

Curva de crescimento e produção de híbridos de sorgo biomassa¹

José Maurílio Moreira de Figueiredo Júnior², Isadora Cristina Martins Oliveira³ Rafael Augusto da Costa Parrella⁴ e Robert Eugene Schaffert⁴

1 Trabalho financiado pelo CNPq. 2 Estudante do Curso de Agronomia da Universidade Federal de São João del-Rei, Bolsista PIBIC do Convênio CNPq/Embrapa. 3 Pós-Doutoranda Embrapa Milho e Sorgo. 4 Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Introdução

O mundo está em constante crescimento, segundo estimativa da Organização das Nações Unidas (2019), a população mundial atingirá 9,7 bilhões de pessoas em 2050, um aumento de 26% em relação aos 7,7 bilhões de 2019. Sabe-se que boa parte da matriz energética mundial é abastecida por fontes não renováveis oriundas do petróleo, sendo assim, de caráter esgotável. Além disso, essa fonte energia é diretamente poluente do meio ambiente, pois, lança na atmosfera gases que prejudicam a saúde humana, como o gás carbônico (Parrella et al., 2016). Com isso, o emprego de alternativas para abastecer a matriz energética mundial se torna necessário.

Neste sentido, o sorgo biomassa entra como excelente alternativa para subsidiar a cadeia energética, pois dispõe de características altamente interessantes para a produção de bioenergia, como altas produtividades, podendo ultrapassar 100 t/ha de matéria verde; processo agrícola totalmente mecanizável; propagação por sementes; e manejos fitotécnicos bem definidos (Oliveira et al., 2019). O sorgo biomassa é uma planta de dia curto, e pode ser sensível ao fotoperíodo. A sensibilidade ao fotoperíodo permite que o ciclo vegetativo da planta seja ampliado quando plantada nos meses de outubro a dezembro, pois só irá florescer a partir de 21 de março do ano subsequente no Brasil, quando o comprimento do dia é inferior a 12 horas e 20 minutos (Rooney; Aydin, 1999). Quando atinge esse período, as gemas apicais são estimuladas e transformadas em gemas florais, resultando em plantas altas de até seis metros de altura e com alta produção de massa verde e massa seca (Parrella et al., 2010).

A alta performance dos híbridos de sorgo biomassa não é suficiente para determinar a qualidade da biomassa produzida, além de não inferir diretamente sobre o comportamento da biomassa durante seu ciclo. A análise de crescimento entra com o intuito de fornecer informações fisiológicas detalhadas da biomassa durante todo o ciclo da cultura, podendo assim indicar a época de colheita com máximo aproveitamento energético da biomassa (Castro, 2018).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa de híbridos de sorgo destinados à bioenergia (etanol e cogeração) em diferentes épocas de colheita.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2019/2020 na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas-MG, e semeado no dia 9 de dezembro de 2019. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 5 (4 híbridos × 5 épocas de colheita), com três repetições. As parcelas foram compostas por quatro fileiras de 5 m e espaçadas em 0,7 m, sendo consideradas as duas fileiras centrais a área útil para colheita. Os híbridos avaliados (Tabela 1) foram desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, sendo três experimentais (CMSXS 5045, CMSXS 5029 e CMSXS 7533) e um comercial, o BRS716.

Tabela 1. Híbridos de sorgo e sua classificação quanto ao tipo e ao fotoperíodo, avaliados em ensaios de crescimento na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG. Safra 2019/2020.

Tratamento	Híbrido	Tipo	Fotoperíodo
H1	CMSXS 5045	Biomassa/Sacarino	Sensível
H2	CMSXS 5029	Biomassa/Sacarino	Insensível
H3	CMSXS 7533	Biomassa (<i>bmr</i> *)	Insensível
H4	BRS716	Biomassa	Sensível

* *bmr* (brown mid rib ou nervura marrom): gene mutante adicionado ao sorgo com potencial de reduzir lignina na planta (Almeida et al., 2019a, 2019b).

A adubação na semeadura foi de 400 kg.ha⁻¹ de NPK na formulação 8:28:16, e na cobertura usaram-se 200 kg.ha⁻¹ de ureia após 20 dias da semeadura. O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicação de herbicida Atrazina na dose de 3,0 kg.ha⁻¹ do ingrediente ativo. Os outros tratamentos culturais, como irrigação, foram realizados conforme necessidade da cultura.

Para avaliar a produção de biomassa foram consideradas cinco épocas de colheita, sendo elas 30 (1ª época), 60 (2ª época), 90 (3ª época), 120 (4ª época) e 150 (5ª época) dias após o semeio. As características agrônômicas avaliadas foram: altura de plantas (ALT) em metros, medidas da superfície do solo ao ápice das panículas de cada parcela; produção de massa verde (PMV) em toneladas por hectare; e porcentagem de massa seca (%MS), determinada por amostras retiradas da biomassa verde. Essas amostras foram armazenadas em estufa por 72 horas a 65 °C e posteriormente, por meio da razão entre as massas secas e úmidas delas, foi obtida a porcentagem. Já para a produção de massa seca (PMS), multiplicou-se o PMV pela %MS (resultado em toneladas por hectare).

As análises de variância e de regressão foram realizadas com auxílio do software computacional Genes (Cruz, 2013), e utilizou-se o teste proposto por Scott e Knott (1974) para agrupamento das médias dos genótipos.

Resultados e Discussão

As análises de variância para altura de plantas (ALT), produção de massa verde (PMV), porcentagem de massa seca (%MS) e produção de massa seca (PMS) estão apresentadas na Tabela 2. A interação entre híbridos x épocas de colheita foram significativas, ao nível de 1% de probabilidade para todas as características, mostrando que os híbridos se comportam de maneira distinta entre as diferentes épocas de colheita.

Tabela 2. Análise de variância para as características altura de plantas (ALT), produção de massa verde (PMV), porcentagem de massa seca (%MS) e produção de massa seca (PMS) para híbridos de sorgo biomassa avaliados em Sete Lagoas-MG colhidos em diferentes épocas. Safra 2019/2020.

FV	GL	QM			
		ALT	PMV	%MS	PMS
Blocos	2	0,05	72,32	0,26	2,67
Híbridos	3	0,76 ^{ns}	717,41*	31,72 ^{ns}	40,17 ^{ns}
Épocas	4	27,55**	5201,49**	587,13**	415,92**
Híbridos × Épocas	12	0,37**	124,49**	13,09**	14,59**
Resíduo	38	0,11	32,61	2,05	3,05
CV(%)		11,65	9,04	8,13	15,27
Média		2,83	63,15	17,61	11,43

*, ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns}. não significativo pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

Os valores de CV estão dentro dos limites aceitáveis, implicando confiabilidade alta dos dados, variando de 8,13% para %MS a 15,27% para PMS. E as médias para ambas as características estão dentro dos padrões do sorgo biomassa.

Comprovada a significância da interação entre híbridos e épocas de colheita, foi realizada análise de regressão e teste de médias entre as características avaliadas para cada genótipo avaliado ao longo das épocas de colheita. ALT (Figura 1) e PMS (Figura 4) ajustaram-se a um modelo de regressão linear para os híbridos H1 e H4, ao passo que os híbridos H2 e H3 ajustaram-se a um modelo de regressão polinomial. %MS (Figura 3) ajustou-se a um modelo de regressão linear e PMV (Figura 2) ajustou-se a um modelo de regressão polinomial.

O híbrido H4 demonstrou diferenças entre as médias das alturas nas cinco épocas de colheita (Figura 1), mostrando crescimento de 0,44 m, aos 30 dias, até 5,87 m, aos 150 dias. Já os híbridos H1 e H3 apresentaram crescimento até a quarta época

(120 dias), e mantiveram altura estatisticamente igual na quinta época, com valores variando de 0,52 m a 4,67 m, 0,47 m a 3,51 m, respectivamente. Já o genótipo H2 apresentou igualdade estatística dos 60 aos 150 dias.

A ALT se ajustou a uma regressão linear para os híbridos H1 e H4, com um coeficiente de determinação (R^2) de 96,01% ($P < 0,01$) e 98,17% ($P < 0,01$), respectivamente, representando que há crescimento ao longo de todas as épocas de colheita. Este comportamento foi encontrado por Teixeira (2017), indicando que o crescimento é diretamente proporcional ao número de dias após semeadura. No entanto, os híbridos H2 e H3 ajustaram-se melhor a uma regressão polinomial com R^2 igual a 96,27% ($P < 0,01$) e 98,34% ($P < 0,01$), respectivamente, mostrando que para esses genótipos a planta tende a cessar seu crescimento, o que era esperado, visto que os híbridos H2 e H3 são insensíveis ao fotoperíodo, apresentando menor ciclo, cessando seu crescimento antes dos híbridos H1 e H2, que são sensíveis e apresentam maior ciclo.

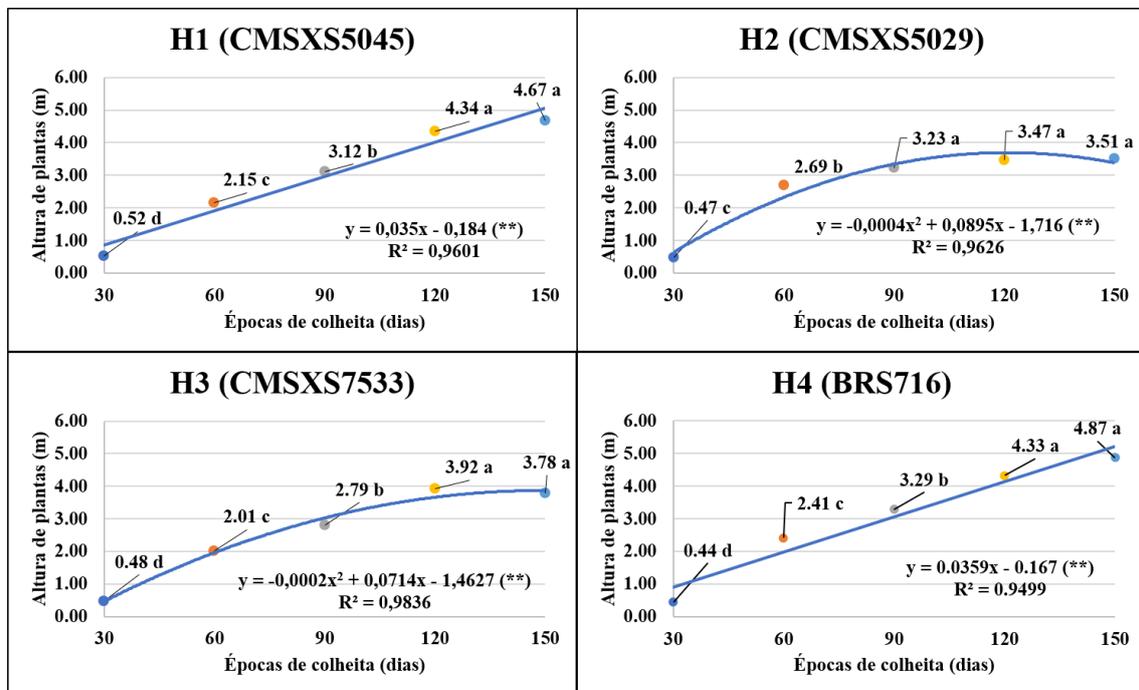


Figura 1. Regressão e teste de médias para altura de plantas (m), em função de cinco épocas de colheita (dias), de quatro híbridos de sorgo biomassa avaliados em Sete Lagoas-MG. Safra 2019/2020. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste Scott-Knott (1974). (*), (**) significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

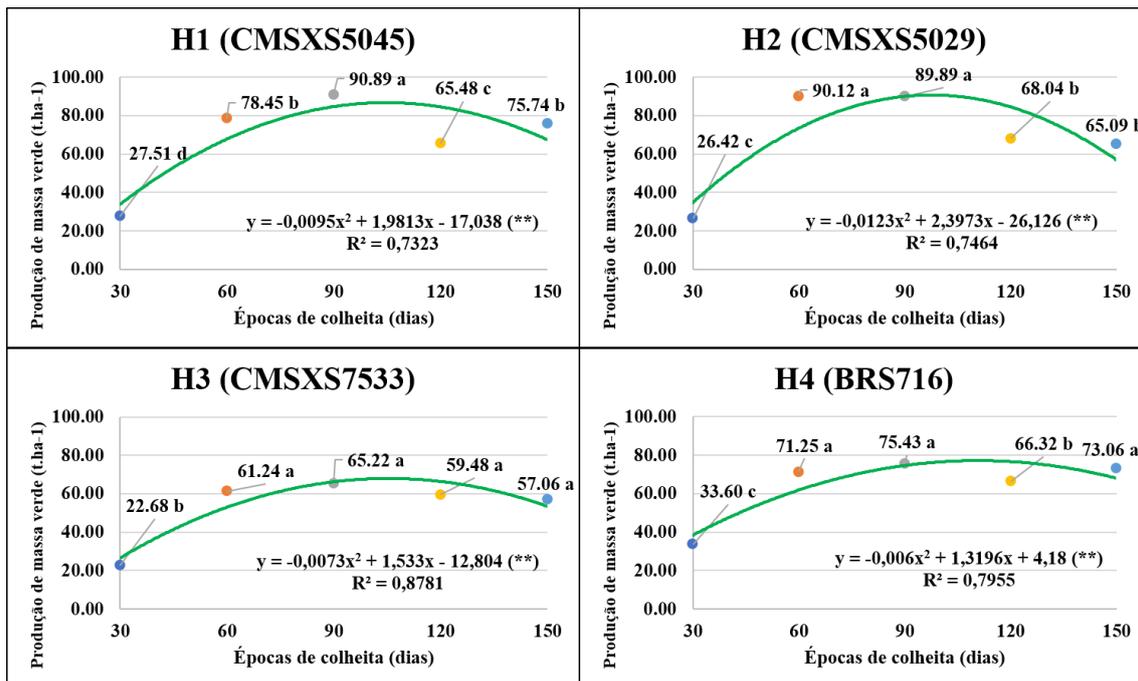


Figura 2. Regressão e teste de médias para produção de massa verde ($t \cdot ha^{-1}$) em função de cinco épocas de colheita (dias) de quatro híbridos de sorgo biomassa avaliados em Sete Lagoas-MG. Safra 2019/2020. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste Scott-Knott (1974). (*), (**) significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Quando avaliada a característica PMV (Figura 2), as médias dos genótipos foram menores aos 30 dias e maiores aos 90 dias para os híbridos H1, H3 e H4, variando de $27,50 t \cdot ha^{-1}$ a $90,89 t \cdot ha^{-1}$, $22,68 t \cdot ha^{-1}$ a $65,22 t \cdot ha^{-1}$, e de $33,60 t \cdot ha^{-1}$ a $75,43 t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. Já o híbrido H2 apresentou a menor média aos 30 dias e a maior aos 60 dias, de $26,42 t \cdot ha^{-1}$ a $90,12 t \cdot ha^{-1}$ respectivamente. No entanto, este híbrido não apresentou diferenças estatísticas aos 60 e 90 dias, e a partir dos 120 dias a produção de massa verde apresenta uma redução. Tal comportamento foi observado também para o H1, que apresenta redução significativa da produção de massa verde na quarta época. Já para os híbridos H3 e H4, a produção de PMV apresenta uma queda a partir da terceira época, porém os resultados são estatisticamente semelhantes. Verificam-se altas produtividades de massa verde obtidas com o sorgo a partir de 90 dias do semeio, comparadas com a média nacional de produtividade da cana-de-açúcar, como na safra de 2018/2019, quando a média foi de $72,23 t \cdot ha^{-1}$, de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2019). Vale ressaltar que além de maior produtividade o ciclo do sorgo foi de 150 dias, menos da metade da cana.

A variável PMV se ajustou melhor em um modelo de regressão polinomial apresentando R^2 igual a 73,23%, 74,64%, 87,81% e 79,55% ($P < 0,01$) para os híbridos H1, H2, H3 e H4, respectivamente, mostrando que a variação da produção de massa verde é explicada por esse modelo de regressão (Figura 2).

Após 120 dias (quarta época), como esperado, os valores de PMV dos híbridos H1 e H2 tendem a cair, pois a partir desse momento os dias se encontram com comprimento de luz inferior a 12 horas e 20 minutos (Rooney; Aydin, 1999) e eles são induzidos ao florescimento e à maturação. Assim, a planta cessa seu crescimento vegetativo, e se inicia indução das gemas florais, e com isso o acúmulo de fotoassimilados fica restrito à produção de grãos. Os híbridos H2 e H3 começam esse processo entre 90 e 120 dias, pois são insensíveis ao fotoperíodo, e o florescimento ocorre independente do comprimento do dia.

Segundo Teixeira (2017), existe associação de ALT com PMV, ou seja, quanto maior a altura de plantas, maior a produção de massa verde. Castro (2014) relata que a produção de massa seca está diretamente correlacionada com a produção de massa verde e altura de plantas, o que facilita a mensuração da produção dos híbridos com características de fáceis mensurações como ALT e PMV. Ambos os resultados das autoras corroboram com os resultados apresentados neste trabalho.

Para todos os híbridos, a menor média de %MS (Figura 3) foi aos 60 dias, e a maior média significativa, aos 150 dias, exceto para o híbrido H3, que apresentou a maior média aos 120 dias, variando de 9,65% a 30,03%, de 10,54% a 22,48%, de 9,76% a 24,09% e de 10,67% a 28,94% para os híbridos H1, H2, H3 e H4, respectivamente. A variável %MS se ajustou a um modelo de regressão linear, apresentando R^2 igual a 89,19% para o H1 ($P < 0,05$), 89,60% para o H2 ($P < 0,05$), 79,25% para o H3 ($P < 0,05$) e 84,14% para o H4 ($P < 0,05$), indicando que as variações da porcentagem de matéria seca são explicadas por esse modelo.

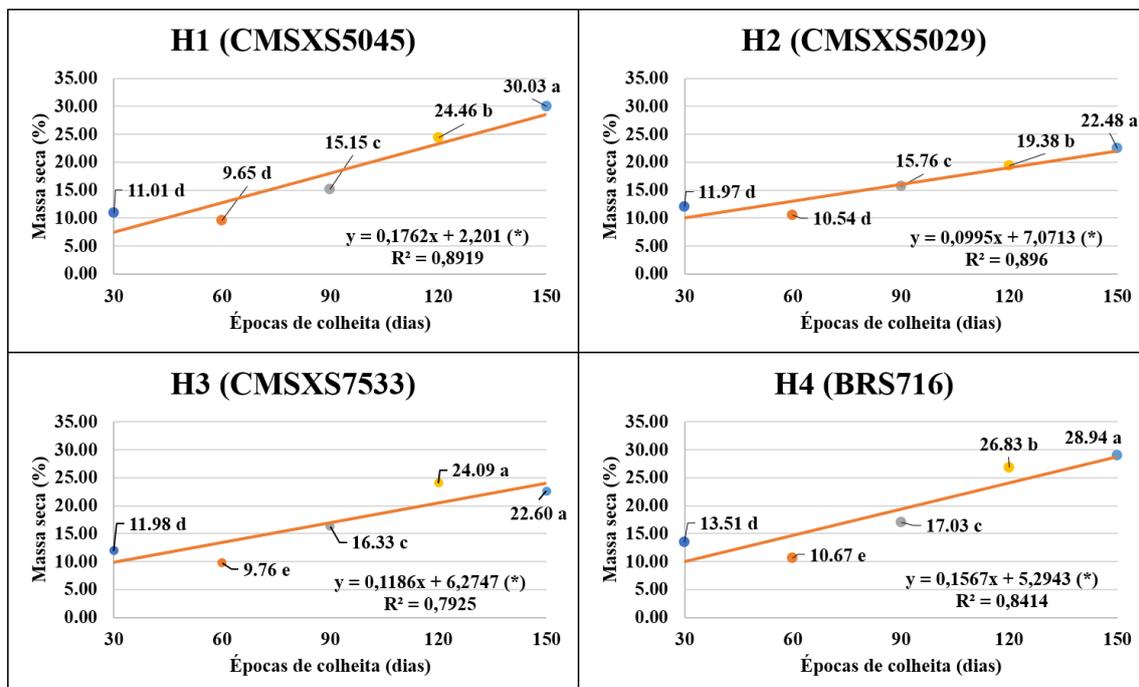


Figura 3. Regressão e teste de médias para massa seca (%) em função de cinco épocas de colheita (dias) de quatro híbridos de sorgo biomassa avaliados em Sete Lagoas-MG. Safra 2019/2020. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo

teste Scott-Knott (1974). (*), (**) significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Quando se avaliou a característica PMS, as menores médias foram observadas aos 30 dias e as maiores aos 150 dias, exceto para o híbrido H3, que apresentou a maior média aos 120 dias. No entanto, este híbrido apresentou igualdade estatística para 120 e 150 dias. O híbrido H2 apresentou igualdade estatística entre 90 e 150 dias, ao passo que os outros dois híbridos H1 e H4 foram crescentes de 30 a 150 dias. Este comportamento diferente dos híbridos é explicado pela resposta ao fotoperíodo, como citado anteriormente, pois os híbridos H2 e H3, insensíveis ao fotoperíodo, florescem antes dos demais quando plantados nesta época do ano, com isso a produção tende a cair, ao passo que os híbridos H1 e H4, sensíveis ao fotoperíodo, apresentam florescimento tardio nesta época de cultivo e, conseqüentemente, maior acúmulo de massa seca.

A variável PMS ajustou-se a um modelo de regressão linear para os híbridos H1 e H4 apresentando R^2 igual a 98,46% ($P < 0,01$) e 99,22% ($P < 0,01$), respectivamente, ao passo que os híbridos H2 e H3 se ajustaram a um modelo de regressão polinomial apresentando R^2 igual a 96,24% ($P < 0,01$) e 95,58% ($P < 0,01$), respectivamente. Tais resultados demonstram as respostas dos híbridos quanto ao acúmulo de massa seca quando estes híbridos são sensíveis ou insensíveis ao fotoperíodo. Quando sensíveis, são explicados pelo modelo de regressão linear, ou seja, o acúmulo de matéria seca é crescente linearmente, ao passo que, quando insensíveis, o acúmulo de massa seca não apresenta aumento significativo após o florescimento (entre 90 e 120 dias) (Figura 4).

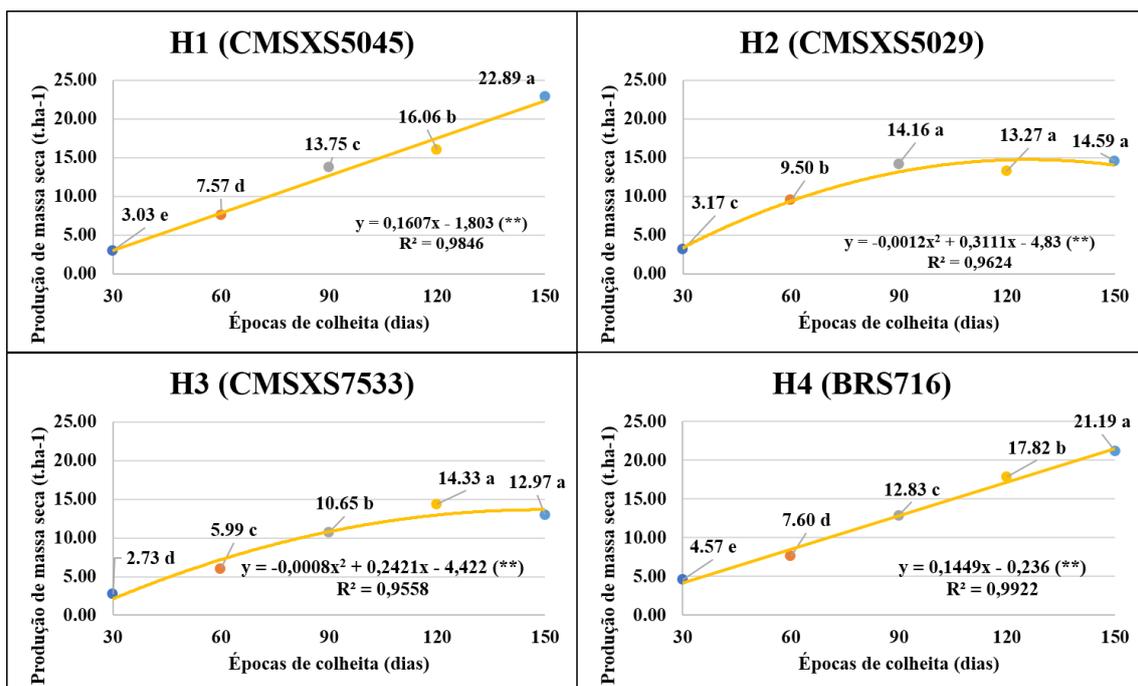


Figura 4. Regressão e teste de médias para produção de massa seca ($t\cdot ha^{-1}$) em função de cinco épocas de colheita (dias) de quatro híbridos de sorgo biomassa avaliados em Sete Lagoas-MG. Safra 2019/2020. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste Scott-Knott (1974). (*), (**) significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Conclusões

Observaram-se diferenças significativas entre as épocas de colheita com diferenças, entre os híbridos, para altura de plantas, produção de massa verde, porcentagem de massa seca e produção de massa seca. Pode-se observar maior crescimento e produção de biomassa nos genótipos de sorgo avaliados, no período dos 30 aos 90 dias após o semeio. Após este período, ocorre pouco crescimento, mas há redução da umidade e aumento na porcentagem de massa seca.

Os híbridos de sorgo biomassa e sacarino destinados à bioenergia apresentaram porte alto (3,51 a 4,87m), alta produção de biomassa verde (65 a 90 $t\cdot ha^{-1}$) e seca (14 a 22 $t\cdot ha^{-1}$), em um ciclo de 120 a 150 dias, entre plantio e colheita.

Referências

ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos: cana de açúcar: safra 2018/19. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 12 ago. 2020.

ALMEIDA, L. G. F.; PARRELLA, R. A.; SIMEONE, M. L. F.; RIBEIRO, P. C. O.; BARBOSA, G. M. P.; BRITO, P. L.; COSTA, A. S. V.; SANTOS, A. S. Characterization of cell wall polysaccharides and cellulosic ethanol potential in genotypes of sorghum biomass. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 4, p. 26810-26820, 2019a.

ALMEIDA, L. G. F.; PARRELLA R. A.; SIMEONE, M. L. F.; RIBEIRO, P. C. O.; SANTOS, A. S.; COSTA, A. S. V.; GUIMARÃES, A. G.; SCHAFFERT, R. E. Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. **Biomass & Bioenergy**, v. 122, p. 343-348, 2019b.

CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônômico e energético de genótipos de sorgo biomassa**. 2014. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CASTRO, F. M. R. **Acúmulo de biomassa e compostos lignocelulósicos em híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo**. 2018. 76 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística: versão Windows. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

OLIVEIRA, I. C. M.; MARÇAL, T. S.; BERNARDINO, K. C.; RIBEIRO, P. C. O.; PARRELLA, R. A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; SCHAFFERT, R. E.; CARNEIRO J. E. S. Combining ability of biomass sorghum lines for agroindustrial characters and multitrait selection of photosensitive hybrids for energy cogeneration. **Crop Science**, v. 59, p. 1554-1566, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População mundial chegará a 9,7 bilhões em 2050, prevê ONU**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2019/06/18/populacao-mundial-chegara-a-97-bilhoes-em-2050-preve-onu.ghtml>. Acesso em: 10 ago. 2020.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/876558/desenvolvimento-de-hibridos-de-sorgo-sensiveis-ao-fotoperiodo-visando-alta-produtividade-de-biomassa>. Acesso em: 10 ago. 2020

PARRELLA, R. A. P.; SCHAFFERT, R. E.; LEITE, P. S. S.; NUNES, J. A. R.; MENEZES, C. B.; RODRIGUES, J. A. S.; PARRELLA, N. N. L. D. **Desenvolvimento de populações de sorgo sacarino de cruzamento ao acaso para seleção recorrente intrapopulacional**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 217).

ROONEY, W. L.; AYDIN, S. Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 397-400, 1999.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.

TEIXEIRA, T. P. M. **Estudo da maturação e ponto de colheita em materiais de sorgo destinados à bioenergia**. 2017. 85 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.