



Híbridos de Milho Afetam a Quantidade de Etanol Produzida no Cerrado do Centro-Oeste Paulista

Eduardo do Valle Lozano ¹
Lucas Conegundes Nogueira ²
Giovanni Uema Alcântara ³
Gustavo Henrique Gravatin Costa ⁴

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro vem utilizando o milho para a produção de etanol por apresentar ciclo vegetativo de 120 dias, cultivado em áreas de renovação de canaviais, e seus grãos podem ser armazenados por longos períodos de tempo. Neste sentido, o objetivo da pesquisa foi avaliar as características agrônomicas de três híbridos de milho, e os reflexos do processamento dos grãos para a produção de etanol. O experimento foi instalado no município de Agudos no Estado de São Paulo na safra 2016/2017. A área experimental foi de 8.000m², com 12 parcelas de 450m² cada. Utilizou-se os híbridos 2B587PW, 2B633PW e 2B810PW. O plantio foi realizado em outubro de 2016 e a colheita ocorreu aos 150 dias após a semeadura (DAS). Durante o desenvolvimento da cultura (45, 75, 90 e 110 DAS) avaliou-se os parâmetros biométricos. Os grãos foram colhidos mecanicamente, triturados e imersos em água, adicionando-se a enzima α -amilase, originando o mosto. Os mostos foram submetidos à inoculação pela levedura industrial BG-1. Os híbridos 2B587PW, 2B633PW e 2B810PW resultaram em 3,65, 3,74 e 2,94 t ha⁻¹ de grãos, respectivamente. Observaram-se valores médios de 430 L de etanol recuperados por ha processado. Conclui-se que o híbrido 2B633PW é o mais indicado para o cultivo no centro-oeste paulista, por apresentar maior produtividade de grãos, bem como há reflexos dos híbridos de milho processados sob o desempenho fermentativo da levedura BG-1, sendo o 2B810PW o que resulta em maior eficiência fermentativa e quantidade de etanol produzida por tonelada de milho processada.

Palavras-Chave: *Zea mays*; *Saccharomyces cerevisiae*; Bioenergia; Setor Sucroenergético.

¹ Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Sagrado Coração, USC, Brasil. eduardovallelozano@hotmail.com

² Mestrado em andamento em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG, Brasil. lukas_conegundes@hotmail.com

³ Graduação em Engenharia Química pelo Centro Universitário do Sagrado Coração, UNISAGRADO, Brasil. gigioalcantara@hotmail.com

⁴ Doutorado em Microbiologia Agropecuária pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Docente na Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-3723-2393>. gustavo.costa@uemg.br

O setor sucroenergético está entre os mais importantes do cenário econômico brasileiro, responsável pela produção de açúcar, etanol e energia elétrica. Entretanto, esse se apresenta estagnado nos últimos dez anos, sendo que a produção de cana-de-açúcar saltou de 600 milhões, para somente 641 milhões de toneladas (Unicadata 2019).

Nesse contexto, observamos demanda por etanol superior à atual oferta. Em 2009 o país produzia aproximadamente 25,6 bilhões de litros de etanol, sendo que em 2018, o valor saltou para 27,8 bilhões de litros – consolidando aumento de 6,2% de etanol produzido. Deve-se destacar que nesse mesmo período a frota de veículos automotivos no país aumentou de 24,9 milhões para 37,5 milhões de automóveis – aumento consolidado de 33%. Esses fatores tem feito o país importar esse biocombustível para suprimento de demanda interna (Unicadata 2019).

Uma alternativa seria aumentar a quantidade de área de cana-de-açúcar plantada, que resultaria em maior oferta de matéria-prima. Porém, o aumento de área pode resultar em impactos sociais, econômicos e ambientais indesejáveis para o Brasil (Hall et al. 2009). Desta maneira, a solução para o impasse seria a utilização de culturas alternativas, tal como o milho que demonstra grande potencial para a produção de etanol. Deve-se destacar que em 2018, a área destinada ao plantio desta cultura foi de 17 milhões de hectares (CONAB 2019). O milho no Brasil é cultivado em quase 5,6 milhões de propriedades rurais, sendo utilizado, principalmente, para a produção animal, chegando à alimentação humana de forma indireta como carne bovina, suína, carne de aves, peixes, ovos, entre outros (IBGE 2017).

Entretanto, o cultivo de milho para a produção de etanol pode ser realizada nas áreas de renovação de canaviais, visto que o ciclo vegetativo da cultura é de aproximadamente 120 dias, e as janelas de plantio ocorrem entre setembro e dezembro (safra) e janeiro a abril (safrinha) (Aguilar et al. 2014). Deve-se destacar que esse é o período o qual as unidades agroindustriais realizam a “reforma” de 20% dos talhões de cana-de-açúcar, objetivando a renovação do canavial que passou por sucessivos ciclos no campo e apresenta baixa produtividade – em média inferior a 60 t ha⁻¹ no centro-sul e 45 t ha⁻¹ no nordeste do país (CONAB 2019). Nesse processo, cabe-se destacar que a área pode ficar em pousio por até seis meses, propiciando o cultivo de milho (Cruz et al. 2010).

Apesar da produção de etanol a partir do milho já ser amplamente utilizada e difundida em países como Estados Unidos, Canadá e China, no Brasil este novo modelo de produção é recente, sendo utilizado desde 2013. Nas unidades agroindustriais brasileiras, o milho pode ser utilizado de duas maneiras: a primeira consiste no cultivo dessa matéria-prima ao longo do ano, sendo os grãos armazenados em silos e processados ao final da safra de cana (novembro e dezembro no centro-sul). A

segunda maneira é o processamento conjunto do milho com a cana-de-açúcar nas unidades industriais. Cabe destacar que as usinas que processam cana e milho denominam-se “usinas flex” (Neto 2014)

O processamento industrial do milho para produção de etanol, inicia-se com a trituração dos grãos até granulometrias inferiores à 2mm, seguido de adição de água, enzima α -amilase e elevação da temperatura até ebulição, formando uma pasta. A seguir, esta é resfriada até 30°C, ajusta-se o pH para 4,5 a concentração de sólidos solúveis para 16% (mosto). Ao mosto, adiciona-se a enzima amiloglicosidase, e a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Após decréscimo da concentração de açúcares para valores inferiores a 1%, encerra-se a fermentação. O vinho é direcionado a colunas de destilação para recuperação do etanol (Mosier and Lileji 2014).

Entretanto, não há informações referentes aos rendimentos obtidos pelos diferentes híbridos de milhos utilizados no Brasil objetivando-se a produção de etanol. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo de três híbridos de milho no cerrado paulista, bem como os reflexos do processamento dos grãos sobre a produção de etanol.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na fazenda experimental da Universidade Sagrado Coração (USC) localizado no município de Agudos no Estado de São Paulo (22°23'05”S 48°59'12”W) na safra 2016/2017. O delineamento experimental utilizado nesta etapa foi em blocos ao acaso, com três tratamentos (híbridos de milho) e quatro blocos. A área experimental utilizada foi em latossolo amarelo distrófico, e estava em pousio por seis anos e apresentava 8.000m². Essa foi dividida em 04 blocos e 12 parcelas de 450m² cada. Foram utilizados três híbridos precoces de milho amplamente plantados no Estado de São Paulo 2B810PW, 2B633PW e 2B587PW.

Em 18 de outubro de 2016 realizou-se calagem do solo para a correção do pH (1000 kg ha⁻¹), considerando-se a análise de solo prévia (Tabela 01). Em 02/12/2016 foi aplicado Glifosato na dosagem de 04 L ha⁻¹ e em 12/12/2016 a área foi roçada para eliminação de plantas daninhas. Em 16/12/2016 realizou-se processo de aragem e gradagem objetivando o preparo do solo. Em 17/12/2016 os híbridos foram semeados utilizando-se semeadora de três linhas acopladas a trator, com taxa de 4,0 sementes m⁻¹ e espaçamento de 0,75m entre linhas, totalizando stand final de 53 mil plantas ha⁻¹.

A adubação do milho foi realizada em duas etapas. A primeira ocorreu juntamente ao plantio, aplicando-se 180 kg ha⁻¹ de 04-14-08. A segunda adubação ocorreu 30 dias após a semeadura (DAS), utilizando-se 500 kg ha⁻¹ de 20-05-20. Para controle de plantas daninhas, aplicou-se Atrazina (500 g L⁻¹) na dosagem de 2 L ha⁻¹ aos 40 DAS, além de realização de capina manual. Deve-se destacar ainda que

durante o desenvolvimento da planta, houve índice de precipitações da ordem de 1.094,4 mm, além de temperatura máxima média de 29,3 °C e temperatura mínima média de 18,8 °C (Figura 01).

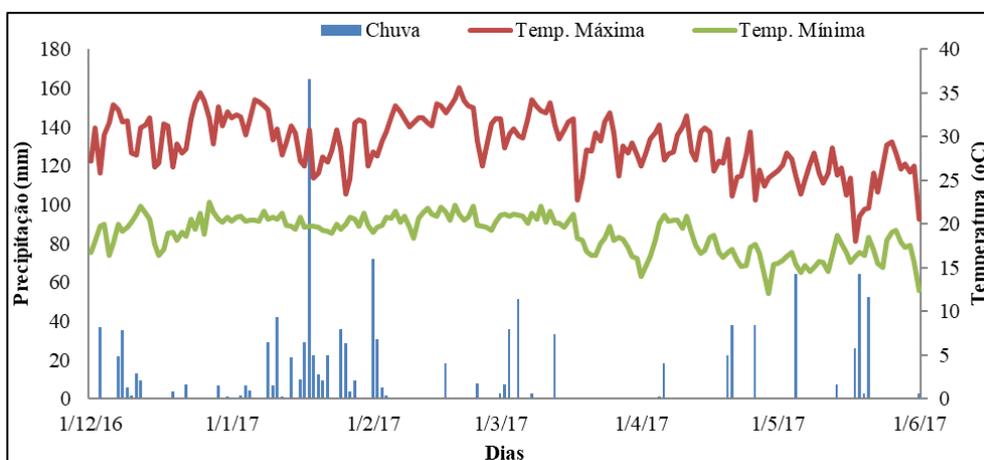
Tabela 01. Análise de solo da área experimental antes da instalação do experimento. Bauru – SP 2016/2017.

0-20cm											
P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	S.B.	V	m
mg dm ³	g dm ³				mmolc dm ³					---	%
17	8	5,1	1,1	12	4,0	23	0	40,1	17,1	43	0
20-40cm											
P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	S.B.	V	m
mg dm ³	g dm ³				mmolc dm ³					---	%
3	8	5,0	1,2	10	4,0	26	0	41,2	15,2	37	0

M.O. – Matéria Orgânica. CTC – Capacidade de Troca Iônica. S.B. – Soma de Bases. V – Saturação de Bases. m – Saturação de Alumínio. Métodos de extração: P, K – Resina; M.O. - S. Sulforosa; pH - Sol CaCl₂; Ca, Mg, Al – KCl; H+Al – Tampão SMP.

Fonte: Autores.

Figura 01. Representação gráfica dos índices pluviométricos, temperatura máxima e temperatura mínima nos períodos de Dezembro de 2016 à Junho de 2017.



Fonte: IPMet (2017).

Durante o desenvolvimento dos híbridos de milho (45, 75, 90 e 110 DAS), foram avaliadas 10 plantas por parcela, considerando-se os seguintes aspectos biométricos: altura de planta (m); altura da interseção da primeira espiga (m) e diâmetro da base do colmo (mm). As plantas integrais foram repicadas em picador forrageiro, pesando-se 100 g de biomassa (Lozano et al. 2018). Essa foi levada a estufa a 65°C por 48 horas, determinando-se o teor de umidade da planta (%). As espigas das 10 plantas foram debulhadas manualmente e os grãos pesados para determinação do rendimento em grãos (t ha⁻¹). A seguir, pesou-se 1000g desses grãos, sendo esses levados à estufa por 65°C até peso constante, para determinação do teor de umidade dos grãos (%).

Aos 150 DAS, realizou-se a colheita mecanizada das espigas de cada parcela, sendo essas debulhadas e, os grãos prontamente processados. Esses foram triturados utilizando triturador mecânico com potência de 1,5 cv, e posteriormente foram classificados através de peneiramento em um Peneirador I-1016-A da Contenco®. Utilizou-se para o experimento a granulometria de 1,18mm.

Depois de triturados, os grãos foram encaminhados para o Laboratório de Biomassa e Bioenergia da USC. Nessa etapa o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três tratamentos (híbridos) e cinco repetições.

Os grãos foram imersos em água acidulada (pH 5,5) na proporção de 200 g L⁻¹ e aquecidos a 100°C (cozimento), formando uma pasta. Na sequência, a pasta foi resfriada a 80-90°C através de processo de agitação mecânica, dosando-se a enzima α -amilase *Liquozyme Supra 2.2X*, que apresentava poder catalítico de 300 KNU g⁻¹. Essa ficou em repouso por aproximadamente 30 minutos para ação da enzima. O material foi peneirado (malha de 20 mesh) para remoção dos sólidos em suspensão, e submetido a ajuste de pH para 4,5 e temperatura a 30-32°C (agitação mecânica), originando o mosto. Esse foi caracterizado quanto ao Brix (leitura direta em refratômetro), açúcares redutores totais (Miller 1959), amido (Chavan, Kumar, and Jadhav 1991), acidez total (ICUMSA 2017) e compostos fenólicos totais (Folin & Ciocalteu 1927).

Na análise de açúcares redutores totais por DNS (Ácido 3,5-dinitrosalicílico), o mosto foi diluído na proporção de 1:1 com HCl (2N) e aquecido até 100°C, seguido de neutralização com NaOH (2N). Posteriormente, coletou 1 mL dessa amostra e adicionou-se 1 mL do reagente DNS, que foram aquecidos e diluídos 03 vezes para leitura da absorbância no espectrofotômetro UV com 540 nm (Miller 1959).

Em relação a análise de amido, a amostra foi diluída 05 vezes com água destilada e adicionada 1,2 mL de ácido acético (2N), 0,25 mL de KI 10% e 2,5 mL de KIO₃, seguido de leitura em espectrofotômetro UV a 570 nm (Chavan et al. 1991).

Na análise dos compostos fenólicos, a amostra foi diluída em 10 vezes com água destilada, seguido de adição de 2,5 mL de reagente Folin (diluído 10 vezes) e 2 mL de Carbonato de Sódio 7,5% que resultou na formação de complexo azul que foi quantificado em leitura de absorbância a 765 nm (Folin and Ciocalteu 1927).

Os mostos foram submetidos à inoculação pela levedura industrial BG-1 na concentração de 10-13% do volume a ser fermentado (400mL de mosto para 32-40g de levedura). As fermentações foram realizadas em erlenmeyer, sendo estas mantidas em BOD a 32°C (Macri et al. 2014) Previamente

a adição da levedura, foi dosada a enzima glucoamilase que apresentava poder catalítico de 300 KNUg⁻¹ (Ferreira 2015).

Ao longo do processo fermentativo foi avaliado o desempenho da levedura, através de análises microscópicas propostas por ICUMSA (2017), sendo estas: viabilidade celular, brotamento e viabilidade de brotos. Deve-se destacar que o tempo médio de fermentação foi de 17 h. No vinho foram quantificados os teores de açúcares redutores residuais totais (Miller 1959), pH, ácidos totais e teor alcoólico Icumsa (2017). Calculou-se a eficiência fermentativa (Fernandes 2003). A partir da quantidade de etanol no vinho, quantidade de milho utilizada para o preparo do mosto, e quantidade de grãos produzidos ha⁻¹, calculou-se o volume de etanol produzido por t de grão processado, e quantidade de etanol produzido por ha cultivado.

Os resultados foram analisados pelo teste F, e as médias comparadas segundo teste de Tukey (5%), utilizando o programa AgroEstat (Barbosa and Maldonado Júnior 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ASPECTOS AGRONÔMICOS

Na Tabela 02, estão apresentados os dados biométricos de altura, diâmetro da base, número de espigas e altura solo-espiga dos três híbridos de milho, amostrados em 04 épocas.

Tabela 02. Valores médios obtidos para altura, diâmetro do colmo, número de espigas e altura de inserção da espiga de três híbridos de milho, amostrados em quatro épocas. Bauru-SP. Safra 2017/2018.

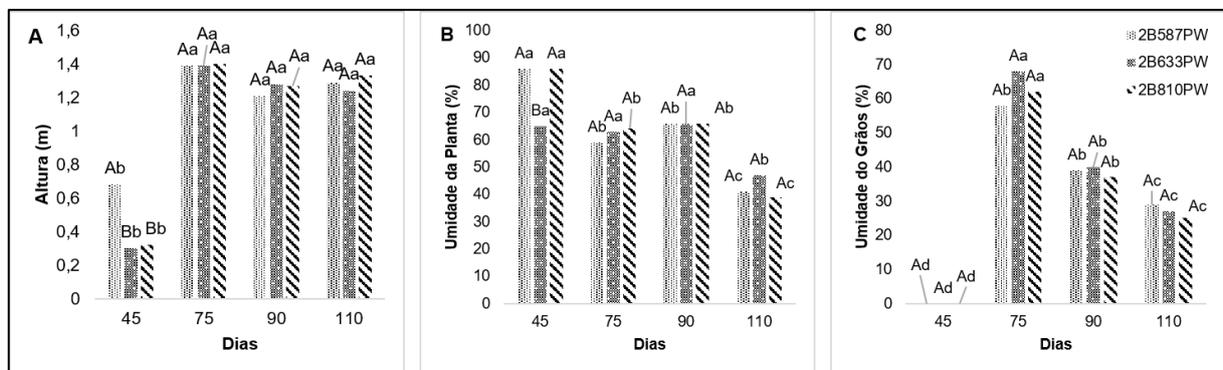
	Altura (m)	Diâmetro do colmo (cm)	Número de Espigas	Altura Espiga (cm)
Híbridos (H)	1,21ns	14,88**	1,55NS	83,98**
2B587PW	1,14a	2,04a	1,02a	27,36c
2B633PW	1,05a	1,86b	0,98a	32,89b
2B810PW	1,08a	1,73b	0,88a	48,01a
DMS	0,18	0,17	0,26	5,06
CV (%)	15,51	8,60	24,89	12,92
Épocas (E)	123,27**	23,05**	34,05**	1295,61**
45	0,43b	1,70c	0,00b	0,00d
75	1,39a	2,14a	1,35a	44,99b
90	1,25a	1,92b	1,33a	37,75c
110	1,29a	1,74c	1,16a	61,62a
DMS	0,15	0,16	0,42	2,80
CV (%)	12,61	7,69	39,94	6,94
Inter HxE	2,83*	2,19ns	1,87ns	1,22ns

Letras diferem na coluna segundo teste de Tukey (5%). ns – não significativo. *significativo ao nível de 5% de probabilidade. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS – Desvio Mínimo Significativo. CV – Coeficiente de Variação. Inter HxE – Interação entre híbridos e épocas.

Fonte: Autores.

Observou-se interação para altura dos híbridos, sendo essa apresentada na Figura 2A. Aos 45DAS, o híbrido 2B587PW obteve maior altura em relação aos demais. Entretanto, dos 75 DAS em diante, período em que houve a emissão da panícula, ocorreu cessão do crescimento da planta, e todos os híbridos apresentaram os mesmos valores (1,2 m). Deve-se destacar que a cultura não atingiu seu máximo potencial, uma vez que Cardoso et al. (2014), aponta que os híbridos 2B587PW e 2B810PW podem atingir 2,3 e 2,25m respectivamente, em condições de cerrado. O fato de que os híbridos utilizados na pesquisa apresentaram valores para altura menores do que os relatados podem ser decorrentes das condições da área experimental utilizada, que embora tenha sido adubada e cultivada, essa estava em pousio por seis anos, o que pode ter interferido negativamente em suas características físico-biológicas. Entretanto, deve-se ressaltar que durante o período experimental foi disponibilizado a cultura mais que 600 mm de água, bem como temperatura média entre 24 e 30°C, condições essas ideais para o desenvolvimento da cultura (Landau, Magalhães, and Guimarães 2019).

Figura 02. Interação da Altura (A), Umidade da Planta (B) e Umidade do Grão (C) entre os híbridos de milho.



Fonte: Autores.

Para o diâmetro do colmo não houve disparidade significativa entre os híbridos estudados, uma vez que o menor valor foi de 1,73cm e o maior de 2,04cm. O aumento do diâmetro do colmo foi de acordo com o crescimento da planta, atingindo seu ápice aos 75 dias após a semeadura. Deve-se considerar que o stand interfere no diâmetro do colmo, uma vez que maior número de plantas ocasiona a competição por luz e espaço. Também, fator está relacionado com o acamamento/tombamento, com menores valores para o diâmetro do colmo, menor é a sustentação da planta (Galvão, Borém, and Pimentel 2015).

O híbrido 2B587PW apresentou superioridade no número de espigas, com a média de 1,02 espigas por planta, seguido pelo 2B633PW, com 0,98 espigas. Já o 2B810PW, obteve significativa redução nesse parâmetro, com valor médio de 0,88 espigas. Esses valores são próximo aos relatados

por Shioga et al. (2016), que estudando o desempenho dos híbridos Dow 2A810PW e 2A633PW, em 09 diferentes ambientes de produção do estado do Paraná, obtiveram médias de 1,0 espiga por planta.

Além disso, deve-se destacar ainda que a altura entre o solo e a espiga variou entre os híbridos, sendo o 2P810PW com maiores valores (48,01 cm), seguido do 2B633PW (32,89 cm) e 2B587PW (27,36 cm). A avaliação da altura solo-espiga aponta que o híbrido 2P810PW teve a maior distância entre solo e espiga entre as variedades (48,01 cm), seguido pelo 2B633PW (32,89 cm) e 2B587PW (27,36 cm). Esse fator está relacionado ao acamamento, devido à altura da espiga interferir no centro de gravidade das plantas (Vilela et al. 2012). Estudos realizados por Cardoso et al. (2014) mostram que esse parâmetro pode chegar até 1,05 m para o híbrido 2B587PW e 1,07 m para o 2B810PW.

Assim, pode-se inferir que o ambiente de produção está diretamente relacionado ao desempenho do híbrido a ser cultivado, uma vez que na região de Bauru-SP o híbrido 2B810PW resultou em menor quantidade de espigas por planta, bem como a distância entre o solo e a espiga foi menor, em relação aos ambientes relatados na literatura.

Avaliando-se a umidade dos grãos, também se determinou interação entre os parâmetros, sendo essa apresentada na Figura 2C. Assim como o comportamento da umidade dos colmos e folhas (Figura 2B), há significativo decréscimo da umidade dos grãos, em decorrência de maturação fisiológica da cultura (Taiz and Zeiger 2009). Contudo, nota-se que o híbrido 2B587PW apresentou teores de umidade similares entre os 75 e 90 DAS, enquanto os demais, a curva de secamento dos grãos foi crescente. Segundo Shioga et al. (2016), a umidade do 2B633PW é reduzida a até 16,9%. Também relata para o híbrido 2B810PW o valor de 20,1% de umidade. Esses números podem variar de acordo com o tempo em que os grãos demoram a ser colhidos, perdendo umidade ao decorrer do tempo na lavoura. Deve-se ressaltar a importância da umidade dos grãos pela interferência na colheita, ao separá-los da espiga. Quando apresentam altos índices de umidade, a debulha se torna difícil, podendo danificar os grãos e deixá-los expostos a fatores microbiológicos. Outro ponto a se destacar é que apesar da última biometria ter sido realizada aos 110 DAS, a colheita somente foi realizada aos 150 DAS, quando os grãos apresentavam valores inferiores a 20% de umidade.

A quantidade de toneladas de colmos por hectare apresentada pelos três híbridos variou de 19,21 t (híbrido 2B810PW) a 24,27 t (2B587PW). Esse fator também está relacionado ao acamamento e tombamento de plantas, pela quantidade de fibra apresentada.

O rendimento dos grãos foi maior no híbrido 2B633PW, que obteve 3,74 t ha⁻¹, seguido pelo híbrido 2B587PW que produziu 3,65 tha⁻¹ e por último o 2B810PW, que atingiu 2,94 t ha⁻¹. Os

resultados se mostram significativamente diferente dos encontrados por Shioga et al. (2016), que obteve para o 2B633PW o rendimento de 10,8 t ha⁻¹. Além das condições da área experimental, outra justificativa para o rendimento de grãos entre os ensaios pode ser derivada do ambiente de produção a que os híbridos foram submetidos, sendo ambiente “2A” para o Paraná, e ambiente “2C” para Bauru. Outro ponto a se destacar é a queda de produtividade de grãos por hectare dos 90 para os 110 DAS. Esse fato pode ser decorrente do maior secamento, que diminuiu o peso dos grãos e, conseqüentemente, resultou em menor produtividade.

PRODUÇÃO DE ETANOL

A Tabela 03 apresenta os valores de °Brix, pH, Amido, ART e Compostos Fenólicos Totais (CFT) dos mostos obtidos dos três diferentes híbridos de milho.

Não foram observadas diferenças significativas entre °Brix, pH, Amido e ART dos mostos dos diferentes híbridos. Entretanto, verificaram-se concentrações de açúcares redutores totais e amido comparáveis aos encontrados em caldo de cana-de-açúcar (Masson et al. 2015). Esse resultado demonstra similaridade entre as matérias-primas e o potencial do milho. Isso se deve a ação da enzima α -amilase que hidrolisou o amido durante processo de cozimento.

Para os compostos fenólicos totais, houve diferença entre os híbridos, com maiores valores para o 2B5877PW. Ainda, pode-se destacar que os valores foram menores que os obtidos no caldo de cana-de-açúcar, que apresentam valores superiores a 300 mg L⁻¹ (Costa et al. 2015). Essa determinação é importante, pois esses compostos interferem na fisiologia da levedura durante a fermentação, reduzindo a viabilidade celular e o índice de brotamentos (Messias, Nogueira, and Costa 2016).

Para o pH, como todos os mostos foram submetidos a ajuste, os valores ficaram entre 4,4 e 4,5, esses considerados ideais para a levedura realizar o processo fermentativo (Basso, Basso, and Rocha 2011).

Tabela 03. Valores obtidos para as análises de °Brix, pH, Amido, Açúcares Redutores Totais (ART) e Compostos Fenólicos Totais (CFT) dos mostos preparados a partir de diferentes híbridos de milho. Bauru-SP. Safra 2017/2018.

Híbridos	°Brix	pH	Amido (%)	ART (%)	Fenol (mg/L)
2B587PW	13	4,5	0,15	12,4	137,83
2B633PW	13	4,5	0,06	13	89,22
2B810PW	13	4,5	0,09	12,5	75,96

Fonte: Autores.

Na Tabela 04 estão apresentados os valores de viabilidade celular, índice de brotamentos e viabilidade de brotos do início e final do processo fermentativo. Observou-se que a fermentação do

híbrido 2B587PW resultou em redução da quantidade de células de levedura vivas no início do processo fermentativo. Deve-se destacar que a viabilidade inicial da fermentação deve ser de 85%, pois são valores que resultam em elevados teores alcoólicos na dorna e, conseqüentemente, maiores rendimentos da fábrica (Basso, Basso, and Rocha 2011). Outro ponto a se ressaltar são os elevados índices determinados para a levedura BG-1 quando da fermentação de mosto de milho, uma vez que esses são valores similares aos determinados em fermentações por leveduras adaptadas a esse processo (Thomas, Hynes, and Ingledew 2001). Além disso, em usinas dedicadas a produção de etanol, o processo fermentativo pode demorar mais de 36 h para se completar (Devantier, Pedersen, and Olsson 2005), em detrimento ao tempo médio de 17 h obtidas nesse estudo.

Tabela 04. Valores médios obtidos para Viabilidade Celular, Índice de Brotamentos e Viabilidade de Brotos do início e final do processo fermentativo de diferentes híbridos de milho. Bauru-SP. Safra 2017/2018.

Híbridos	Início			Final		
	Viab Celular	Brotam	Viab Brotos	Viab Celular	Brotam	Viab Brotos
	%					
2B587PW	83,27B	24,36B	87,87	89,90	12,47	100
2B633PW	90,54A	35,82A	97,18	94,44	17,64	100
2B810PW	93,52A	19,55B	94,44	91,64	19,50	100
Teste F	9,61**	7,66**	0,76ns	1,18ns	2,82ns	-
DMS	6,41	11,39	20,73	7,97	8,19	-
CV	4,26	25,40	13,18	5,13	29,35	-

Letras diferem na coluna segundo teste de Tukey (5%). NS – não significativo. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS – Desvio Mínimo Significativo. CV – Coeficiente de Variação. Fonte: Elaborado pelos autores. Fonte: Autores.

De modo geral, o índice de brotamentos manteve-se entre 08 e 16%, valores condizentes aos apontados por Amorim, Basso, and Alves (1996), que indicam que a fermentação etanólica deve conter índice de reprodução celular entre 03 a 16%, pois valores inferiores resultam em grande quantidade de leveduras “velhas” no processo, diminuindo ciclo a ciclo a eficiência fermentativa. Entretanto, valores superiores ao recomendado resultam em gasto excessivo e desnecessário de açúcar para geração desse micro-organismo na dorna, que deverá ser obrigatoriamente removido do processo durante a centrifugação para se respeitar a proporção mosto x leveduras (10-13%).

Esse processo difere-se ao comportamento da levedura em caldo de cana-de-açúcar, onde ocorre aumento da taxa de multiplicação celular ao final da fermentação (Masson et al. 2015; Messias, Nogueira, and Costa 2016). Provavelmente isso ocorre em decorrência de menores teores de compostos orgânicos não açúcares presentes no mosto de milho em relação à cana.

Na Tabela 05 estão apresentados os valores determinados para pH, Acidez Total, ARRT e Teor Alcoólico do Vinho, bem como o cálculo da Eficiência Fermentativa. De maneira geral, os vinhos

apresentaram características similares para todos os híbridos processados. Somente houve menores valores de pH para o 2B810PW. Esse comportamento pode ser decorrente da maior atividade da levedura, verificada pelos elevados índices de viabilidade celular e da eficiência fermentativa. A maior ação desse microrganismo no meio pode ter promovido a maior produção de CO₂, sendo esse, quando em contato com a água, resulta na formação de H₂CO₃ (ácido carbônico), resultando no decréscimo do pH (Basso, Basso, and Rocha 2011).

Deve-se destacar ainda que os valores encontrados para acidez do vinho obtido a partir da fermentação de híbridos de milho foi similar aos determinados por Macri et al. (2014), que estudando a fermentação do caldo de cana das variedades RB868515 e CTC4, utilizando a levedura FT858, na safra 2013/2014 determinaram valores da ordem de 2,1 a 2,4 g L⁻¹ de H₂SO₄ para acidez.

Considerando-se o teor alcoólico, observou-se que os valores foram similares aos observados por Masson et al. (2015), que obtiveram teores de 7,32% para caldo de cana e 6,33% para sorgo sacarino. Comparando os resultados aos obtidos por Devantier, Pedersen, and Olsson (2005), que estudando diferentes leveduras industriais para a fermentação do milho, determinaram teores da ordem de 10 a 11% de teor alcoólico, porém com tempo de fermentação superior a 40 h. Abbot and Ingledew (2004), estudando a fermentação de etanol de milho, observo tempo de 36 h para conclusão do processo, que resultou de 06 a 10% de teor alcoólico.

Tabela 05. Valores médios obtidos para pH, Acidez Total, Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT), Teor Alcoólico e Eficiência Fermentativa do vinho obtido a partir da fermentação de diferentes híbridos de milho. Bauru-SP. Safra 2017/2018.

	pH	Acidez Total	ARRT	Teor Alcoólico	Eficiência Fermentativa
		g L ⁻¹ H ₂ SO ₄		%	
2B587PW	4,2A	2,77	0,12	5,7	64,1B
2B633PW	4,2A	2,62	0,13	5,8	69,1B
2B810PW	3,9B	2,67	0,17	6,1	88,8A
Teste F	24,52**	0,38ns	2,63ns	0,21ns	33,80**
DMS	0,11	0,46	0,06	1,81	8,48
CV	1,67	10,16	25,76	18,27	6,78

Letras diferem na coluna segundo teste de Tukey (5%). NS – não significativo. **significativo ao nível de 1% de probabilidade. DMS – Desvio Mínimo Significativo. CV – Coeficiente de Variação. Fonte: Elaborado pelos autores.

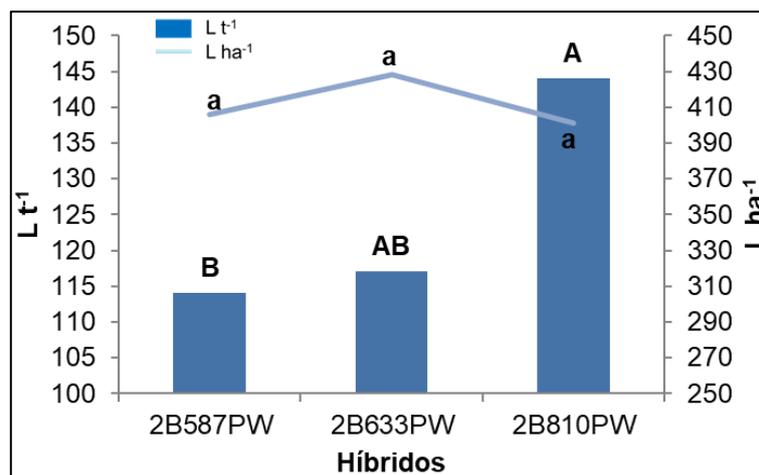
Fonte: Autores.

Na Figura 03 estão representados os valores determinados para litros de etanol obtidos por t ha⁻¹ de híbridos de milho processados. A utilização do híbrido 2B810PW como matéria-prima para a produção de etanol resultou em 20% a mais de recuperação desse biocombustível, por tonelada de grão processado. Esses valores são interessantes, pois acompanham os dados de viabilidade celular e

eficiência fermentativa obtida. Porém, Balat, Balat, and Öz (2008) indica produção de até 360 L de milho por tonelada de grãos de milho processado, nas condições dos EUA.

Não houve diferenças para a quantidade de etanol produzida por hectare de grãos produzidos a partir dos diferentes híbridos. Porém, os valores determinados são inferiores aos determinados por Manochio et al. (2017), que aponta rendimento de etanol por hectare de milho plantado de 2000 a 4600L.

Figura 03. Quantidade de etanol produzida por toneladas e hectare de milho processado.



Fonte: Autores.

CONCLUSÃO

O híbrido Dow AgroSciences® 2B633PW é o mais indicado para o cultivo no centro-oeste paulista, por apresentar maior produtividade de grãos.

Há reflexos dos híbridos de milho processados sob o desempenho fermentativo da levedura BG-1, sendo o 2B810PW o que resulta em maior eficiência fermentativa e quantidade de etanol produzida por tonelada de milho processada.

REFERÊNCIAS

- Abbott, Derek A, and WM Ingledeew. 2004. "Buffering Capacity of Whole Corn Mash Alters Concentrations of Organic Acids Required to Inhibit Growth of *Saccharomyces Cerevisiae* and Ethanol Production." *Biotechnology Letters* 26 (16): 1313–16.
<https://doi.org/10.1023/B:BILE.0000044924.76429.71>.
- Aguiar, Adriano Tosoni da Eira, Charleston Gonçalves, Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani, Maria Luiza Sant'Anna Tucci, and Carlos Eduardo Ferreira de Castro. 2014. "Boletim 200 - Instruções Agrícolas Para as Principais Culturas Econômicas."
- Amorim, HV, LC Basso, and DG Alves. 1996. *Processos de Produção de Álcool: Controle e Monitoramento*.

Piracicaba.

- Balat, Mustafa, Havva Balat, and Cahide Öz. 2008. "Progress in Bioethanol Processing." *Progress in Energy and Combustion Science* 34 (5): 551–73. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2007.11.001>.
- Barbosa, José Carlos, and Walter Maldonado Júnior. 2015. *Experimentação Agronômica & AgroEstat: Sistema Para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos*.
- Basso, Luiz Carlos, Thiago Olitta Basso, and Saul Nitsche Rocha. 2011. "Ethanol Production in Brazil: The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation." In *Biofuel Production-Recent Developments and Prospects*. InTech. <https://doi.org/10.5772/17047>.
- Cardoso, Milton José, Hélio Wilson Lemos de Carvalho, Leonardo Melo Pereira Rocha, Cleso Antônio Patto Pacheco, Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães, and Lauro José Moreira Guimarães. 2014. *Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares Comerciais de Milho No Meio-Norte Brasileiro*.
- Chavan, SM, A Kumar, and SJ Jadhav. 1991. "Rapid Quantitative Analysis of Starch in Sugar Cane Juice." *International Sugar Journal* 93: 56–59.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. "Acompanhamento Da Safra Brasileira: Grãos - Safra 2018/19 – Sexto Levantamento."
- Costa, Gustavo HG, Igor S Masson, Lidyane A de Freitas, Juliana P Roviero, and Márcia JR Mutton. 2015. "Reflexos Da Clarificação Do Caldo de Cana Com Moringa Sobre Compostos Inorgânicos Do Açúcar VHP." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19 (2): 154–59. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p154-159>.
- Cruz, JC, IAF Perreira, RC Alvarenga, MMG Neto, JHM Viana, MF Oliveira, WJR Matrangolo, and MRF Albuquerque. 2010. "Cultivo Do Milho."
- Devantier, Rasmus, Sven Pedersen, and Lisbeth Olsson. 2005. "Characterization of Very High Gravity Ethanol Fermentation of Corn Mash. Effect of Glucoamylase Dosage, Pre-Saccharification and Yeast Strain." *Applied Microbiology and Biotechnology* 68 (5): 622–29. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9>.
- Fernandes, Antonio Carlos. 2003. *Cálculos Na Agroindústria de Cana-de-Açúcar*. Piracicaba.
- Ferreira, Osania Emerenciano. 2015. "Produção de Etanol a Partir de Sorgo Sacarino Com Tratamento Enzimático."
- Folin, Otto, and Vintila Ciocalteu. 1927. "On Tyrosine and Tryptophane Determinations in Proteins." *The Journal of Biological Chemistry* 73 (2): 627–50.
- Galvão, JCC, A Borém, and MA Pimentel. 2015. *Milho: Do Plantio a Colheita*. Viçosa.
- Hall, Jeremy, Stelvia Matos, Liv Severino, and Napoleão Beltrão. 2009. "Brazilian Biofuels and Social Exclusion: Established and Concentrated Ethanol versus Emerging and Dispersed Biodiesel." *Journal of Cleaner Production* 17 (November): S77–85. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.01.003>.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. "Número de Estabelecimentos Agropecuários, Quantidade Produzida e Área Colhida, Por Produtos Da Lavoura Temporária." <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?edicao=21858&t=resultados>.

- ICUMSA, International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. 2017. *ICUMSA Methods Book Supplement 2017*.
- Landau, Elena Charlotte, Paulo César Magalhães, and Daniel Pereira Guimarães. 2019. “Relações Com o Clima: Milho.” Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC). 2019.
- Lozano, Eduardo do Valle, Letícia Murador Blanco, Giovanni Uema Alcântara, Lucas Conegundes Nogueira, Sandro Ciaramello, and Gustavo Henrique Gravatim Costa. 2018. “Effect of Application of Flowering Inhibitor on Sweet Sorghum.” *African Journal of Agricultural Research* 13 (4): 196–201. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12902>.
- Macri, Rita de Cássia Vieira, Gustavo Henrique Gravatim Costa, Nayara Abrão Montijo, Aline Ferriera Silva, and Marcia Justino Rossini Mutton. 2014. “Moringa Extracts Used in Sugarcane Juice Treatment and Effects on Ethanolic Fermentation.” *African Journal of Biotechnology* 13 (42): 4124–30. <https://doi.org/10.5897/AJB2014.14025>.
- Manochio, C., B.R. Andrade, R.P. Rodriguez, and B.S. Moraes. 2017. “Ethanol from Biomass: A Comparative Overview.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80 (December): 743–55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.063>.
- Masson, Igor dos Santos, Gustavo Henrique Gravatim Costa, Juliana Pelegrini Roviero, Lidyane Aline de Freitas, Miguel Angelo Mutton, and Márcia Justino Rossini Mutton. 2015. “Produção de Bioetanol a Partir Da Fermentação de Caldo de Sorgo Sacarino e Cana-de-Açúcar.” *Ciência Rural* 45 (9): 1695–1700. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130549>.
- Messias, RC, LC Nogueira, and GHG Costa. 2016. “Compostos Fenólicos Afetam a Levedura Durante o Processo Fermentativo.” *Ciência & Tecnologia*, 1–5.
- Miller, G. L. 1959. “Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar.” *Analytical Chemistry* 31 (3): 426–28. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.
- Mosier, NS, and KE Lileji. 2014. “How Fuel Ehtanol Is Made from Corn.” In *Bioenergy: Biomass to Biofuels*.
- Neto, Cezar Faiad. 2014. “Usina Flex: Cana/Milho.”
- Shioga, Pedro Sentaro, Antonio Carlos Gerage, Pedro Mário de Araújo, Rodolfo Bianco, Adriano Augusto de P. Custódio, and Alberto Sergio do Rego Barros. 2016. “Avaliação Estadual de Cultivares de Milho: Safra 2015/2016.”
- Taiz, L, and E Zeiger. 2009. *Fisiologia Vegetal*. Artmed. Porto Alegre.
- Thomas, K.C., S.H. Hynes, and W.M. Ingledew. 2001. “Effect of Lactobacilli on Yeast Growth, Viability and Batch and Semi-Continuous Alcoholic Fermentation of Corn Mash.” *Journal of Applied Microbiology* 90 (5): 819–28. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01311.x>.
- Unicadata. 2019. “Única: União Da Indústria de Cana-de-Açúcar.” 2019. <http://www.unicadata.com.br/>.

Maize Hybrids Affect a Quantity of Ethanol Produced in the Closure of Centro-Oeste Paulista

ABSTRACT

The Brazilian sugarcane industry has been using corn for the production of ethanol because it has a 120 day vegetative cycle, cultivation in sugarcane renovation areas, and its grains can be stored for long periods of time. In this sense, the objective of the research was to evaluate the agronomic characteristics of three corn hybrids, and the grain processing reflexes for ethanol production. The experiment was installed in the experimental farm of the Sacred Heart University (USC) located in the municipality of Agudos in the State of São Paulo in the 2016/2017 harvest. The experimental area was 8000m², with 16 plots of 450m² each. Hybrids 2B810PW, 2B633PW and 2B587PW were used. The planting was carried out in October 2016 and the harvest occurred at 150 days after sowing (d.a.s.). During development of the culture (45, 75, 90 and 110 d.a.s.) the biometric parameters were evaluated. The grains were harvested mechanically, ground and immersed in water, adding the α -amylase enzyme, giving the must. The musts were submitted to inoculation by industrial yeast BG-1. The hybrids 2B587PW, 2B633PW and 2B810PW resulted in 3.65, 3.74 and 2.94 t ha⁻¹ of grains, respectively. Average values of 430 L of ethanol recovered per processed were observed. It is concluded that the hybrid 2B633PW is the most suitable for the cultivation in the center-west of São Paulo state, because results in higher grain yield. The hybrids show differences in fermentative performance of BG-1 yeast, and the 2B810PW results in higher fermentation efficiency and the amount of ethanol produced per ton of processed corn.

Keywords: *Zea mays*; *Saccharomyces cerevisiae*; Bioenergy; Sucroenergetic Sector.

Submissão: 11/06/2018

Aceite: 26/03/2019