

MANEJO E PRODUÇÃO DE PALHADA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM SISTEMA IRRIGADO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PARA GERAÇÃO DE BIOETANOL

ANDERSON RAMOS DE OLIVEIRA¹, WELSON LIMA SIMÕES¹

1 Embrapa Semiárido, Rodovia BR-428, Km 152, s/n, Zona Rural, CEP 56302-970, Petrolina, PE, Brasil, e-mail: anderson.oliveira@embrapa.br, welson.simoes@embrapa.br

RESUMO: Práticas agrícolas que contemplam a sustentabilidade do sistema de produção da cana-de-açúcar têm sido cada vez mais demandadas pela sociedade. A palhada disponibilizada na colheita da cana-de-açúcar, sem queima, pode ser utilizada para a cogeração de energia na forma de bioetanol. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a produtividade de palhada de cana-de-açúcar e estimar o rendimento de bioetanol de segunda geração - E2G, em um sistema irrigado por gotejamento subsuperficial, sob diferentes percentuais de manutenção de palhada sobre a superfície do solo. O estudo foi desenvolvido na Usina Agrovale S.A., em Juazeiro, BA. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos, correspondentes aos percentuais de manutenção de palhada sobre o solo: 0, 25, 50, 75 e 100%, com quatro repetições, durante quatro ciclos de cultivo. Avaliou-se a produtividade de palhada remanescente após as colheitas e estimou-se o rendimento de bioetanol. A produtividade de palhada da cana-de-açúcar na colheita foi influenciada pela porcentagem de palhada remanescente mantida sobre o solo. A cultivar VAT90212 apresenta maior produtividade de palhada no ciclo de cana-planta. O rendimento de E2G proveniente da palhada aumenta o potencial de produtividade total de bioetanol de cana-de-açúcar por hectare.

Palavras-chave: E2G, sustentabilidade, bioenergia, Semiárido.

MANAGEMENT AND PRODUCTION OF SUGARCANE STRAW UNDER SUBSURFACE DRIP IRRIGATION FOR BIOETHANOL GENERATION

ABSTRACT: Sustainable agricultural practices in the sugarcane production system have been increasingly demanded by society. The amount of sugarcane straw available in the harvest, without burning, can be used as energy for second-generation bioethanol production. The objectives of this work were to evaluate the productivity of sugarcane straw and to estimate the yield of second-generation bioethanol, under subsurface drip irrigation, using straw at different percentages of soil surface coverage. The study was conducted at Agrovale S.A. in Juazeiro, BA, Brazil. A randomized block design with five treatments, corresponding to the levels of straw soil surface coverage was used: 0, 25, 50, 75, and 100%, with four replications, during four crop cycles. The yield of remaining straw on the soil after the harvest was evaluated and the yield of bioethanol was estimated. The yield of sugarcane straw at harvest was influenced by the percentage of remaining straw soil surface coverage. The cultivar VAT90212 shows higher straw productivity in the sugarcane plant cycle. The yield of the second generation bioethanol from the straw increases the total productivity potential of bioethanol from sugarcane per hectare.

Keywords: E2G, sustainability, bioenergy, Semi-arid.

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes energéticas menos onerosas e menos poluentes que àquelas de origem fóssil tem impulsionado os estudos com biocombustíveis para a produção de

energia. Sua grande vantagem com relação aos demais é que são renováveis, constituindo-se em importante alternativa ao petróleo, já que esse recurso é finito. Dentro deste contexto, a cultura da cana-de-açúcar destaca-se no cenário agrícola brasileiro, uma

vez que se trata de uma cultura bioenergética, podendo produzir tanto açúcar quanto bioetanol. Além disso, os resíduos (palhada e bagaço) também podem ser utilizados na produção de energia (bioetanol de segunda geração – E2G, energia térmica e energia elétrica) ou na adubação da própria cultura por meio do uso do bagaço *in natura*, compostagem ou vinhaça (SHAMSUL et al., 2014; SILALERTRUKSA; PONGPAT; GHEEWALA, 2017).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção total estimada em 665 Gg ano⁻¹, ocupando uma área de 8,60 milhões de hectares e com produtividade média de 77,3 Mg ha⁻¹ (CANA-DE-AÇÚCAR, 2020).

Resultados de pesquisa e em áreas comerciais demonstram que a cultura apresenta potencial produtivo muito maior que a média nacional, especialmente em áreas que aperfeiçoaram o manejo e dispõem de novas tecnologias. O uso da irrigação com gotejamento subsuperficial, por exemplo, se destaca dentre as tecnologias disponíveis e aprimoradas na agricultura de precisão. Esta prática consiste na utilização de um sistema de mangueiras, com gotejadores embutidos, enterradas a aproximadamente 20 cm da superfície do solo. No caso do cultivo irrigado da cana-de-açúcar na região do Submédio do São Francisco, tem-se utilizado uma linha de gotejador para duas linhas de plantio da cultura, o que reduz os gastos iniciais e aumenta a eficiência do sistema. Desta forma, permite-se que a irrigação e a fertirrigação sejam realizadas próximas às raízes das plantas, com redução das perdas de água por evaporação, o que proporciona maior eficiência no uso da mesma, com maiores produtividades (AYARS; FULTON; TAYLOR, 2015). Em estudo desenvolvido por Dalri et al. (2008) sobre o desenvolvimento da cana-de-açúcar cultivada com irrigação por gotejamento subsuperficial, foi observado que a produtividade média alcançada pelos melhores tratamentos foi de 300,50 Mg ha⁻¹ na primeira colheita. Em outro estudo sobre a produção de biomassa da cana-de-açúcar utilizando-se o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em condições

semiáridas, Oliveira, Braga e Santos (2014) observaram produtividades de até 183 Mg ha⁻¹ de cana-de-açúcar, o que representa mais do que o dobro da média nacional.

Nestas condições de elevadas produtividades de colmo, a produção de palhada também é proporcionalmente elevada. A produtividade de palhada alcançada na colheita da cana crua varia de 12 a 15 Mg ha⁻¹ (PIEROSI; FAGUNDES, 2013), sendo esta, estimada de acordo com a produtividade média de colmos. De acordo com Menandro et al. (2017), a produção de massa seca de palhada no campo é de 14 Mg ha⁻¹, sendo que 60% deste total pode ser explorado para cogeração de energia. Contudo, em ambientes onde a agricultura de precisão é adotada por meio da utilização da fertirrigação por gotejamento subsuperficial, a produtividade de palhada de cana-de-açúcar é bem maior. No estudo de Oliveira, Braga e Santos (2014) com as cultivares RB72454 e RB92579, a produtividade média de palhada foi de 32,42 Mg ha⁻¹. Essa quantidade de palhada produzida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura pode também servir como fonte energética por meio da geração de E2G.

Em estudo realizado por Aquino et al. (2015), com diferentes percentuais de palhada, observou-se que o tratamento com 10 Mg ha⁻¹, que correspondia a 50% da palhada produzida, favoreceu a cultura, proporcionando maiores produtividades de colmo, além de aumentar a massa radicular da cultura.

A necessidade de garantir a sustentabilidade do sistema e as restrições impostas à atividade canavieira no sentido de reduzir a queima da palha da cana-de-açúcar ou mesmo suprimir esta prática durante a colheita resulta em excedentes de palha, a qual pode ser utilizada na produção de E2G, uma vez que a palhada constitui-se em importante fonte de biomassa lignocelulósica que por meio do processo fermentativo auxilia no aumento dos níveis de produção de bioetanol, sem aumentar a área cultivada (PACHECO, 2011; NUNES et al., 2013). De acordo Morais et al. (2017), o E2G já se encontra consolidado no mercado industrial de biocombustíveis, sendo seguro e sustentável, pois reduz a emissão de gases de efeito estufa e pode ser

considerado uma das formas mais econômicas e eficientes entre as fontes bionérgicas. No Brasil, a possibilidade de utilização da palhada ou mesmo do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de bioetanol tem impacto relevante e é favorecida pela logística já existente, uma vez que o processo de geração de E2G pode ser anexado às estruturas já existentes para a produção de bioetanol de primeira geração – E1G, reduzindo os investimentos (SOCCOL et al., 2010).

A palhada apresenta diversas vantagens além da energética, pois a mesma pode ser mantida na superfície do solo e, no processo de decomposição, liberar nutrientes que servirão para o ciclo seguinte. Neste processo de decomposição, são também liberados metabólitos que interferirão na micro e mesofauna do solo, tornando o solo mais dinâmico. Outros aspectos que devem ser levados em consideração são seus efeitos na interferência da comunidade de plantas infestantes, tanto devido à camada formada pela palhada na superfície, que funciona como uma barreira física à germinação e desenvolvimento de plântulas daninhas, quanto devido aos compostos liberados no solo que podem ter efeitos alelopáticos, os quais reduzirão a presença de plantas invasoras. Os teores de C e N no meio são também alterados e a relação C/N deve ser considerada na manutenção da palhada uma vez que se trata de um material de decomposição lenta.

A permanência da palhada no solo, reduz a oscilação térmica e mantém uma maior umidade no ambiente produtivo, evitando-se perdas por evaporação. Todos estes aspectos benéficos devem ser considerados ao se analisar a retirada da palhada para fins energéticos. Assim, diferentes percentuais de palhada no solo podem ser utilizados pelas usinas, as quais poderão, com base no potencial de produção de energia a partir da palhada e da sustentabilidade do sistema, decidir qual percentual deve ser mantido sobre o solo (SILVA; MEERT; FINAMORE, 2016).

O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade de palhada de cana-de-açúcar e

estimar o rendimento de E2G, em um sistema irrigado por gotejamento subsuperficial, sob diferentes percentuais de manutenção de palhada sobre a superfície do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido durante quatro anos (2011/2012 a 2014/2015) em um talhão comercial da Usina Agrovale – S.A, em Juazeiro – BA, sob as coordenadas 9° 28' 07" S e 40° 22' 43" W. O solo da área foi classificado como Vertissolo, caracterizado pelo horizonte vértico e fendas que, em períodos secos, podem ser maiores que um centímetro, com alto teor de argila, pegajosidade e deficiente em drenagem (LEPSCH, 2010).

A região caracteriza-se pelo clima BSh (quente e seco) com temperaturas altas, podendo superar 40 °C no verão, cujas médias anuais são superiores a 20 °C e déficit hídrico prolongado devido às precipitações escassas que variam entre 280 e 800 mm ao ano (ARAÚJO, 2011). Durante o período experimental foi realizado o monitoramento das condições climáticas com uma estação meteorológica instalada próxima à área experimental, na qual foram registradas, nos quatro anos de observação, as seguintes precipitações: 297,5, 243,3, 284,2, e 490,7 mm acumulados anualmente. A temperatura mínima média mensal variou de 16,4 a 20,4 °C; a temperatura máxima média mensal variou de 30,8 a 34,5 °C e a Umidade relativa média mensal de 55 a 69,5 %, nos quatro anos de cultivo.

Na área experimental foram coletadas amostras de solo, na camada de 0 a 20 cm, as quais foram conduzidas para o Laboratório de Água e Solo da Embrapa Semiárido para análise química, seguindo-se a metodologia recomendada pela Embrapa (2012), sendo as características apresentadas na Tabela 1. Os resultados da análise foram utilizados na recomendação de adubação da cultura, considerando-se um sistema fertirrigado.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, Usina Agrovale – Juazeiro – BA.

Profund.	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S (bases)	CTC
cm	cmolc dm ⁻³							
0-20	0,38	4,20	1,60	0,06	0,05	3,30	6,44	9,74
M.O.	pH	C.E.	V	P	Cu	Fe	Mn	Zn
g kg ⁻¹	H ₂ O	dS m ⁻¹	%	mg dm ⁻³				
9,00	6,30	1,85	70,67	7,34	3,40	32,80	44,00	2,70

No talhão comercial foi cultivada a variedade de cana-de-açúcar VAT90212, sendo esta escolhida por ter grande representatividade e produtividade na região.

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos, que corresponderam a diferentes percentuais de palhada remanescente depositadas na superfície do solo: 0, 25, 50, 75 e 100% da manutenção da palhada no solo, com quatro repetições. No primeiro ano de cultivo (Ano 1), a palhada depositada sobre as parcelas foi oriunda de outra área, considerando-se a mesma variedade de cana e tomando-se por base a produção total de 24 Mg ha⁻¹ de palhada para o tratamento com 100% e os demais, de acordo com o percentual previamente definido.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes, tipo labirinto, embutidos na tubulação, com vazão média de 1,6 L h⁻¹, espaçados entre si em 0,50 m e enterrados à profundidade de 0,2 m. O plantio da cultura foi realizado em linhas duplas, com espaçamento de 0,6 m entre linhas e 1,2 m entre linhas duplas, perfazendo 1,8 m entre linhas de gotejadores. Foram instalados tubos de acessos para monitoramento da umidade no perfil do solo para fins de definição de irrigação, sendo esta baseada na evapotranspiração da cultura (ETc) utilizando-se nos cálculos o coeficiente da cultura (Kc) da cana-de-açúcar recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1998).

As parcelas experimentais foram constituídas por oito linhas duplas de plantio de 10 m de comprimento. Para avaliação da produtividade de biomassa seca da palhada, realizou-se a colheita da cana-de-açúcar nas quatro linhas duplas centrais de cada parcela, considerando-se apenas os quatro metros lineares centrais. Após a colheita, a palhada foi retirada do colmo e seca em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de

65 °C, até atingir peso constante. Logo após, o material foi pesado e estimou-se a produtividade de palhada por hectare em função dos tratamentos.

A partir do segundo ano de cultivo (Ano 2), para a manutenção da palhada remanescente no solo em cada parcela, adotou-se o percentual referente à produtividade de palhada alcançada pelo tratamento ao qual a parcela estava sendo submetida.

Para fins de análise do potencial de produção de bioetanol da palhada retirada da planta, utilizou-se a seguinte fórmula, baseada em estudo de Santos et al. (2012):

$$Y = \frac{(Pp * C * Rh * Rf)}{De} \quad (1)$$

Em que:

Y = rendimento de bioetanol (L ha⁻¹)

Pp = produção de palhada de cana-de-açúcar (kg ha⁻¹)

C = teor de celulose = 40%

Rh = rendimento da hidrólise = 1,11

Rf = rendimento da fermentação = 0,51

De = densidade do etanol = 0,79

Os dados de produtividade de palhada foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias dos dados foram utilizadas em análises de regressão, empregando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

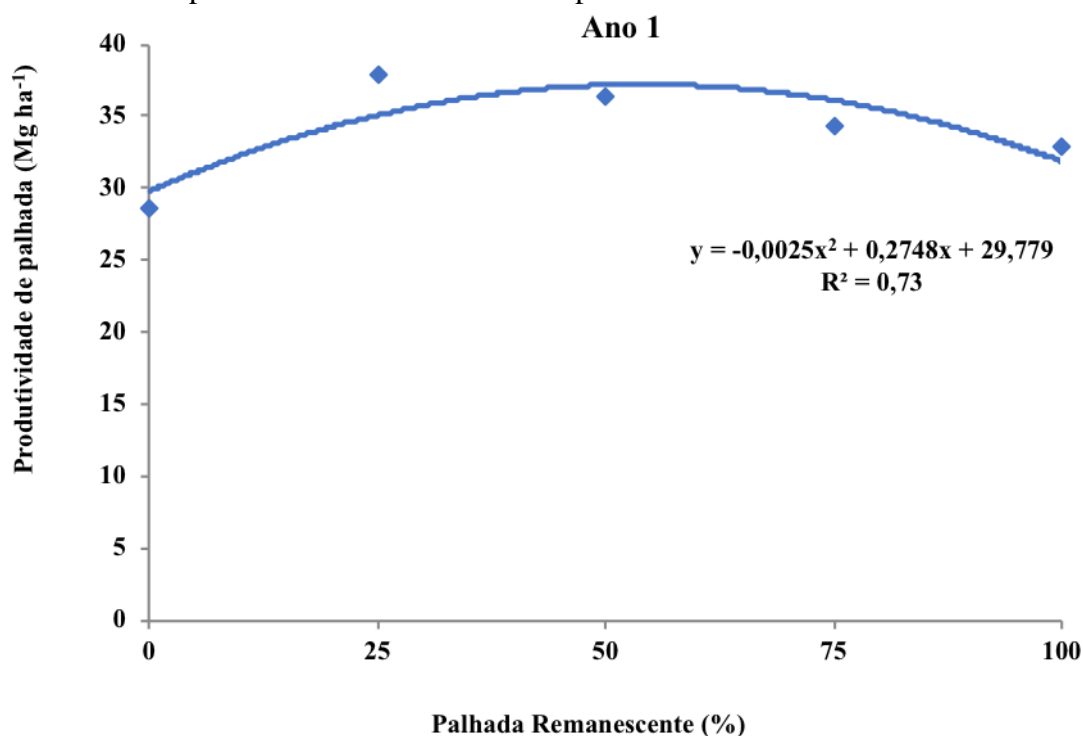
A análise da variável produtividade de palhada em função dos diferentes percentuais de palhada remanescente sobre o solo não apresentou interação com relação aos anos de cultivo, porém, houve diferença entre os percentuais de palhada e ano de cultivo separadamente.

3.1 Percentual de palhada

No cultivo da cana-planta (Ano 1), a produtividade de palhada ajustou-se a uma curva quadrática, conforme Figura 1. Observa-se que no primeiro ano de plantio, a manutenção de percentuais próximos a 55% da palhada na superfície do solo, proporcionam efeitos positivos na produtividade da palhada ($37,33 \text{ Mg ha}^{-1}$). A deposição de quantidades maiores de palhada resulta em queda na produtividade de palhada, assim como a manutenção de valores inferiores a 55% resultam também em redução na

produtividade. Tal fato pode estar relacionado ao manejo sustentável da palhada no sistema, uma vez que a retirada total desta aumenta a temperatura do solo, reduz a umidade, diminui a biodiversidade e a atividade microbiana, além de reduzir a ciclagem de nutrientes (MOITINHO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014; CARVALHO et al., 2017). Por outro lado, valores maiores podem resultar em menor estande de plantas devido à barreira física imposta pela palhada na germinação dos toletes na fase de rebrota (PESSATE, 2009; CAMPOS et al., 2010; CARVALHO et al., 2017).

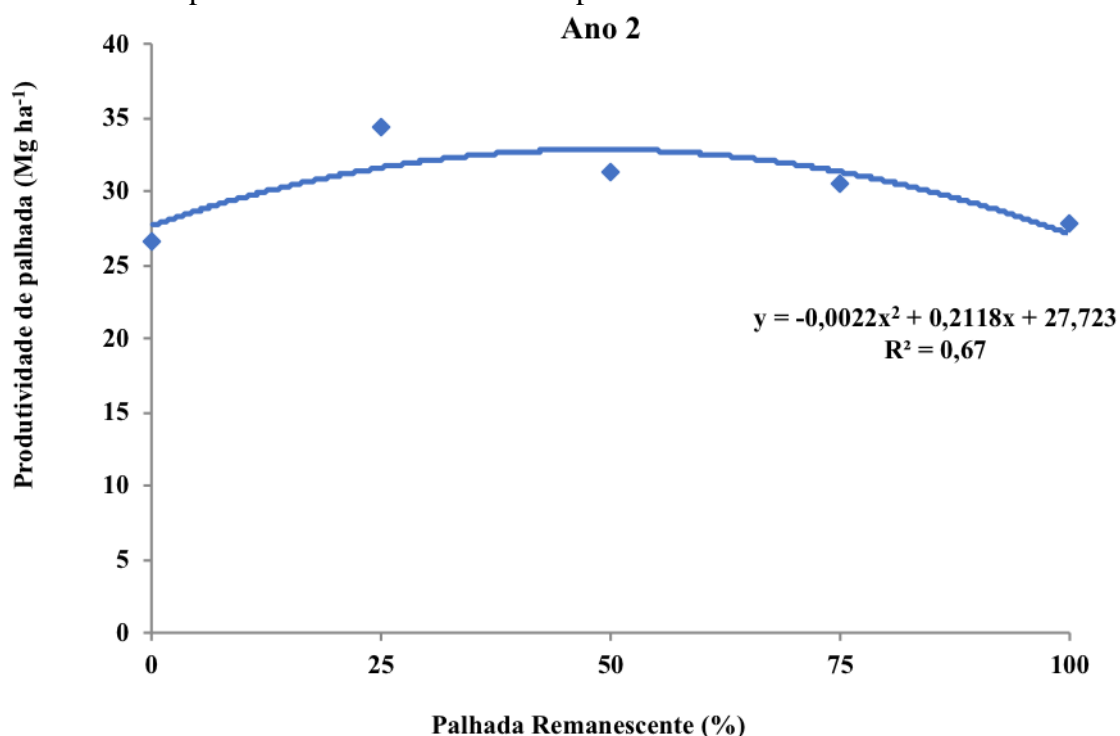
Figura 1. Produtividade de palhada de cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo em função de diferentes percentuais remanescentes de palhada na cobertura do solo.



No segundo ano de cultivo, na cana-soca de primeira folha, a produtividade de palhada da variedade VAT 90212 apresentou comportamento similar ao ano anterior, notando-se que a cobertura do solo com aproximadamente 50% da palhada, na colheita da cana-planta, resultou em maior produtividade de palhada na cana-soca ($32,82 \text{ Mg ha}^{-1}$), como pode ser observado na Figura

2. Os resultados corroboram com os de Aquino et al. (2015) que, estudando o efeito de diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar no desenvolvimento radicular e na produtividade de cana-de-açúcar, constataram que o tratamento de manutenção de 50% de palhada sobre o solo proporciona um aumento na massa radicular da cana-de-açúcar, favorecendo o desenvolvimento da cultura.

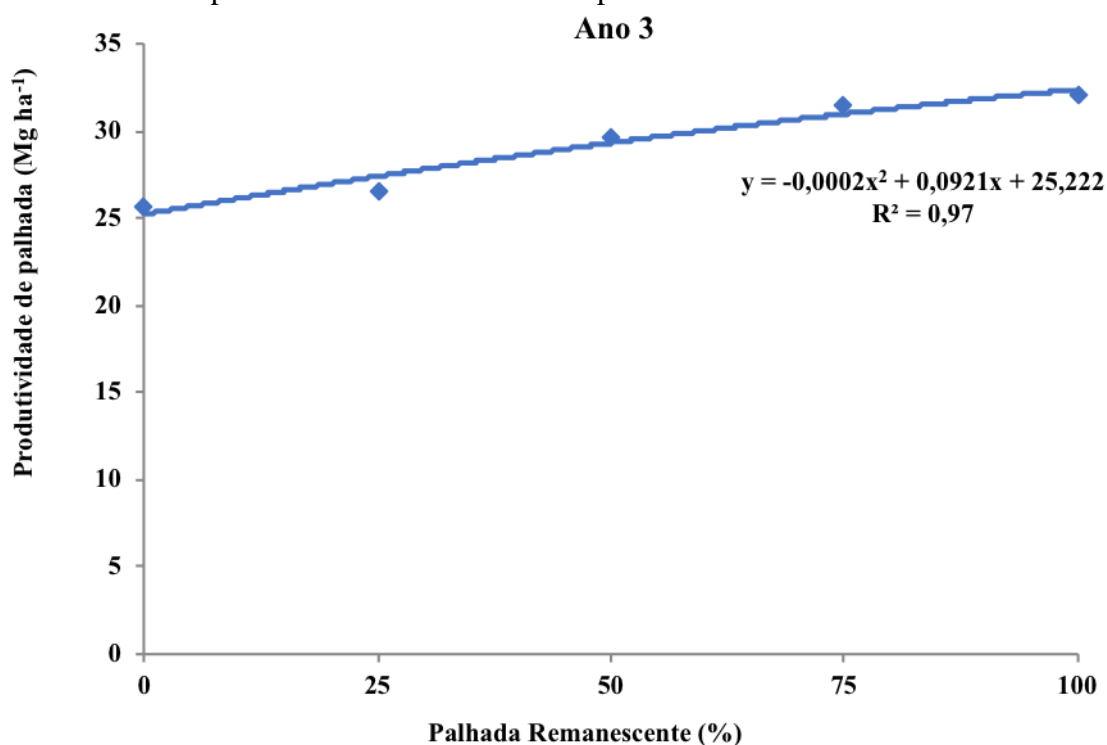
Figura 2. Produtividade de palhada de cana-de-açúcar no segundo ano de cultivo em função de diferentes percentuais remanescentes de palhada na cobertura do solo.



A produtividade de palhada na terceira colheita (cana-soca de segunda folha) resultou em um ajuste de equação quadrática, contudo, nota-se que o ponto de máxima produtividade aumentou em função da quantidade de palhada remanescente colocada na cobertura do solo (Figura 3). Este comportamento pode estar relacionado ao fato de que a soqueira da cana tem maior condição de vencer as barreiras físicas impostas pela palhada remanescente, possibilitando que a germinação das gemas se

dê dentro de uma condição mais favorável, proporcionada pela maior abrangência do sistema radicular formado ao longo de dois anos de cultivo (cana-planta e cana-soca de primeira folha). Salienta-se que maiores percentuais de palhada sobre o solo, proporcionam maior retenção de umidade, o que pode possibilitar que a cultura se recupere após o corte com maior rapidez e capacidade de produção (AQUINO et al., 2015).

Figura 3. Produção de palhada de cana-de-açúcar no terceiro ano de cultivo em função de diferentes percentuais remanescentes de palhada na cobertura do solo.



No ano 4 (cana-soca de terceira folha), a diferença da produtividade de palhada entre os tratamentos que receberam diferentes camadas de palhada remanescente no solo foi não significativa, sendo a média de produtividade de palhada de cana-de-açúcar de 26,83 Mg ha⁻¹, indicando uma provável estabilização na produtividade, o que pode estar relacionado às características intrínsecas da própria cultivar. Este resultado pode estar associado, também, a maior precipitação anual ocorrida neste ciclo, aproximadamente o dobro dos ciclos anteriores, o que pode ter interferido nos modelos de temperatura e umidade do solo, na biodiversidade e na atividade a microbiana e na alteração da ciclagem de nutrientes que estavam sendo proporcionadas pelos tratamentos nos ciclos de cultivo menos chuvosos. Outro aspecto que pode estar influenciando a produtividade de palhada na cana-soca de terceira folha é a taxa de decomposição da palha, que mesmo em menores percentuais não se decompõe totalmente em um ciclo. Durante o período experimental, as altas temperaturas observadas, aliadas à disponibilidade hídrica proporcionada pelo sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, provavelmente,

favoreceram a decomposição, pois diversos estudos demonstram tal relação (ZHOU et al., 2016; LISBOA et al., 2018; SOUZA et al., 2020). Por outro lado, em estudo de Yamaguchi et al. (2017), foi observado que a taxa de decomposição não é alterada em função da quantidade de palhada depositada sobre o solo, considerando condições não limitantes no que se refere à temperatura e umidade. De acordo com Ramos et al. (2016), independentemente da quantidade inicial de palhada de cana-de-açúcar depositada sobre a superfície do solo, o processo de decomposição não se finda mesmo após duas socas. A perda de carbono e nitrogênio é duas a três vezes maior no primeiro ano em comparação com o segundo ano de deposição, sugerindo que a remoção de 50% do total de palhada depositada no solo, para fins energéticos, pode ser o percentual mais adequado (PIMENTEL et al., 2019).

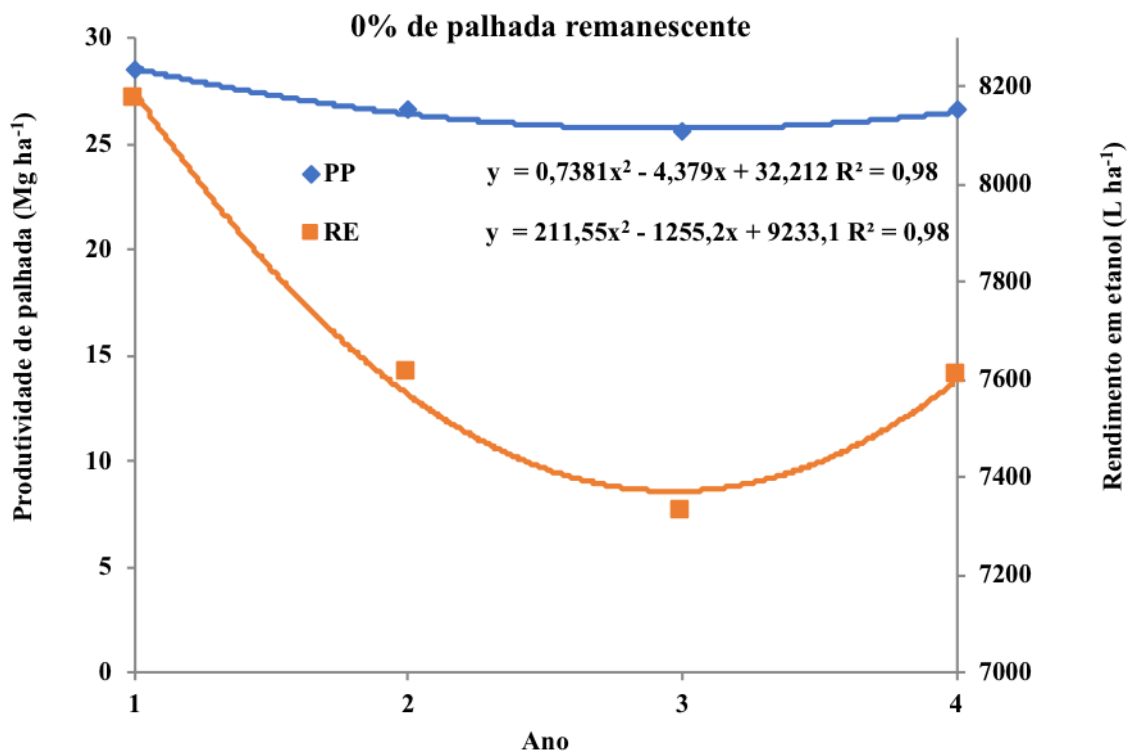
3.2 Anos de cultivo

A análise da manutenção dos diferentes percentuais de palhada ao longo dos quatro anos de avaliação demonstrou diferenças significativas, as quais são representadas nas

figuras que seguem. Depreende-se da Figura 4 que em solo totalmente descoberto, as médias de produtividade de palhada variaram de 28,52 Mg ha⁻¹ em cana-planta a 26,56 Mg ha⁻¹ no quarto ano de cultivo. Tal resultado corrobora com o observado por Silva et al. (2013), que trabalhando com a cultivar VAT902012 verificaram que a mesma apresentou elevada produtividade na primeira safra, sendo esta superior à média das soqueiras. O rendimento estimado de bioetanol seguiu a mesma tendência, uma vez que este foi proporcional à produtividade de biomassa seca, resultando em percentuais mínimos próximos ao terceiro ano

de cultivo (7.328 L ha⁻¹). Neste cultivo com cana crua, onde não há queima da cana-de-açúcar durante a atividade de colheita, a produção de palhada pode ser utilizada para conversão em E2G. Se a retirada da palhada for total (0% de palhada) e se for enviada para processamento, a usina poderá ter um incremento de, aproximadamente, 8.100 L ha⁻¹ de bioetanol na primeira safra. De acordo com Nunes et al. (2013), a utilização da palhada da cana-de-açúcar no Brasil, pode potencializar a produção de bioetanol, estimando-se incremento de produção de 88 bilhões de litros ano⁻¹.

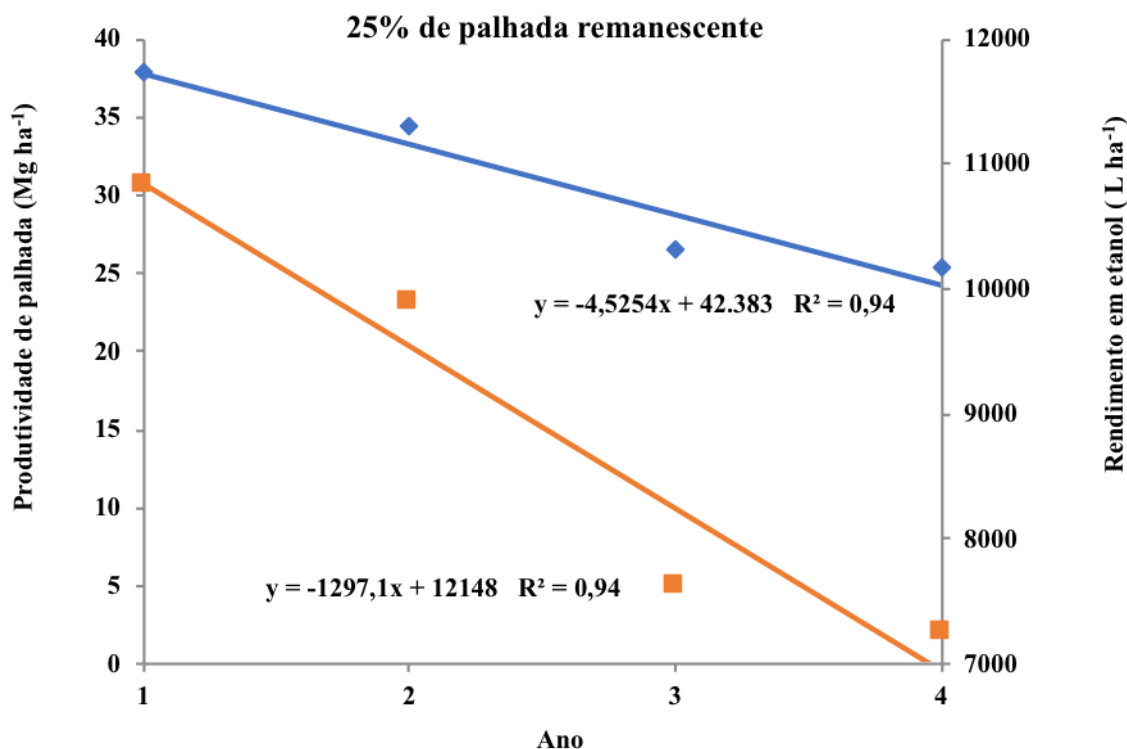
Figura 4. Produção de palhada de cana-de-açúcar e rendimento de etanol com 0% de palhada remanescente ao longo de quatro anos de cultivo



Quando se considera a deposição de 25% da palhada remanescente (Figura 5), nota-se que no primeiro ano de cultivo (cana-planta), a variedade VAT 90212 é beneficiada, alcançando-se produtividade de palhada de 37,82 Mg ha⁻¹ e rendimento de etanol de 10.839 L ha⁻¹. O comportamento foi linear, sendo a produtividade e o rendimento do etanol reduzidos ao longo dos anos. Contudo,

mesmo no quarto ano de cultivo, o rendimento do etanol é relativamente elevado, com produção estimada de 7.267,6 L ha⁻¹. Tais estimativas de rendimento de E2G corroboram com Santos et al. (2012) que consideram que a produtividade de etanol por hectare pode duplicar sem a necessidade de expansão de área cultivada.

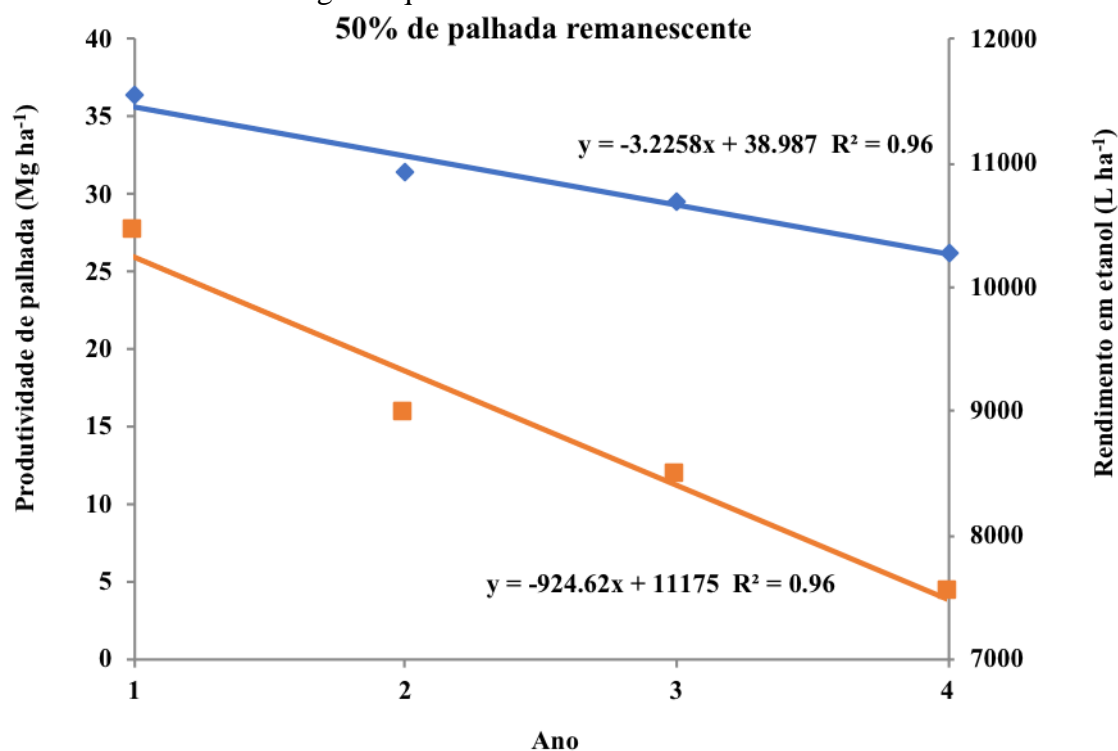
Figura 5. Produção de palhada de cana-de-açúcar e rendimento de bioetanol com 25% de palhada remanescente ao longo de quatro anos de cultivo.



Nas figuras 6 e 7 são mostrados os comportamentos de produtividade de palhada e de estimativa de rendimento de bioetanol quando se deposita 50 e 75% da palhada remanescente sobre o solo durante a colheita, respectivamente. Nota-se tendência similar nas duas condições. Em relação à produtividade de palhada, as médias variaram entre 36,4 Mg ha⁻¹ (cana-planta) e 26,3 Mg ha⁻¹ (soca de terceira folha) na condição de manutenção de metade da palhada sobre o solo e de 34,0 Mg ha⁻¹ (cana-planta) e 28,0 Mg ha⁻¹ (soca de terceira

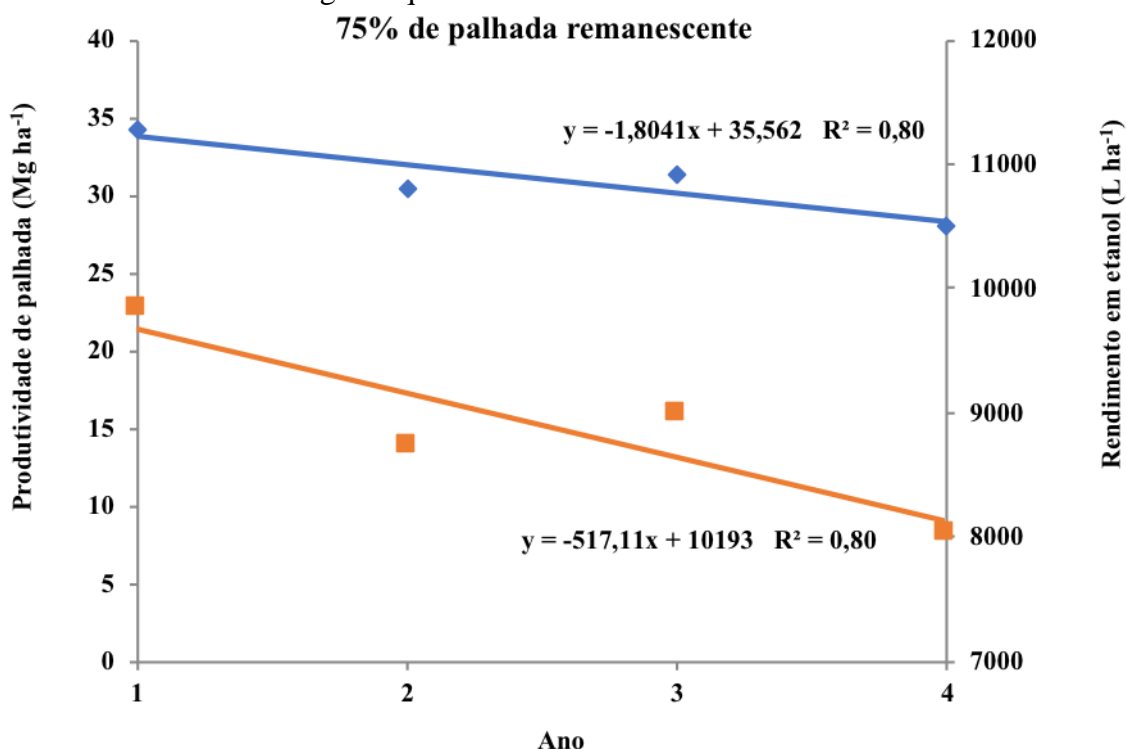
folha) com a retirada de 25% da palhada do solo. Nota-se a importância da manutenção mínima de palhada sobre o solo a fim de manter a sustentabilidade do sistema e garantir maiores produtividades em relação ao tratamento de ausência total de palhada. Segundo Carvalho et al. (2017), os maiores benefícios agrônômicos e ambientais são alcançados quando pelo menos 7 Mg ha⁻¹ de palha seca é mantida sobre a superfície do solo.

Figura 6. Produção de palhada de cana-de-açúcar e rendimento de bioetanol com 50% de palhada remanescente ao longo de quatro anos de cultivo



A definição do percentual de palhada que pode ser retirada do solo para fins energéticos e do percentual que deve ser mantido para conservação do solo está sendo objeto de diversos estudos, contudo, há consenso de que não se deve retirar toda

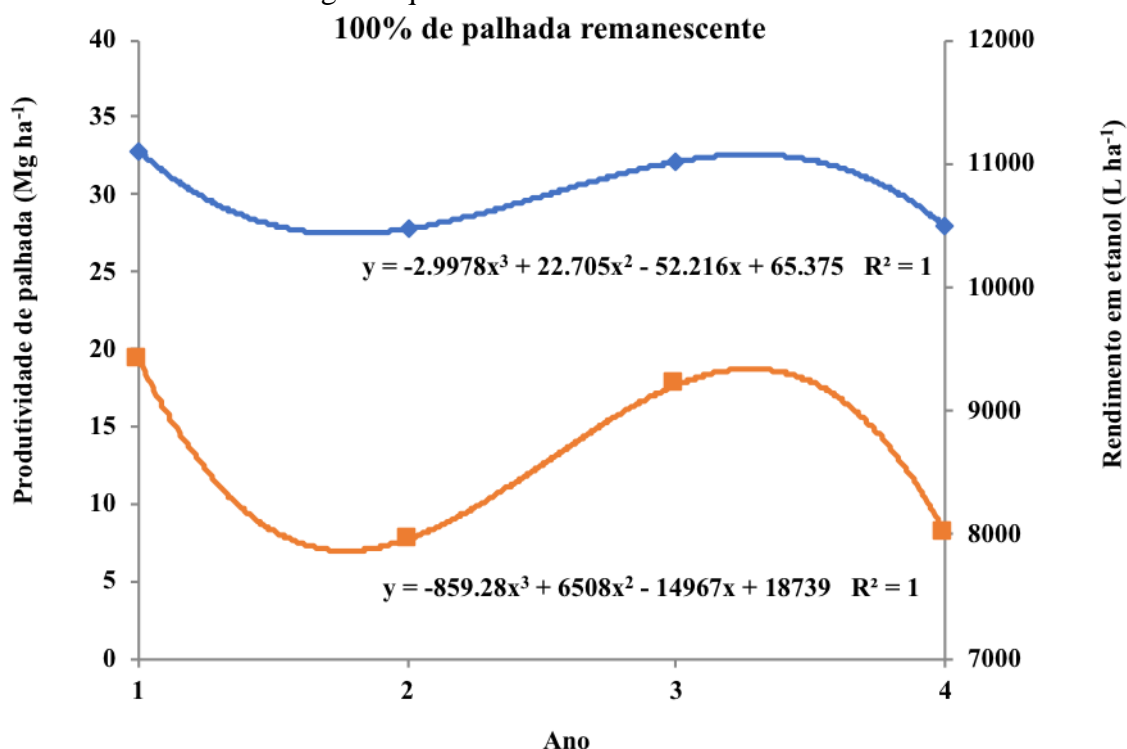
palhada do solo. Sá et al. (2015) recomendam a manutenção de pelo menos 7 a 8 toneladas de palha seca sobre o solo e acrescentam que, em canaviais de baixa produtividade, a remoção da palhada deve ser evitada.

Figura 7. Produção de palhada de cana-de-açúcar e rendimento de bioetanol com 75% de palhada remanescente ao longo de quatro anos de cultivo

Na Figura 8 são apresentadas as curvas cúbicas que foram geradas em função da significância da análise de regressão para produtividade de palhada e rendimento de bioetanol com a colocação de 25% da palhada remanescente sobre o solo. Observa-se que as variáveis inicialmente apresentam maiores valores, porém no segundo ano de cultivo (cana-soca de primeira folha) há uma redução em relação ao primeiro ano. Na sequência ocorre novo aumento na produtividade (terceiro ano), seguido de redução (quarto ano). Este comportamento ondulatório pode ser explicado, entre outros fatores, pelo manejo da palhada, uma vez que em cana-planta a cultivar VAT 90212 tem elevada

produtividade. No ano seguinte, devido à manutenção total da palhada, provavelmente ocorreu inibição no processo de perfilhamento, o que resultou em redução na produtividade final. Menor produtividade de palhada significa menor deposição do material sobre o solo, o que conduziu ao melhor perfilhamento no terceiro ano e, conseqüentemente, maior produtividade de palhada, sendo que esta reduziu o perfilhamento para o ano seguinte. No estudo de Campos et al. (2010), observou-se que a produtividade de colmos foi afetada pela permanência total da palhada no solo, em relação às parcelas nas quais foram retiradas 66% da palhada.

Figura 8. Produção de palhada de cana-de-açúcar e rendimento de bioetanol com 100% de palhada remanescente ao longo de quatro anos de cultivo.



4 CONCLUSÃO

A produtividade de palhada de cana-de-açúcar apresenta elevados índices em condições de altas temperaturas e adequada disponibilidade hídrica, sendo influenciada pela quantidade de palhada remanescente sobre o solo na safra anterior e pelo ciclo de cultivo.

A cultivar VAT90212 apresenta maior produtividade de palhada em cana-planta.

O rendimento de E2G pode ser potencializado com a utilização de palhada, aumentando a produtividade de bioetanol por hectare de cana-de-açúcar.

5 AGRADECIMENTO

À Petrobrás pelo apoio financeiro à pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; PORTEIRA JUNIOR, A. L.; SANTOS, L. O.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; SANTOS JÚNIOR, J. H.; ALMEIDA, L. F.; SANTIAGO, A. D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 12, p. 1150-1159, 2015.

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Revista Rios Eletrônica**, Paulo Afonso, v. 5, n. 5, p. 89-98, 2011.

AYARS, J. E.; FULTON, A.; TAYLOR, B. Subsurface drip irrigation in California-Here to stay? **Agricultural Water Management**, Issy-les-Moulineaux, v. 157, n. 31, p. 39-47, 2015.

CAMPOS, L. H. F.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FORTES, C.; SILVA, J. S. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 345-350, 2010.

CANA-DE-AÇÚCAR. **Acompanhamento da Safra Brasileira**: cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 7, n. 3, p. 1-62, dez. 2020. Safra 2020/2021, Terceiro levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 21 dez. 2020.

CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **Global Change Biology Bioenergy**, Weinheim, v. 9, n. 7, p. 1181-1195, 2017.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

EMBRAPA. **Proposta de atualização da segunda edição do sistema brasileiro de classificação de solos**: ano 2012. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. (Documentos, 140).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

LEPSCH, I. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M. R.; LIMA, R. P.; CERRI, C. C.; SATIRO, L. S.; WIENHOLD, B. J.; SCHMER, M. R.; JIN, V. L.; CERRI, C. E. P. Sugarcane straw removal effects on plant growth and stalk yield. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 111, p. 794-806, 2018.

MENANDRO, L. M. S.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; KÖLLN, O. T.; PIMENTA, M. T. B.; SANCHES, G. M.; RABELO, S. C.; CARVALHO, J. L. N. Comprehensive assessment of sugarcane straw: implications for biomass and bioenergy production. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, London, v. 11, n. 3, p. 488-504, 2017.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JUNIOR, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1720-1728, 2013.

MORAIS, P. P.; PASCOAL, P. V.; ROCHA, E. S.; MARTINS, E. C. A. Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 45-57, 2017.

NUNES, R. M.; GUARDA, E. A.; SERRA, J. C. V.; MARTINS, A. A. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 113-238, 2013.

OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no Vale do São Francisco. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 14-21, 2014.

PACHECO, T. F. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2011. (Circular Técnica, 04).

PESSATE, A. C. **Efeitos do manejo da palha no rendimento da soqueira e na qualidade da cana-de-açúcar.** 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PIEROSI, M. A.; FAGUNDES, S. A. Enfardamento da palha. *In*: SANTOS, F.; BORÉM, A. (ed.). **Cana-de-açúcar: do plantio à colheita.** Viçosa: UFV, 2013. p. 245-257.

PIMENTEL, L. G.; CHERUBIN, M. R.; OLIVEIRA, D. M. S.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Decomposition of sugarcane straw: basis for management decisions for bioenergy production. **Biomass and Bioenergy**, Birmingham, v. 122, p. 133-144, 2019.

RAMOS, N. P.; YAMAGUCHI, C. S.; PIRES, A. M. M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R. A.; PACKER, A. P.; CABRAL, O. M. R.; ANDRADE, C. A. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

SÁ, M. A. C.; FRANZ, C. A. B.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; REIN, T. A.; BUFON, V. B.; CARVALHO, A. M.; MULLER, A. G. **Manejo do palhicho residual na cultura de cana-de-açúcar no Cerrado: primeira aproximação.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2015. (Circular Técnica, 27).

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SHAMSUL, N. S.; KAMARUDIN, S. K.; RAHMAN, N. A.; KOFLI, N. T. An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 33, p. 578-588, 2014.

SILALERTRUKSA, T.; PONGPAT, P.; GHEEWALA, S. H. Life cycle assessment for enhancing environmental sustainability of sugarcane biorefinery in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 140, n. 2, p. 906-913, 2017.

SILVA, A. P.; MEERT, D.; FINAMORE, W. L.M. A. Aproveitamento da palha da cana-de-açúcar pós colheita mecanizada. **Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/Construção e Tecnologia**, Dourados, v. 5, n. 8, p. 65-74, 2016.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; SANTOS, C. E. R. S.; OLIVEIRA, D. C.; SILVA, C. T.; REIS, R. M. S. Produtividade de colmos e de açúcares de quatro variedades de cana-de-açúcar em três anos agrícolas. *In*: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 13., 2013, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFRPE, 2013. p. 1-3.

SOCCOL, C. R.; VANDENBERGHE, L. P.; MEDEIROS, A. B.; KARP, S. G.; BUCKERIDGE, M.; RAMOS, L. P.; PITARELO, A. P.; FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M.; FERRARA, M. A.; BON, E. P. S.; MORAES, L. M.; ARAÚJO, J. A.; TORRES, F. A. Bioethanol

from lignocelluloses: status and perspectives in Brazil. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 101, n. 13, p. 4820-4825, 2010.

SOUZA, C. A. A.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SILVA, P. P.; MARIN, F. R. Straw management effects on sugarcane growth, nutrient cycling and water use in the Brazilian semiarid region. **Bragantia**, Campinas, v. 79, n. 4, p. 400-411, 2020.

YAMAGUCHI, C. S.; RAMOS, N. P.; CARVALHO, C. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. Decomposição da palha de cana-de-açúcar e balanço de carbono em função da massa inicialmente aportada sobre o solo e da aplicação de vinhaça. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 1, p. 135-144, 2017.

ZHOU, G.; ZHANG, J.; CHEN, L.; ZHANG, C.; YU, Z. Temperature and straw quality regulate the microbial phospholipid fatty acid composition associated with straw decomposition. **Pedosphere**, Nanjing, v. 26, n. 3, p. 386-398, 2016.