

AGRICULTURA DIGITAL NA TOMADA DE DECISÕES PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL DE DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA

Emanoel Rolim Farias da Silva¹, Luana Lüdtke¹, Luiz Felipe Silveira Pavão², André Müllich², Gabrielle Ductra Bortolotti², Ivan Carlos Maldaner², Luciano Zucuni Pes², Jaqueline Sgarbossa²

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil

**² Colégio Politécnico, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Brasil**

ABSTRACT:

A soja (*Glycine max* L.) destaca-se como uma das principais culturas de interesse agrônomo, amplamente utilizada na alimentação humana e animal devido ao seu elevado teor proteico e diversidade de derivados. O desempenho produtivo da cultura é fortemente influenciado pelas condições meteorológicas, pelo manejo adotado e pela incidência de patógenos, os quais podem reduzir significativamente a área fotossinteticamente ativa da planta, impactando diretamente a produtividade final. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a eficácia de estratégias fitossanitárias no manejo da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), com ênfase na implementação de um sistema de alerta fitossanitário, baseado na análise do triângulo da doença. O experimento foi implementado na safra de 2025/2026, na Área Agropecuária do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, na cidade de Santa Maria, RS. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: T1: Testemunha; T2: Biológico (calendarizado); T3: Biológicos + Químico Multissítio (calendarizado); T4: Biológicos + Químico Multissítio + Químico Sítio Específico (calendarizado); T5: Químicos (triângulo); T6: Biológicos + Químico Multissítio + Químico Sítio Específico (triângulo); T7: Biológicos + Químico Multissítio (triângulo). Nos tratamentos calendarizados, as aplicações foram realizadas em intervalos fixos de 15 dias. Já nos tratamentos fundamentados no monitoramento do triângulo da doença, foram avaliadas diariamente as condições de temperatura do ar e umidade relativa do ar (UR), com dados provenientes da estação meteorológica vinculada ao Instituto Nacional de

Meteorologia, localizada a 1500 m da área experimental. Consideram-se condições favoráveis à ocorrência da doença temperaturas entre 20 °C e 25 °C associadas à UR $\geq$ 90%, por seis horas consecutivas, ou temperaturas entre 15 °C e 30 °C associadas à UR $\geq$ 90%, por oito horas consecutivas. Além disso, a presença do patógeno no ambiente foi monitorada por meio de um coletor de esporos, com análise semanal de lâminas, para quantificação da presença de esporos. Como critério para tomada de decisão, estabeleceu-se a contagem de cinco ou mais esporos de ferrugem-asiática, caracterizando condição favorável e indicando a necessidade de aplicação nos tratamentos correspondentes. De acordo com a Anova não houve interação significativa para massa de mil grãos e produtividade de grãos. Os resultados indicam redução no número de aplicações de fungicidas nos tratamentos baseados no triângulo da doença, que demandaram quatro pulverizações, em comparação aos tratamentos calendarizados, que requereram seis aplicações. Esses resultados demonstram o potencial do Sistema de alerta fitossanitário na otimização do uso de defensivos agrícolas, na redução de impactos ambientais e na manutenção de produtividades satisfatórias, contribuindo para maior eficiência e sustentabilidade no contexto da resiliência agrícola.

Keywords: *Glycine max*; Sistema de alerta; Patógenos; Redução.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das culturas mais importantes a nível mundial, devido a sua composição rica em nutrientes essenciais para nutrição animal e humana (Bezerra et al. 2015; Guarienti et al. 2024). No Brasil, estima-se que para a safra 2025/2026 apresente uma produção de 180,13 milhões de toneladas, cerca de 5% acima do observado em 2024/2025 (Conab, 2026). No entanto, a região central do Rio Grande do sul teve perdas produtivas devido à escassez hídrica em estádios reprodutivos da cultura (Conab, 2026).

As doenças fúngicas causam elevado dano na cultura da soja, impactando significativamente na redução de produtividade e custo de produção (Paraginski et al. 2022). O uso excessivo e exclusivo de fungicidas químicos desencadeia vários problemas no programa de controle de doenças, dentre eles destaca-se a resistência dos patógenos e a contaminação ambiental (Oliveira et al. 2015).

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é uma das principais doenças causadas por fungos que acometem a cultura, seu dano inicial está relacionado com o aparecimento de lesões no tecido foliar de coloração castanha a marrom-escura, podendo evoluir para desfolha precoce e redução de componentes de produtividade na cultura, (Godoy et al. 2017; Yorinori & Lazzarotto 2004; Yorinori et al. 2005).

As condições ambientais influenciam diretamente na favorabilidade de ocorrência de doenças. Conforme Peranson et al. (2020) a ferrugem asiática da soja tem maior ocorrência na faixa de 19,7C° e 24,3C°, com tempo necessário de molhamento do tecido foliar entre 6 a 12 horas. Além disso, o transporte dos urediniósporos dessa doença é através do vento, podendo se dispersar por muitos quilômetros sem perder a viabilidade (Belinelli et al. 2022).

Neste contexto, os sistemas de alerta fitossanitários melhoram a eficácia do programa de controle de doenças, já que levam em consideração as condições climáticas e o aparecimento inicial de lesões no tecido foliar (Beruski et al. 2018). No entanto, é notório a baixa aplicabilidade desses sistemas em regiões distintas, e baixa calibração para diferentes cenários de manejo (Beruski et al. 2018; Igarashi et al 2016). Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a eficácia de diferentes estratégias fitossanitárias no manejo da ferrugem asiática da soja, com ênfase na implementação de um sistema de alerta fitossanitário, baseado na análise do triângulo da doença.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Agropecuária do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, na cidade de Santa Maria, RS. O local está situado nas coordenadas geográficas Latitude 29° 71' 89" S, Longitude de 53° 73' 73" O e altitude de, aproximadamente, 104 metros ao nível médio dos mares. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (SANTOS et al., 2018) e o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

A semeadura da soja foi realizada no dia 14 de novembro de 2025, utilizando a cultivar DM 66i68 IPRO, com população de 280.000 sementes por hectare. A adubação foi realizada seguindo a recomendação técnica, com base na interpretação da análise de

solo da área, utilizando 300 kg ha⁻¹ do fertilizante com formulação 05-30-15. No dia 18 de dezembro foi realizada a adubação potássica com 120 kg ha⁻¹ do fertilizante cloreto de potássio.

O delineamento experimental empregado foi de blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos consistiram em sete manejos fitossanitários, sendo estes: T1: Testemunha; T2: Biológico (Calendarizado); T3: Biológicos + Químico Multissítio (calendarizado); T4: Biológicos + Químico Multissítio + Químico Sítio Específico (calendarizado); T5: Químicos (triângulo); T6: Biológicos + Químico Multissítio + Químico Sítio Específico (triângulo); T7: Biológicos + Químico Multissítio (triângulo).

Nos tratamentos calendarizados, as aplicações foram realizadas em intervalos fixos de 15 dias. Já nos tratamentos fundamentados no monitoramento do triângulo da doença, foram avaliadas diariamente as condições de temperatura do ar e umidade relativa do ar (UR), com dados provenientes da estação meteorológica vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a 1500 m da área experimental.

Consideram-se condições favoráveis à ocorrência da doença temperaturas entre 20 °C e 25 °C associadas à UR ≥ 90%, por seis horas consecutivas, ou temperaturas entre 15 °C e 30 °C associadas à UR ≥ 90%, por oito horas consecutivas. Além disso, a presença do patógeno no ambiente foi monitorada por meio de um coletor de esporos, com análise semanal de lâminas, para quantificação da presença de esporos. Como critério para tomada de decisão, estabeleceu-se a contagem de cinco ou mais esporos de ferrugem-asiática, caracterizando a condição favorável e indicando a necessidade de aplicação nos tratamentos correspondentes.

Para realizar a pulverização dos tratamentos fez-se uso de um pulverizador costal elétrico da marca Kawashima, modelo Pem P20, equipado com pontas de pulverização do tipo cone vazio, produzindo jato com um ângulo de 90°, gerando gotas finas. As pulverizações ocorreram nos dias 19/12/2025, 05/01/2026, 20/01/2026, 04/02/2026, 20/02/2026 e 07/03/2026 para os tratamentos calendarizado e 06/01/2026, 04/02/2026, 20/02/2026 e 07/03/2026 para as aplicações que seguiram o triângulo da doença.

As variáveis respostas avaliadas foram: massa de mil grãos, produtividade de grãos e uma análise econômica entre os tratamentos. Para mensurar a massa de mil grãos, foram pesados 300 grãos de soja, e posteriormente o resultado foi extrapolado para 1000 grãos. A produtividade de grãos foi obtida por meio da colheita manual de 4,05 m² em cada unidade experimental.

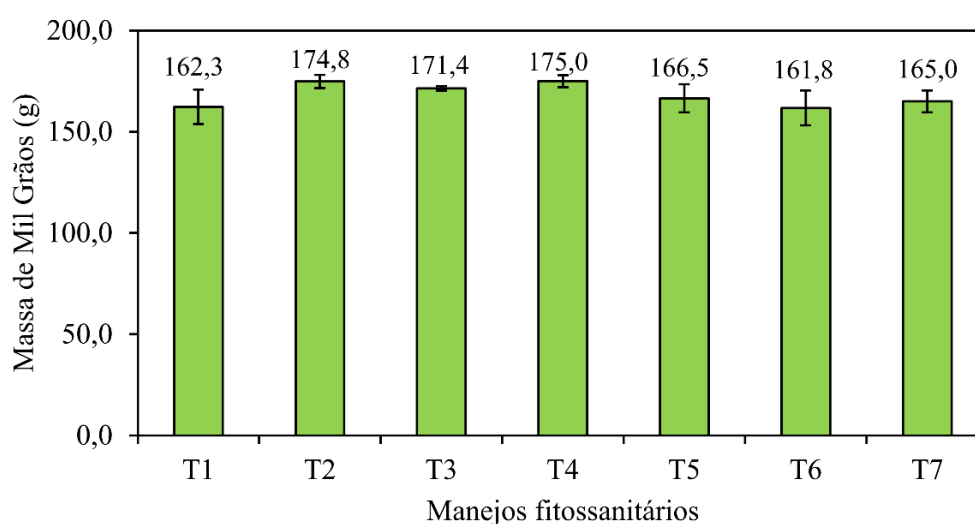
Para tanto, realizou-se a trilha mecânica, com o batedor de cereais da marca Triton®, modelo TR 791, a 1400 rpm. Posteriormente, as amostras passaram pelos processos de limpeza e pesagem na balança digital comercial da marca Electro, com umidade corrigida para 13%. Já a análise econômica dos tratamentos se deu pela diferença entre a produtividade final de grãos, o custo de aquisição dos fungicidas utilizados e o número de aplicações dos mesmos no ensaio.

Os dados foram, inicialmente, analisados quanto à aderência dos resíduos a distribuição normal e a homogeneidade das variâncias residuais, por meio dos testes de Shapiro Wilk ($p < 0,05$) (Shapiro & Wilk, 1965) e Bartlett ($p < 0,05$) (Steel et al. 1997). Logo após os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando verificado efeito significativo pelo teste F ($p < 0,05$), as análises complementares foram realizadas pelo teste de comparação múltiplas de médias Scott Knott ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* R (R Core Team, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

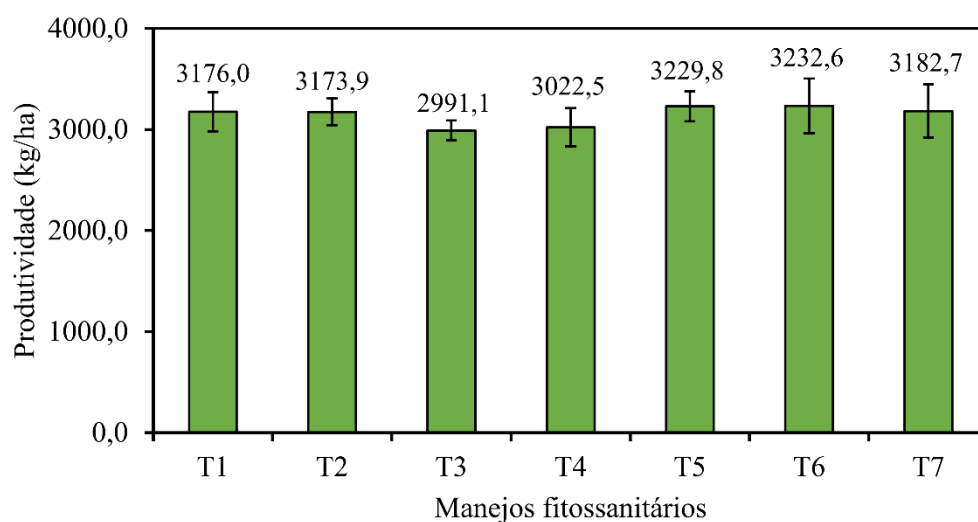
De acordo com análise de variância não houve efeito significativo de tratamentos (manejos) para as variáveis avaliadas. No entanto, foi observada tendência de incremento nas médias de massa de mil grãos nos tratamentos onde foram aplicados fungicidas (Figura 1). Esse resultado é similar ao observado no trabalho de Balzan et al. 2018, evidenciando que o ataque de patógenos pode resultar em um menor incremento dessa variável.

Figura 1- Massa de mil grãos (g) da soja cultivada sob sete manejos fitossanitários.



A variável produtividade grãos não apresentou efeito significativo, no entanto é possível visualizar que os tratamentos com ênfase no triângulo da doença obtiveram médias absolutas de produtividade de grãos mais elevadas que os demais tratamentos (Figura 2). Isso está atrelado a escolha do melhor momento de realização de controle no campo, visto que o manejo é efetuado nas condições de maior favorabilidade para o patógeno.

Figura 2- Produtividade de grãos (kg/ha) da soja cultivada sob sete manejos fitossanitários.



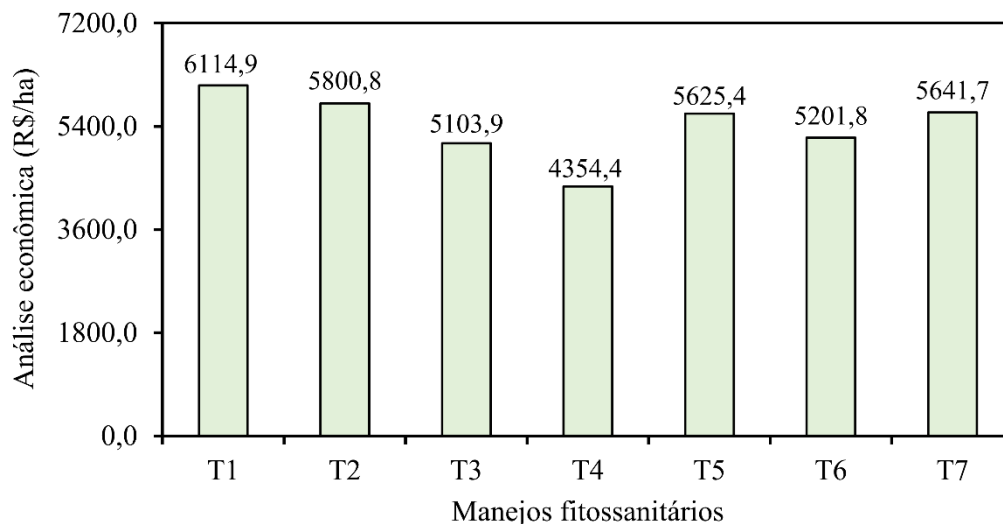
Já o manejo calendarizado, por desencadear um maior número de aplicações de fungicidas, tendeu a levar as plantas a um possível estresse, e muitas vezes podendo atingir níveis críticos, como a necrose do tecido foliar por fitotoxicidez. Além disso, o estresse hídrico vivenciado nessa safra agrícola nos meses de janeiro e fevereiro aumentaram o tempo de permanência do fungicida sobre a superfície da folha, assim aumentando seu potencial risco de ocasionar fitotoxicidez (CONAB, 2026; Wise et al. 2021).

A análise econômica apresentou resultados importantes e promissores quando relacionados a sustentabilidade e a viabilidade econômica do programa de manejo de doenças. Observa-se de uma forma geral que os tratamentos com fungicidas calendarizados resultaram em valores inferiores de lucratividade, o que se deve ao maior número de aplicações, 6 aplicações no total.

Já o manejo baseado no monitoramento do triângulo da doença, se mostraram mais rentáveis economicamente. Essa rentabilidade está fortemente associada a redução

do número de aplicações nos tratamentos baseados no triângulo da doença, totalizando 4 aplicações. Além dessa redução de custos, é evidente que a redução do número de aplicações desnecessárias proporcionará menor contaminação humana e ambiental (Chen et al. 2020; Lázaro et al. 2021)

Figura 3- Analise econômica (R\$/ha) de sete manejos fitossanitários empregados na cultura da soja.



CONCLUSÃO

Não houve interação significativa para massa de mil grãos e produtividade de grãos. Observou-se uma maior eficiência econômica nos tratamentos baseados no monitoramento do triângulo da doença, em consequência da redução do número de aplicações desnecessárias no campo sem perder eficiência produtiva da soja. A limitação deste estudo se relaciona com sua condução em apenas uma safra agrícola, sendo necessário estudos em próximas estações de cultivo.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, André Ricardo Gomes et al. Importância econômica. Soja: do plantio à colheita, p. 9-26, 2015.

Guarienti, V. F., Pavão, L. F. S., Maldaner, I. C., Follmann, D. N., Pes, L. Z., de Farias, M. S., Rubert, K., & dos Santos, E. D. (2024). Desempenho agrônômico, teores de

proteína e óleo de cultivares de soja em ambiente de terras baixas com ocorrência de La Niña. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, 22(2), e3338. <https://doi.org/10.55905/oelv22n2-161>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 8º levantamento – safra 2025/26. Brasília, DF: CONAB, 2026. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.

Paraginski, J. A., Toebe, M., Moraes, M. P., & Paraginski, P. E. (2022). Severidade de doenças fúngicas foliares e desfolha da soja sob densidades de semeadura. Agrarian, 15(55), e14833. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v15i55.14833>.

OLIVEIRA, S. C. D., CASTROAGUDÍN, V. L., MACIEL, J. L. N., PEREIRA, D. A. D. S., & CERESINI, P. C. Resistência cruzada aos fungicidas IQo azoxistrobina e piraclostrobina no patógeno da brusone do trigo *Pyricularia oryzae* no Brasil. Summa Phytopathologica, v. 41, p. 298–304, 2015.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; MOREIRA, E. N.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; FEKSA, H. R.; ARAÚJO JUNIOR, I. P.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L. M. de R.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P. da; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; VOLF, M. R.; GOUSSAIN, M.; DEBORTOLI, M. P.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular técnica 129, 2017.

Yorinori, J. T., and J. J. Lazzarotto. "Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul." (2004).

YORINORI, J. T., HENNING, A. A., GODOY, C.V., COSTAMILAN, L. M., MEYER, M.C. Doenças da soja. In: KIMATI, L., AMORIN, J. A. M., REZENDE, A., BERGAMIM FILHO, L. E. A., CAMARGO, H. (Eds.). Manual de Fitopatologia, v. 2. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 2005. p.569-588.

de Mello, F. E., Mathioni, S. M., Fantin, L. H., Rosa, D. D., Antunes, R. F. D., Filho, N. R. C., Duvaresh, D. L., & Canteri, M. G. (2021). Sensitivity assessment and SDHCI86F mutation frequency of *Phakopsora pachyrhizi* populations to benzovindiflupyr and fluxapyroxad fungicides from 2015 to 2019 in Brazil. *Pest Management Science*, 77, 4331– 4339. <https://doi.org/10.1002/PS.6466>.

BELINELLI, Eduardo Oliveira; FANTIN, Lucas Henrique; CANTERI, Marcelo Giovanetti; BRAGA, Karla; CIRILO, Eliandro Rodrigues; ROMEIRO, Neyva Maria Lopes; NATTI, Paulo Laerte. Numerical simulation of atmospheric transport of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores in South America using the state of Paraná-Brazil as a model. *European Journal of Plant Pathology*, Dordrecht, v. 163, n. 4, p. 979-990, 2022. DOI: 10.1007/s10658-022-02533-7.

BERUSKI, Gustavo Castilho. Disease warning systems for rational management of Asian soybean rust in Brazil. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Igarashi, WT, França, JA de, Silva, MA de A. e, Igarashi, S., & Abi Saab, OJG (2016). Aplicação de modelos de predição da ferrugem asiática da soja em duas safras, em Londrina, Pr. *Semina: Ciências Agrárias*, 37 (5), 2881–2890. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n5p2881>.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília, Embrapa Solos. 356p. 2018.

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.2013. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

BALZAN, Fabricio et al. Avaliação da Produtividade de Soja com Aplicações de Diferentes Combinações de Fungicidas. 5º AGROTEC. 2018, Chapecó. Disponível em: https://eventos.uceff.edu.br/eventosfai_dados/artigos/agrotec2018/871.pdf.

WISE, Kiersten; MUELLER, Daren; BRUNKHORST, Jason. *Triazole phytotoxicity in soybeans*. Lincoln: University of Nebraska–Lincoln Extension, 2021. Disponível em: <https://cropwatch.unl.edu/2021/triazole-phytotoxicity-soybeans/>.

Chen, M., Brun, F., Raynal, M. *et al.* Atrasar a primeira aplicação de fungicida em videiras reduz a exposição dos viticultores pela metade. *Sci Rep* 10 , 6404 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62954-4>

Lázaro, E., Makowski, D. & Vicent, A. Sistemas de apoio à decisão reduzem pela metade o uso de fungicidas em comparação com estratégias baseadas em calendário, sem aumentar o risco de doenças. *Commun Earth Environ* 2 , 224 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00291-8>