

PRODUÇÃO DE AÇÚCARES NO CALDO DE SORGO SACARINO AVALIADO EM DUAS ÉPOCAS DE CORTE

VANESSA APARECIDA PEREIRA BATISTA¹, VANUCCI ZILDA PEREIRA BATISTA²,
LEONARDO DUARTE PIMENTEL², ANGÉLICA FÁTIMA DE BARROS²,
TIAGO DA SILVA MOREIRA² e LUIZ ANTÔNIO DOS SANTOS DIAS²

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vanessabaptsta@gmail.com

²Universidade Federal de Viçosa vanucci_batista@hotmail.com leonardopimentelagro@gmail.com;
agro.angelicabarros@gmail.com; tiagosm94@gmail.com ladias@ufv.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.17, n.2, p. 263-273, 2018

RESUMO - Objetivou-se avaliar a produção quantitativa e qualitativa dos açúcares produzidos no caldo de sorgo sacarino, em duas épocas de corte. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com 6 repetições, em parcelas subdivididas no tempo, avaliando três cultivares de sorgo sacarino (BD 5404, BRS 511 e BD1615). Ao final de cada ciclo, foram avaliados produtividade de colmos, taxa de extração, teor de sólidos solúveis (°Brix) e os açúcares totais (sacarose, glicose e frutose) presentes no caldo, sendo estes quantificados em cromatografia líquida de alta precisão (HPLC). Verificou-se que as cultivares apresentaram a maior produtividade de colmos na safra em comparação com a rebrota, sendo 64,50 e 9,23 t ha⁻¹, respectivamente. A taxa de extração do caldo foi menor na rebrota. O teor de açúcares totais presente no caldo não diferiu entre as duas safras, apresentando média de 94 g L⁻¹. O °Brix diferiu tanto entre as cultivares como entre as safras. Apenas a cultivar BRS 511 apresentou a mesma proporção de açúcares presentes no caldo, nas duas safras, com maior teor de sacarose produzido. Conclui-se que as condições climáticas afetam os caracteres agrônômicos e industriais do sorgo sacarino. A cultivar BRS 511 apresentou o melhor desempenho agrônômico e industrial visando à produção de etanol. A quantidade de açúcares produzidos não variou em função do ciclo, mas a qualidade dos açúcares (sacarose, glicose e frutose) variou de acordo com a cultivar.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, produtividade, açúcares fermentescíveis, HPLC.

SUGARS PRODUCTION IN SWEET SORGHUM BROTH IN TWO CUTTING TIMES

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the quantitative and qualitative production of sugars in sorghum broth at two cutting times. A randomized complete block design with six replications was used in plot subdivided in time evaluating three cultivars of sorghum saccharine (BD 5404, BRS 511 and BD1615). At the end of each cycle, shoot yield, extraction rate, soluble solids content (°Brix) and total sugars (sucrose, glucose and fructose) present in the broth were evaluated, and these were quantified by high performance liquid chromatography (HPLC). Cultivars showed higher productivity of shoots in the crop compared to regrowth, with 64.50 and 9.23 t ha⁻¹, respectively. The broth extraction rate was lower at regrowth. The total sugars content in the broth did not differ between the two harvests, with an average of 94 g L⁻¹. Brix differed between cultivars and between crop seasons. Only the cultivar BRS 511 presented the same proportion of sugars in the broth, in the two harvests, with higher content of sucrose. As conclusion, the climatic conditions affected the agronomic and industrial characteristics of sorghum saccharine; the cultivar BRS 511 presented the best agronomic and industrial performance regarding ethanol production; the amount of sugars produced did not change with the different cycles and the quality of sugars (sucrose, glucose and fructose) varied among cultivars.

Keywords: *Sorghum bicolor*, productivity, fermentable sugars, HPLC.

A demanda mundial por etanol, incluindo para exportação, tem uma taxa de crescimento anual de 3,8%, alcançando aproximadamente 44 bilhões de litros em 2026. Atualmente, Brasil e Estados Unidos são os líderes mundiais, concentrando 85% da produção total de etanol (Empresa de Pesquisa Energética, 2017). Enquanto no Brasil o etanol é fermentado predominantemente a partir da sacarose presente no colmo da cana-de-açúcar, nos EUA a produção é a partir do milho, que acumula cerca de 85% de amido em suas sementes (Calviño & Messing, 2012).

Entretanto, o setor sucroenergético brasileiro tem sofrido graves crises em função da oscilação no preço do etanol devido à sazonalidade na produção e às variações climáticas, além do período de entressafra da cana-de-açúcar, que resulta em elevada ociosidade das unidades industriais e, conseqüentemente, baixa competitividade; e do mercado internacional do açúcar que influencia na utilização dos açúcares presentes no caldo (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014). Desta forma, existe a necessidade da adição de outras matérias-primas a fim de se manter e/ou aumentar a oferta de etanol no mercado.

Neste contexto, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) é uma cultura energética promissora devido ao armazenamento de açúcares fermentescíveis (sacarose, glicose e frutose) nos colmos, de forma semelhante à cana-de-açúcar, sendo estes facilmente convertidos em etanol (Khalil et al., 2015). Além disto, o sorgo se destaca por ser uma cultura de ciclo curto (90 a 130 dias), com ampla adaptação edafoclimática, alta eficiência no uso da água e pode-se utilizar a mesma infraestrutura e maquinário da indústria canavieira, desde a extração até o uso de levedura comercial para a fermentação do caldo em etanol (Lourenço et al., 2010; Masson, 2013).

Outra característica importante desta cultura é a possibilidade do uso da rebrota, uma vez que após o corte da planta original o sorgo conserva vivo o seu sistema radicular, havendo possibilidade de rebrota e desenvolvimento. Assim a rebrota também poderá ser utilizada como matéria-prima sem aumentar muito os custos de produção, além de auxiliar de forma significativa na estabilidade da oferta deste biocombustível (Reis, 2014).

No entanto, Fernandes et al. (2014) verificaram que para haver uma produção econômica e sustentável é necessário um nível mínimo de açúcares totais (AT) presentes para que a levedura os converta completamente em etanol. Durante a maturação há um aumento na concentração dos açúcares totais e uma variação no teor dos açúcares (sacarose, glicose e frutose) presentes no caldo e somente após 120 dias do plantio essas concentrações diminuem significativamente. Assim, é necessária monitoração da maturação a fim de se determinar a época em que a concentração de açúcares esteja próxima do nível ideal para conversão em etanol.

Visto que o sorgo é uma planta sensível ao fotoperiodismo, os rendimentos e qualidade de açúcares obtidos podem ser influenciados pela época do ano. Entretanto, existem poucos relatos na literatura sobre o teor e quantidade de açúcar presente no colmo de sorgo sacarino na safra e na rebrota. Desta forma, para que a rebrota possa ser utilizada como matéria-prima na produção de etanol é necessário averiguar se as mudanças no teor de açúcares são somente durante a maturação ou se também ocorrem ao longo do ciclo das plantas. Diante disto, objetivou-se com este trabalho avaliar a produção quantitativa e qualitativa dos açúcares no caldo do sorgo sacarino, em duas épocas de corte (safra e rebrota).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em duas safras subsequentes, durante os meses de dezembro/2014 a setembro/2015, em campo experimental localizado na cidade de Coimbra- MG (20°51' de latitude Sul e 42°46' de longitude Oeste, a 720 metros de altitude). As condições ambientais registradas durante a condução do experimento estão descritas na Figura 1.

Foram avaliadas três cultivares de sorgo sacarino (híbridos BD 5404, BD 1615, BRS 511) com delineamento em blocos ao acaso com seis repetições, em parcelas subdivididas no tempo. A semeadura foi realizada no dia 04 de dezembro de 2014, usando o sistema manual. As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de 6 m lineares cada, espaçadas em 0,70 m entre si, sendo consideradas como área útil para as avaliações as duas linhas centrais da parcela, eliminando 1,0 m de cada extremidade. A densidade de semeadura foi de 9 plantas/ metro linear.

Para o plantio foi utilizada a formulação 08:28:16 de NPK utilizando 300 Kg ha⁻¹, a adubação de cobertura foi de 222 Kg ha⁻¹ de ureia aplicados aos 20 dias após a emergência das plantas. As plantas daninhas foram inicialmente controladas com Atrazina na dose de 4 L ha⁻¹ e aos 45 dias após o plantio foi realizada uma capina manual. Na rebrota a adubação de cobertura utilizada foi de 20-05-20 de NPK utilizando 300 Kg ha⁻¹. As plantas foram colhidas duas vezes, sendo o primeiro corte realizado a uma altura de 10 cm do solo e o segundo, após a rebrota do sorgo, rente ao solo.

Foram utilizadas amostras compostas por dez plantas retiradas de forma aleatória da área útil de cada parcela, sendo estas colhidas durante a maturidade fisiológica do grão de cada cultivar nas duas épocas de corte (safra e rebrota). As amostras de plantas coletadas foram seccionadas em folhas, panículas e colmos. Posteriormente, foram utilizadas amostras compostas de 1kg de colmo os quais

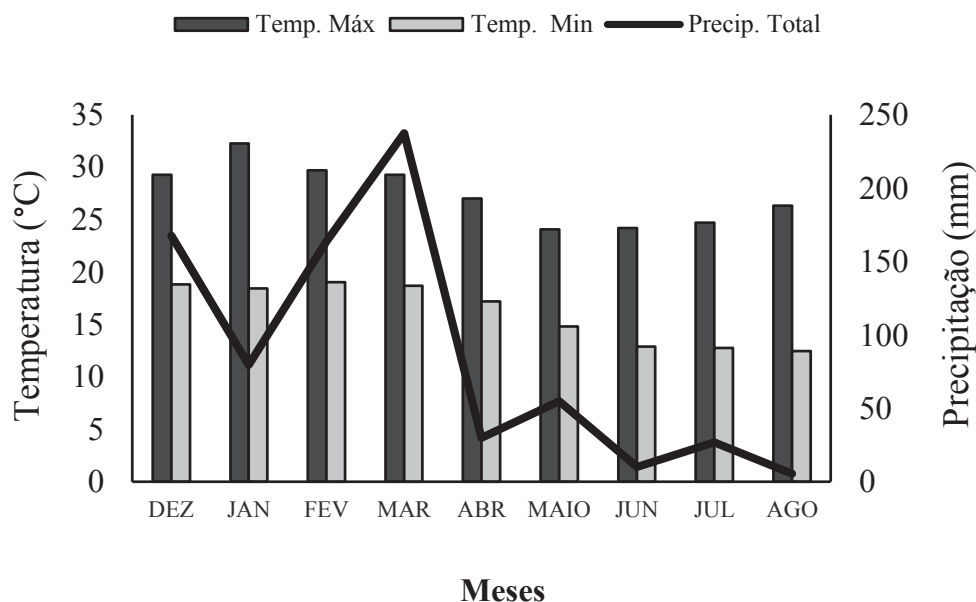


Figura 1. Precipitação acumulada (mm) e temperaturas (°C) médias mensais durante o período de condução do experimento.

passaram pela picadeira e em seguida colocados em prensa hidráulica por 1 min com 250 Kgf cm⁻¹, para a retirada do caldo. Após a extração, foi retirada uma alíquota de 80 µL do caldo para determinação do teor de sólidos totais (°Brix) em refratômetro digital. Uma amostra de 80mL do caldo foi armazenada em freezer a -20°C e posteriormente, através da cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), foi determinada a concentração dos açúcares fermentescíveis presentes no caldo usando as áreas de pico dos cromatogramas e expressa em termos de gramas de açúcares totais por litro de suco, seguindo a metodologia de Reis (2014).

As variáveis avaliadas foram: 1) Produtividade de colmos (t ha⁻¹): determinada em kg/ parcela através da pesagem dos colmos de dez plantas; 2) Taxa de extração do caldo (TE), percentagem (%) do caldo extraído do colmo fresco e a massa de caldo (kg); 3) Determinação do °Brix; 4) Teor de açúcares totais (sacarose, glicose e frutose), determinado em cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo Teste F aos níveis de 1 e 5% de probabi-

lidade e, para as variáveis que apresentaram significância, realizou-se teste de médias (Tukey), ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o programa ASSISTAT Versão 7.7 beta (pt).

Resultados e Discussão

A análise de variância (ANOVA) revelou diferença significativa entre as cultivares para as características avaliadas (Tabela 1). Houve interação significativa entre os níveis do fator cultivares e do fator cortes apenas para a variável taxa de extração do caldo (TE). Observou-se efeito altamente significativo entre as cultivares para as variáveis produção de colmos (COL), teor de sólidos solúveis (°Brix) e teor de açúcares totais (AT). Com relação à época de corte, as variáveis produção de colmos (COL), taxa de extração do caldo (TE), teor de sólidos solúveis (°Brix) e teor de açúcares totais (AT) foram afetadas significativamente.

Observou-se que a produção média de colmos obtida na safra foi significativamente superior à produtividade obtida na rebrota, com 64,50 t/ha e 9,23 t ha⁻¹,

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos dados avaliados para três cultivares de sorgo, em duas épocas de corte.

FV	GL	Quadrados Médios			
		COL	TE	°Brix	AT
Blocos	5	0,34 ^{ns}	4,30*	1,26 ^{ns}	2,62 ^{ns}
Cultivares (Cult)	2	21,37**	1,83 ^{ns}	24,86**	10,19**
Resíduo a	10	106,94	46,63	11,98	4568,71
Cortes (Co)	1	2413,21**	264,61**	27,93**	0,0006*
Cult x Co	2	0,4073 ^{ns}	6,30*	1,74 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Resíduo b	15	170,96	79,49	30,20	10534,15
CV a (%)		8,87	3,95	7,99	22,68
CV b (%)		9,16	4,21	10,36	28,12

** - Efeito altamente significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade; * - Efeito significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} - Não significativo.

Dados: COL: produção de colmos; TE: taxa de extração do caldo; °Brix: teor de sólidos solúveis; AT: teor de açúcares totais.

respectivamente (Figura 2). Na rebrota foi verificada uma baixa produção de colmos para todas as cultivares. As plantas da rebrota tiveram uma queda no desenvolvimento vegetativo após o primeiro corte, decorrentes das condições climáticas como menores temperaturas e, principalmente, devido a baixa disponibilidade hídrica observada após março de 2015 (Figura 1). Visto que o sorgo sacarino é uma espécie C4 que apresenta melhor desenvolvimento sob elevadas temperaturas diurnas e noturnas, além de necessitar de umidade adequada e bem distribuída durante todo o cultivo, pode-se considerar que a baixa disponibilidade hídrica tenha afetado negativamente o desenvolvimento das plantas de sorgo na rebrota, resultando numa menor produtividade.

Observou-se também que a cultivar BRS 511 apresentou a maior produtividade de colmos, tanto na safra como na rebrota, com médias de $69,52 \text{ t ha}^{-1}$ e $14,15 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente. Considerando-se as duas épocas de corte, a cultivar BRS 511, teve uma

produtividade média de colmos de $41,83 \text{ t ha}^{-1}$, sendo significativamente superior às demais. Os resultados apresentados corroboram os dados de May et al. (2012), que afirmam que a cultivar BRS 511 tem elevado potencial produtivo e alta capacidade competitiva entre as plantas na linha de cultivo, conseguindo se desenvolver melhor que as demais mesmo em condições desfavoráveis.

Para o desdobramento dos fatores cultivares e época de corte, foi observada redução da taxa de extração para todas as cultivares na condição de rebrota (Tabela 2), em relação à safra principal. A taxa de extração está diretamente relacionada com a quantidade de caldo presente nos colmos. O caldo é composto aproximadamente de 84% de água, sendo este o componente em maior quantidade no sumo extraído (Almodares & Hadi, 2009). Deste modo, é importante ressaltar que no período de abril a agosto de 2015, durante o desenvolvimento das plantas na rebrota, a precipitação total acumulada na área foi de apenas 127,5 mm (Figura 1).

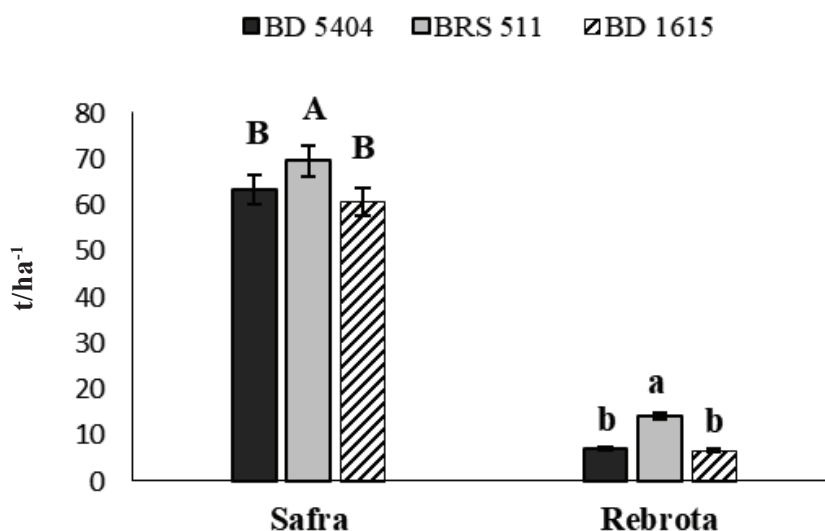


Figura 2. Produção de colmos (t ha^{-1}), de três cultivares de sorgo, em duas épocas de corte (safra e rebrota). Barras seguidas, pela mesma letra maiúscula na safra e mesma letra minúscula na rebrota, não diferem entre si pelo teste de F aos níveis de 1 e 5%.

Tabela 2. Valores médios da taxa de extração do caldo (%) de três cultivares de sorgo sacarino, em duas épocas de corte.

Cultivar	Taxa de Extração (%)	
	Safra	Rebrota
BD 5404	62,46 aA	47,81 abB
BRS 511	59,53 aA	50,89 aB
BD 1615	60,79 aA	46,63 bB
Média	60,93	48,44
CV (%)	3,95	4,21

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade, pelo teste F para época de corte e pelo teste Tukey para a taxa de extração do caldo.

Sabe-se, porém, que a quantidade de água requerida pela cultura varia entre 380 e 600 mm durante seu ciclo e de acordo com seu estágio de desenvolvimento (Sans et al., 2003). Desta forma, pode-se considerar que a baixa disponibilidade hídrica afetou negativamente o desenvolvimento das plantas de sorgo na rebrota, resultando numa menor produção de caldo nos colmos em relação à safra anterior.

No cultivo da safra as cultivares não diferiram estatisticamente com relação à taxa de extração do caldo obtida (Tabela 2). Porém, na rebrota a cultivar BRS 511 apresentou o maior rendimento de caldo, sendo significativamente superior à cultivar BD 1615, com 50,89% e 46,63%, respectivamente. Já a cultivar BD 5404 não diferiu estatisticamente das demais.

Em relação ao teor de sólidos solúveis totais (°Brix), obtido em função das cultivares, foi observado que a cultivar BRS 511 apresentou o maior valor de °Brix no caldo, com valor médio de 15,4%. No entanto, apesar de apresentar um valor de °Brix menor (13,46%), a cultivar BD 5404 apresentou o maior teor de açúcares totais no caldo, sendo estatisticamente superior às demais (Tabela 3). A medida dos sólidos solúveis aparentes no caldo do sorgo é denominada °Brix e estes são classificados em açúcares (sacarose, glicose e frutose, principalmente) e em não açúcares

orgânicos (proteína, fenólicos, amido, cera, etc) e não açúcares inorgânicos (K_2O , PO_4^{-3} , MgO , CaO , Na_2O , etc) (Walford, 1996). Como o °Brix expressa o teor de todos os sólidos solúveis presentes no caldo, pode-se concluir que a cultivar BRS 511 apresenta maior concentração de outros sólidos solúveis e menor concentração de açúcares no caldo quando comparada à cultivar BD 5404. Ou seja, o maior valor de °Brix não está diretamente relacionado com maior teor de açúcares totais.

Vale a pena ressaltar que a cultivar BRS 511 apresentou os maiores valores de °Brix e foi também a cultivar com maior concentração de sacarose (%) no caldo (Figura 3), demonstrando que pode haver uma correlação positiva entre o teor de sacarose e o valor do °Brix. Esses resultados corroboram com Kawahigashi et al. (2013), que observou que o aumento do °Brix ocorre principalmente pelo aumento na concentração de sacarose no caule. Portanto, em geral, valores mais elevados de °Brix são correlacionados com maior teor de sacarose presentes no caldo de sorgo.

Os valores médios encontrados para os teores de açúcares totais das cultivares analisadas neste estudo (Tabela 3) corroboram os relatados por Almodares e Hadi (2009) que encontraram valores variando de 80 a 120 g L⁻¹. Porém, segundo Fernandes et al. (2014), para obtenção de uma produção econômica

e sustentável de etanol a partir do sorgo sacarino é exigido um nível mínimo no teor de açúcares totais de 140 g L^{-1} , pois assim a levedura converte completamente essa concentração de açúcar em etanol em cerca de 8 horas. Em concentrações mais baixas do que 140 g L^{-1} podem ocorrer ganhos de eficiência inferiores em comparação com cana-de-açúcar, resultando num aumento dos custos de produção industrial para a produção de etanol. Desta forma, as cultivares analisadas apresentaram, ao final do ciclo, um nível de teor de açúcares totais abaixo do nível crítico desejado.

Entretanto, é importante ressaltar que os resultados apresentados devem-se principalmente às condições de cultivo e época de colheita das cultivares, pois em sorgo sacarino, ao contrário da cana-de-açúcar, o acúmulo de açúcares ocorre após o florescimento e, desta forma, a maior precocidade das cultivares é

desejável para o setor sucroalcooleiro (Martins et al., 2017). Segundo Prasad et al. (2007), o tipo de sorgo e as condições ambientais são os principais fatores que influenciam o ótimo tempo de maturação, sendo necessário monitorar continuamente a maturação de cada tipo de planta nas condições ambientais de cultivo. Teixeira et al. (2017), avaliando a cultivar BRS 511, afirmaram que os aumentos na concentração de açúcares foram mais expressivos a partir da floração, a concentração total de açúcares aumentou desde o pré-florescimento até a fase de massa dura quando atingiu 147 g L^{-1} , TS e apresentou redução após o estágio de massa dura, registrando 112 g L^{-1} no estágio de senescência.

Além disto, é importante ressaltar a ocorrência de acamamento de plantas nas parcelas experimentais, principalmente no cultivo das plantas na rebrota,

Tabela 3. Valores médios do teor de sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) e do teor de açúcares totais (g L^{-1}), de acordo com a cultivar de sorgo adotado.

Cultivar	$^{\circ}\text{Brix}$ (%)	Açúcares totais (g L^{-1})
BD 5404	13,46 b	115,63 a
BRS 511	15,38 a	90,25 b
BD 1615	12,25 b	76,84 b

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, não diferem entre si aos níveis de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

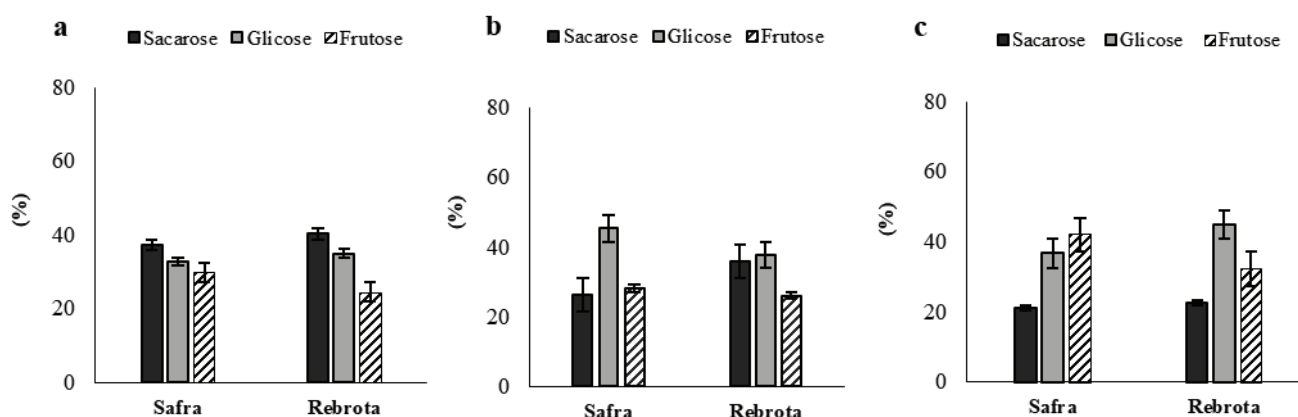


Figura 3. Participação dos açúcares: sacarose, glicose e frutose (%) no caldo do sorgo, em duas épocas de corte: (a) na cultivar BRS 511, (b) na cultivar BD 5404 e (c) na cultivar BD 1615.

o que explica a queda na qualidade para a maioria das cultivares. Resultado semelhante foi observado por Fernandes et al. (2014) na avaliação da curva de maturação de quatro cultivares de sorgo sacarino, quando uma das cultivares acamou e apresentou queda de qualidade em detrimento as demais. O acamamento é outra característica de grande importância em sorgo sacarino, pois a sua ocorrência reduz a concentração de açúcar e produção de etanol, concomitantemente, além de aumentar as impurezas durante a colheita (Teixeira et al., 2017).

Quando analisados os teores de sólidos solúveis totais (°Brix) em relação às épocas de corte, observou-se que a safra apresentou um resultado significativamente superior à rebrota (Tabela 4). Porém, pode-se observar que o teor de açúcares totais não diferiu entre a safra e a rebrota, demonstrando que a produção de açúcares no caldo do sorgo sacarino é uma característica intrínseca de cada cultivar (Tabela 4). Além disto, há genótipos mais estáveis quanto à qualidade de açúcares, como o híbrido BRS511, que manteve os teores de açúcares totais (sacarose, glicose e frutose) estáveis nas duas safras. Os outros dois híbridos (BD 5404 e BD 1615) apresentaram variação dos teores na rebrota em relação à safra (Figura 3).

Apesar da produção de açúcares totais não ter diferido entre as safras, a taxa de extração do caldo e a quantidade de colmos produzidos foram significativamente inferiores na rebrota, o que implica em menor rendimento industrial. Desta forma, o uso da rebrota para este fim é considerado inviável do ponto de vista quantitativo, podendo resultar em baixos

rendimentos industriais. A baixa taxa de extração de caldo observada na rebrota foi devida ao teor de água da planta que foi altamente influenciado por fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e a baixa precipitação durante o cultivo. Uma planta menos hidratada terá menor quantidade de caldo, podendo até mesmo apresentar uma maior concentração de açúcares devido ao menor teor de água e não devido a aumentos nos açúcares. A umidade do ambiente não está diretamente relacionada aos rendimentos de sorgo sacarino; no entanto, pode ser usada indiretamente pois afeta características industriais que são analisadas para a definição do tempo de colheita e quantidade do caldo extraído (Teixeira et al., 2017). Em situações de excesso de chuva há aumento dos teores de extração no sorgo sacarino e também na cana.

A proporção de componentes dos açúcares totais (sacarose, glicose e frutose) presente no caldo das cultivares de sorgo (Figura 3) demonstraram variações. Pode-se observar que a cultivar BRS 511 apresentou concentrações mais elevadas de sacarose, sendo este o principal componente dos açúcares totais, seguido de glicose e frutose, nas duas épocas de corte (Figura 3). Esses resultados corroboram os dados de Fernandes et al. (2014), Guigou et al. (2011) e Zhao et al. (2009) que encontraram a mesma tendência nas concentrações de açúcares presentes no caldo do sorgo sacarino, sendo maior a concentração da sacarose.

As cultivares BD 5404 e BD 1615 apresentaram os menores teores de sacarose comparativamente aos demais açúcares presentes no caldo, nas duas épocas de corte (Figura 3). A cultivar BD 5404 apre-

Tabela 4. Valores médios do teor de açúcares totais (g L^{-1}) e °Brix (%), de acordo com a época de corte adotada.

Época de corte	°Brix (%)	Açúcares totais (g L^{-1})
Safra	14,94 a	94,35 a
Rebrota	12,44 b	94,13 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

sentou as maiores concentrações de glicose, tanto na safra como na rebrota. Estes resultados corroboram os relatados por Gomez et al. (2011), que encontraram cultivares de sorgo com maior quantidade de glicose. Por outro lado, a cultivar BD 1615 apresentou concentrações de açúcares variáveis de acordo com a época de corte, apresentando maior concentração de frutose na safra e de glicose na rebrota.

A composição química do caldo de sorgo sacarino difere da do caldo da cana-de-açúcar, principalmente na concentração de sacarose. No sorgo a sacarose representa cerca de 8 a 13% dos açúcares totais, enquanto que na cana a concentração deste açúcar é maior, com valores de 14 a 22%. O sorgo sacarino apresenta uma concentração relativamente alta de açúcares redutores - glicose e frutose - maiores do que na cana, portanto tem-se uma concentração semelhante de açúcares totais entre os caldos (Barcelos et al., 2012). É importante ressaltar que, como em qualquer processo agroindustrial, a composição da matéria-prima influencia diretamente o rendimento da produção de etanol. Nesse caso, o fator mais importante é a quantidade e composição de açúcares (sacarose, glicose e frutose) presentes no caldo (Kawahigashi et al., 2013).

Os monossacarídeos (glicose e frutose) são benéficos para a produção de etanol, pois são diretamente fermentados através da fermentação alcoólica. Contrariamente, a sacarose precisa ser desdobrada pelas leveduras em duas moléculas de açúcar invertido para ser transformada em etanol, através do complexo processo bioquímico. Deste modo, para a produção de etanol o efeito repressivo da frutose e da glicose sobre a cadeia respiratória é benéfico (Ravaneli et al., 2006). Na produção de açúcar a presença de glicose e frutose (redutores) no caldo não é desejada, mas a presença da sacarose é essencial, pois este dissaca-

rido é o único açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação. Por isto, cultivares de sorgo sacarino com baixo teor de sacarose em relação aos açúcares redutores não são utilizados na produção de açúcar porque implica em um rendimento bem inferior ao da cana.

Os híbridos de sorgo sacarino estudados apresentaram variações nos teores dos açúcares totais do caldo. O híbrido BRS 511 apresentou as maiores concentrações de sacarose em relação aos açúcares redutores nas duas safras, resultados similares aos de Teixeira et al. (2017) e Almodares e Hadi (2009) que registraram maior teor de sacarose no caldo da cultivar BRS 511, e teores de glicose e frutose na relação de aproximadamente 1: 1 entre si.

Desta forma, a utilização do sorgo na produção de etanol é benéfica devido aos altos teores de açúcares redutores presentes no caldo, sendo este direcionado apenas para este fim, diversamente da cana-de-açúcar. Além disto, por ser colhido de março a abril o sorgo pode complementar a oferta de matéria-prima no período de entressafra da cana-de-açúcar, quando há uma diminuição desta nas usinas e grande ociosidade da maquinaria.

Conclusões

Conclui-se que as condições climáticas da safra agrícola afetam os caracteres agronômicos e industriais do sorgo sacarino, principalmente a baixa disponibilidade precipitação local. A quantidade de açúcares produzidos no colmo de sorgo não varia em função do ciclo, porém a taxa de extração do caldo e o teor de sólidos solúveis (°Brix) variam em função da safra. A cultivar BRS 511 apresentou o melhor desempenho agronômico visando à produção de etanol. A produção total de colmos e os volumes de caldos

foram maiores para todas as cultivares no cultivo da safra. Contudo, a qualidade dos açúcares (% sacarose, % glicose e % frutose) produzidos em ambas as safras variam de acordo com a cultivar.

Agradecimentos

À CAPES, CNPq e a FAPEMIG pelas bolsas de estudo concedidas aos estudantes de mestrado e iniciação científica, integrantes do Programa Sorgo da UFV; e a Telma Fallieri Nascimento Queiroz (*in memoriam*) pela ajuda na condução dos trabalhos.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim anual de preços**: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional. Rio de Janeiro, 2014.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- BARCELOS, C. A.; SANTA ANNA, L. M. M.; MAEDA, R. N.; PEREIRA JÚNIOR, N. Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção de bioetanol. **Boletim Técnico da Petrobras**, v. 54, n. 3, p. 29-46, 2012.
- CALVIÑO, M.; MESSING, J. Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 23, n.3, p. 323-329, 2012. DOI: [10.1016/j.copbio.2011.12.002](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.12.002).
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis**: ano 2016. Brasília, DF, 2017.
- FERNANDES, G.; BRAGA, T. G.; FISCHER, J.; PARRELLA, R. A. C.; RESENDE, M. M.; CARDOSO, V. L. Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation. **Renewable Energy**, Oxford, v. 71, p. 518-524, 2014. DOI: [10.1016/j.renene.2014.05.033](https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.033).
- GOMEZ, F. J. D.; HERNANDEZ, C. C.; CARRILLO, E. P.; ROONEY, W. L.; SERNA-SALDIVAR, S. O. S. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 3, p. 611-616, 2011. DOI: [10.1016/j.indcrop.2010.12.022](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.022).
- GUIGOU, M.; LAREO, C.; PÉREZ, L. V. LLUBERAS, M. E.; VÁZQUEZ, D.; FERRARI, M. D. Bioethanol production from sweet sorghum: evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3058-3062, 2011. DOI: [10.1016/j.biombioe.2011.04.028](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.028).
- KAWAHIGASHI, H.; KASUGA, S.; OKUIZUMI, H.; HIRADATE, S.; YONEMARU, J. Evaluation of Brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. **Japanese Society of Grassland Science**, v. 59, p. 11-19, 2013. DOI: [10.1111/grs.12006](https://doi.org/10.1111/grs.12006).
- KHALIL, S. R. A.; ABDELHAFEZ, A. A.; AMER, E. A. M. Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 60, n. 2, p. 317-324, 2015. DOI: [10.1016/j.aogas.2015.10.005](https://doi.org/10.1016/j.aogas.2015.10.005).
- LOURENÇO, M. E. V.; MASSA, V. M. L.; PALMA, P. M. M.; RATO, A. E. M. Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 103-110, 2010.
- MARTINS, A. M.; PARRELLA, R. D. C.; LOPES, D. D. C.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, N. N. L. D.; NEVES, W. D. S.; SILVA, A. Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 2, p. 217-231, 2017. DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p217-231](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p217-231).

- MASSON, I. S. **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.
- MAY, A.; CAMPANHA, M.; SILVA, A.; COELHO, M.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; PEREIRA FILHO, I. A. Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 3, p. 278-290, 2012.
DOI: [10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p278-290](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p278-290).
- PRASAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H. C. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 50, n. 1, p. 1-39, 2007.
DOI: [10.1016/j.resconrec.2006.05.007](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.007).
- RAVANELI, G. C.; MADALENO, L. L.; PRESOTTI, L. E.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug infestation in sugarcane affects ethanolic fermentation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 6, p. 543-546, 2006. DOI: [10.1590/S0103-90162006000600004](https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000600004).
- REIS, R. M. **Produtividade e manejo de plantas daninhas no sorgo sacarino cultivado em diferentes arranjos de plantas**. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.
- SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 80).
- TEIXEIRA, T. P. M.; PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. dos S.; PARRELLA, R. A. da C.; PAIXÃO, M. Q. da; BIESDORF, E. M. Redefinition of sweet sorghum harvest time: new approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 579-586, 2017.
DOI: [10.1016/j.indcrop.2017.09.002](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.002).
- WALFORD, S. N. Composition of cane juice. In: ANNUAL CONGRESS SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION, 70.; 1996, Durban. **Proceedings...** Durban: South African Sugar Technologists' Association, 1996. p. 265-266.
- ZHAO, Y. L.; ABDUGHANI, D.; YOSEF, D.; WANG, X.; AMARJAN, O.; XIE, G. H. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1/2, p. 55-64, 2009.
DOI: [10.1016/j.fcr.2008.10.006](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.006).