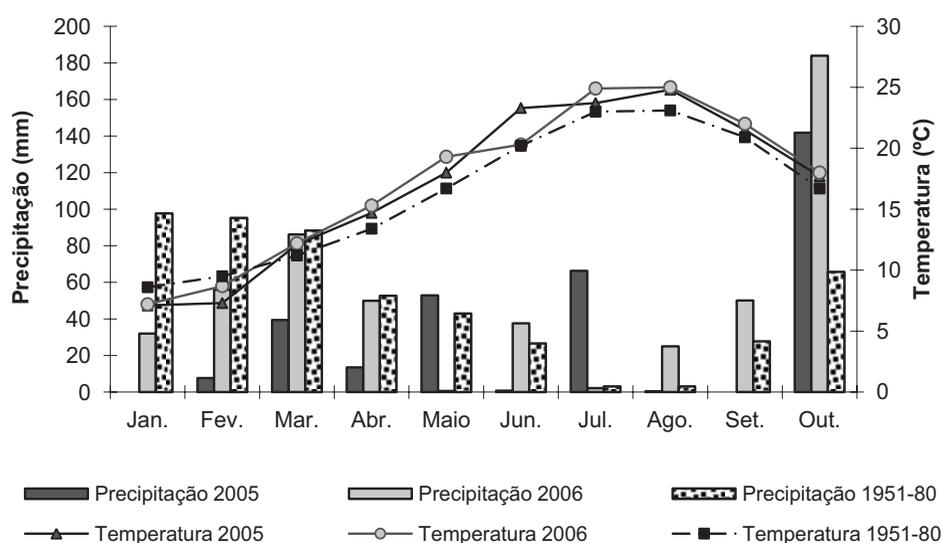


Figura 1 - Valores das temperaturas médias e da precipitação mensais para o período de ensaio e o trinténio 1951/80.

Durante o período experimental as temperaturas foram mais elevadas do que as médias do trinténio considerado, principalmente em 2006. No que se refere à precipitação, em 2005 choveu menos, excepto nos meses de Maio, Julho e Outubro, enquanto 2006 foi mais chuvoso em Junho e de Agosto a Outubro. Foi aplicada uma rega diária, pelo sistema gota-a-gota, representando no final uma dotação de cerca de 4500 m³ ha⁻¹.

Quando necessário, procedeu-se à monda manual das infestantes principais existentes, que foram a figueira-do-inferno (*Datura stramonium* L.), a beldroega (*Portulaca oleracea* L.) e a junça (*Cyperus rotundus* L.).

Quando atingido o estágio de grão leitoso-pastoso, procedeu-se à colheita de cerca de 53 cm, numa das linhas centrais, para avaliação das produções de matéria verde e seca das plantas. As datas de colheita por ano e variedade constam do Quadro 1.

Quadro 1- Data de colheita das diferentes variedades nos dois anos de ensaio.

Variedades	Data de colheita	
	2005	2006
Brandes	15 Set.	19 Set.
Dale	30 Set.	-
Madhura	12 Set.	15 Set.
Rio	28 Set.	-
Ramada	6 Set.	-
Theis	19 Set.	12 Set.
Wiley	22 Set.	-
Wray	12 Set.	-
Nicol	-	18 Set.
Rocket	-	18 Set.

Nestas datas fez-se também a colheita das plantas destinadas à análise laboratorial da composição dos caules, matéria-prima para obtenção de sumo rico em açúcares fermentescíveis a transformar em bioetanol.

Metodologia laboratorial

Para cada variedade, e em cada ano, procedeu-se à determinação da matéria verde e da matéria seca dos caules, bem como à análise da composição da sua fracção líquida, particularmente do seu conteúdo em açúcares. Esta análise foi realizada no Laboratório de Agronomia Tropical, do Instituto Superior de Agronomia (UTL), onde se procedeu à determinação do rendimento de sumo extraído dos seus caules e do seu teor em sólidos solúveis e em açúcares. No primeiro ano, o teor em açúcares das variedades em estudo foi estimado de acordo com a metodologia descrita por Lourenço *et al.* (2007). No segundo ano, além da determinação dos sólidos solúveis (Brix), foi

efectuada a análise da composição em açúcares para as variedades sacarinas e para a melhor forrageira. Para as determinações do Brix e dos açúcares, em cada variedade, foram preparadas quatro amostras a partir dos caules desfolhados de quatro plantas. Cada amostra incluiu porções de três zonas longitudinais (base, média e apical), de forma a ter em conta a variação do teor em açúcares ao longo do caule (Janssen *et al.*, 1930). A extracção do sumo foi realizada num liquidificador laboratorial (Waring), misturando a amostra de sorgo (cerca de 100g) com cinco vezes a sua massa de água destilada, à temperatura ambiente e com agitação durante 10 minutos. Procedeu-se de seguida à separação da fracção sólida (fibra) por filtração, através de um saco de pano adequado ao efeito, e no qual ficou retida aquela fracção, obtendo-se assim o sumo diluído de sorgo isento de partículas sólidas. A fracção sólida, retida no saco, foi várias vezes lavada em água corrente e de seguida espremida de modo a eliminar os sólidos solúveis, sendo de seguida submetida a secagem, em estufa a 100° C, até massa constante, o que permitiu conhecer o teor de fibra (resíduo sólido insolúvel) da amostra. A partir deste teor, e por diferença em relação à massa de amostra usada na extracção, calculou-se o teor de sumo dos caules.

No sumo diluído extraído de cada amostra de sorgo, foi efectuada, em duplicado, a determinação do Brix e a análise dos açúcares por HPLC [*High Performance Liquid Chromatography*] após filtração da amostra com membrana filtrante (com 45mm de poro).

Os teores determinados foram transpostos para o sumo original na amostra (sumo não diluído) e para os caules, por correcção com o factor de diluição da amostra.

Determinação do Brix

O teor de sólidos solúveis (Brix) foi determinado por refractometria a 20°C, com utilização do refractómetro de Abbe (Bellingham e Stanley).

Análise dos açúcares

Os açúcares foram analisados por HPLC-RI (Waters), com utilização da coluna de troca catiónica (Ca²⁺) Sugar-Pak I (300 x 6,5 mm, 5 mm, Waters), a 90°C, usando como solvente uma solução aquosa de EDTA-Ca (0,05 g L⁻¹) com um fluxo de 0,5 mL min⁻¹ (Ivie, 1982). A quantificação destes compostos foi efectuada pelo método do padrão externo.

Apenas no segundo ano de ensaios foi possível efectuar o doseamento dos açúcares dos caules, pelo que no primeiro ano a sua produção foi estimada, consi-

derando o valor mínimo de 30% encontrado na bibliografia para a concentração em açúcares na matéria seca dos caules.

Resultados e Discussão

Produção de matéria verde e matéria seca em caules

No primeiro ano, a produção de matéria verde em caules (Figura 2) apresentou grande variabilidade, tendo-se destacado as variedades Wiley, Dale e Theis com produtividades superiores às encontradas por Woods (2001) que variaram entre 39,0 e 63,9 t ha⁻¹.

Em 2006, verificou-se um decréscimo de 18 e 34%, na produção da Brandes e Theis, respectivamente. O potencial produtivo da variedade Madhura, embora menor, foi mais estável no período dos dois anos.

Os resultados da produção de matéria seca em caules no primeiro ano evidenciaram diferenças significativas entre variedades. A Dale, Ramada, Theis, Wiley e Wray apresentaram as melhores produtividades que variaram de 20,2 a 22,0 t ha⁻¹. Valores inferiores, 16 a 20 t ha⁻¹, foram obtidos por Fernandez (1998). Quanto às variedades repetidas nos dois anos de ensaio, a

Brandes e a Theis apontaram para produções menores, em 10 e 26% respectivamente, no segundo ano. Por seu lado, a variedade Madhura aparentou maiores produções de matéria seca em caules no segundo ano, o que mais uma vez confirma a sua estabilidade produtiva.

Concentração de sólidos solúveis no sumo dos caules

A concentração em sólidos solúveis (Figura 3) variou significativamente entre variedades nos dois anos. Situou-se entre 14,4 (Wray) e 17,4° Brix (Ramada) no primeiro ano, enquanto que no segundo ano os valores registados para as três variedades sacarinas estudadas estiveram compreendidos entre 13,0 (Madhura) e 18,6 °Brix (Brandes).

De referir que no período do estudo se observou um aumento da concentração de sólidos solúveis para as variedades sacarinas Brandes e Theis. Opostamente, a variedade Madhura mostrou uma diminuição deste parâmetro, que ainda assim foi superior a 12° Brix, valor considerado por Woods (2001) como requisito mínimo de qualidade do sorgo enquanto cultura para fins bioenergéticos.

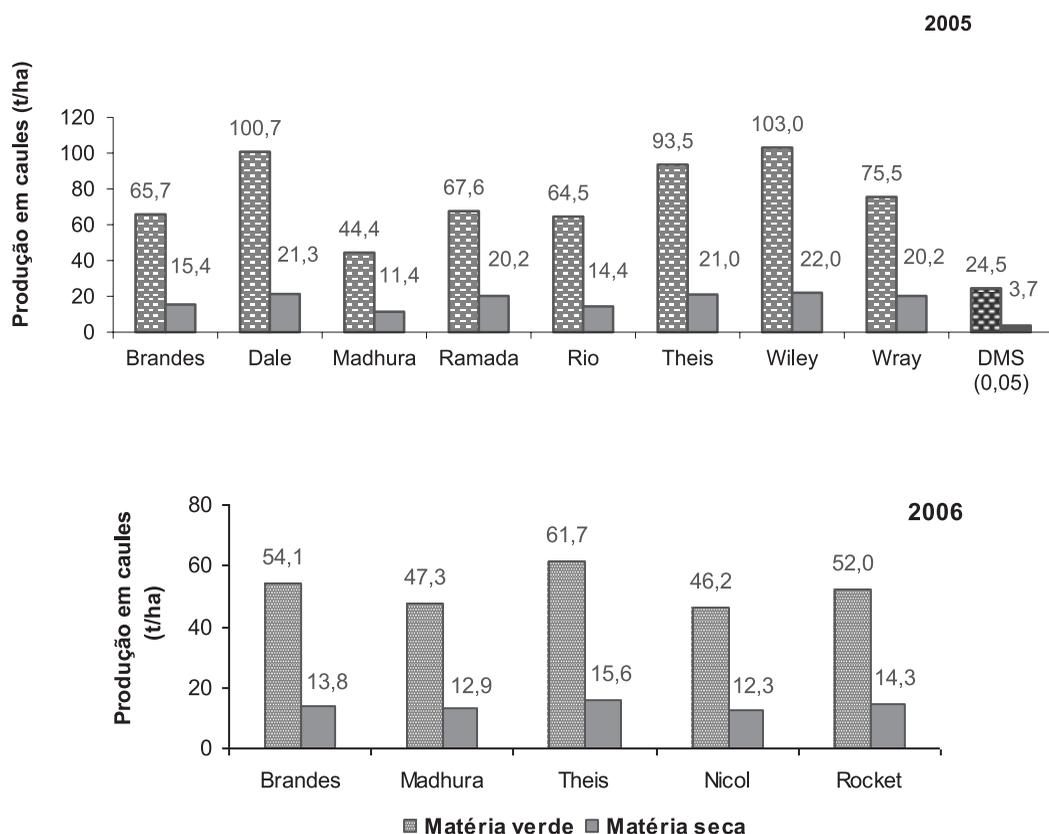


Figura 2 - Produção de matéria verde e de matéria seca em caules por variedade nos dois anos.

DMS (0,05) - diferença mínima significativa a $p \leq 0,05$.

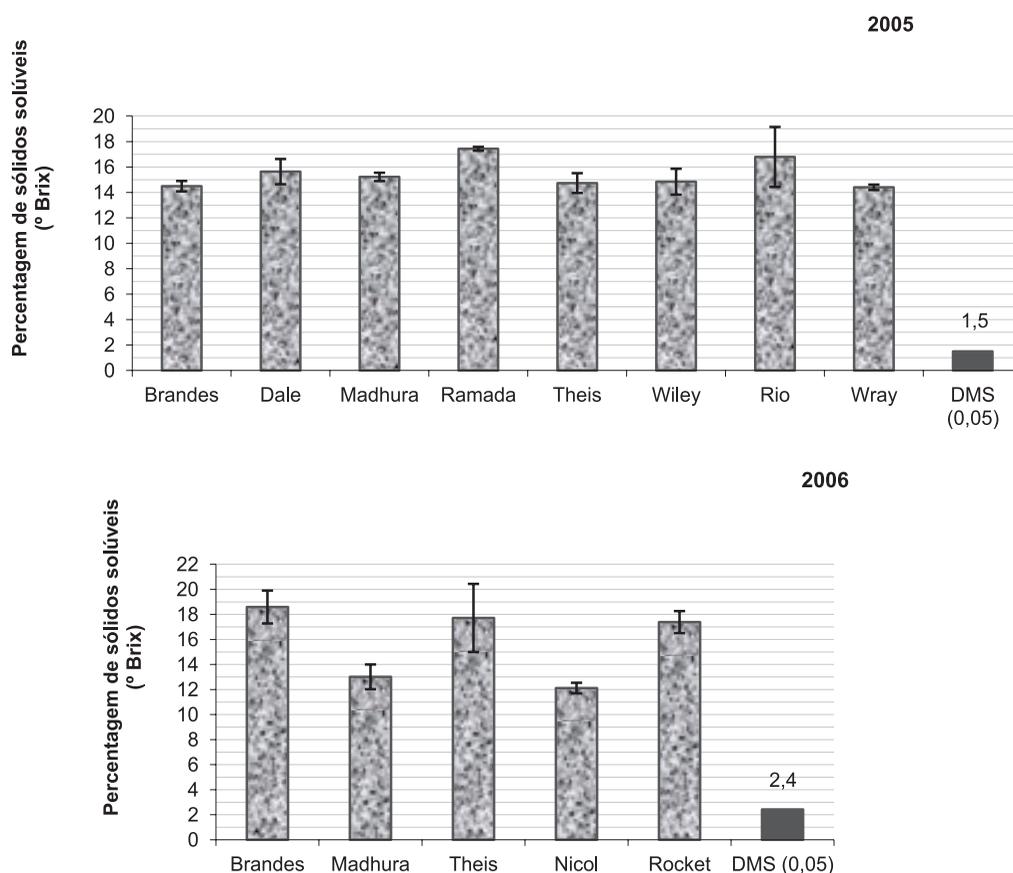


Figura 3 - Concentração em sólidos solúveis no sumo dos caules por variedade nos dois anos.
DMS (0,05) - diferença mínima significativa a $p \leq 0,05$.

Relativamente às variedades forrageiras, utilizadas apenas no segundo ano, enquanto a Nicol apresentou o menor valor de entre todas as variedades (12,1 °Brix), a variedade Rocket registou um Brix elevado, aproximando-se das variedades sacarinas com maior teor de sólidos solúveis.

Produção de açúcares totais

Conforme já foi referido, em 2005 não foi possível determinar os teores de açúcares do sumo dos caules. Porém, de acordo com Alexopoulou e Chatziathanassiou (1999) e Fernandez (1998), o teor em açúcares na matéria seca dos caules secos situa-se, em geral, entre 30 % e 40%. Assumindo o valor de 30%, a produção potencial de bioetanol foi subestimada tendo-se obtido os valores que se apresentam na Figura 4.

Conforme se pode observar, nos dois anos de ensaio o rendimento em açúcares totais (somatório de sacarose, glucose e frutose) variou entre 3,4 e 6,6 t ha⁻¹, extremos estes ocorridos no primeiro ano, o que demonstra ser determinante a escolha da variedade, situando-se

contudo os valores obtidos abaixo do intervalo de 10-12 t ha⁻¹ referido por Fernandez (1998), mas dentro do intervalo de 4 a 7 t ha⁻¹ obtido por Ratnavathi *et al.* (2010).

As variedades sacarinas Wiley, Dale, Theis e Ramada destacaram-se no primeiro ano, com uma produtividade em açúcares superior a 6 t ha⁻¹, tendo a Theis mantido sensivelmente o mesmo desempenho no segundo ano, enquanto que para as variedades Brandes e Madhura parece ter havido um aumento de rendimento em açúcares totais. Contudo, é importante referir que a concentração de açúcares, em relação à matéria seca dos caules, determinada em 2006, atingiu os valores de 39,1%, 39,5% e 44,2%, respectivamente para as variedades Brandes, Madhura e Theis. Estes teores são pois bastante superiores aos 30% considerados para estimar o rendimento em açúcares em 2005, pelo que, os valores apresentados na Figura 4 para aquele ano são, muito provavelmente, inferiores aos reais, devendo-se tomar assim com reserva as variações referidas entre os dois anos na prestação daquelas três variedades sacarinas.

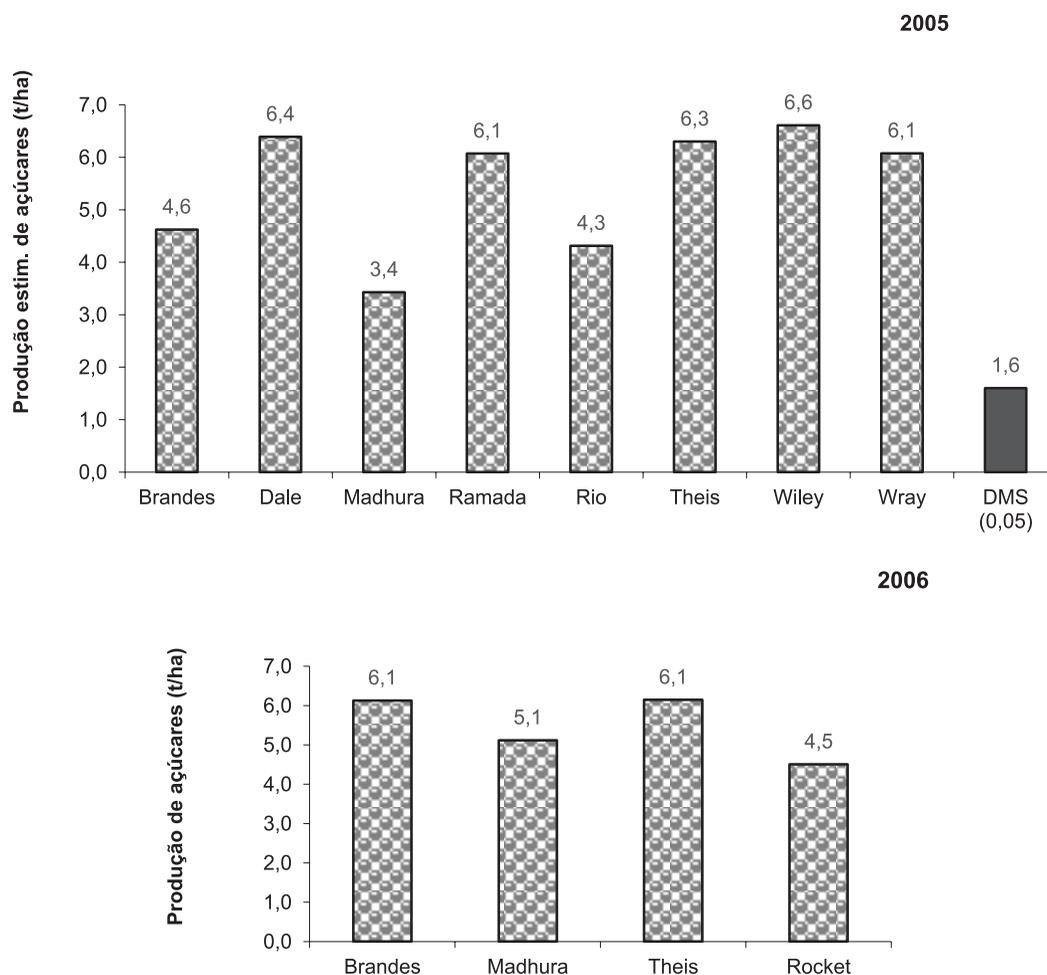


Figura 4 - Produção de açúcares estimada para 2005 e determinada para 2006
DMS (0,05) - diferença mínima significativa a $p \leq 0,05$.

Produção potencial de bioetanol

Os valores da produção de bioetanol podem ser estimados atendendo a que, segundo Fernandez (1998), 2 kg de açúcar dão origem a 1 L de etanol. Admitindo esta relação, podemos inferir que os valores obtidos neste estudo foram os que se apresentam na Figura 5. Os valores obtidos foram inferiores aos 6000 L ha^{-1} indicados pelo referido autor, o que poderá atribuir-se fundamentalmente às menores quantidades de água e fertilizantes aplicados e ainda às variedades usadas neste estudo não terem sido das mais produtivas. Por outro lado, os valores apresentados para o primeiro ano foram calculados a partir de produções subestimadas dos açúcares. No segundo ano, salienta-se o facto de se ter utilizado semente produzida no ano anterior, o que também poderá ter contribuído para justificar os resultados encontrados.

Conclusões

As maiores produções para a maior parte dos parâmetros foram observadas no primeiro ano de ensaio, particularmente no que se refere às variedades Dale, Ramada, Theis, Wiley e Wray. No segundo ano, a Theis e a Brandes mostraram tendência para ser as melhores.

As variedades forrageiras apresentaram menores potencialidades para a produção de bioetanol, com seria de esperar.

Como conclusão geral, no conjunto dos dois anos, a variedade Theis foi a que revelou tendência para ser a mais produtiva. Acresce ainda que no final do ciclo se observou ser a que produziu maior quantidade de semente, a seguir à variedade Madhura, o que a favorece em termos de propagação e manutenção nas nossas condições.

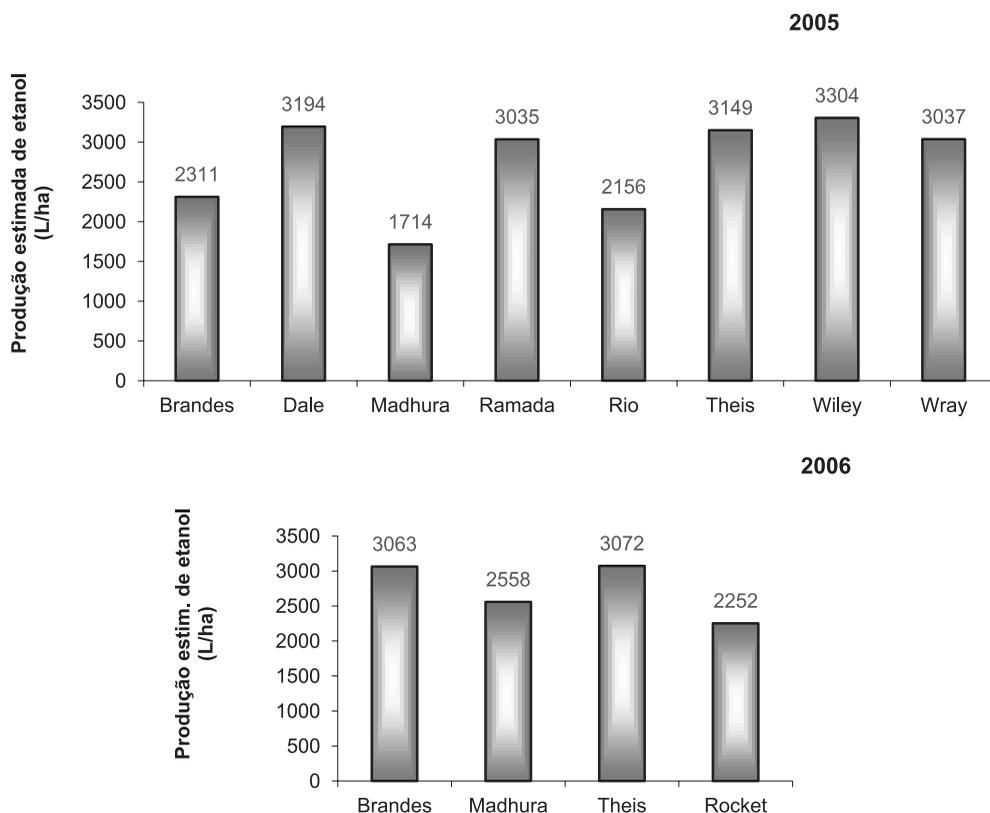


Figura 5 - Produção de etanol estimada nos dois anos de ensaio.

Agradecimentos

A investigação referida foi financiada pelo Projeto INTERREG III B 'ECAS - Energy Crops in the Atlantic Space'.

Referências Bibliográficas

- Alexopoulou, E. e Chatziathanassiou, A. (1999) - *Description of growing experience on sweet sorghum in Greece* (em linha). Greece, European Energy Crops InterNetwork, Biobase. (Acesso em 1 Outubro 2004). Disponível em < <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10214.html> >.
- Anderson, I.C.; Dwayne, R.B.; Allam, A. e Hunter, E. (1995) - Biomass production and ethanol potential from sweet sorghum. *Leopold Center Progress Report* (em linha), 4: 97-101. (Acesso em 21 Outubro 2011). Disponível em < <http://www.leopold.iastate.edu/sites/default/files/grants/1991-46.pdf> >.
- Bellmer, D. (2008) - Sweet Sorghum Q&A. *Sorghum Grower*, 2, 2: 17.
- Fernandez, J. (1998) - *Outlooks of sweet sorghum crop for ethanol production in Spain based on varietal results in multilocal trial* (em linha). Spain, European Energy Crops InterNetwork, Biobase. (Acesso em 21 Setembro 2004). Disponível em < <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10191.html> >.
- INMG [Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica] (1991) - *O Clima de Portugal – Normais climatológicas da Região de «Alentejo e Algarve» correspondentes a 1951-80*. Fascículo XLIX, vol. 4 - 4ª Região, Lisboa, INMG.
- Ivie, K.F. (1982) - High-performance liquid chromatography in sugar analysis. *Sugar y Azucar*, 77, 2: 44-56.
- Janssen, G.; McClelland, C.K. e Metzger W.H. (1930) - Sap extraction of sorghum and the localization of juice and sugars in internodes of the plant. *Journal of the American Society of Agronomy*, 22, 7: 627-638.
- Lourenço, M.E.V.; Massa, V.M.L.; Palma, P.M.M. e Rato, A.E.M (2007) - Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. *Revista de Ciências Agrárias*, 30, 1: 103-110.
- Rajvanshi A.K. e Nimbkar, N. (2008) - *Sweet sorghum R&D at the Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI)*. Maharashtra, India, Nimbkar Agricultural Research Institute, 10 p.

- Ratnavathi, C.V.; Suresh, K.; Kumar, B.S.V.; Pallavi, M.; Komala, V.V. e Seetharama, N. (2010) - Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, 34: 947-952.
- Reddy B.V.S.; Ramesh S.; Reddy P.S.; Ramaiah B.; Salimath P.M. e Kachapur, R. (2005) - Sweet sorghum - a potential alternative raw material for bio-ethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter*, 46: 79-86.
- Reddy B.V.S.; Ramesh, S.; Sanjana Reddy, P.; Ashok Kumar, A.; Sharma, K.K.; Karuppan Chetty, S.M. e Palaniswamy A.R. (2007) - *Sweet Sorghum: Food, Feed, Fodder and Fuel Crop*. Patancheru, India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics [ICRISAT], 24 p.
- Venendaal, R.; Jørgensen, U. e Foster, C.A. (1997) - European energy crops: a synthesis. *Biomass and Bioenergy*, 13, 3: 147-185.
- Woods, J. (2001) - The potential for energy production using sweet sorghum in Southern Africa. *Energy for Sustainable Development*, 5, 1: 31-38.