

Efeito do Preparo do Solo na Viabilidade Econômica, Demanda de Energia Fóssil e Emissão de GEEs na Produção de Milho no Agreste Sergipano



ISSN 1678-1961

Setembro, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 92

**Efeito do Preparo do Solo
na Viabilidade Econômica,
Demanda de Energia Fóssil e
Emissão de GEEs na Produção
de Milho no Agreste Sergipano**

*Inácio de Barros
Edson Patto Pacheco
Carlos Roberto Martins
Hélio Wilson Lemos de Carvalho*

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2015

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Av. Beira Mar, 3250

49025-040 Aracaju, SE

Fone: (79) 4009-1344

Fax: (79) 4009-1399

www.cpatc.embrapa.br

www.embrapa.com.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Presidente: *Marcelo Ferreira Fernandes*

Secretária-executiva: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Membros: *Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Élio César Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, João Costa Gomes, Josué Francisco da Silva Junior, Julio Roberto de Araujo Amorim, Viviane Talamini e Walane Maria Pereira de Mello Ivo*

Supervisão editorial: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Editoração eletrônica: *Arthur Henrique Costa Godofredo*

Foto da capa: *Adenir Vieira Teodoro*

1ª Edição (2015)

On-line (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Tabuleiros Costeiros

Efeito do preparo do solo na viabilidade econômica, emanda de energia fóssil e emissão de GEEs na produção de milho no Agreste sergipano / Inácio de Barros... [et. al.].- Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

26 p. II. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961, 92).

1. Milho. 2. Agreste. 3. Plantio direto. 4. Economia da produção. 5. Consumo energético. I. Barros, Inácio de. II. Pacheco, Edson Patto. III. Martins, Carlos Roberto. IV. Carvalho, Hélio Wilson Lemos de. V. Título. VI. Série.

CDD 633.15 (21. ed.)

© Embrapa 2015

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	13
Conclusões	22
Referências	22

Efeito do Preparo do Solo na Viabilidade Econômica, Demanda de Energia Fóssil e Emissão de GEEs na Produção de Milho no Agreste Sergipano

Inácio de Barros¹

Edson Patto Pacheco²

Carlos Roberto Martins³

Hélio Wilson Lemos de Carvalho⁴

Resumo

A produção de milho tem apresentado um crescimento exponencial no Agreste Sergipano nos últimos anos. Esse crescimento tem sido acompanhado por uma mudança no perfil tecnológico e pelo uso intensivo de sementes OGM, insumos químicos e maquinário. Todavia, a adoção de práticas conservacionistas do solo ainda é incipiente e sinais de degradação do solo já podem ser observados. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade econômica e o desempenho ambiental da produção de milho em três sistemas de preparo do solo: plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto. Para tal, um experimento foi conduzido no período 2011-2013. Os dados foram registrados e os desempenhos tanto econômicos quanto ambientais foram calculados a partir de coeficientes técnicos e fatores de emissão previamente publicados. Os resultados indicam que o plantio direto é uma opção economicamente viável, além de apresentar uma menor demanda em energia fóssil e emitir menos gases de efeito

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

⁴ Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

estufa que os outros sistemas testados. Esses resultados permitem concluir que o plantio direto tem um desempenho tanto econômico quanto ambiental melhor do que o plantio convencional e o cultivo mínimo na produção de milho no Agreste sergipano.

Palavras-chave: agreste, eficiência energética, gases de efeito estufa, milho, plantio direto.

Economic Feasibility, Fossil Fuel Requirements, and GHG Emissions in Maize Production in the “Agreste” Part of Sergipe State – Brazil: Effect of Tillage Systems

Abstract

Maize production in the “Agreste” part of the Sergipe State in Brazil is experiencing an exponential growth in the last years. This increased production is being followed by changes in the technological profile towards farming systems with intensive use of GM hybrids, agrochemical and machinery. However, farmers are still low in adopting conservation tillage and some signs of soil degradation can already be observed in the region. The aim of this study is to evaluate the economic and environmental performance of maize production in three tillage systems: conventional, reduced and no-till. To that, an experiment was carried out during the period 2011-2013. The data were recorded and the economic as well as environmental performances calculated from previously published technical coefficients and emission factors. The results showed that no-till are not only an economically viable option but also requires less fossil fuel and emits less GHG than the two other systems tested. Therefore, it is possible to conclude that no-till has better performances on both economic and environmental aspects compared to conventional and reduced tillage for maize production in the “Agreste” part of Sergipe State-Brazil.

Index terms: energy efficiency, greenhouse gas, maize, no till, tropical semi-arid.

Introdução

Entre 2003 e 2010, a produção de milho em Sergipe aumentou em 867%, passando de 86,6 para 750,7 mil toneladas. Este aumento se deu tanto por uma ampliação na área colhida, que passou de 78,5 para 182,1 mil hectares, como por fortes ganhos de produtividade, passando de 1.100 para 4.123 kg ha⁻¹. Essa mudança no ambiente produtivo colocou a cultura em destaque, transformando-a na principal cultura anual do Estado em valores econômicos (IBGE, 2011).

O desenvolvimento e a introdução de novos híbridos e variedades adaptados às condições edafoclimáticas da região Agreste do Estado foi um dos principais responsáveis pelo aumento na produtividade do milho (CARVALHO et al., 2001). Contudo, a introdução desses novos materiais com potencial produtivo elevado levou à necessidade de se modificar os sistemas de cultivo; e, dessa forma, tem-se observado que, em conjunto com o aumento na área plantada, tem ocorrido uma importante mudança no perfil tecnológico da produção, o qual tem sido direcionado para o uso intensivo de insumos químicos e de máquinas agrícolas. Todavia, o manejo convencional do solo com o uso de grade pesada ainda tem predominado no seio do setor produtivo (BARROS et al., 2013).

O revolvimento intensivo do solo por meio de arações anuais ou pelo uso de grade pesada tem sido associado à degradação do potencial produtivo dos solos cultivados e consequente queda na produtividade, comprometendo assim a sustentabilidade e a longevidade da atividade agrícola (PAIVA, 2011). Assim, a adoção de práticas de manejo que favoreçam a conservação, ou mesmo o aumento do potencial produtivo das áreas agrícolas, constitui-se em um aspecto crítico na construção de sistemas de produção sustentáveis e adaptados às condições edafoclimáticas da região do Agreste sergipano.

Entre as alternativas de manejo racional e conservacionista do solo, estão o plantio direto e o cultivo mínimo. O plantio direto é o processo de semeadura em um solo não revolvido. Nesse sistema, a semente é

depositada em sulcos cujas dimensões são suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com o solo. O sistema plantio direto preconiza a eliminação das operações de preparo do solo, o controle de invasoras por meio do uso de herbicidas, a formação e manutenção de uma cobertura vegetal morta e o uso de maquinário específico (CRUZ et al., 2002).

A grande produção de fitomassa pela cultura do milho favorece a produção de cobertura morta de resíduos de cultura que podem contribuir para reduzir a erosão e melhorar as propriedades do solo, se for bem manejado (CRUZ et al., 2006).

Segundo a FEBRAPDP (2015), a área cultivada com plantio direto no Brasil aumentou de 180 para 31.811.000 ha entre os anos agrícolas de 1972/1973 e 2011/2012, e o país já possui atualmente a segunda maior área cultivada sob esse sistema no mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos da América. No Nordeste brasileiro, contudo, a prática ainda é pouco difundida. Segundo Silva et al. (2011), existem dificuldades à implantação do sistema plantio direto na região devido ao pequeno acúmulo de cobertura morta, já que não há condições climáticas para se estabelecer uma sucessão de culturas ao longo do ano em função do curto período chuvoso, associado à alta temperatura, que acelera a decomposição dos resíduos, diminuindo rapidamente a cobertura do solo após a colheita (SILVA NETO, 2003; NUNES et al., 2004).

Todavia, em contraste com o modelo de expansão da cultura do milho no Agreste sergipano, a forma de agricultura predominante no Nordeste é a de subsistência, praticada em pequenas estabelecimentos rurais nas condições de sequeiro, dependente da fertilidade natural dos solos (SILVA et al., 2011), o que proporciona baixas produtividades e, conseqüente, baixa produção de fitomassa. Em condições de alta produtividade, contudo, pode-se especular que o acúmulo maior de biomassa nos restos vegetais possa durar até o próximo ciclo cultural, tal como observado por Silva et al. (2011) na região de Alagoinha, na Paraíba.

O objetivo do presente estudo foi o de avaliar o desempenho econômico, a demanda em energia fóssil e a emissão de gases de efeito estufa na produção de milho em três diferentes manejos do solo – plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto – no Agreste do Estado de Sergipe.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no período de 2011 a 2013, em um Cambissolo com textura franco-argilosa, eutrófico e relevo ondulado da Estação Experimental da Embrapa em Frei Paulo, SE, cuja precipitação pluviométrica média anual é de 700 mm, as coordenadas geográficas são 10° 55' de latitude S e 37° 53' de longitude O e a altitude média de 272 m em relação ao nível médio do mar. A declividade da área experimental foi de 5,42% e solo apresentou as seguintes características químicas na camada de 0–30 cm: pH (H₂O) = 6,5; M.O. (método colorimétrico) = 18,6 g kg⁻¹; Ca (KCl 1M) = 13,9 mmol_c dm⁻³; Mg (KCl 1 M) = 4,5 mmol_c dm⁻³; H + Al (SMP) = 1,53 mmol_c dm⁻³; P (Mehlich-1) = 1,42 mg dm⁻³; K (Mehlich-1) = 140 mg dm⁻³.

Os plantios do milho foram realizados em 18/05/2011, 28/06/2012 e 12/06/2013, sendo utilizados os híbridos DKB177RR2, 2B587HX e Ag7088PrO2 respectivamente nos anos de 2011, 2012 e 2013. A densidade de plantio foi de 85.000 plantas ha⁻¹.

Na adubação de plantio, foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de MAP (10-50-00; N, P₂O₅, K₂O). A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam, em média, quatro folhas, sendo aplicada a dose de 180 kg de N ha⁻¹ na forma de sulfato de amônio (22% de N), em 2011, e de ureia (45% de N) em 2012 e 2013. A adubação de cobertura foi feita a lanço e não houve recobrimento do adubo com o solo, uma vez que este se encontrava suficientemente úmido nos três anos.

O experimento constituiu-se de três tratamentos em que foram testados: 1) **plantio convencional (PC)** – constituído de uma passagem com arado e uma passagem com grade niveladora; 2) **cultivo mínimo (CM)** – constituído de uma passagem com escarificador (subsolador regulado para uma profundidade de 20 cm) e uma passagem com a grade niveladora e 3) **plantio direto (PD)**.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições, e cada parcela apresentando 77 m² (3,5 m x 22 m), sendo colhidas como áreas úteis as quatro (2011 e 2012) ou as duas linhas centrais (2013) de cada parcela.

Para o dessecamento do mato, no tratamento plantio direto, foi aplicado o herbicida Glyphosato na dose 1,44 kg de ingrediente ativo (3 litros do produto comercial) por hectare, aproximadamente duas semanas antes do preparo do solo. E, nos tratamentos com plantio convencional e cultivo mínimo, o controle de plantas invasoras foi feito com o herbicida Atrazina na dose de 2 kg de ingrediente ativo (4 litros do produto comercial) por hectare, logo após o plantio.

As colheitas foram realizadas nos dias 28 de outubro, 26 e 11 de novembro para os anos de 2011, 2012 e 2013, respectivamente.

Para maiores detalhes sobre os métodos utilizados, os resultados em termos de perdas de solo e água e os componentes da produtividade, recomenda-se consultar Barros et al. (2015a; 2015b).

Os coeficientes técnicos para a avaliação do desempenho econômico foram extraídos de Mattoso e Melo Filho (2009) e corrigidos para as características próprias do experimento. Os valores para o cálculo do custo de produção e da renda bruta foram extraídos de Pacheco et al. (2013) e representam os valores médios praticados na região nas safras de 2012 e 2013.

A demanda em energia fóssil também se utilizou dos coeficientes técnicos extraídos de Mattoso e Melo Filho (2009) e corrigidos para

as características próprias do experimento. Os valores encontrados foram multiplicados por coeficientes de consumo em energia fóssil previamente calculados e publicados em Grassini e Cassman (2012), Hill et al. (2012), Kim et al. (2014), Soares et al. (2009) e Gianpietro e Pimentel (1990) .

Para fins de cálculo, assumiu-se um consumo médio de 12 litros de diesel por hora-máquina (RIALTO ; ARARIPE, 2015) e uma demanda energética associada ao combustível da ordem de 56,8 MJ L⁻¹, sendo que 47,73 MJ correspondem ao valor calorífico de 1 litro de óleo diesel (SOARES et al., 2009) e que consumo energético para sua produção e transporte é de 1,19 MJ MJ⁻¹ (KIM et al., 2014).

Para o cálculo da demanda em energia fóssil associada à depreciação de máquinas e implementos foram considerados os seguintes conjuntos para uma propriedade padrão de 120 hectares e uma vida útil de 15 anos: um trator 105 cv (5.775 kg – PC, CM, PD), um arado reversível de três discos (947 kg – PC), uma grade niveladora com 14 discos de 24" (600 kg – PC, CM), um escarificador com 7 hastes (290 kg - CM), um pulverizador tratorizado de barras acopladas (255 kg – PC, CM, PD), uma semeadora de 6 linhas (1.405 kg – PC, CM, PD) e uma colhedora tipo foguetinho para duas linhas (2.100 kg – PC, CM, PD). A energia fóssil associada foi de 37,50 MJ kg⁻¹ de maquinário, sendo 25 MJ kg⁻¹ para a produção do aço e uma demanda energética adicional de 50% para a montagem do maquinário, conforme proposto por Hill et al. (2006).

O valor calorífico dos grãos de milho produzidos foi de 19,69 MJ kg⁻¹ de matéria seca, segundo Brandt-Williams (2002) calculados a partir da seguinte composição média do grão de milho: 13,6% e 24 MJ g⁻¹ de proteína; 7,9% e 39 MJ g⁻¹ de gordura e 78,5% e 17 MJ g⁻¹ de carboidratos (PAUL; SOUTHGATE, 1978).

A eficiência energética foi calculada a partir dos seguintes indicadores: consumo total de energia fóssil em GJ ha⁻¹, consumo relativo de energia fóssil em MJ de energia fóssil consumida por kg de grãos produzido e

ganho energético em Joules de energia solar fixado nos grãos por cada J de energia fóssil consumida.

Da mesma forma, as emissões de GEEs foram calculadas a partir dos coeficientes técnicos extraídos de Mattoso e Melo Filho (2009), corrigidos para as características do experimento e multiplicados pelos fatores de emissão previamente calculados e publicados em West e Marland (2002), Soares et al. (2009), IPCC (2006) e Lal (2004) e seguiram a metodologia proposta pelo IPCC (2006).

As emissões dos diferentes GEEs foram convertidas em equivalentes de CO₂ (CO₂ eq) para fins de padronização, utilizando-se dos seguintes fatores de conversão (IPCC, 2006):

- CO₂ eq do C = 3,67

- CO₂ eq do CH₄ = 21

- CO₂ eq do N₂O = 310

O fator de emissão do IPCC (2006) indica que 1% do N adicionado ao solo é emitido na forma de N₂O (emissões diretas). Considerando-se que a fertilização nitrogenada foi de 200 kg N ha⁻¹ em todos os tratamentos, a emissão de N₂O decorrente da adubação foi estimada em 3,14 kg ha⁻¹ (200 kg N ha⁻¹ x 1% x 1,57). O valor 1,57 (44/28) corresponde ao fator de conversão de N para N₂O segundo seus pesos moleculares correspondentes.

Os fatores de emissões indiretas de GEEs associadas aos fertilizantes foram extraídos de West e Marland (2002) e correspondem à extração e manufatura dos adubos tanto nitrogenados quanto fosfatados.

Para fins de cálculos, o fator de emissão de GEEs do óleo diesel foi de 80,48 g CO₂ eq MJ⁻¹ do produto consumido, sendo que 69,37 g CO₂ eq MJ⁻¹ correspondem às emissões relativas à combustão do combustível (emissão direta) e 11,11 g CO₂ eq MJ⁻¹ correspondem às emissões

associadas à produção e ao transporte do combustível (emissões indiretas) (WEST ; MARLAND, 2002; IPCC, 2006).

O fator de emissão de GEEs associados à depreciação de máquinas e implementos agrícolas foi de $6.416 \text{ g de CO}_2 \text{ eq kg}^{-1}$, correspondendo a um consumo energético de $86,7 \text{ MJ kg}^{-1}$ e que $74 \text{ g de CO}_2 \text{ eq MJ}^{-1}$ são emitidos na manufatura do aço e montagem do maquinário (IPCC, 2006).

De maneira similar a estudos anteriores onde foram publicadas emissões de GEEs de sistemas de produção de culturas agrícolas tais como em Soares et al. (2009), Kim et al. (2014) e West e Marland (2002), as emissões de GEEs do solo não foram considerados neste estudo.

Resultados e Discussão

Na Figura 1, estão apresentados os totais mensais de precipitação no período vegetativo (maio a novembro) medidos na Estação Experimental de Queimadas em Frei Paulo, SE, nos anos de 2011 a 2013. Os anos de 2011 e 2013 foram caracterizados por um bom regime de chuvas, acumulando-se no período de maio a novembro, 386 e 557 mm, respectivamente. Já 2012, foi um ano seco, acumulando-se uma precipitação de apenas 295 mm no período de maio a novembro.

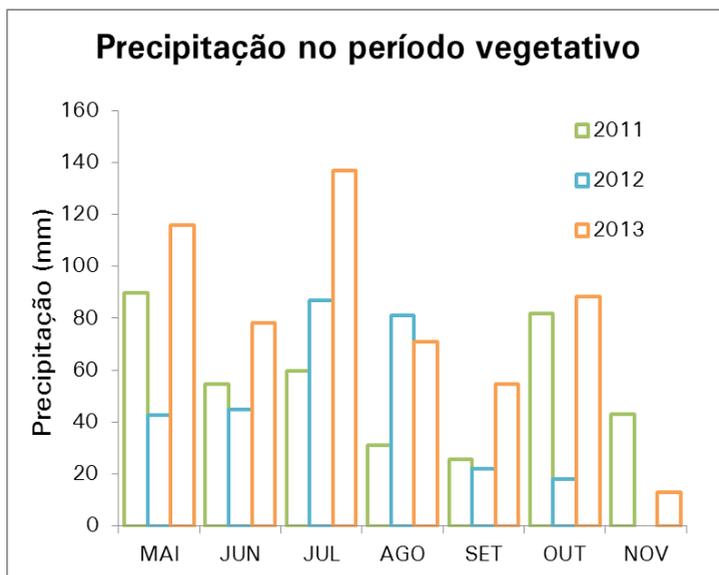


Figura 1. Precipitação mensal (mm) no período de maio a novembro de 2011 a 2013 na Estação Experimental de Queimadas em Frei Paulo, SE.

As produtividades obtidas foram publicadas por Barros et al. (2015a), e um resumo destas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Produção média de milho (kg ha^{-1}) em plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto, no período 2011 a 2013 na Estação Experimental de Queimadas em Frei Paulo, SE.

	Plantio Convencional	Cultivo Mínimo	Plantio Direto	Média
2011	9.429	9.203	9.790	9.474
2012	6.292	6.138	6.527	6.319
2013	8.992	8.811	8.487	8.763
Média	8.238	8.051	8.763	8.186

A produtividade média nos três anos, acima de 8 mil kg por hectare, pode ser considerada satisfatória para o período, principalmente considerando-se a forte estiagem em 2012.

Desempenho econômico

O desempenho econômico da produção de milho nos três sistemas de manejo estudados está apresentado na Tabela 2. Observa-se nitidamente a viabilidade econômica da produção de milho na região do Agreste sergipano, com receitas líquidas variando de R\$ 2.490,20 a R\$ 2.810,20 por hectare na média dos três anos, sendo que a receita líquida no plantio direto foi 12,85% superior àquela observada para o plantio convencional e 11,43% superior à do cultivo mínimo.

Tabela 2. Estimativa do custo variável de produção e desempenho econômico da cultura do milho no plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto em Frei Paulo, no Agreste de Sergipe.

Item	Unid.	Quantidades/ha			Valor unit. (R\$/unid.)	Valores (R\$/ha)		
		PC ¹	CM ¹	PD ¹		PC ¹	CM ¹	PD ¹
Insumos								
Semente	sc	1,50	1,50	1,50	350,00	525,00	525,00	525,00
MAP	kg	200,00	200,00	200,00	1,20	240,00	240,00	240,00
Ureia	kg	400,00	400,00	400,00	1,56	624,00	624,00	624,00
Glifosato	L	0,00	0,00	3,00	15,00	0,00	0,00	45,00
Atrazina	L	4,00	4,00	0,00	15,00	60,00	60,00	0,00
Sacaria	Unid.	150,00	150,00	150,00	1,10	165,00	165,00	165,00
<i>Subtotal Insumos</i>						1.614,00	1.614,00	1.599,00
Serviços								
Aração	h/m ²	3,00	0,00	0,00	60,00	180,00	0,00	0,00
Gradagem	h/m ²	1,00	1,00	0,00	60,00	60,00	60,00	0,00
Escarificação	h/m ²	0,00	1,00	0,00	60,00	0,00	60,00	0,00
Transporte interno plantio	h/m ²	0,30	0,30	0,30	60,00	18,00	18,00	18,00
Plantio e adubação	h/m ²	1,20	1,20	1,20	60,00	72,00	72,00	72,00
Adubação cobertura	h/m ²	1,20	1,20	1,20	60,00	72,00	72,00	72,00
Aplicação herbicida	h/m ²	0,30	0,30	0,30	60,00	18,00	18,00	18,00
Colheita mecânica	h/m ²	0,97	0,97	0,97	60,00	58,20	58,20	58,20
Transporte interno colheita	h/m ²	0,35	0,35	0,35	60,00	21,00	21,00	21,00
<i>Subtotal Serviços</i>						499,20	377,40	259,20

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Item	Unid.	Quantidades/ha			Valor unit. (R\$/unid.)	Valores (R\$/ha)		
		PC ¹	CM ¹	PD ¹		PC ¹	CM ¹	PD ¹
Mão de obra								
M.O. Aração	h/d ³	0,50	0,00	0,00	40,00	20,00	00,00	0,00
M.O. Gradagem	h/d ³	0,25	0,25	0,00	40,00	10,00	10,00	0,00
M.O. Escarificação	h/d ³	0,00	0,13	0,00	40,00	0,00	5,00	0,00
M.O. Transporte interno	h/d ³	0,04	0,04	0,04	40,00	1,60	1,60	1,60
Plantio e adubação	h/d ³	1,20	1,20	1,20	40,00	48,00	48,00	48,00
Adubação de cobertura	h/d ³	1,00	1,00	1,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Aplicação herbicida	h/d ³	0,30	0,30	0,30	40,00	12,00	12,00	12,00
Colheita mecanizada	h/d ³	1,50	1,50	1,50	40,00	60,00	60,00	60,00
Subtotal mão de obra						191,60	176,60	161,60
Receitas								
Valor da produção	sc	137	134	138	35,00	4.795,00	4.690,00	4.830,00
Renda bruta						4.795,00	4.690,00	4.830,00
Custo total						2.304,80	2.168,00	2.019,80
Receita líquida						2.490,20	2.522,00	2.810,20

¹ PC – plantio convencional; CM – cultivo mínimo; PD – plantio direto.

² h/m – hora-máquina.

³ h/d – homem-dia.

As principais diferenças nos custos de produção são observadas em relação aos serviços de máquinas, uma vez que no plantio direto são executadas duas operações de preparo do solo (aração e gradagem) a menos do que no plantio convencional.

Resultados semelhantes foram observados por Pacheco et al. (2013) na comparação entre o monocultivo de milho em plantio direto e em plantio convencional em Nossa Senhora das Dores, SE, nos anos de 2012 e 2013.

Demanda em energia fóssil e eficiência energética

A demanda em energia fóssil e a eficiência energética são apresentadas na Tabela 3. Observa-se um consumo total de energias não renováveis da ordem de 17,82 GJ, 16,39 GJ e 14,82 GJ por hectare, respectivamente no plantio convencional, no cultivo mínimo e no plantio direto. Portanto, a utilização do plantio direto promove reduções de 16,86 % e 9,59 % no consumo de energia na produção de milho em relação ao plantio convencional e ao cultivo mínimo, respectivamente. Ponderando-se o consumo em energia fóssil pela produtividade, verifica-se que, no plantio direto, foram gastos 1,79 MJ por cada quilograma de milho produzido, enquanto, no plantio convencional, foram gastos 2,16 MJ kg⁻¹ e no cultivo mínimo 2,04 MJ kg⁻¹. Esses resultados implicaram que o ganho energético no plantio direto, ou seja, a quantidade de energia solar fixada nos grãos por unidade de energia fóssil consumida foi respectivamente 20,71% e 13,59 % maior no plantio direto do que no plantio convencional e no cultivo mínimo, atestando uma maior eficiência energética do plantio direto.

Tabela 3. Consumo de energia fóssil e rendimento energético da produção de milho em três sistemas de manejo do solo em Frei Paulo, no Agreste de Sergipe.

Item	Unid.	Quantidades/ha			Valor unit. (MJ/unid.)			Consumo energia (MJ/ha)			
		PC ¹	CM ¹	PD ¹	PC ¹	CM ¹	PD ¹	PC ¹	CM ¹	PD ¹	
Insumos											
Semente	kg	30,00	30,00	30,00	9,70 ²	291,00	291,00	291,00	291,00	291,00	291,00
Fósforo	kg	100,00	100,00	100,00	7,20 ²	720,00	720,00	720,00	720,00	720,00	720,00
Nitrogênio	kg	200,00	200,00	200,00	49,50 ²	9.900,00	9.900,00	9.900,00	9.900,00	9.900,00	9.900,00
Herbicidas	kg i.a.	2,00	2,00	1,44	356,00 ²	712,00	712,00	712,00	712,00	513,00	513,00
Depreciação máquinas	kg	6,16	5,46	5,30	37,50 ³	231,00	205,00	205,00	205,00	199,00	199,00
Subtotal Insumos						11.854,00	11.828,00	11.828,00	11.828,00	11.622,00	11.622,00
Consumo de combustível - Diesel											
Aração	L	36,00	0,00	0,00	56,80 ⁴	2.045,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gradagem	L	12,00	12,00	0,00	56,80 ⁴	682,00	682,00	682,00	682,00	0,00	0,00
Escarificação	L	0,00	12,00	0,00	56,80 ⁴	0,00	682,00	682,00	682,00	0,00	0,00
Transporte interno plantio	L	3,60	3,60	3,60	56,80 ⁴	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00
Plantio e adubação	L	14,40	14,40	14,40	56,80 ⁴	818,00	818,00	818,00	818,00	818,00	818,00
Adubação cobertura	L	14,40	14,40	14,40	56,80 ⁴	818,00	818,00	818,00	818,00	818,00	818,00
Aplicação herbicida	L	3,60	3,60	3,60	56,80 ⁴	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00
Colheita mecânica	L	11,60	11,60	11,60	56,80 ⁴	661,00	661,00	661,00	661,00	661,00	661,00
Transporte interno colheita	L	4,20	4,20	4,20	56,80 ⁴	239,00	239,00	239,00	239,00	239,00	239,00
Subtotal Serviços						5.671,00	4.287,00	4.287,00	4.287,00	2.944,00	2.944,00

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Item	Unid.	Quantidades/ha			Valor unit. (MJ/unid.)	Consumo energia (MJ/ha)		
		PC ¹	CM ¹	PD ¹		PC ¹	CM ¹	PD ¹
Mão de obra								
M.O. Aração	h/d	0,50	0,00	0,00	62,70 ⁵	31,35	0,00	0,00
M.O. Gradagem	h/d	0,25	0,25	0,00	62,70 ⁵	15,68	15,68	0,00
M.O. Escarificação	h/d	0,00	0,13	0,00	62,70 ⁵	0,00	7,84	0,00
M.O. Transporte interno	h/d	0,04	0,04	0,04	62,70 ⁵	2,51	2,51	2,51
Plantio e adubação	h/d	1,20	1,20	1,20	62,70 ⁵	75,24	75,24	75,24
Acubação de cobertura	h/d	1,00	1,00	1,00	62,70 ⁵	62,70	62,70	62,70
Aplicação herbicida	h/d	0,30	0,30	0,30	62,70 ⁵	18,81	18,81	18,81
Colheita mecanizada	h/d	1,50	1,50	1,50	62,70 ⁵	94,05	94,05	94,05
<i>Subtotal mão de obra</i>						300,00	277,00	253,00
Saídas								
Produção de grãos	Kg	8.238	8.051	8.763	19,70 ⁶	162.206	158.524	162.797
Eficiência energética								
Consumo total de energia fóssil (GJ ha ⁻¹)								
Consumo relativo de energia fóssil (MJ por kg grãos)						17,82	16,39	14,82
Ganho energético (J fixado nos grãos por J energia fóssil consumida)						2,16	2,04	1,79
						9,10	9,67	10,98

¹ PC – plantio convencional; CM – cultivo mínimo; PD – plantio direto.

² Fonte: Grassini e Cassman (2012).

³ Fonte: Hill et al. (2006).

⁴ 47,73 MJ L⁻¹ corresponde ao valor calorífico do óleo diesel (SOARES et al., 2009) e 9,07 MJ L⁻¹ (1,19 MJ MJ⁻¹) corresponde ao consumo energético para produção e transporte do óleo diesel (KIM et al., 2014).

⁵ Fonte: Giampietro e Pimentel (1990).

⁶ Fonte: Brandt-Williams (2002).

Emissões de gases de efeito estufa (GEE)

As emissões de GEEs associados à produção de milho no Agreste sergipano são apresentadas na Tabela 4. Observa-se que 2.254, 2.155 e 2.054 kg de CO₂ eq foram emitidas por hectare para o plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto respectivamente, correspondendo, portanto, a reduções de cerca de 9% e 5% nas emissões de GEEs no plantio direto em relação ao plantio convencional e ao cultivo mínimo, desconsiderando-se as emissões do solo.

Ponderando-se as emissões pela produtividade, constata-se que, para cada quilograma de milho produzido, foram emitidos 274, 268 e 248 g de CO₂ eq respectivamente para o plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto. Esses valores encontram-se dentro da amplitude encontradas por Kim et al. (2014), que verificaram emissões que variavam de -27 a + 436 g CO₂ eq kg⁻¹ de milho em um meta estudo com 21 publicações sobre o consumo de energia e emissão de GEEs na produção de milho nos Estados Unidos, e onde as emissões do solo também não foram consideradas.

Pelos resultados, verifica-se que as emissões associadas à adubação nitrogenada (emissões indiretas e diretas na forma de N₂O) responderam por 1.603,5 kg de CO₂ eq ha⁻¹, sendo que 629 kg correspondem às emissões indiretas e 974 kg às emissões diretas. Portanto, desconsiderando-se as emissões do solo, mais de 70% das emissões totais de GEEs são devidas à adubação nitrogenada (71% no PC, 74% no CM e 78% no PD). Esses resultados coadunam com os obtidos nos 21 estudos analisados por Kim et al. (2014).

Os resultados obtidos, portanto, atestam para uma maior eficiência ambiental do plantio direto e indicam que ganhos em termos de mitigação das emissões de GEEs na produção de milho nas condições do estudo estão associados à gestão da adubação nitrogenada.

Tabela 4. Emissões de CO₂ na produção de milho em três sistemas de manejo do solo em Frei Paulo, no Agreste de Sergipe.

Item	Unid.	Quantidades/ha			kg CO ₂ eq /unidade	Emissão de CO ₂ eq (kg/ha)		
		PC ¹	CM ¹	PD ¹		PC ¹	CM ¹	PD ¹
Insumos								
Semente	kg	30,00	30,00	30,00	3,85 ²	115,00	115,00	115,00
Fósforo	kg	100,00	100,00	100,00	0,605 ²	60,00	60,00	60,00
Nitrogênio (indireto)	kg	200,00	200,00	200,00	3,146 ²	629,00	629,00	629,00
Nitrogênio (direto)	kg	2,00	2,00	2,00	487 ³	974,00	974,00	974,00
Herbicidas	kg i.a.	2,00	2,00	1,44	17,24 ²	35,00	35,00	25,00
Depreciação máquinas	kg	6,16	5,46	5,30	6,416 ⁴	40,00	35,00	34,00
<i>Subtotal Insumos</i>						1.866,00	1.855,00	1.855,00
Consumo de combustível - Diesel								
Aração	MJ	1.718,00	0,00	0,00	80,48 ^{2,5}	138,00	0,00	0,00
Gradagem	MJ	573,00	573,00	0,00	80,48 ^{2,5}	46,00	46,00	0,00
Escarificação	MJ	0,00	573,00	0,00	80,48 ^{2,5}	0,00	46,00	0,00
Transporte interno plantio	MJ	172,00	172,00	172,00	80,48 ^{2,5}	14,00	14,00	14,00
Plantio e adubação	MJ	687,00	687,00	687,00	80,48 ^{2,5}	55,00	55,00	55,00
Adubação cobertura	MJ	687,00	687,00	687,00	80,48 ^{2,5}	55,00	55,00	55,00
Aplicação herbicida	MJ	172,00	172,00	72,00	80,48 ^{2,5}	14,00	14,00	14,00
Colheita mecânica	MJ	556,00	56,00	56,00	80,48 ^{2,5}	45,00	45,00	45,00
Transporte interno colheita	MJ	200,00	200,00	200,00	80,48 ^{2,5}	16,00	16,00	16,00
<i>Subtotal Serviços</i>						384,00	290,00	199,00
Mão de obra								
Emissão de CO ₂ eq da mão de obra não incluída. Assume que os humanos respirarão CO ₂ independentemente de estarem trabalhando ou não ² .								
Emissões totais								
Emissões de equivalente CO ₂ (kg ha ⁻¹)						2.254,00	2.155,00	2.054,00
Produção de grãos (kg ha ⁻¹)						8.238,00	8.051,00	8.268,00
Emissão relativa de CO ₂ eq (g CO ₂ eq por kg de grãos)						274,00	268,00	248,00

¹ PC – plantio convencional; CM – cultivo mínimo; PD – plantio direto.

² Fonte: West e Marland (2002).

³ Fonte: Soares et al. (2009) e IPCC (2006).

⁴ 86,7 MJ kg⁻¹ para manufatura x 74 g CO₂ eq MJ⁻¹. Fonte: IPCC, 2006.

⁵ 69,37 g CO₂ eq MJ⁻¹ para combustão do diesel (emissões diretas) e 11,11 g CO₂ eq MJ⁻¹ para produção e distribuição do diesel (emissões indiretas). Fonte: West e Marland, 2002 e IPCC, 2006.

Conclusões

O plantio direto é uma opção que possui viabilidade econômica para a produção de milho no Agreste sergipano, além de apresentar uma eficiência energética maior do que o plantio convencional e o cultivo mínimo.

O plantio direto emite uma quantidade de gases de efeito estufa (GEE) menor do que o plantio convencional e o cultivo mínimo para a produção de milho no Agreste sergipano, apresentando, portanto, melhor desempenho tanto econômico quanto ambiental.

Referências

BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO, H. W. L. de. Efeito de sistemas de plantio de milho nas perdas de solo e água no agreste sergipano. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 19., 2012, Lages. **Conservação do solo e da água no Brasil: preceitos e ações no ensino, na pesquisa e na extensão: anais**. Rio de Janeiro: SBCS, 2012.

BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. de; CINTRA, F. L. D.; SILVA, J. M. L. da; DANTAS, E. do N.; SOARES, T. F. S. N. **Desempenho da cultura do milho em diferentes sistemas de manejo do solo nas condições do agreste sergipano**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015a. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 89). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127119/1/bp-89.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

BARROS, I. de; PACHECO, E. P.; CARVALHO, H. W. L. de; CINTRA, F. L. D.; SILVA, J. M. L. da; DANTAS, E. do N.; SOARES, T. F. S. N. **Perdas de solo e água em sistemas de cultivo de milho no agreste sergipano**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015b.

(Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 90). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127199/1/BP-90.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

BRANDT-WILLIAMS, S. L. **Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation** issued in a series of folios. Gainesville: Center for Environmental Policy; University of Florida, 2002. 40 p. (Emergy of Florida Agriculture. Folio #4).

CARVALHO, H. W. L. de; LEAL, M. L. S.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, M. X.; CARVALHO, B. C. L. de; TABOSA, J. N.; LIRA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares e híbridos de milho no Nordeste brasileiro no ano agrícola de 1998. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p. 637-644, 2001.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho: sistema plantio direto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 51).

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 87).

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha.

Evolução da área cultivada no sistema de plantio direto na palha: Brasil. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2015.

GIAMPIETRO, M.; PIMENTEL, D. Assessment of the energetics of human labor. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 32, p. 257-272, 1990.

GRASSINI, P.; CASSMAN, K. G. High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. **Proceedings of the**

National Academy of Sciences Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 109, n. 4, p. 1074-1079, 2012.

HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; TIFFANY, D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 30, p. 11206-11210, 2006.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=LA&z=t&o=3>>. Acesso em: 25 mai. 2011.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

LAL, R. Carbon emissions from farm operations. **Environment International**, v. 30, p. 981-990, 2004.

KIM, S.; DALE, B. E.; KECK, P. Energy requirements and greenhouse gas emissions of maize production in the USA. **Bioenergy Research**, v. 7, p. 753-764, 2014.

MATTOSO, M. J.; MELO FILHO, G. A. Coeficientes técnicos. In CRUZ, J.C. **Cultivo do milho**. 5 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/coeficientestecnicos.htm>. Acesso em: 27 mai. 2015.

NUNES, H. V.; SILVA, I. F.; SILVA NETO, L. F.; PEREIRA, W. E.; SOUZA, C. Influência de diferentes sistemas de culturas e adubações sobre componentes de rendimento de grãos de milho cultivados em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO

E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: RBMCSA, 2004.

PACHECO, E. P.; MARTINS, C. R.; BARROS, I. de. **Viabilidade econômica do sistema plantio direto de milho consorciado com forrageiras, no Estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013. 7 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 132).

PAIVA, C. T. C. **Cultivo de milho em plantio direto e convencional com diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura**. 2011. 43f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

PAUL, A.; SOUTHGATE, D. **McCance and Widdowson's the composition of foods**. 4th rev. New York: Elsevier/North-Holland Biomedical Press, 1978.

RIALTO, G. R. C; ARARIPE, P. Custo operacional de máquinas e implementos agrícola, você sabe calcular? **KLFF**, ago. 2013. Disponível em: <<http://www.portalklff.com.br/publicacao.asp?id=1093&Custo%20operacional%20de%20m%C3%A1quinas%20e%20implementos%20agr%C3%ADcola,%20voc%C3%AA%20sabe%20calcular?>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

SILVA NETO, L. F. **Influência do plantio direto e da cobertura vegetal sobre os atributos físicos e matéria orgânica do solo e produtividade de milho**. 2003. 41 f. Monografia (Curso de Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F. S; NETO, L. F. S.; SOUZA, C. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1556-1562, 2011.

SOARES, L. H. de B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14 p. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 27).

WEST, T.O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 217-232, 2002.

Embrapa

Tabuleiros Costeiros

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA