

PARÂMETROS ENERGÉTICOS DE DOIS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO APÓS A COLHEITA DO ARROZ IRRIGADO EM UM SISTEMA ARROZ-SOJA

Giovani Theisen, Júlio José Centeno da Silva, André Andres¹

Palavras-chave: *Glycine max*, *Oryza sativa*, preparo do solo, rotação, terras baixas

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas importantes mudanças marcaram os sistemas de produção de arroz do extremo sul do Brasil, como o aumento nas áreas de cultivo mínimo e de soja, além da introdução da tecnologia ClearField. Apesar destes avanços, a sustentabilidade da produção de arroz ainda é frágil e enfrenta grandes desafios; e, nesse sentido, a redução no consumo de energia na produção é um dos mais relevantes. Uma alta demanda de energia é associada às operações de preparo do solo, necessidade originada pela colheita do arroz realizada em solo molhado. Difícil de evitar, este preparo pós-colheita é necessário para a semeadura da próxima cultura, sendo geralmente baseado em aração, gradagem e aplainamento (AGP), operações que além de exigentes em energia, causam intenso revolvimento do solo e podem ser demoradas.

O preparo AGP requer solo seco, porém o outono-inverno é chuvoso nesta região do Brasil, o que pode retardar o estabelecimento das culturas. Em alguns anos o preparo é atrasado a tal ponto que sequer a safra do verão seguinte é semeada no tempo adequado. Nesse sentido, um método de preparo menos dependente das condições climáticas e menos demandante em energia poderia favorecer os sistemas de cultivo nas terras baixas. Os equipamentos baseados em rolagem, como o rolo-facas (RF), têm sido usados na agricultura em várias regiões do mundo. Este equipamento requer menos força de tração e energia em comparação à aração e gradagem (Pimentel, 1992). Quando usado no preparo do solo na pós-colheita do arroz irrigado, a rolagem requer água livre na superfície para sua melhor eficiência. Esse aspecto implica que o uso do RF pode ser imediato após a colheita do arroz, ou mesmo em períodos de chuva, o que lhe confere vantagem temporal e operacional em relação ao AGP. O objetivo deste trabalho foi avaliar, sob a ótica energética, o desempenho de um rolo-facas utilizado para preparar o solo após a colheita de arroz irrigado, visando o cultivo de soja na próxima estação de verão.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nas safras 2011, 2012 e 2013 na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa, em Capão do Leão, RS. O terreno é plano e o solo tipo Planossolo eutrófico háplico solódico, com uma camada impermeável a 45 cm de profundidade, densidade $1,33 \text{ kg dm}^{-3}$, com $15,9 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica, 266 g dm^{-3} de argila, 493 g dm^{-3} de silte e 552 g dm^{-3} de areia. Dois métodos de preparo do solo pós-colheita de arroz foram comparados. O primeiro consistiu no sistema convencional (arado+grade (AG)) e o segundo, do rolo-facas; cada método foi aplicado em três parcelas de 6 m x 30 m em cada safra, em um talhão de 2,7 ha cultivado com arroz irrigado. O sistema AG requereu trator de 89 kW e consistiu em um arado de aivecas de cinco pás trabalhando a uma profundidade média de 0,4 m. Até duas semanas após, usou-se grade pesada de 26" com 26 discos na profundidade de 0,3 m, seguida por duas passadas de grade leve. Na terceira safra um arado de 28" com 3 discos operando a 0,3 m substituiu o arado de aivecas, e aplicou-se apenas uma passada de grade leve. AG sempre foi utilizado em solo seco, até 45 dias após a colheita do arroz.

¹ Eng. Agr., Drs. pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, fone (53) 3275-8400. E-mails: giovani.theisen@embrapa.br, julio.centeno@embrapa.br e andre.andres@embrapa.br

Sistema RF: o rolo facas é um tambor de aço oco com 3,6 m de comprimento e 1 m de diâmetro, com 15 lâminas externas afiadas com 0,13 m de altura, preenchido com água e pesando 2.860 kg. Um trator de 55,2 kW tracionou o rolo a 7 km/h, que pelo seu peso e força inercial nivelou o solo e incorporou parcialmente a palha do arroz até 0,13 m de profundidade. Na passagem do rolo uma lâmina de água sempre recobria a maior parte do solo. Em cada safra o RF foi passado duas vezes (passadas cruzadas) a fim de uniformizar o nivelamento. Após estes tratamentos, confeccionou-se uma série de canais de drenagem espaçados em 20 m, com profundidade 30 cm e largura 15 cm. A cada verão seguinte, a área foi dessecada, soja de ciclo médio (BRS 246-RR) semeada em plantio direto e os canais de drenagem eram refeitos. Para todas as safras, a soja foi semeada na segunda semana de novembro, utilizando-se 70 kg ha⁻¹ (2011) e 60 kg ha⁻¹ (2012 e 2013) de sementes certificadas tipo S2. Os tratamentos culturais utilizados na soja seguiram as indicações técnicas usuais para a cultura.

A descrição do maquinário, peso, rendimento operacional, consumo médio de combustível, energia incorporada, consumo total de energia e energia equivalente nos insumos e na soja estão apresentados na Tabela 1. A energia incorporada aos equipamentos e sua depreciação energética foram calculadas de acordo com Pimentel (1992). Para estimar os custos de energia, a cada safra foram registrados, além dos dados relativos ao maquinário, a quantidade e o tipo de insumos utilizados na cultura. A soja foi amostrada para avaliar sua população (estádios V4 e R8) e produtividade de grãos. Os métodos de preparo do solo foram comparados pelas seguintes variáveis: a) população da soja (plantas ha⁻¹); b) produtividade de grãos (kg ha⁻¹); c) consumo total de energia (MJ ha⁻¹); d) energia gasta no preparo do solo (MJ ha⁻¹); e) balanço energético (GJ ha⁻¹); f) retorno energético por energia investida (MJ_{in} MJ_{out}⁻¹); g) demanda de energia por massa produzida de grãos (MJ_{in} Mg soja⁻¹); h) tempo requerido para o preparo do solo (h ha⁻¹). O experimento foi conduzido em blocos casualizados com três repetições por tratamento em cada safra. Os dados foram testados para a suposição de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, submetidos à análise de variância e os dois tratamentos comparados pelo teste F. A variabilidade da população e da produtividade de grãos de soja foi avaliada pelo teste de Levene, com auxílio de diagnóstico gráfico fornecido pela opção “plot = diagnostics” no procedimento GLM no software SAS versão 9.4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo ambos os métodos de preparo do solo após a colheita do arroz irrigado foram eficazes em entregar a área em condições adequadas para a semeadura e germinação da soja em rotação. Em nenhuma das três safras foram verificadas diferenças significativas na população da soja ($p > 0,05$) entre os métodos AG e RF, tanto no início (V4) quanto no final (R8) do ciclo da cultura (Tabela 2). A população da soja variou dentro da faixa recomendada para a região sul do Brasil (240.000 a 360.000 plantas ha⁻¹). Na primeira safra a população foi cerca de 30.000 plantas ha⁻¹ maior do que nas duas últimas, acompanhando as diferenças nas taxas de semeadura.

Os métodos de preparo do solo não diferiram quanto à produtividade de grãos da soja. Na primeira safra percebeu-se um ganho aparente em favor de AG, enquanto na última houve leve diferença em favor do método alternativo RF. Essas diferenças, no entanto, não foram significativas ($p > 0,05$). Além das comparações utilizando-se das médias das variáveis, os dados de população de plantas e produtividade de grãos foram também examinados a partir da perspectiva da variabilidade, uma vez que estabelecer uma população uniforme é um dos fatores-chave para alcançar um alto potencial de produtividade em soja. A variabilidade da população de plantas e da produtividade de grãos foi semelhante entre os dois tratamentos ($p > 0,05$), resultado que reforça as evidências de que o método baseado no rolo-facas pode, do ponto de vista agrônomo,

reproduzir resultados semelhantes aos do método tradicional, baseado em aração e gradagem, no preparo do solo após a colheita do arroz irrigado.

A energia consumida para cultivar soja após arroz irrigado variou de 11,7 (RF) a 14,3 GJ ha⁻¹ (AG), uma diferença de 18% entre ambos os métodos de preparo. O preparo do solo representou 32% e 19% da energia consumida para produzir soja em rotação ao arroz irrigado, para os tratamentos AG e RF, respectivamente. O método baseado em aração e gradagem consumiu duas vezes mais energia para preparar o solo do que o método baseado no rolo-facas (Tabela 3). Enquanto o preparo do solo com o RF consumiu cerca de 45 L ha⁻¹ de diesel por safra (de um total de 133 L ha⁻¹), AG necessitou, em média, 94 L ha⁻¹ (de um total de 183 L ha⁻¹).

Tabela 1. Relação e características do equipamento e dos insumos utilizados.

Equipamentos	Peso (kg)	Rendimento operacional (h ha ⁻¹)	Consumo de Diesel (L ha ⁻¹)	Energia incorp. (MJ ha ⁻¹)	Consumo total (MJ ha ⁻¹) ^a
Trator 89 kW	4650	-	-	35,6	-
Trator 55,2 kW	2564	-	-	20,0	-
Arado de aivecas (0,4 m prof.)	1369	1,43	25,7	50,0	1245
Arado de discos (0,3 m prof.)	410	1,41	23,2	14,8	1099
Grade pesada (0,3 m prof.)	2247	1,33	21,2	98,3	1095
Grade leve (0,1 m prof.)	760	1,00	12,0	24,2	594
Entaipadeira	500	0,81	11,2	25,5	552
Valetadeira estreita	385	1,00	11,0	9,8	535
Rolo-facas (vazio)	1520	0,57	5,7	24,3	299
Semeadora plantio direto	2540	1,05	13,3	83,0	711
Pulverizador 600 L	450	1,00	8,0	8,9	385
Colhedora automotriz	9100	0,91	25,5	109,4	1242
Insumos	Equivalente em energia		Referência*		
Óleo diesel	44,5 MJ L ⁻¹ ^b		A referência bibliográfica para cada um dos itens aqui apresentados pode ser obtida em Theisen, Silva & Bastiaans, 2017.		
Soja (grãos)	16,7 MJ kg ⁻¹				
Soja (sementes) ^c	32,4 MJ kg ⁻¹				
Força de trabalho (humano)	2,16 MJ h ⁻¹				
N ₂	63,4 MJ kg ⁻¹				
P ₂ O ₅	17,4 MJ kg ⁻¹				
K ₂ O	13,8 MJ kg ⁻¹				
Herbicidas	374 MJ (kg i.a.) ⁻¹				
Fungicidas	344 MJ (kg i.a.) ⁻¹				
Insecticidas	278 MJ (kg i.a.) ⁻¹				
Óleo mineral - adjuvante	44,5 MJ L ⁻¹ ^a				

a) inclui o conteúdo energético do combustível usado em cada operação e a energia incorporada aos equipamentos. Adicionou-se 4,5% ao cálculo para incluir graxas e lubrificantes; b) valor referente ao poder calorífico inferior do combustível, mais 24% referentes à distribuição ((Eriksson & Ahlgren, 2013); c) o conteúdo energético da soja semente corresponde a duas vezes ao conteúdo da soja grãos.

Em contraste aos aspectos agrônômicos, os indicadores relacionados à energia e tempo de trabalho apontaram diferenças importantes entre os sistemas de preparo do solo (Tabela 3). O balanço energético, que indica a energia representada nos grãos de soja após se descontar toda a energia utilizada na produção, foi 9% maior no método RF. O retorno energético por energia investida, que representa a energia líquida produzida por cada unidade de energia alocada ao sistema, melhorou 22% quando o método RF foi utilizado. Da mesma forma, a demanda de energia por massa de grãos, que representa a quantidade de energia necessária para produzir 1 tonelada de soja, foi mais favorável ao método RF; nesse sentido, o uso do rolo-facas promoveu uma

economia energética de 20%. Quanto à eficiência operacional no quesito tempo, o preparo do solo com o rolo-facas reduziu o período de trabalho em 29%. A velocidade relativamente alta que este equipamento foi utilizado (7 km/h) e o número reduzido de passadas necessárias (somente duas vezes) são responsáveis por essa diferença (Tabela 3).

Tabela 2. População e produtividade de soja em resposta a dois métodos de preparo do solo aplicados após a colheita de arroz irrigado. Capão do Leão, RS, 2011, 2012 e 2013.

Método de preparo ^a	Safrá agrícola					
	2011		2012		2013	
	Estádio de crescimento e população da soja [(plantas ha ⁻¹ ± erro-padrão) x 1000]					
	V4	R8	V4	R8	V4	R8
AG	350,2 ± 9,5	345,6 ± 8,4	327,1 ± 6,5	318,0 ± 10,7	318,6 ± 9,3	312,6 ± 11,2
RF	339,5 ± 9,5	335,9 ± 8,9	321,5 ± 10,2	319,3 ± 10,2	318,9 ± 8,9	315,7 ± 11,9
	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹ ± erro-padrão)					
AG	2454 ± 98		2536 ± 89		2450 ± 62	
RF	2311 ± 105		2483 ± 101		2586 ± 92	

a) AG = arado+grade; RF = rolo facas; b) sem diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Tabela 3. Métodos de preparo do solo após a colheita do arroz irrigado e seu impacto em variáveis associadas ao uso de energia em soja cultivada no verão seguinte ao arroz. Capão do Leão, RS. Valores médios (± erro-padrão) das safras 2011, 2012 e 2013.

Variável	Método de preparo	
	Arado + Grade	Rolo Facas
Consumo total de energia (MJ ha ⁻¹)	14324 ± 125*	11694 ± 90
Energia gasta no preparo do solo (MJ ha ⁻¹)	4585 ± 90 *	2175 ± 124
Balanço energético (GJ ha ⁻¹)	27,02 ± 0,71 *	29,54 ± 1,10
Retorno energético por energia investida (MJin MJout ⁻¹)	2,89 ± 0,05 **	3,53 ± 0,10
Demanda de energia por massa de grãos (MJ Mg soja ⁻¹);	5,85 ± 0,11 **	4,87 ± 0,13
Tempo para preparar o solo (h ha ⁻¹).	10,1 ± 0,13 **	7,2 ± 0,1

As diferenças entre os métodos de preparo são significativas ao nível de $p < 0,05$ (*) e $p < 0,001$ (**).

CONCLUSÃO

Ambos os métodos de preparo do solo nivelaram adequadamente o terreno, preparando a área após a colheita de arroz de modo aceitável para o cultivo de soja no próximo verão. A uniformidade e a população da soja em V4 e R8, assim como a produtividade da cultura, foram semelhantes entre os dois métodos. O preparo baseado no rolo-facas, no entanto, consumiu menos energia e foi mais rápido de operacionalizar do que o método convencional baseado em aração e gradagem. Os indicadores que integram energia e produção de grãos confirmam que o método RF, além de suas vantagens logísticas inerentes, oferece uma opção inteligente e sustentável para o preparo do solo após a colheita do arroz em sistemas de rotação arroz-soja em terras baixas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ERIKSSON, M.; AHLGREN, S. (2013) **LCAs for petrol and diesel - a literature review**. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala: 2013, p.36.
- PIMENTEL D (1992) Energy inputs in production agriculture. In: **Energy in farm production**, Vol. 6. (ed RC Fluck), 1 edn, 13-29. Elsevier, Amsterdam.
- THEISEN, G.; SILVA, J.C.C.; BASTIAANS, L. (2017). A knife-roller effectively substitutes soil preparation by plough-and-harrow in lowland production systems. **Experimental Agriculture**, 1-14.