

Campinas, SP / Maio, 2025

## Método para ponderação entre custo financeiro e risco ambiental na recomendação de pesticidas na agricultura

Claudio Aparecido Spadotto<sup>1</sup><sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Soil and Water Science, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

### Introdução

A tomada de decisão dos produtores agrícolas sobre qual pesticida usar baseia-se geralmente na eficácia dos produtos considerados e nos seus custos (custo do produto por hectare somado ao custo da aplicação). Assumindo-se que somente produtos com eficácia aceitável são levados em consideração, a ponderação entre os custos financeiros e os riscos ambientais pode mostrar aos produtores agrícolas e profissionais que atuam na recomendação de pesticidas a melhor alternativa, ou seja, pode evidenciar aquela que, além de garantir a eficácia na proteção do cultivo agrícola, combina o menor custo financeiro e o menor risco ambiental.

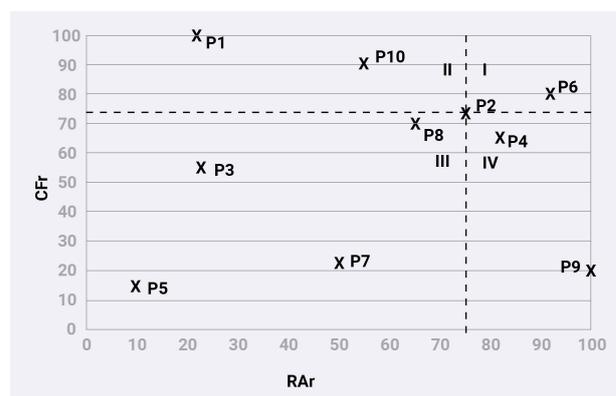
Este Comunicado Técnico descreve o método CF/RA para agilizar a ponderação entre custo financeiro e risco ambiental na recomendação de pesticidas agrícolas e apresenta dois exemplos da sua aplicação.

### Descrição do método CF/RA para pesticidas agrícolas

O método para ponderação entre custo financeiro (CF) e risco ambiental (RA) na recomendação de pesticidas na agricultura baseia-se nos fundamentos apresentados por Hoag e Hornsby (1991). É oportuno salientar que os mesmos fundamentos podem ser usados na ponderação CF/RA para outros métodos de proteção de cultivos agrícolas e para

outras tecnologias voltadas para agricultura. Uma vantagem de ponderar concomitantemente os custos financeiros e os riscos ambientais de tecnologias é poder comparar alternativas e selecionar a mais adequada. Para facilitar a comparação, valores relativos do CF (CFr) e do RA (RAr) entre as opções consideradas podem ser usados. CFr e RAr são em relação ao maior valor, respectivamente, do CF e do RA.

A Figura 1, como um painel de informações, apresenta um exemplo hipotético, onde o RAr de pesticidas está anotado no eixo horizontal enquanto o CFr está no eixo vertical, ambos em escalas de 0 a 100.



**Figura 1.** Representação hipotética de valores relativos do risco ambiental (RAr) e do custo financeiro (CFr) de pesticidas.

Observando a Figura 1, os vários pesticidas podem ser comparados entre si. Por exemplo, o pesticida P9 apresenta o RAr de 100 (RA maior que qualquer outra opção) e CFr de 20; enquanto o P1 tem RAr de 22 e CFr de 100 (CF maior que qualquer outra opção). O pesticida P5 tem RAr igual a 10 e CFr igual a 15 e é a melhor opção, por apresentar menor RAr e menor CFr. As outras opções apresentam diferentes combinações de custo financeiro e risco ambiental.

Há a possibilidade de identificar no painel uma referência, como o pesticida P2 neste exemplo, dividindo o painel em quadrantes (Figura 1). A referência pode ser, por exemplo, um pesticida que tenha sido usado anteriormente. Como são desejáveis valores menores de CF e RA, pesticidas no Quadrante I não seriam escolhas recomendáveis, quando comparados com o P2. Os pesticidas no Quadrante II apresentam maior CF e menor RA do que o P2; enquanto que no Quadrante IV estão os pesticidas com menor CF e maior RA do que o P2. Os pesticidas no Quadrante III apresentam menor CF e menor RA e, assim, são preferíveis em relação ao P2. Nesse exemplo, os pesticidas P3, P5, P7 e P8 são melhores opções que o P2, com destaque para o P5.

### Exemplo de aplicação do método CF/RA: herbicidas na cultura de soja

Como exemplo, o método CF/RA foi aplicado para sete produtos comerciais herbicidas pré-emergentes, registrados para cultura de soja. Foram consideradas as maiores doses recomendadas

(informações das bulas dos produtos comerciais), assumindo-se que para esses herbicidas apenas uma aplicação é realizada por ciclo da cultura agrícola.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de CFr e RAr para cada herbicida. O CF foi calculado como valor monetário por hectare (R\$/ha), considerando a dose do produto comercial (L/ha) e o preço por litro (R\$/L). Para o cálculo do CF, o custo de aplicação a campo foi considerado o mesmo para todos os herbicidas. No entanto, quando houver diferenças nos custos de aplicação, isso deve ser levado em conta nos cálculos dos custos financeiros. Outro ponto a ser considerado é que os preços dos pesticidas variam conforme a região e os custos de aplicação podem diferir de uma propriedade agrícola para outra. Ambos podem variar ao longo do tempo. Para este exemplo de aplicação do método CF/RA, os preços dos herbicidas foram levantados em páginas comerciais na Internet.

O RA de cada herbicida foi baseado no Indicador de Risco Ambiental (IRA), conforme descrito por Spadotto (2024). Como alternativa, o RA pode ser baseado em outro indicador, preferencialmente um que também considere tanto a toxicidade do herbicida como a exposição dos organismos.

Valores do CFr e do RAr entre as opções consideradas são apresentados na Tabela 1 para facilitar a comparação. Neste exemplo, os valores de RAr são em relação ao maior RA para cada organismo considerado, ou seja, aos organismos aquáticos (água superficial), organismos de solo e ao ser humano (potabilidade de água superficial e de água subterrânea). Assim, os valores de CFr e RAr

**Tabela 1.** Valores relativos de custo financeiro (CFr) e de risco ambiental (RAr) dos herbicidas (produtos comerciais) considerados.

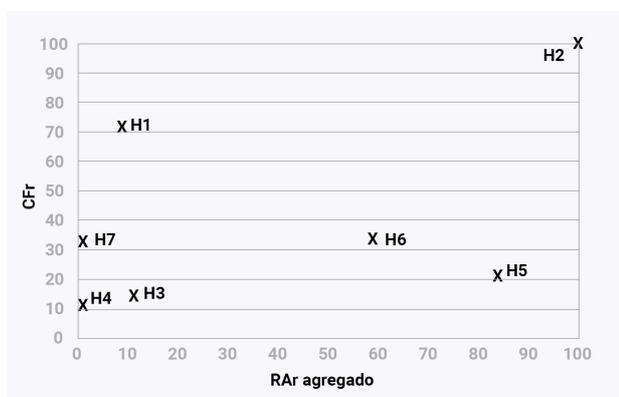
Herbicida	CFr	RAr				Agregado
		Organismos de Solo	Água Superficial Organismos Aquáticos	Água Superficial Consumo Humano	Água Subterrânea Consumo Humano	
H1	71	100	3	3	5	9
H2	100	20	0	100	100	100
H3	14	0	0	11	9	11
H4	11	0	0	0	5	1
H5	21	0	25	77	77	84
H6	34	20	100	23	23	59
H7	33	20	0	0	0	1

Cálculos de CFr e RAr feitos conforme descrito no texto.

devem ser comparados em cada coluna e não entre colunas da Tabela 1.

Também são apresentados os valores agregados de RAr, que foram calculados a partir da soma dos valores de RA para cada herbicida

A Figura 2 mostra, para os herbicidas analisados, as relações entre CFr e RAr, considerando-se conjuntamente a potabilidade da água superficial e subterrânea e a toxicidade aos organismos aquáticos e de solo (RAr agregado). O herbicida H2 mostra-se como a pior opção tanto com relação ao CF quanto ao RA; enquanto H4 mostra-se como a melhor opção, com o menor CF e o menor RA. Os herbicidas H4 e H7 apresentam praticamente o mesmo RA, no entanto, H4 tem menor CF.



**Figura 2.** Relações entre custo financeiro relativo (CFr) e risco ambiental relativo (RAr), agregado para potabilidade da água (superficial e subterrânea) e organismos aquáticos (água superficial) e de solo, dos herbicidas considerados.

Como visto na descrição do método, pode-se considerar uma opção como referência, dividindo o painel em quadrantes, o que permite que sejam mais facilmente identificadas as opções mais vantajosas com relação ao custo financeiro e risco ambiental. Importante observar que as eficácias dos diferentes herbicidas foram tidas como similares e suficientes nas doses consideradas.

### Exemplo de aplicação do método CF/RA: inseticidas na cultura de soja

Outro exemplo de aplicação do método CF/RA é apresentado para seis produtos comerciais inseticidas, registrados para a cultura de soja no controle da lagarta *Anticarsia gemmatalis*. Foram consideradas as maiores doses recomendadas e os maiores números de aplicações de cada inseticida por ciclo da cultura agrícola. As eficácias dos diferentes inseticidas foram consideradas similares e suficientes nas doses e números de aplicações considerados.

Na Tabela 2 estão os valores de CFr e RAr para cada inseticida. Neste caso, os valores de RAr são em relação ao maior RA para abelhas melíferas (*Apis mellifera*). Os valores de CFr e RAr devem ser comparados na respectiva coluna e não entre colunas da Tabela 2.

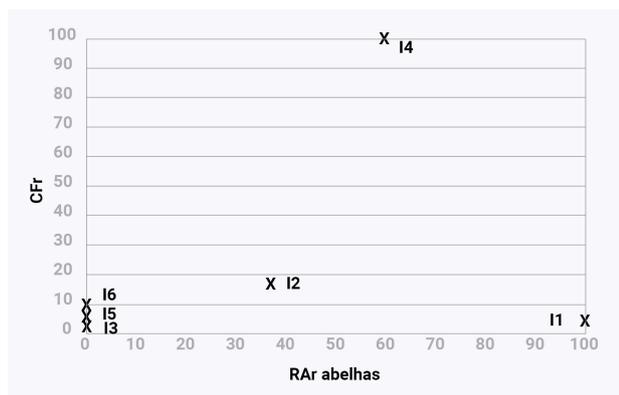
**Tabela 2.** Valores relativos de custo financeiro (CFr) e de risco ambiental para abelhas melíferas (*Apis mellifera*) (RAr Abelhas) dos inseticidas (produtos comerciais) considerados

Inseticida	CFr	RAr Abelhas
I1	4	100
I2	17	37
I3	3	~ 0
I4	100	60
I5	5	~ 0
I6	9	~ 0

O CF foi calculado como descrito anteriormente; no entanto, foi considerado o número máximo de aplicações de cada inseticida indicado por ciclo da cultura de soja e a exposição das abelhas foi calculada multiplicando a maior dose recomendada do respectivo ingrediente-ativo pelo maior número de aplicações preconizado em um ciclo da cultura agrícola. O RA foi estimado dividindo a exposição (quantidade de ingrediente-ativo (i.a.), em  $\mu\text{g}/\text{ha}$ ) pelo parâmetro de toxicidade, no caso a toxicidade aguda por contato ( $DL_{50}$  em  $\mu\text{g}/\text{abelha}$ ) de cada inseticida. A dose e o número de aplicações podem ser ajustados para cada situação específica. Outro parâmetro de toxicidade a abelhas melíferas (ou outras abelhas) pode ser utilizado, conforme o interesse da proteção.

A Figura 3 mostra as relações entre CFr e RAr para os inseticidas considerados. O inseticida I1 está como a pior opção com relação ao RA; enquanto a opção I4 é a pior pelo CF. Os inseticidas I3, I5 e I6 são as melhores opções, com os menores valores de CF e RA, com destaque para I3. O inseticida I2 ocupa uma posição intermediária entre as opções consideradas.

Como visto anteriormente, uma opção é incluir uma referência e dividir o painel em quadrantes para facilitar a identificação das opções mais vantajosas com relação ao custo financeiro e risco ambiental.



**Figura 3.** Relações entre custo financeiro relativo (CFr) e risco ambiental relativo para abelhas melíferas (*Apis mellifera*) (RAR abelhas) dos inseticidas considerados.

## Considerações finais

Os exemplos apresentados são aplicações genéricas do método CF/RA (ou seja, não são específicas para uma dada situação de campo). Por essa razão, as maiores doses recomendadas e os maiores números de aplicações (no caso dos inseticidas) preconizados foram usados. Em situações locais específicas (p. ex. para um talhão ou uma fração de talhão), a dose e o número de aplicações de cada pesticida podem ser ajustados às condições de campo, desde que a eficácia de controle seja garantida. Assim, o método CF/RA contribui para a seleção de pesticidas financeiramente e ambientalmente vantajosos, resguardando a eficácia agrônômica, em locais específicos.

Outros compartimentos ambientais e organismos podem ser considerados no método CF/RA, assim como outras tecnologias para proteção de cultivos agrícolas podem ser incluídas na avaliação das alternativas de controle (ou manejo) de insetos, ácaros, nematoides, fungos, bactérias, vírus, etc.

Este Comunicado Técnico e a solução tecnológica apresentada estão alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” (ODS 6) e “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis” (ODS 12), da Organização das Nações Unidas (ONU)<sup>1</sup>.

## Referências

Hoag, D. L.; Hornsby, A. G. **Coupling groundwater contamination with economic returns when applying farm pesticides**. Raleigh: Department of Agricultural and Resource Economics, North Carolina State University, 1991. Faculty Working Papers. (DARE: 91-08/July 1991).

Spadotto, C. A. **Cálculo do indicador de risco ambiental (IRA) de pesticidas na agricultura**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2024. 8 p. (Embrapa Agricultura Digital. Comunicado técnico, 139). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1172031/1/comunicado139.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

<sup>1</sup> Mais informações disponíveis em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>.

### Embrapa Agricultura Digital

Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária  
Campinas, SP, Brasil  
CEP. 13083-886  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

### Comitê Local de Publicações

Presidente: *Júlio Esquerdo*  
Secretária-executiva: *Sônia Ternes*  
Membros: *Adauto Mancini, Alan Nakai, Carla Osawa, Geraldo Cançado, Graziella Galinari, Joice Bariani, Juliana Yassitepe, Luiz Cunha, Magda Cruciol e Paula Falcão*

### Comunicado Técnico 141

e-ISSN 2764-7412  
Maio, 2025

Revisão de texto: *Graziella Galinari*  
Normalização bibliográfica: *Carla Osawa*,  
CRB-8/10421  
Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*  
Diagramação: *Ana Caroline Bianchi Santana* sob  
suprvisão de *Magda Cruciol*  
Publicação digital: PDF