

CIRCULAR TÉCNICA

243

Pelotas, RS
Outubro/2023

Sistemas de produção de arroz irrigado e soja em terras baixas e mitigação das mudanças climáticas

Giovani Theisen
Walkyria Bueno Scivittaro

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Sistemas de produção de arroz irrigado e soja em terras baixas e mitigação das mudanças climáticas¹

As terras baixas da Metade Sul do Rio Grande do Sul (RS) são caracterizadas pelo relevo plano a suavemente ondulado e pela presença de solos hidromórficos com drenagem deficiente (Pinto et al., 2004). Essa condição, somada à baixa fertilidade natural e limitações às operações de mecanização e cultivo, têm dificultado a diversificação da agricultura nesse ambiente. Assim, historicamente a produção nas terras baixas do RS esteve fundamentada no cultivo do arroz irrigado por inundação, integrado à pecuária de corte extensiva. A área estadual já incorporada ao uso agrícola com esse tipo de solo é estimada entre 2,5 e 3 milhões de hectares e, desse total, o arroz é cultivado em aproximadamente 900 mil hectares, anualmente.

As terras baixas da Metade Sul do RS são consideradas, atualmente, uma ‘fronteira agrícola’ bastante dinâmica, com potencial de expansão importante, e que tem respondido ao aumento da demanda por grãos, como a soja e o milho. Somente a soja ocupa mais de 500 mil hectares de solos de terras baixas, contribuindo positivamente tanto para a economia regional quanto para promover ganhos técnicos ao sistema de produção. O arroz cultivado em rotação com a soja é beneficiado, em especial, nos aspectos nutricional e de manejo de plantas daninhas, dois importantes componentes técnicos e dos custos da lavoura arroseira.

Nos últimos anos, tem sido crescente a preocupação com os efeitos do aquecimento global, fenômeno associado à mudança climática, que tem causado problemas em vários setores em todo o mundo. Diversos estudos trazem evidências de que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) promovem o aquecimento global e indicam a necessidade e formas para a mitigação das emissões (IPCC, 2013). Nesse contexto, o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) são gases importantes e potentes que contribuem para o efeito estufa (gases de efeito estufa, ou GEE), cuja emissão está fortemente associada à

¹ Giovanni Theisen, engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Walkyria Bueno Scivittaro, engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

atividade agropecuária. O metano é produto da fermentação anaeróbica, sob condição de solo alagado (ex.: arroz irrigado), também sendo gerado pelo sistema digestivo de bovinos, enquanto o óxido nitroso é produto oriundo do ciclo do nitrogênio, justamente um dos mais importantes nutrientes utilizados na adubação das culturas agrícolas. Dentre as ações voltadas à redução do aquecimento global, a agricultura pode contribuir tanto no aspecto de capturar GEE já presentes na atmosfera quanto no sentido de reduzir as emissões do sistema produtivo, por meio da otimização técnica dos métodos de produção.

A rotação de culturas é um dos elementos-chave para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas terras baixas. As sequências de cultivo e os métodos de manejo dos solos interferem não só em aspectos técnicos imediatos, como na ocorrência de pragas e disponibilidade de nutrientes aos cultivos, mas também na dinâmica das emissões de GEE pelo sistema (Theisen, 2017). Nesse sentido, a pesquisa tem buscado encontrar formatos de manejo e sequências de cultivos que resultem em aumento sustentado das produtividades, ao mesmo tempo otimizando o balanço de carbono do sistema de produção. No caso dos modelos produtivos envolvendo o arroz irrigado, esse aspecto tem sido um tema sensível e importante, tendo em vista que a irrigação por inundação do solo constitui uma fonte de metano para a atmosfera.

A intensidade dessas emissões, entretanto, pode variar em função das técnicas empregadas no manejo dos cultivos e do solo. Nesse sentido, esta publicação contém a síntese de resultados de estudos envolvendo modelos de rotação entre arroz irrigado e soja em terras baixas, no âmbito da dinâmica do potencial de aquecimento global.

Metodologia

O estudo foi conduzido nas safras 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022, em uma área de produção comercial localizada no município de Capão do Leão/RS. O solo do local é classificado como Planossolo Háplico (Streck et al., 2008), e o clima, como subtropical (Cfa – Köppen) (Wrege et al., 2012) com precipitação e temperatura média anuais de 1.367 mm e 17,8 °C, respectivamente (Estação..., 2023).

No decurso das três safras, avaliaram-se quatro modelos de rotação envolvendo as culturas da soja e de arroz irrigado. Dentro desses modelos de rotação, cada cultura ocupou todo o ciclo verão da rotação, com as sequências: T1: soja/soja/arroz; T2: arroz/soja/arroz; T3: arroz/arroz/soja; e T4: soja/arroz/soja. Os tratamentos T2 e T4 contemplaram as configurações 1:1 da rotação entre soja e arroz irrigado, conhecidas na região por “pingue-pongue”.

A área onde foi instalado o estudo totaliza 70 ha, com cada modelo de rotação ocupando uma subárea de aproximadamente 20 ha. Em cada subárea, foram delimitadas quatro unidades experimentais de 500 m², onde foram realizadas as avaliações agrônômicas e de emissões de GEE para cada rotação. As unidades experimentais foram dispostas em delineamento de faixas, com quatro repetições.

A sistematização das áreas foi estabelecida a partir de levantamento planialtimétrico, utilizando-se sistema de precisão GNSS/RTK incorporado ao maquinário. Ambas as culturas foram implantadas em sistema convencional de preparo do solo, envolvendo operações de aração, gradagem e aplainamento da superfície do terreno. O solo foi corrigido para pH 6,0, e a adubação das culturas foi estabelecida considerando-se os resultados da análise química do solo e as indicações técnicas da pesquisa visando alta produtividade. Apenas a cultura do arroz foi irrigada, por inundação do solo, no período entre os estádios de três folhas (V3) e maturação de colheita (R9), mantendo-se lâmina de água próxima a 10 cm. O controle de plantas daninhas, de doenças e de insetos-praga seguiu as indicações técnicas para o Sul do Brasil para ambas as culturas, conforme Reunião... (2018), para o arroz irrigado, e Martin et al. (2022), para a soja.

Nas faixas relativas a cada tratamento, foram instalados três sistemas coletores de gases, distintos para o arroz irrigado e para a soja. O detalhamento operacional para coleta e cálculo de emissões estão descritos em Scivittaro et al. (2022). As emissões de metano (CH₄) e de óxido nitroso (N₂O) e o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) relativos às quatro configurações da rotação soja/arroz irrigado foram estabelecidos individualmente por cultura/safra agrícola e totalizados, visando identificar o efeito globalizado no período avaliado e comparar os modelos de rotação (tratamentos). Utilizaram-se os índices equivalente-CO₂ (CO₂-eq) de 34 para o metano e de 298 para o óxido nitroso (IPCC, 2013).

Em cada safra os grãos foram colhidos com colhedora mecanizada comercial, em área total, dotada de balança e medidor automatizado de umidade. A produtividade foi ajustada para a umidade-padrão de 13% e dada em quilograma por hectare. A partir dos dados de PAGp e produtividade de grãos, foram estabelecidos indicadores ponderados de unidade de produto produzido por unidade de carbono-equivalente emitido, dado em quilograma de grãos, megajoules (MJ) de energia e quilograma de proteína por unidade de PAGp. Esse índice foi calculado individualmente para as culturas de arroz e soja e para o respectivo tratamento em teste, sendo a conversão da produção de grãos para unidades de energia e proteína necessárias para estabelecer um produto comum (dois, no presente caso), para comparar as culturas e a produção total de cada tratamento. Os valores obtidos estão apresentados na forma de tabelas com as respectivas média e erro-padrão.

Resultados e discussão

A produtividade do arroz variou entre 9.125 e 10.615 kg ha⁻¹, situando-se acima da média estadual no período 2020 a 2022. A estabilidade produtiva verificada com arroz resulta, em grande parte, do fato do cultivo ser irrigado em todo seu ciclo. Já a soja apresentou ampla variabilidade produtiva; a estiagem ocorrida na safra 2020 afetou a produção da leguminosa, que não foi irrigada (Tabela 1). As emissões de gases de efeito estufa (GEE) variaram substancialmente entre os cultivos, com o efeito somatório dos gases CH₄ e N₂O, no contexto do aquecimento global, cotado pelo indicador PAGp, apontando o arroz irrigado como maior emissor do que a soja. Essa característica no cultivo do arroz já é conhecida, e muitas pesquisas são realizadas para encontrar formatos de produção que reduzam o perfil de emissões da lavoura arrozeira. No presente estudo, as áreas com soja emitiram, em média, 1.183±480 kg ha⁻¹ de CO₂-eq., contrastando com 12.249±1.361 kg ha⁻¹ de CO₂-eq emitidos no cultivo do arroz irrigado. Assim, naturalmente, quanto maior a proporção de soja no arranjo da rotação de culturas, menores foram as emissões totais do respectivo tratamento, cujos valores podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Produtividade de grãos e potencial de aquecimento global em distintos arranjos de rotação envolvendo as culturas de arroz irrigado e soja em terras baixas, em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS.

Tratamento	----- Safra -----						Total
	2020 ⁽¹⁾	2021	2022	2020	2021	2022	
	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)			Potencial de aquecimento global (kg ha ⁻¹ de CO ₂ -eq)			
S-S-A ⁽²⁾	960	3.858	10.615	60	1.227	10.486	11.772
A-S-A	9.400	2.635	9.125	1.161	3.036	13.506	28.153
A-A-S	9.710	9.600	4.688	9.842	18.404	1.985	30.231
S-A-S	1.428	10.590	4.716	797	9.645	-6	10.436

⁽¹⁾A produtividade da soja foi afetada pela estiagem.

⁽²⁾Culturas de arroz irrigado (A) ou soja (S), respectivamente, de acordo com cada tratamento.

Uma forma de comparar os diferentes modelos de rotação de culturas é pela mensuração, e posterior contraste, de indicadores que sejam equivalentes dentre os sistemas em análise. Geralmente, essa equalização requer a conversão dos dados a uma unidade-comum. No presente caso, os tratamentos foram comparados utilizando-se o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) como fator inerente aos sistemas de produção, e os componentes de energia (em MJ ha⁻¹) e proteína (em kg ha⁻¹), calculados a partir da produção de grãos do arroz e da soja, respectivamente, como principais elementos comparativos para as “saídas” dos sistemas (Tabela 2). O conteúdo em energia alimentar da produção de 1 ha de arroz foi maior do que o verificado com soja. Enquanto para a leguminosa auferiu-se 50.894±11.112 MJ ha⁻¹, a gramínea produziu o triplo dessa quantidade, com 157.440 ±4.071 MJ ha⁻¹. A alta produtividade do arroz promovida pela irrigação representa clara vantagem da gramínea em relação à leguminosa, caso o interesse do cultivo seja a obtenção de alimento para prover basicamente energia, seja para rações ou o consumo direto. Já a análise de proteínas apresentou um padrão bastante distinto, com a soja destacando-se positivamente em relação ao arroz; em média a leguminosa produziu 1.097±240 kg ha⁻¹ em proteína, enquanto o arroz produziu somente 689±18 kg ha⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 2. Equivalente energético e de proteína produzidos em distintos arranjos de rotação envolvendo as culturas de arroz irrigado e soja em terras baixas, em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS.

Tratamento	----- Safra -----							
	2020	2021	2022	Total	2020	2021	2022	Total
	Energia (MJ ha ⁻¹) ⁽¹⁾				Proteína (kg ha ⁻¹)			
S-S-A ⁽²⁾	16.032	64.429	169.840	250.301	346	1.389	743	2.478
A-S-A	150.400	44.005	146.000	340.405	658	949	639	2.245
A-A-S	155.360	153.600	78.290	387.250	680	672	1.688	3.039
S-A-S	23.848	169.440	78.757	272.045	514	741	1.698	2.953

⁽¹⁾ Conteúdo energético e proteico: arroz = 16 MJ kg⁻¹ e 7%; soja = 16,7 MJ kg⁻¹ e 36%, respectivamente.

⁽²⁾ Culturas de arroz irrigado (A) ou soja (S), respectivamente, de acordo com cada tratamento.

Os padrões médios de consumo alimentar de energia e de proteína da população brasileira situam-se próximos a 8,7 MJ/dia e 80 g/dia, respectivamente. Se considerarmos as produtividades de arroz e de soja obtidas neste estudo, tem-se que 1 ha de arroz potencialmente produz o suficiente para prover a energia alimentar para aproximadamente 50 pessoas no período de 1 ano, enquanto 1 ha de soja pode, em tese, prover proteína para 274 pessoas, no mesmo período.

No contexto do aquecimento global, é interessante analisar as distintas opções agrônômicas na perspectiva de sua eficiência em termos da relação entre a produção e as respectivas emissões de GEE pelo sistema de produção. Essa ponderação, apresentada na Tabela 3, ressalta que o cultivo do arroz irrigado tem, de fato, um perfil de emissões menos favorável que o da soja, sob essa ótica. No caso do arroz irrigado, menos de 1 kg de grãos foi produzido ao custo de 1 kg de carbono-equivalente (GEE) emitidos; já a soja produziu cerca de 4 kg de grãos, ao mesmo custo.

Tabela 3. Produção de grãos, energia e proteína ponderados pela emissão de CO₂-eq em distintos arranjos de rotação envolvendo as culturas de arroz irrigado e soja em terras baixas, em experimento realizado no município de Capão do Leão, RS.

Tratamento	Valores médios por cultivo (kg grãos kg CO ₂ -eq. ⁻¹)		Valores totais por tratamento (MJ ou kg kg CO ₂ -eq. ⁻¹)	
	Arroz irrigado	Soja	Energia (MJ)	Proteína (kg)
S-S-A ⁽¹⁾	1,01	9,63	21,3	0,21
A-S-A	0,74	0,87	12,1	0,08
A-A-S	0,75	2,36	12,8	0,10
S-A-S	1,10	0,90 ⁽²⁾	25,6	0,28
Médias ⁽³⁾	0,85 (± 0,09)	4,05 (± 2,45)	-	-

⁽¹⁾ Culturas de arroz irrigado (A) ou soja (S), respectivamente, de acordo com cada tratamento.

⁽²⁾ Na safra 2022, considerou-se o valor zero (0) para as emissões em soja.

⁽³⁾ Valores entre parênteses após a média indicam o erro-padrão (n=6).

Utilizando-se essa mesma lógica de análise ponderada quanto às emissões para comparar os sistemas de produção, e considerando-se energia e proteína como os produtos finais – os quais, numa perspectiva de suprimento e segurança alimentar, são os principais produtos de interesse nutricional desses cultivos –, verifica-se que o aumento na proporção de soja no ciclo de rotação (ex.: em T1 e T4) auferiu maior eficiência ao sistema, produzindo mais proteína e energia, a um menor custo em termos de potencial de aquecimento global parcial, ou simplificada, de emissões de GEE (Tabela 3).

Adicionalmente, tem-se que os modelos de rotação com dois ciclos de soja praticamente dobraram a produção de energia e de proteína por unidade de GEE emitida, em comparação ao emprego de um ciclo de soja somente. É importante ressaltar que, embora esse dado seja importante para mensurar a eficiência do modelo produtivo e possa subsidiar melhorias nos processos e técnicas, esse é somente um indicador estrito à dimensão e perspectiva do aquecimento global. Ao se levar em conta a perspectiva da produção de alimentos, assumindo-a como a mais importante razão da atividade agrícola, os modelos com dois ciclos de arroz irrigado apresentaram clara vantagem, especialmente no aspecto de produção energética (Tabela 2).

Considerações finais

Os dados levantados neste estudo identificaram que a produção de arroz irrigado tem um perfil de emissões de GEE superior aos verificados para a produção de soja. Em que pese tal aspecto, essa é uma característica já bem conhecida na produção desse cereal e é importante frisar que o arroz é a única cultura plenamente adaptada ao encharcamento e à irrigação por inundação do solo. Esse é um fator preponderante para sua estabilidade produtiva e para a conveniência e manutenção desse cultivo no ambiente das terras baixas.

Na busca de otimizar a produção e reduzir o impacto no contexto de emissões de GEE, este estudo realça alguns pontos importantes. Inicialmente, destaca-se que, no aspecto da rotação de culturas, ao se comparar a produção de grãos em uma mesma safra dentre os distintos tratamentos avaliados, houve vantagem à produtividade do arroz quando semeado após a soja, com ganhos de 10% após um ciclo da leguminosa (ex.: safra 2021), e de 16% após dois ciclos de soja na rotação (ex.: safra 2022). Na perspectiva da segurança alimentar, esse é um dado relevante: a rotação com a leguminosa aumentou a capacidade produtiva por unidade de área cultivada, o que implica prover alimento para mais pessoas. Pelos valores levantados neste trabalho, chega-se a um número entre 1.820 e 2.740 pessoas a mais que 1 ha de arroz pode prover por dia, se for cultivado após soja, considerando-se unicamente o componente da energia alimentar.

Reciprocamente, tem-se que os ganhos em produtividade do arroz pela rotação com soja representam um efeito conhecido como 'poupa-terra' e, nesse aspecto em particular, o contexto ambiental da produção adquire maior relevância. O aumento produtivo promovido pela rotação pode potencialmente se refletir em redução na área de cultivo, proporcional ao ganho obtido, sem prejuízos à produção inicialmente almejada. Para o presente caso, em que a vantagem produtiva do arroz pós-soja se situou entre 10% e 16%, o benefício da rotação teria, nessa perspectiva, um potencial de reduzir as emissões de GEE na mesma proporção desses ganhos. Evidentemente, o benefício da rotação, no contexto do aquecimento global, não está limitado ao efeito 'poupa-terra', devendo-se incluir-se, também, aspectos como a economia em pesticidas e fertilizantes, esses em particular associados a um alto custo energético e de emissões durante sua produção e uso.

No entanto, independentemente do arroz irrigado ser altamente produtivo e o cultivo mais adaptado ao ambiente das terras baixas, não se pode negligenciar que, na perspectiva das ações voltadas à mitigação do aquecimento global, a presença da soja nos ciclos de rotação aumentou a eficiência do sistema de produção em termos de unidades de energia e proteína, produzidas por unidades de carbono-equivalente e emitidas pelo sistema de produção. Há que se considerar, ainda, que os valores em favor da leguminosa poderiam ser ainda maiores, caso as perdas por estiagem não tivessem sido tão severas no primeiro ano do estudo.

Diante do exposto, o qual, mais que meramente teórico, vem respaldado pelos próprios resultados deste estudo (ex.: Tabelas 2 e 3), à primeira vista tem-se um dilema em potencial: Deve-se, afinal, priorizar o cultivo do arroz ou da soja nas terras baixas do RS? A resposta a esse questionamento reside possivelmente no equilíbrio entre ambas as alternativas, ou seja, evitando-se tanto o monocultivo de arroz quanto o monocultivo da soja, ou de outra espécie. Assim, contribui-se para a manutenção de elevada produtividade do arroz irrigado, agregando-se a eficiência ambiental promovida pela presença estratégica da soja nos ciclos de rotação de culturas. Arranjos dessa natureza, caracterizados pela diversificação, não só potencializam ganhos técnicos e econômicos, mas, sobretudo, otimizam tanto a produção de alimentos quanto a redução de emissões de GEE, consolidando um caminho viável para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Referências

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS (Capão do Leão). **Normais climatológicas - mensal/anual**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; UFPel, 2023. Disponível em: <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/mensal.html>. Acesso em: 26 jul. 2023.

IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). **Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

MARTIN, T. N. (org.). **Indicações Técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2022/2023 e 2023/2024**. Santa Maria: Editora GR, 2022. 136 p.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A. L.; PAULETTO, E. A. Solos de várzeas do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. (ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 32., Farroupilha. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Cachoeirinha: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2018. 205 p.

SCIVITTARO, W. B.; VASCONCELOS, E. E.; GRIEP, S. P.; AZEVEDO, V. J.; SOUZA, R. O. **Emissões de gases de efeito estufa da rotação soja-arroz irrigado em Terras Baixas do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. 19 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 365).

THEISEN, G. **A comprehensive assessment of agriculture in lowlands of south Brazil: characterization and comparison of current and alternative concepts**. 234 p. Tese (Doutorado) - Wageningen University & Research. Wageningen, Netherlands, 2017.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. (ed.) **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 333 p.

Embrapa Clima Temperado

BR-392, km-78, Caixa Postal 403
CEP 96010-971, Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

1ª edição

Publicação digital: PDF (2023)



MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA E
PECUÁRIA**



Comitê Local de Publicações

Presidente

Luis Antônio Suita de Castro

Vice-presidente

Walkyria Bueno Scivittaro

Secretária-executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Membros

*Ana Luiza B. Viegas, Fernando Jackson,
Marilaine Schaun Pelufé, Sonia Desimon*

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Marilaine Schaun Pelufé

Editoração eletrônica

Nathália Santos Fick

Foto da capa

Giovani Theisen

CGPE 018263