

Minerais para Segurança Alimentar: Remineralizadores

Eder de Souza Martins

Geólogo, Dr. – Agrogeologia

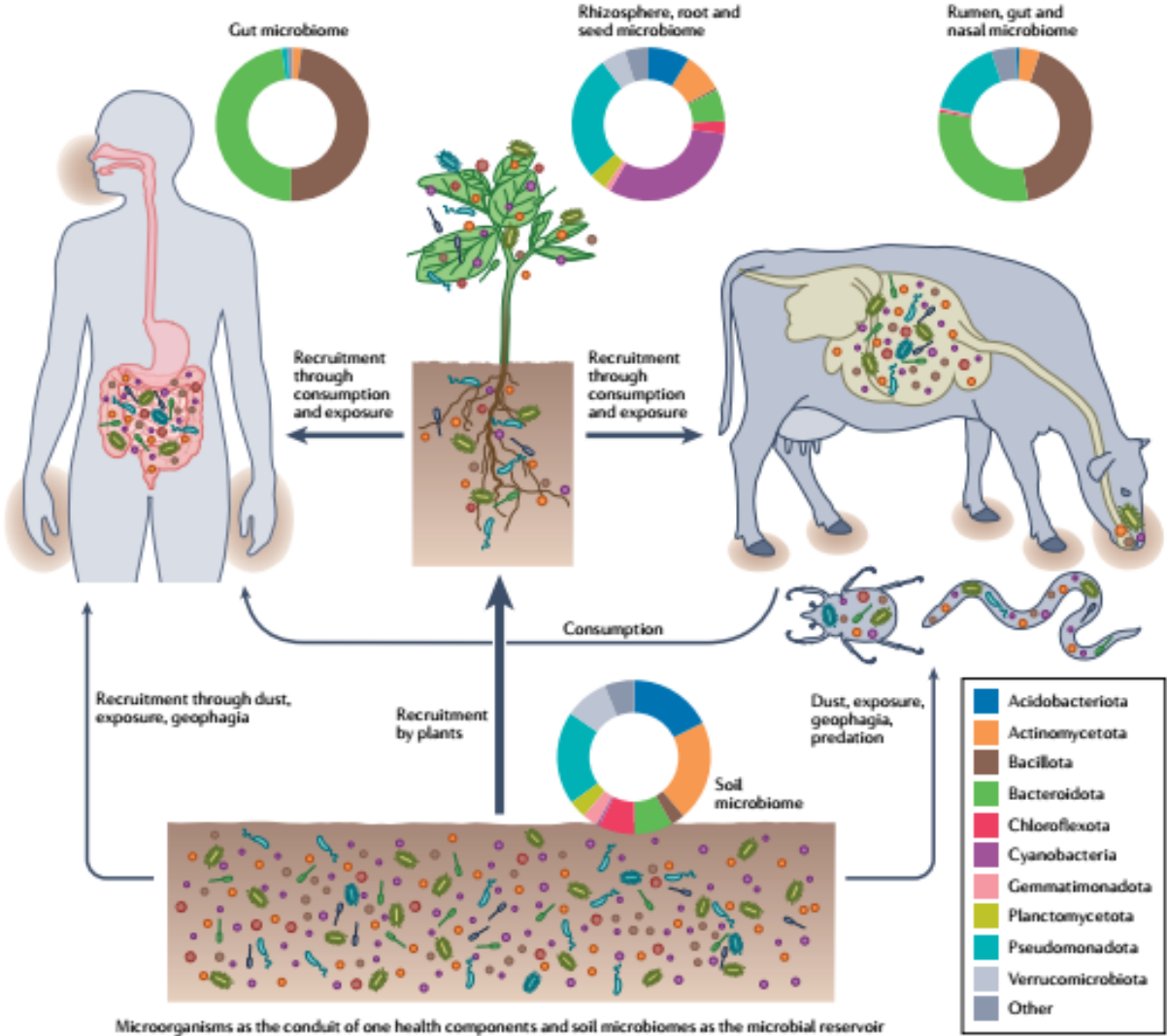
Pesquisador da Embrapa Cerrados

eder.martins@embrapa.br

+55 61 3388 9803, 99209-8726

Saúde Única

Programas das Nações Unidas para a Saúde Única

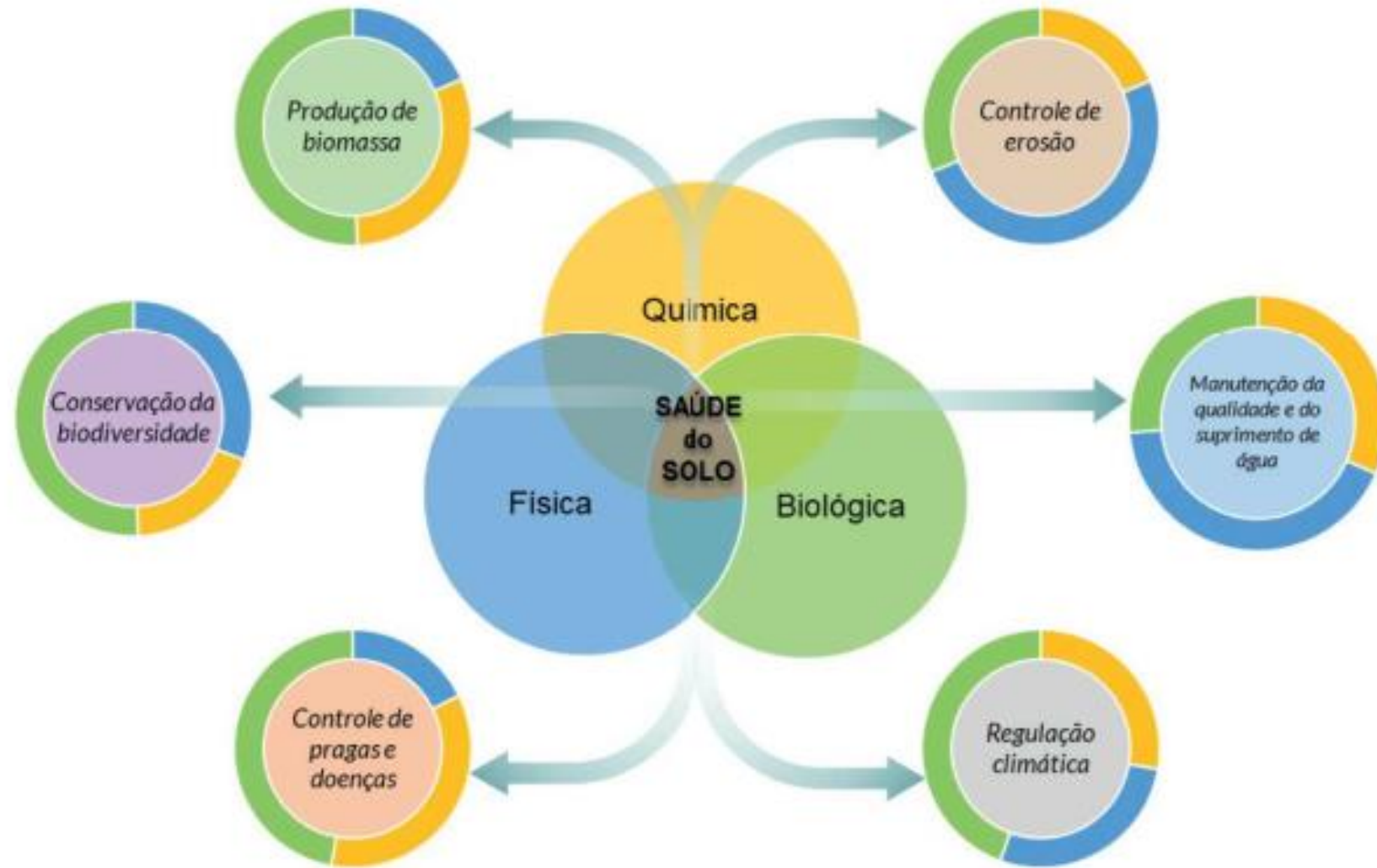


Banerjee et al. (2023) DOI: 10.1038/s41579-022-00779-w

Soulama (2019) DOI: 10.5772/intechopen.89982



Saúde Única (One Health)



Cherubin et al. (2023) Saúde do Solo. Informações Agronômicas. n. 18, p. 15-23



Agrominerais

Toda **matéria-prima** de origem mineral utilizada na produção de **insumos** destinados ao manejo da fertilidade do solo agrícola

Agromineral



Beneficiamento e
Transformação mineral



Insumo mineral



Aplicação



Classificação em função do ânion

Cloreto (K)

Sulfato (Ca, Mg, K)

Carbonato (Ca, Mg)

Fosfato (Ca)

Boratos (Ca)

Silicatos (Ca, Mg, K)



Tipos de agrominerais

Classe de ânion		Tipo de rochas*	Cations principais	Cobertura da crosta (% área) ¹⁰	Solubilidade em água
Cloreto	Cl ⁻¹	Depósitos evaporíticos (sedimentar)	K ⁺	0,0	Muito alta
Sulfato	SO ₄ ²⁻	Depósitos evaporíticos (sedimentar) ⁴	Ca ²⁺ (Mg ²⁺ , K ⁺)	0,0	Muito alta
Carbonato	CO ₃ ²⁻	Calcário (sedimentar) ¹ Carbonatito (ígneo) ² Mármore (metamórfico) ³	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	15	Muito Baixa
Fosfato	PO ₄ ³⁻	Fosforito (sedimentar) ⁵ Foscorito (ígneo) ⁶	Ca ²⁺	0,0	Muito Baixa
Borato	BO ₃ ³⁻	Boratos (sedimentar) ¹⁰	Ca ²⁺	0,0	Baixa-Alta
Silicato	SiO ₄ ⁴⁻	Sedimentar ⁷ Ígneo ⁸ Metamórfico ⁹	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺	85	Muito baixa

*Exemplos de pesquisa com agrominerais *in natura*: ¹Sousa et al. (1989); ²Andrade et al. (2002); ³Raymundo et al. (2013); ⁴Freire et al. (2014); ⁵Chaves et al. (2013); ⁶Resende et al. (2006);

⁷Lopes (1971); ⁸Mancuso et al. (2014); ⁹Duarte et al. (2012); ¹⁰Sá e Ermani (2016).

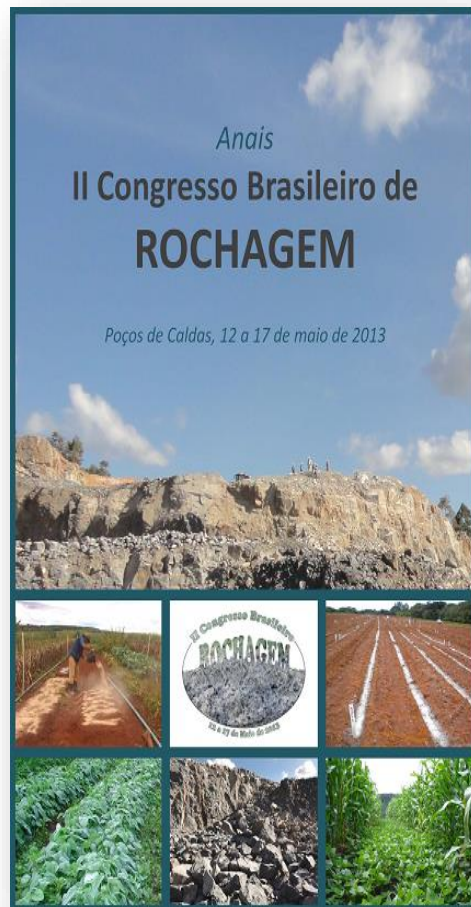
¹⁰Goldscheider et al. (2020), DOI:10.1007/s10040-020-02139-5

Congresso Brasileiro de Rochagem

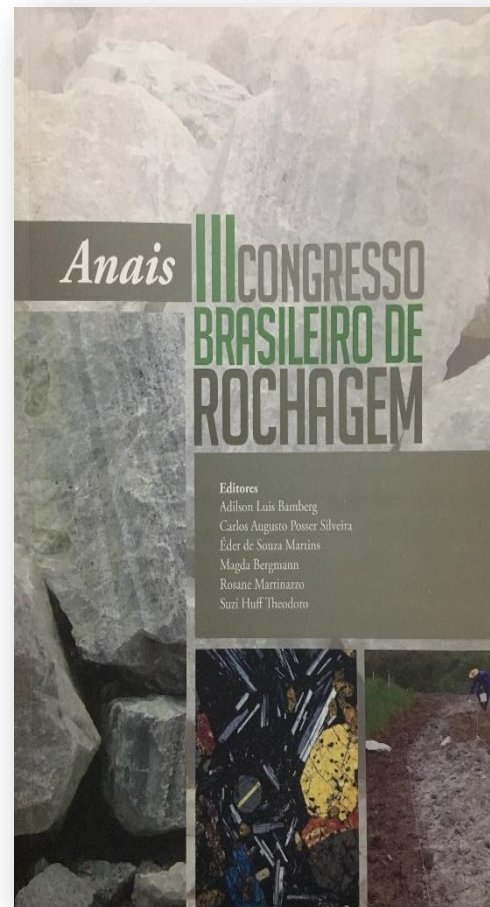
2009



2013



2016



2021



Deposição de cinza vulcânica Monte Merapi, Indonésia (2010)



Moagem natural

**Erupção vulcânica,
movimento de glaciares,
erosão de rochas**



Transporte natural

Glacial, eólica, fluvial



Deposição natural

**Sedimentação glacial,
eólica, fluvial**



Processo de remineralização de solos – tecnologia baseada na natureza



Moagem antrópica

Explosão e britagem



Transporte antrópico

Rodoviário e ferroviário



Deposição antrópica

A lança mecanizada



Aluminossilicato(Ca, Mg, K, Na)_s + H₂O + H⁺ + Atividade biológica → Novas fases + (Si, Ca, Mg, K, Na)_{aq} + OH⁻

Formação de novas fases
(minerais de baixa cristalinidade e argilominerais 2:1)

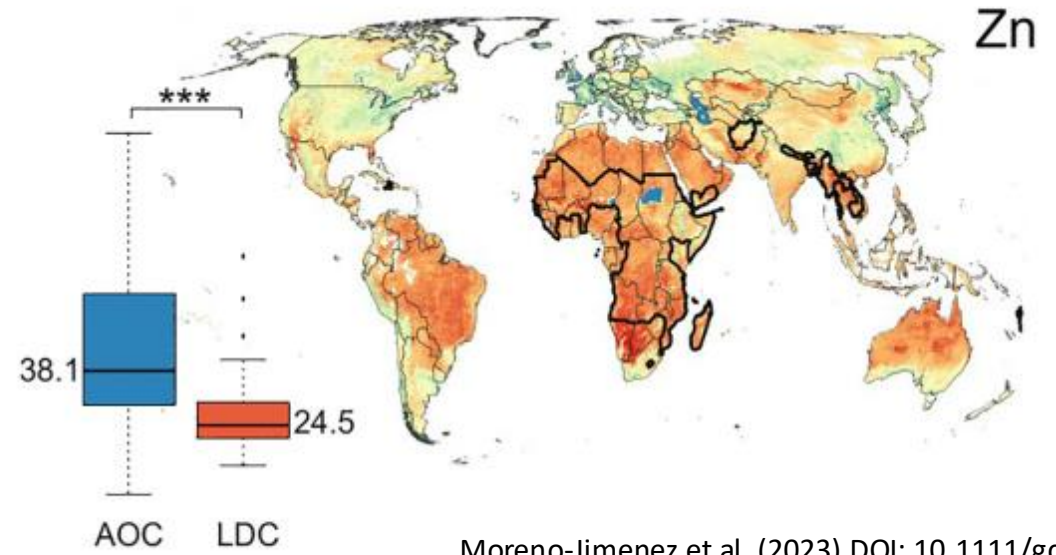
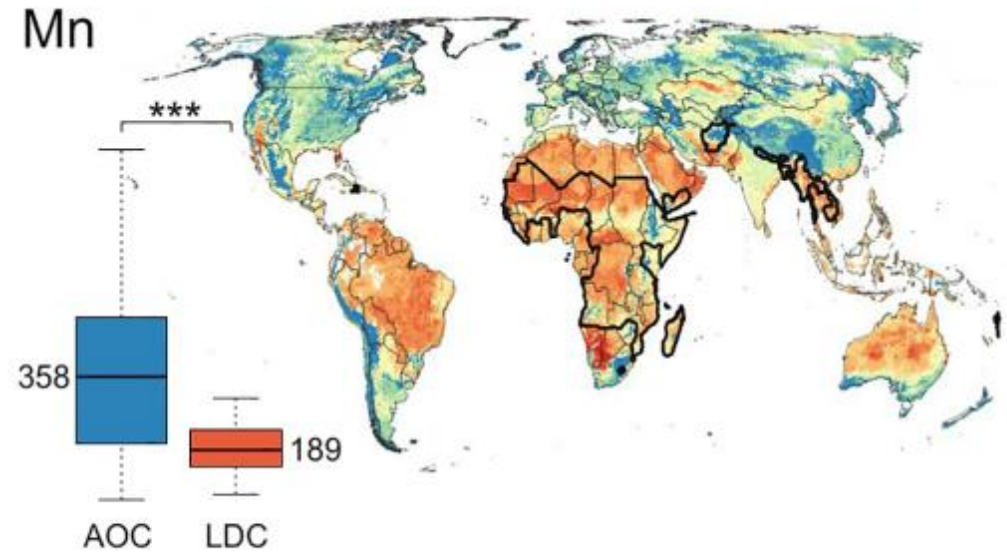
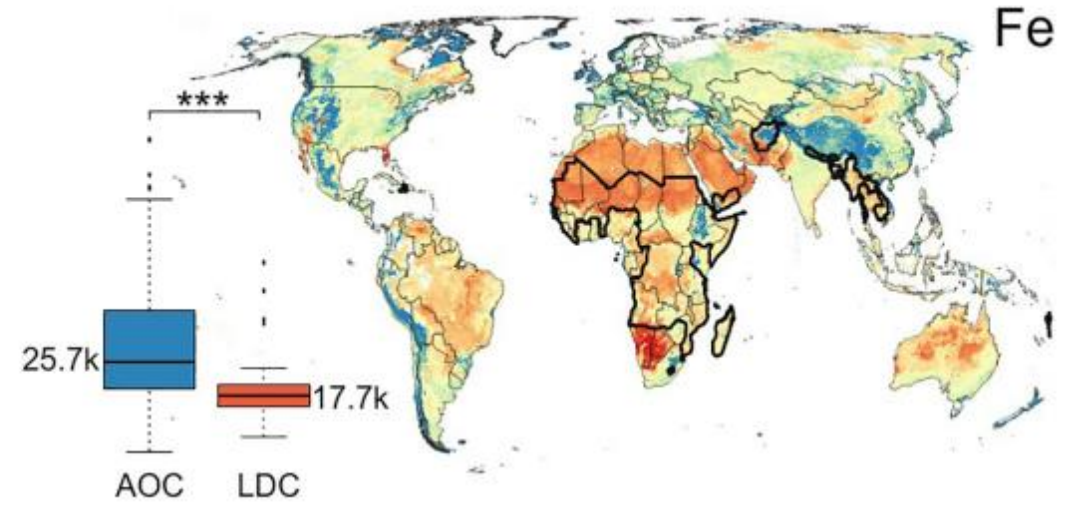
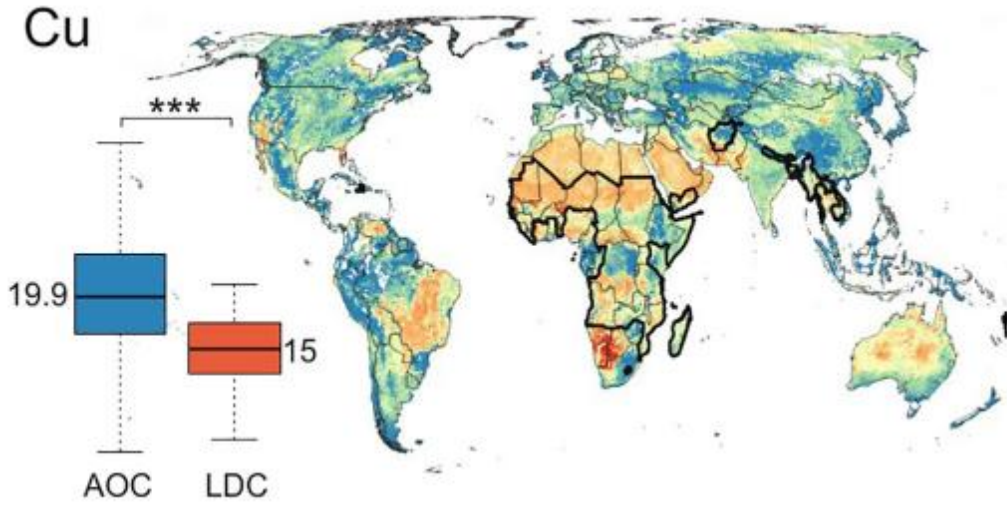
Efeitos Diretos

Correção do solo
(hidrólise do silicato e liberação de bases)

Fornecimento de nutrientes
(Si, Ca, Mg, K...)



Deficiência de micronutrientes em solos profundamente intemperizados



Moreno-Jimenez et al. (2023) DOI: 10.1111/gcb.16478



Micronutrientes de Agrominerais Silicáticos



ISSN 1678-3921

Journal homepage: www.embrapa.br/pab

For manuscript submission and journal contents,
access: www.scielo.br/pab

Table 4. Relative content of nickel, zinc, and copper in lettuce (*Lactuca sativa*) shoots and rice (*Oryza sativa*) grains from soil mixed with five agrominerals, using soluble sources as standards.

Agromineral	Relative content (%)					
	At 0.5 mg kg ⁻¹ Cu		At 0.4 mg kg ⁻¹ Ni		At 0.5 mg kg ⁻¹ Zn	
	Lettuce	Rice	Lettuce	Rice	Lettuce	Rice
Ultramafic	45.51	47.97	6.87	3.98	22.08	10.20
Biotite schist	13.15	92.96	3.88	4.94	20.41	26.82
Breccia	15.22	84.38	27.09	55.16	27.86	58.62
Phlogopite	-	-	15.79	14.06	57.64	79.49
BPC ⁽¹⁾	12.13	28.59	-	-	14.53	23.37

⁽¹⁾Mining by-product from Chapada, in the state of Goiás, Brazil.

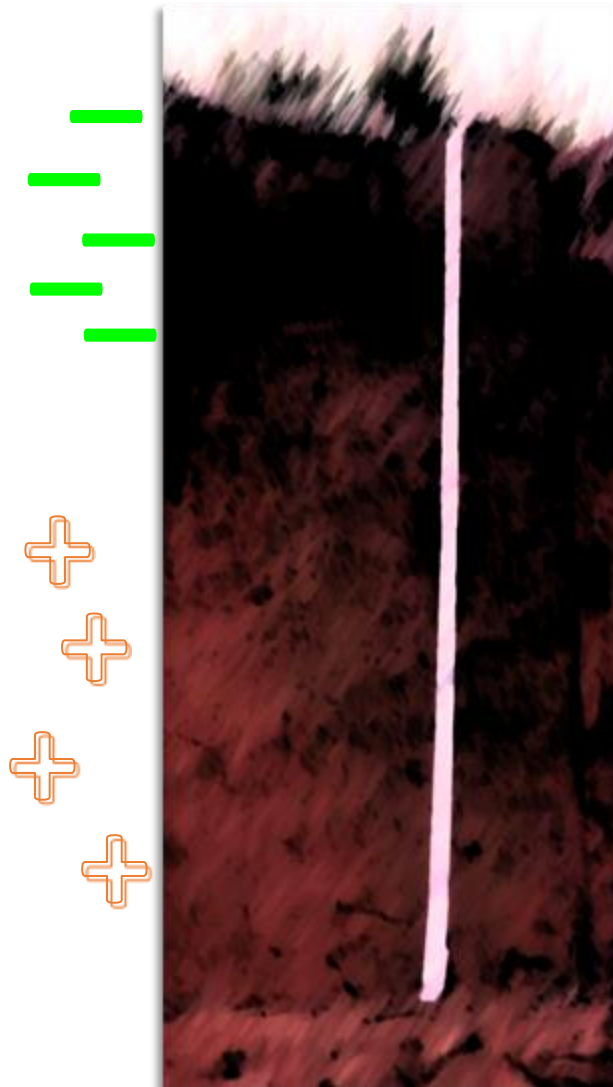
Marchi et al. (2020) DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.00807



RE-mineralização de solos

Formação de camada superficial – novas propriedades permanentes

Alta capacidade de troca de cátions (CTC)
Estabilização da matéria orgânica
Desenvolvimento de agregados do solo
Incremento da atividade biológica



Cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+

Alta capacidade de troca
de ânions (CTA)

Anions: SiO_4^{-4} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_4^-



Raízes após a remineralização do solo

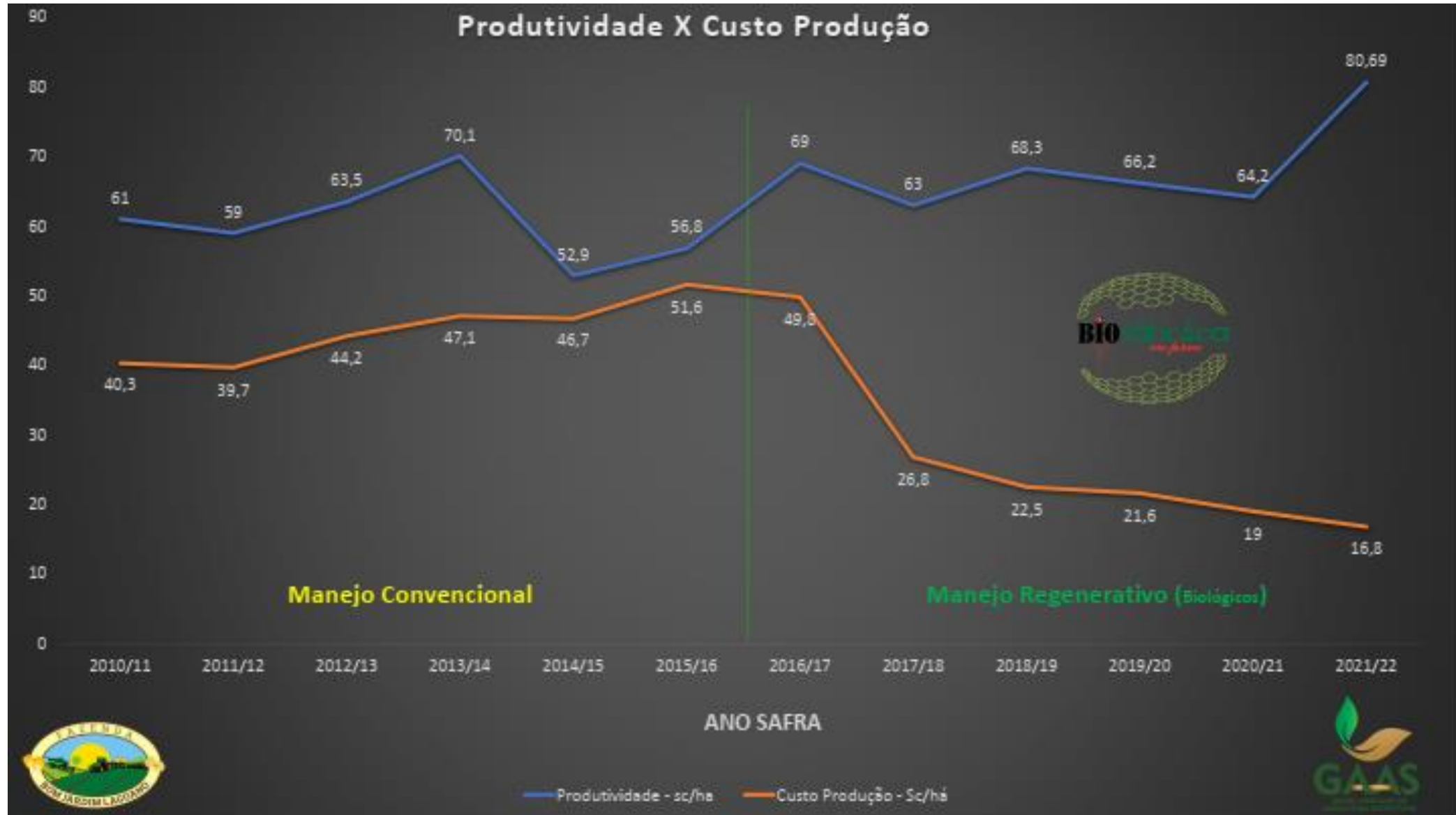


Image: Edson Martins



Image: Antonio Bizão

Impactos econômicos: Produtividade da soja vs. Custos



*Dados de Adriano Cruvinel, Fazenda Bom Jardim, Rio Verde-GO

Modelagem do sequestro do Carbono

Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Emissão (produção, transporte e aplicação)



$$\text{Liqsq}(\text{CO}_2 \text{ equivalente}) = [- \text{Prod} - \text{Trans} - \text{Aplc}] + \text{Seqsolo}$$



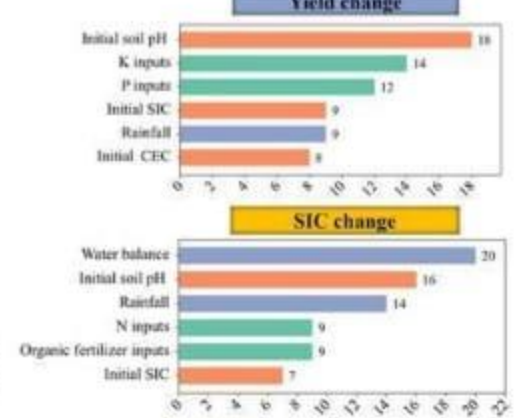
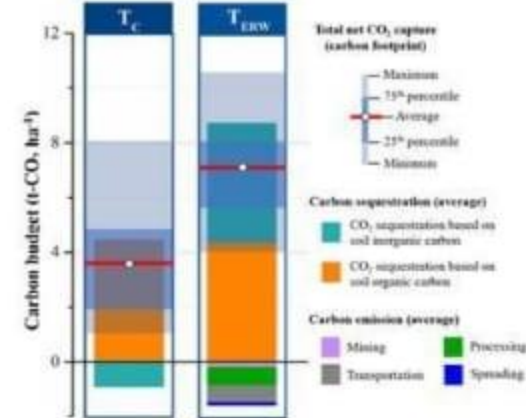
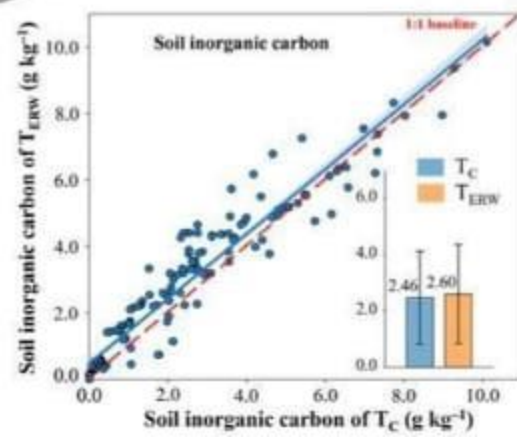
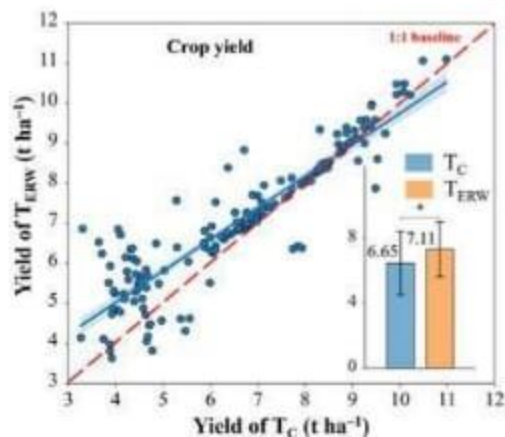
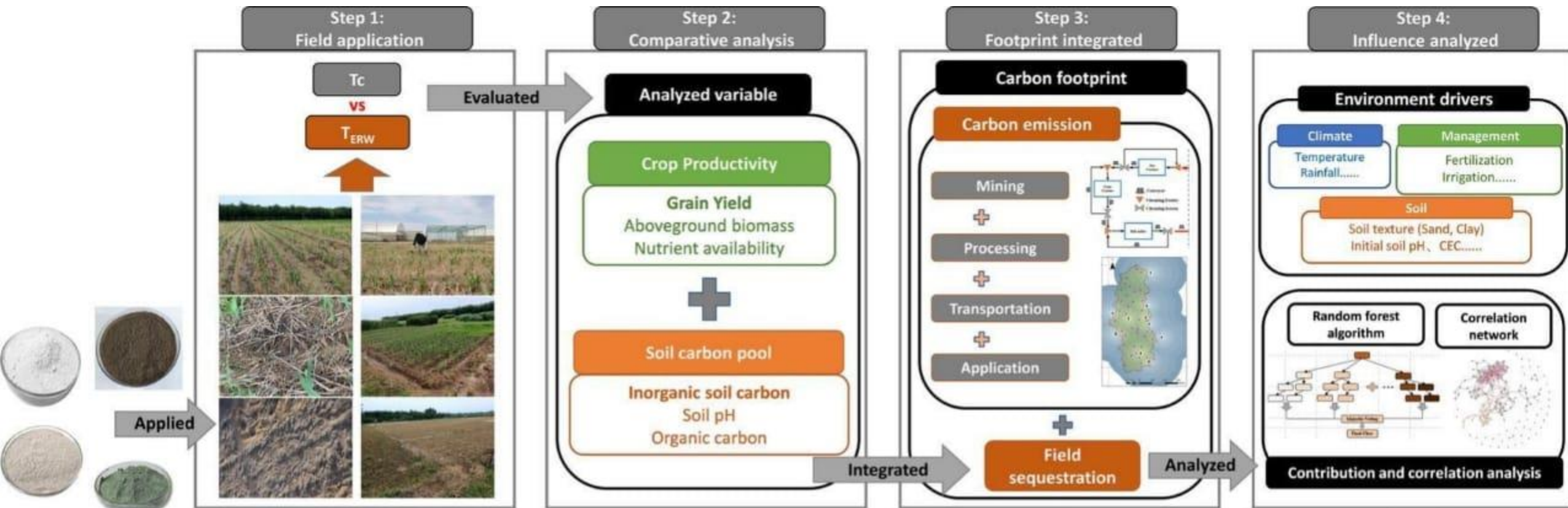
Sequestro líquido

As estimativas para basalto variam dependendo de minerais, transporte, granulometria, solos, clima e manejo:
150 – 300 kg CO₂ ton⁻¹



Sequestro (inorgânico, orgânico)





Guo et al. (2023)

Conclusões

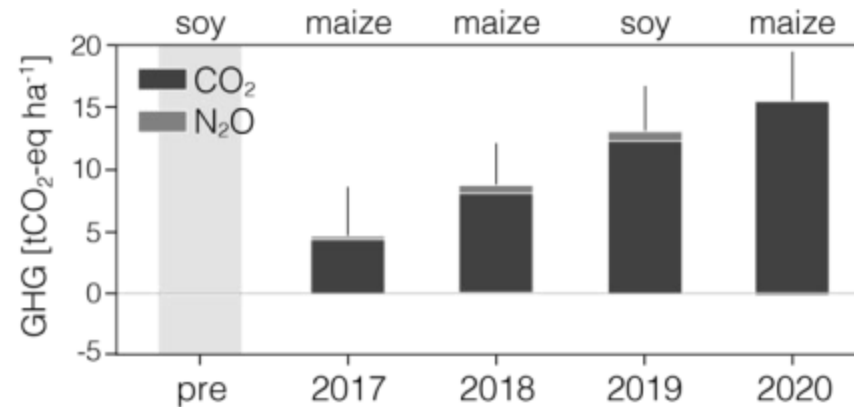
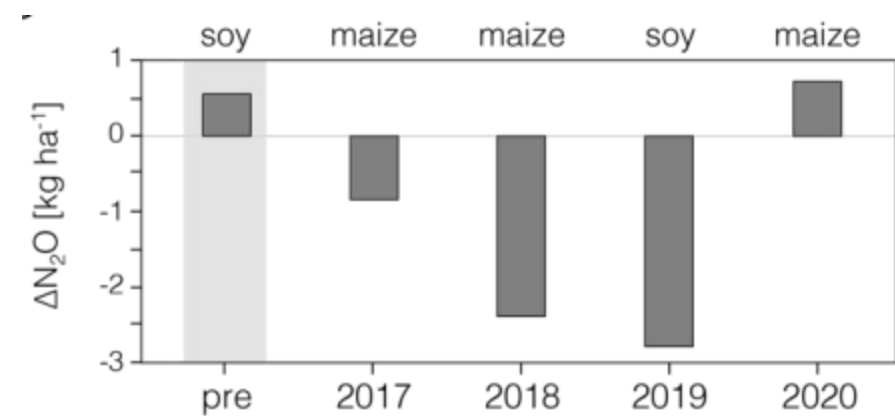
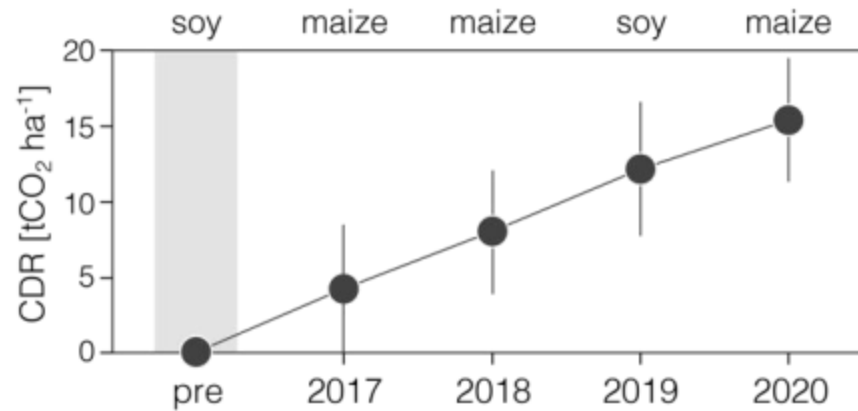
- Aumento da produtividade (7 +/- 4,3%)
- Incremento da biomassa (11 +/- 4,6%)
- Sequestro de C inorgânico (4,31 +/- 0,82% t CO₂ ha⁻¹)



Enhanced weathering in the U.S. Corn Belt delivers carbon removal with agronomic benefits

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.05343>

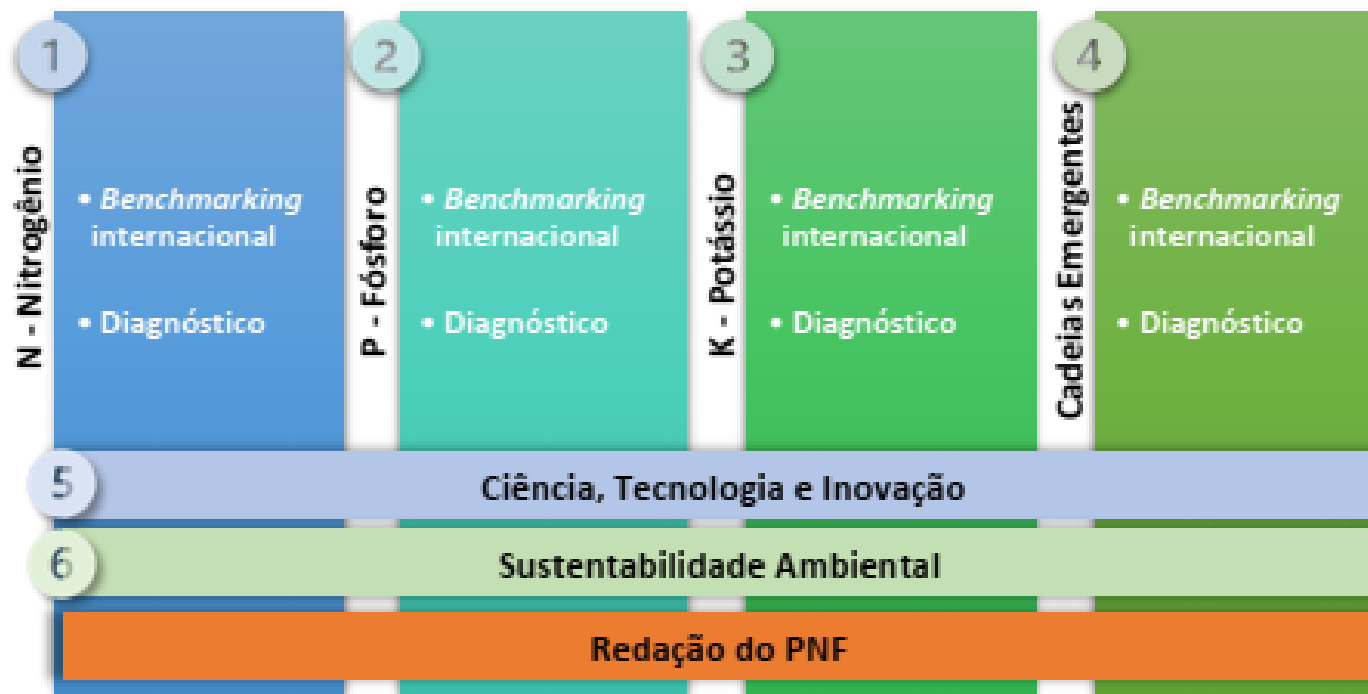
David J. Beerling^{1*}, Dimitar Z. Epihov¹, Ilsa B. Kantola², Michael D. Masters², Tom Reershemius³, Noah J. Planavsky³, Christopher T. Reinhard⁴, Jacob S. Jordan⁵, Sarah J. Thorne¹, James Weber¹, Maria Val Martin¹, Robert P. Freckleton¹, Sue E. Hartley¹, Rachael H. James⁶, Christopher R. Pearce⁷, Evan H. DeLucia² & Steven A. Banwart^{8,9}



300 kg CO₂eq sequestrado por tonelada de basalto aplicado



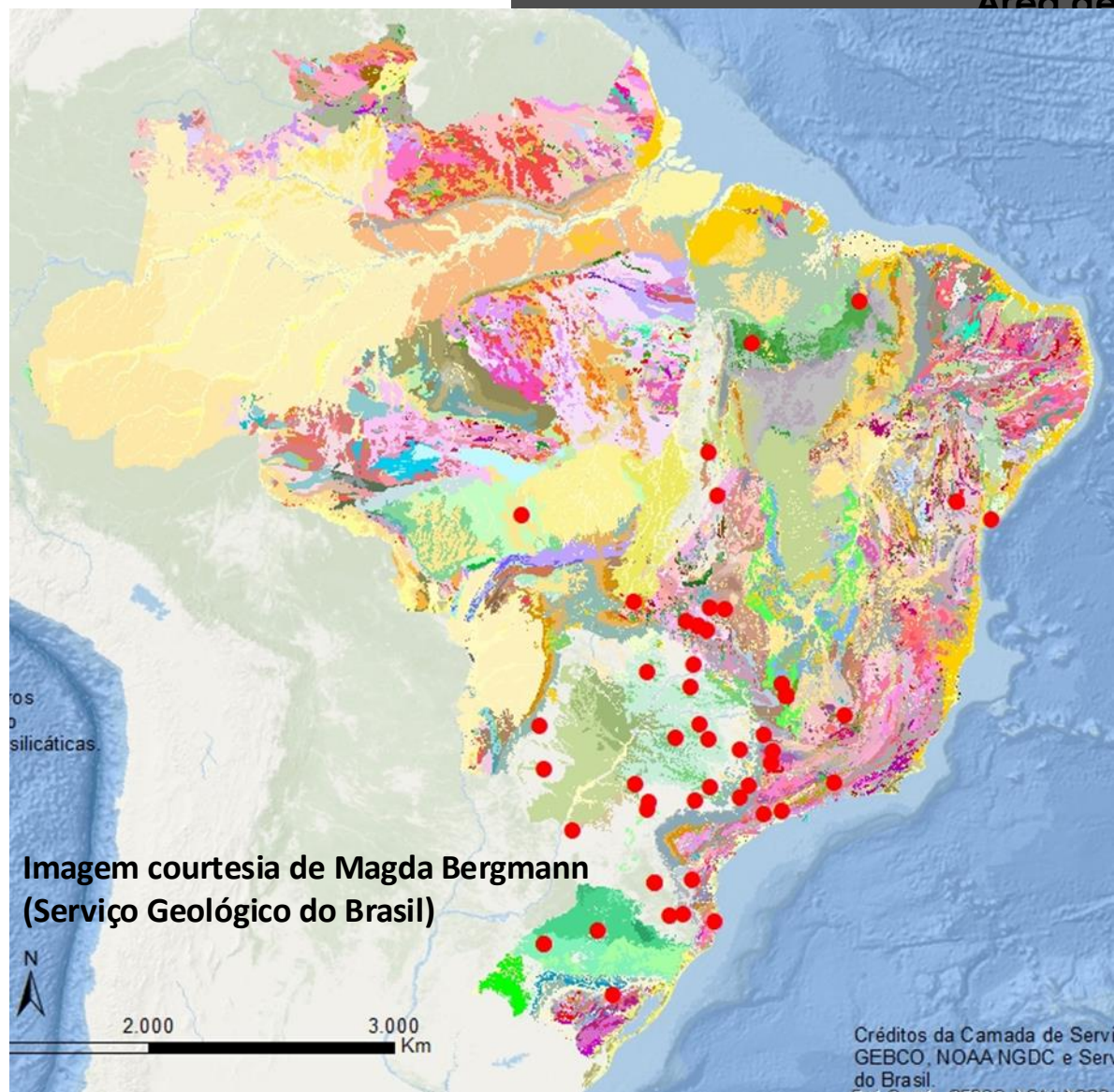
Plano Nacional de Fertilizantes - 2050: Cadeias Emergentes (REM, Nano, Bio)



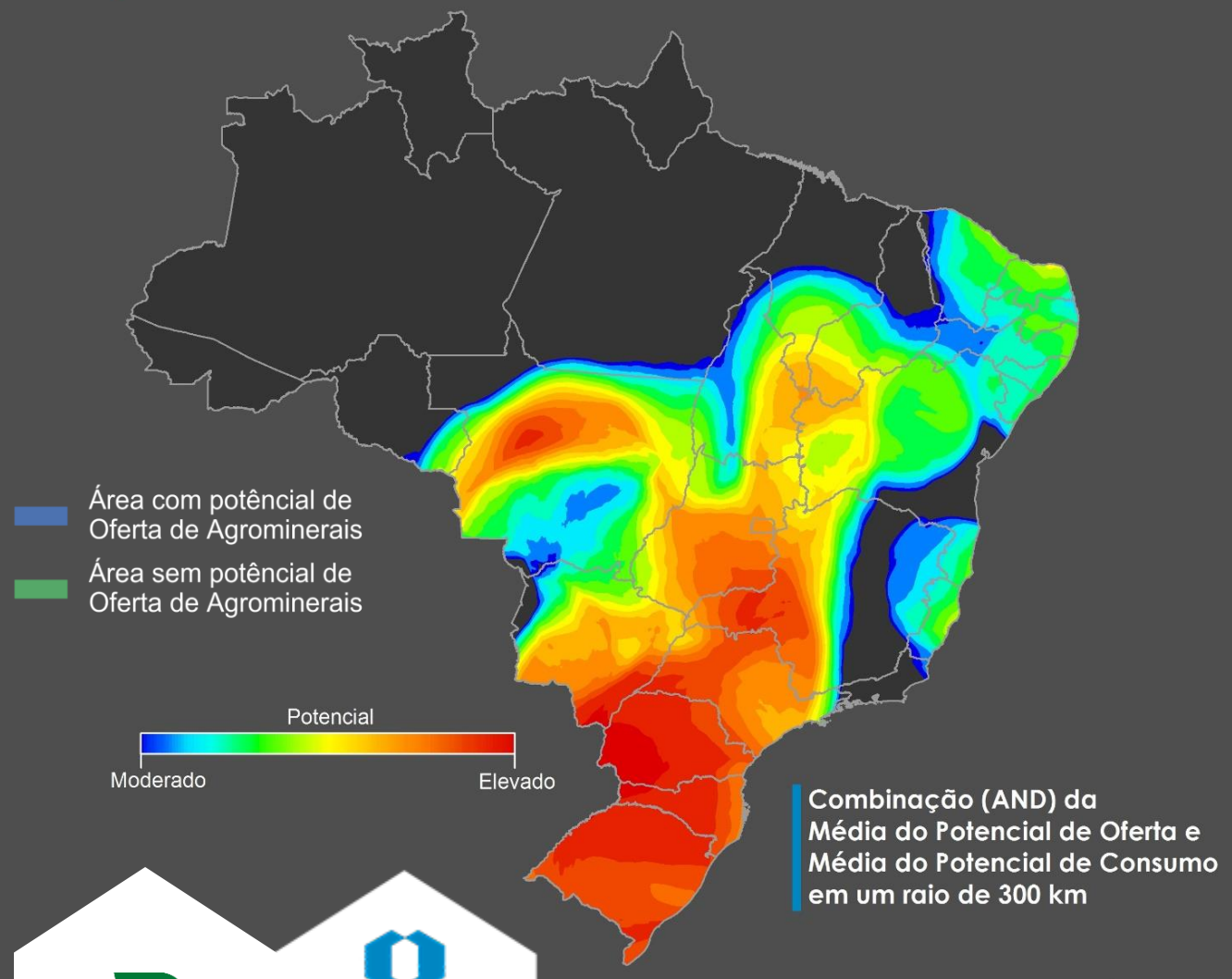
SECRETARIA ESPECIAL DE
ASSUNTOS ESTRATÉGICOS



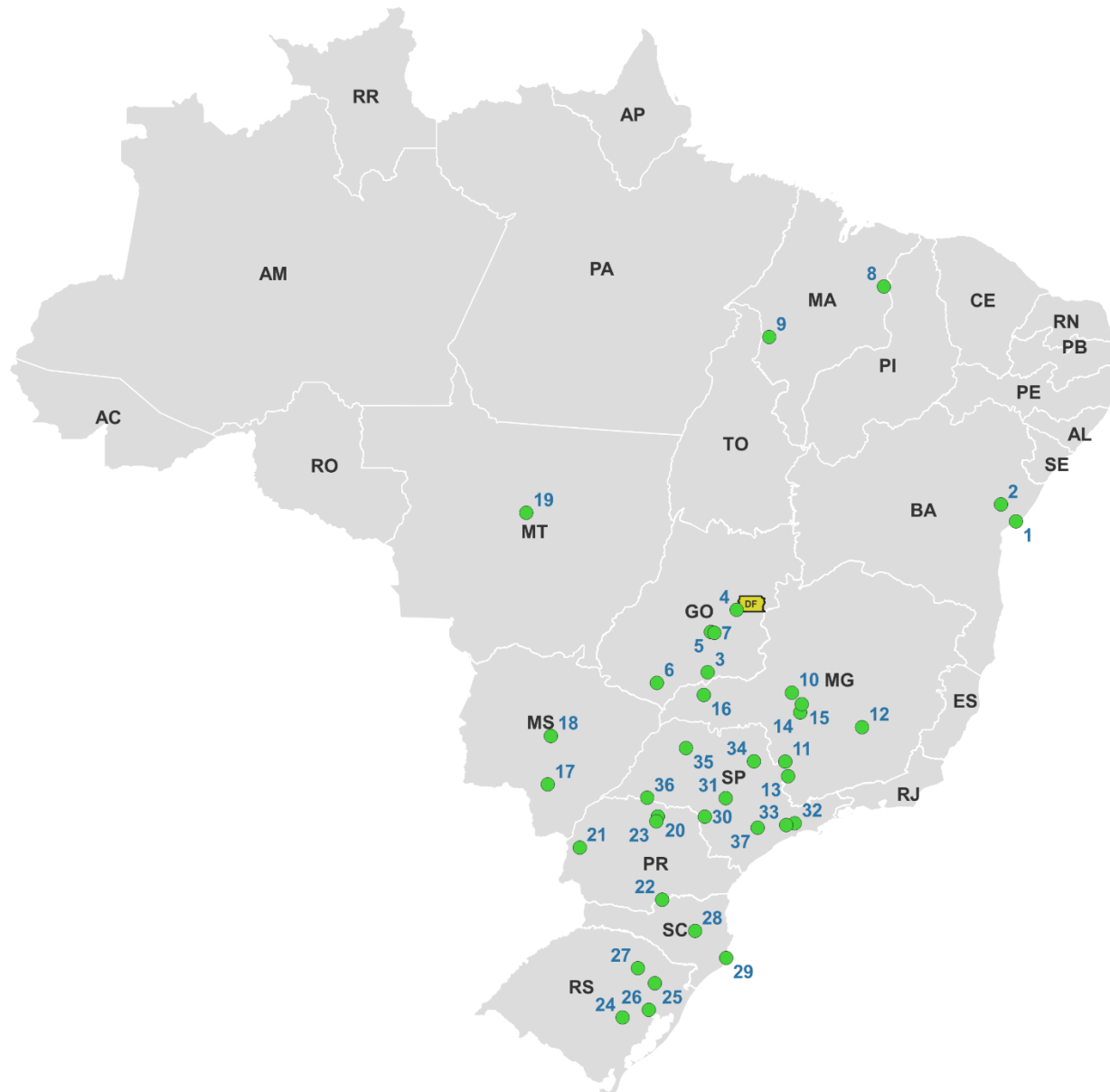
Zoneamento Agrogeológico do Brasil



Potencial Econômico para Agrominerais Silicáticos



Produção de Remineralizadores e Fertilizantes Silicatados



65 produtos registrados (julho de 2023)

20 produtos em processo de registro (dezembro de 2022)

9 milhões de toneladas (2019-2023)

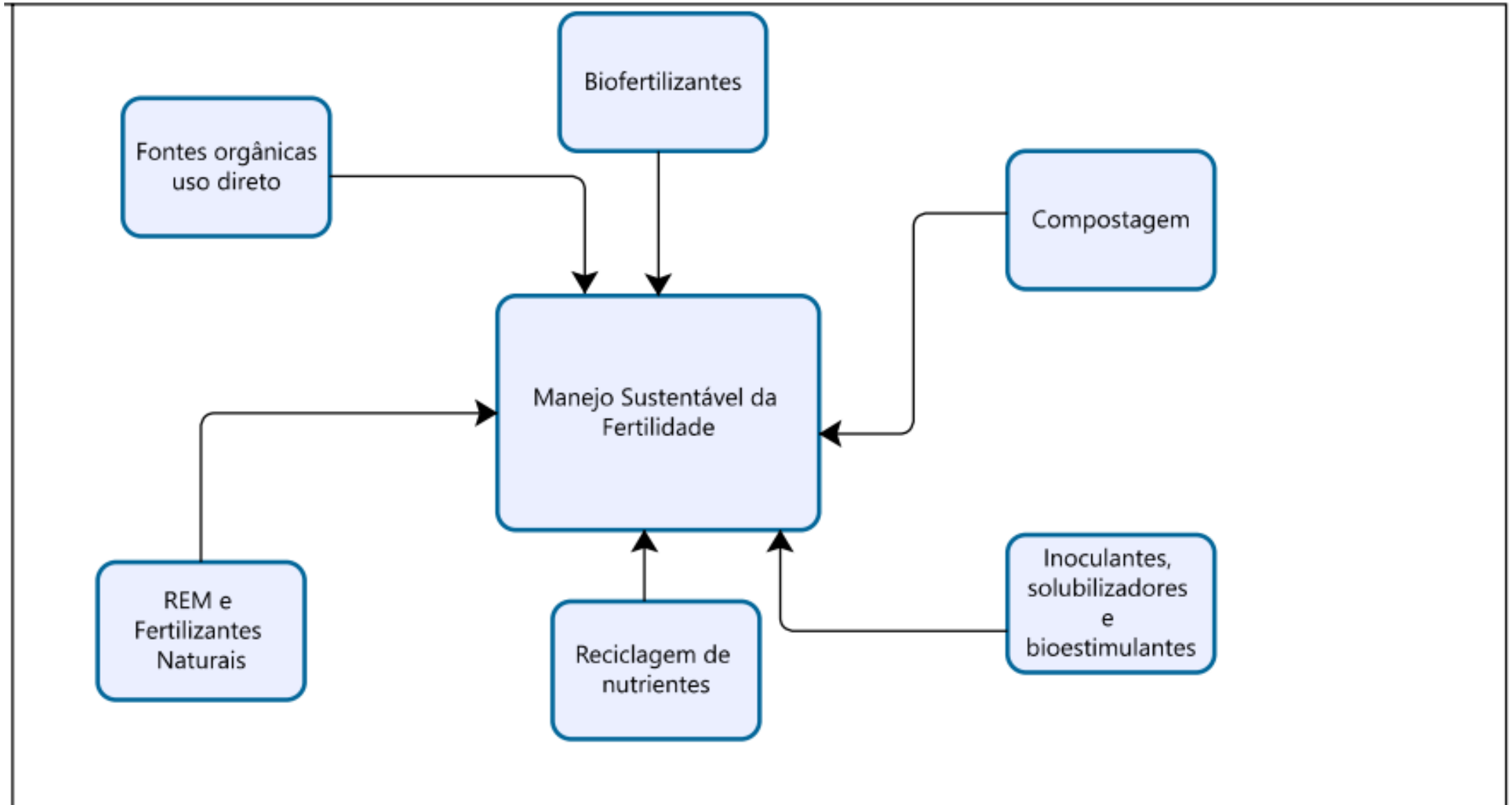
5,8 milhões de hectares total

6 milhões de toneladas entre 2021 e 2023

Recompra de 85%



Soluções regionais no manejo da fertilidade do solo



Soluções locais e regionais



<https://www.agrolibertas.com.br/leiturasIntegra.asp?c=21>

Co-compostagem com remineralizadores

- ✓ Aumenta a eficiência da compostagem
- ✓ Aumenta a disponibilidade de nutrientes
- ✓ Evita perdas de nutrientes



Remineralizadores de solos como insumos multifuncionais

Condicionador e Corretivo do solo

- Aumenta o pH do solo
- Diminui o Al trocável do solo
- Aumenta a eficiência de uso de nutrientes
- Estimula a atividade biológica do solo e das raízes das plantas cultivadas
- Aumenta da Capacidade de Retenção de Água do solo

Fertilizante

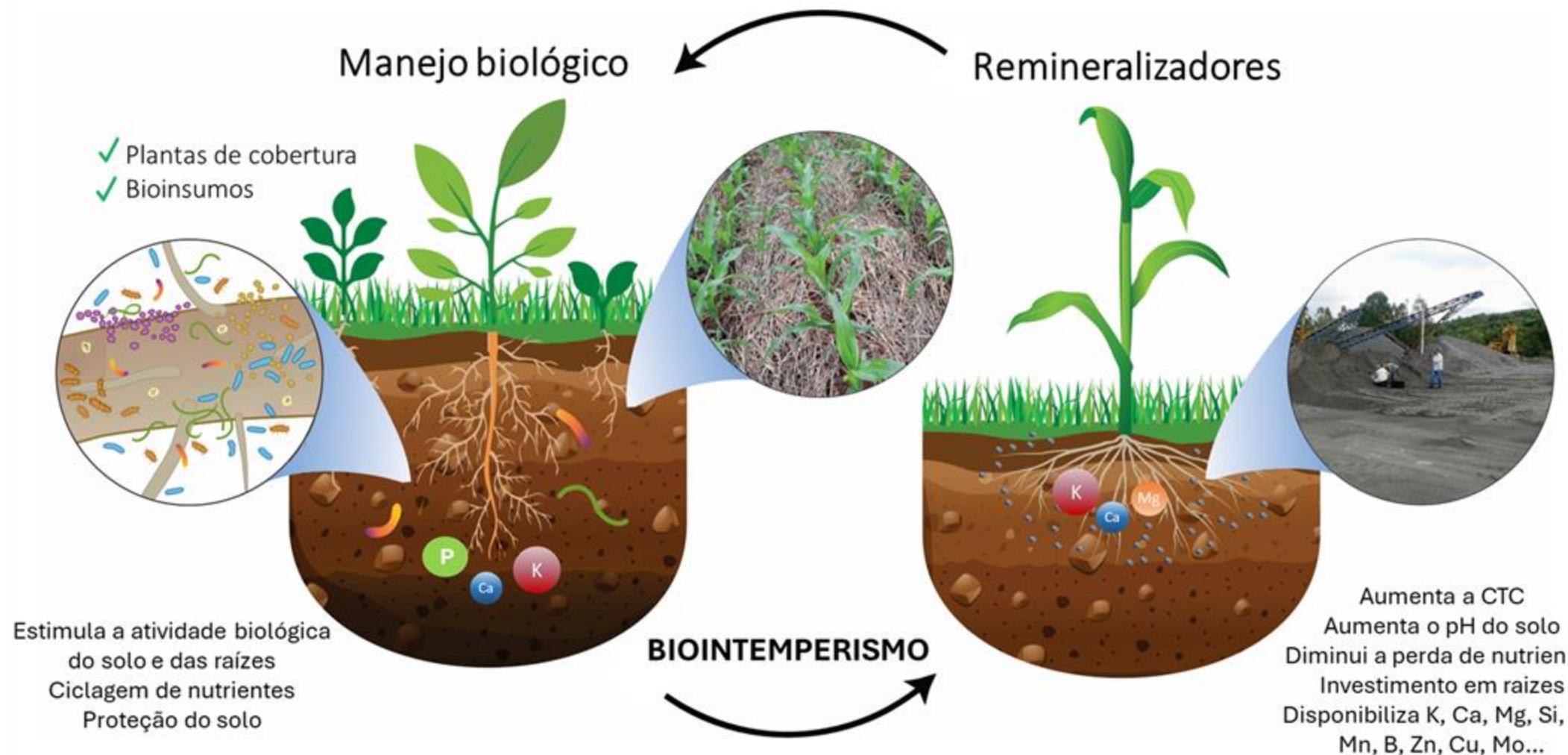
- Multinutriente - disponibiliza K, Ca, Mg, Si, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Se, Mo...

Formação de novas fases minerais

- Aumenta CTC pela formação de argilominerais 2:1 e minerais de baixa cristalinidade
- Gera camada de solo estável no longo prazo e com propriedades emergentes

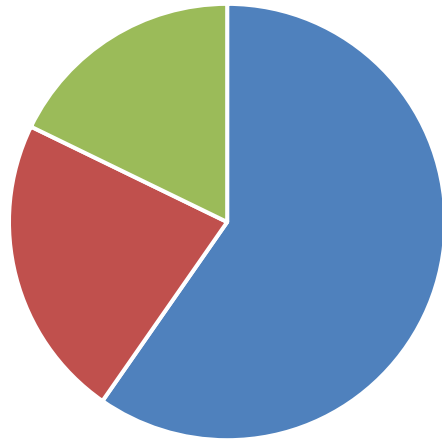


Soluções Locais e Regionais



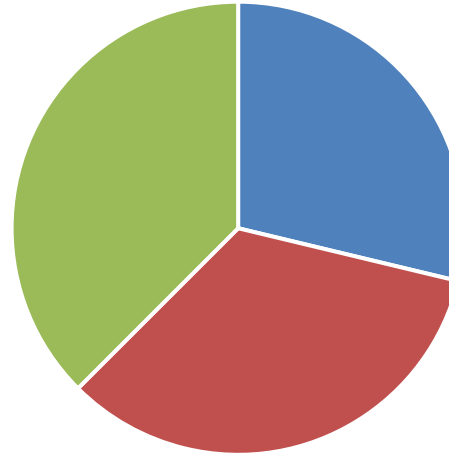
Fixação Biológica de Nitrogênio – Tecnologia brasileira de sucesso

2017 (Mundo)



■ N ■ P2O5 ■ K2O

2017 (Brasil)

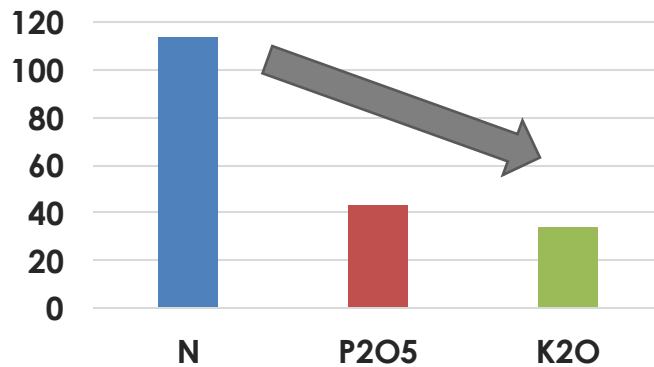


■ N ■ P2O5 ■ K2O



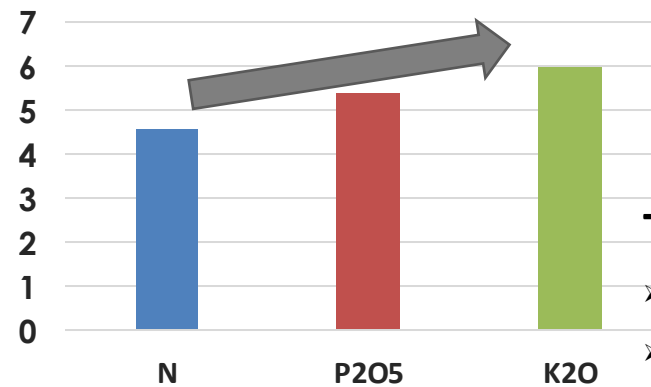
Johanna Döbereiner

2017 – Mundo (10⁶ ton)



Fonte: <http://www.fao.org/3/a-i6895e.pdf>

2017 – Brasil (10⁶ ton)



Fonte: <http://brasil.ipni.net/artide/BRS-3132>

Fixação Biológica do Nitrogênio

Tecnologia brasileira:

- Reduz a necessidade de N industrial
- Evita emissão de gases de efeito estufa
- Benefícios econômicos (>US\$15 10⁹)



20%+ of global farmers are adopting / willing to adopt biologicals; Brazil is leading the way, followed by European countries

■ Currently using
 ■ Planning to use
 ■ Not using/not planning to use
 ■ Never heard

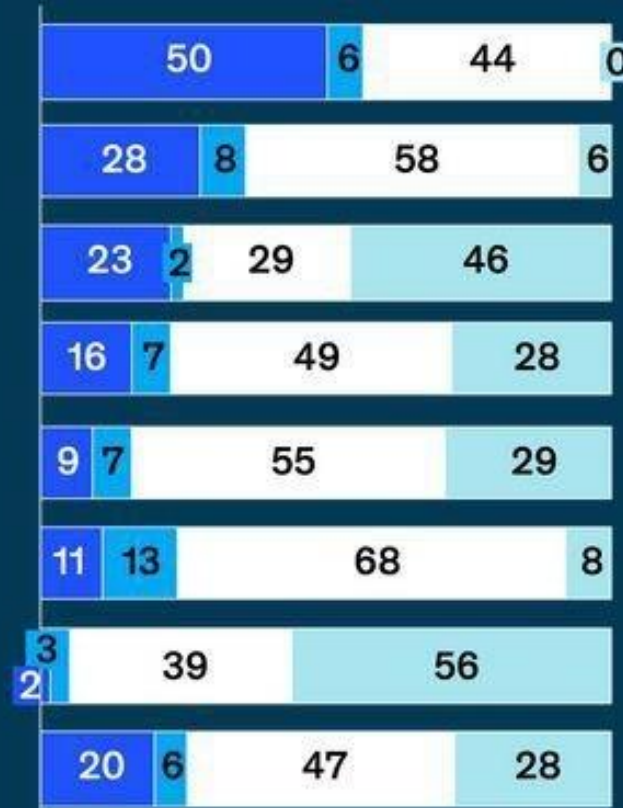
1. Biocontrols adoption

Q: Are you using alternative forms of crop protection into your pest management protocol % of respondents (n=5,474)



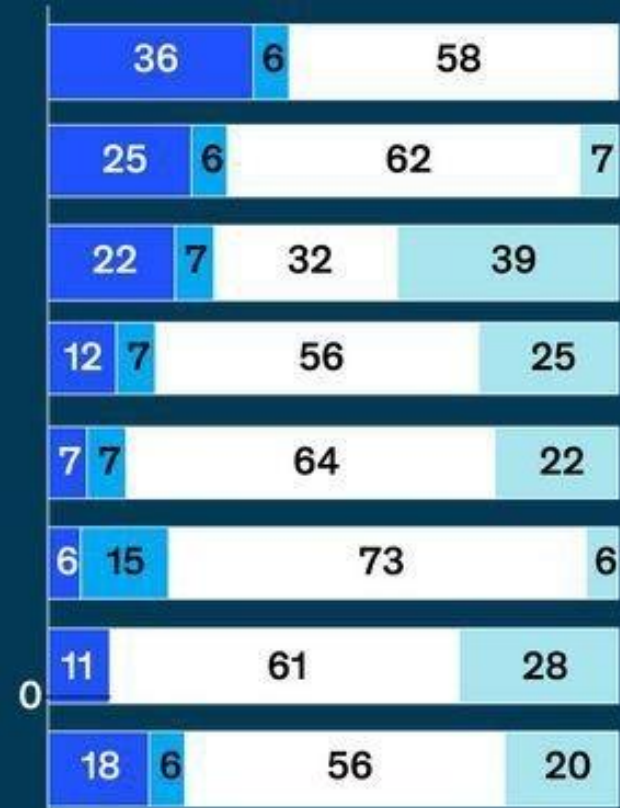
2. Biostimulants adoption

Q: Are you using biostimulants in your fertilizer and/or crop protection protocol? % of respondents (n=5,474)



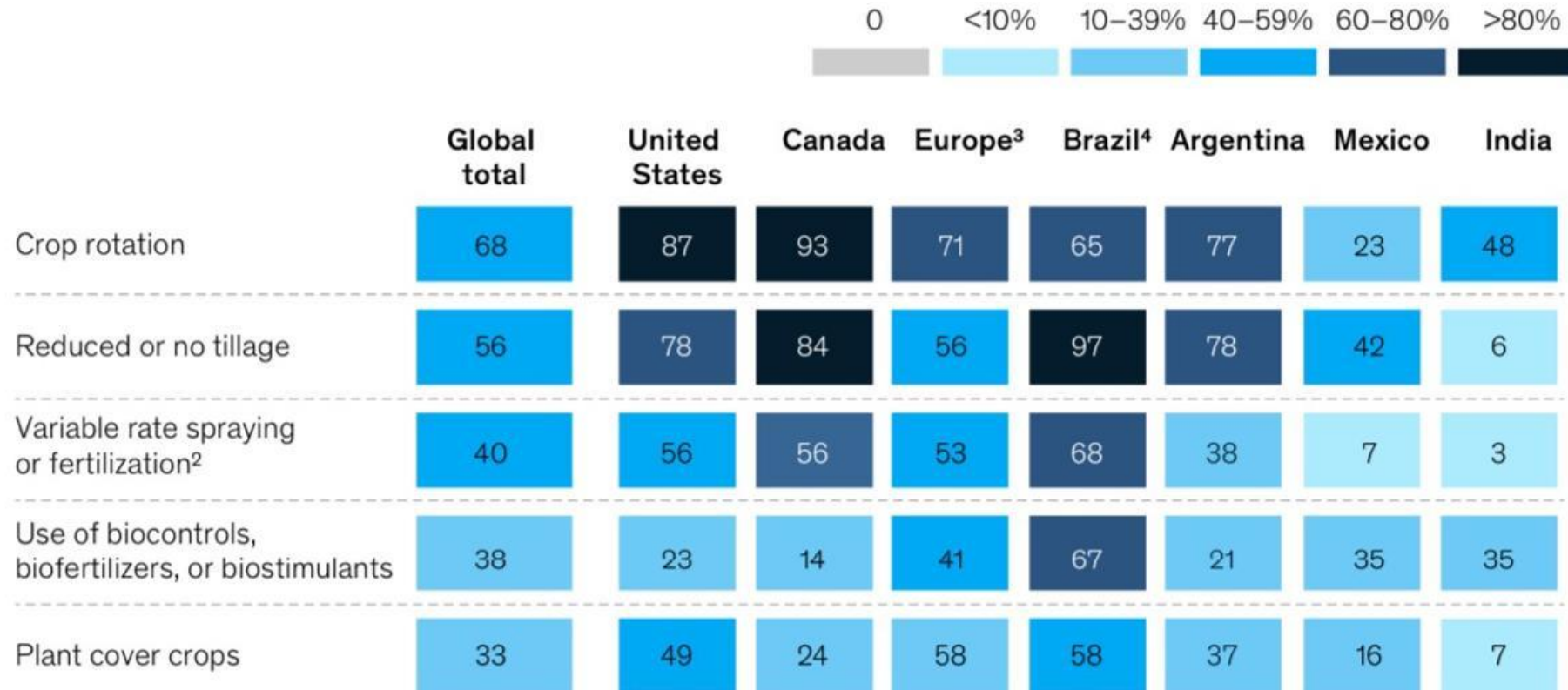
3. Biofertilizers adoption

Q: Are you using biofertilizers in your fertilizer protocol? % of respondents (n=5,474)



There is high adoption of sustainability-oriented practices such as crop rotation, reduced or no tillage, and variable rate fertilization.

% of respondents currently adopting¹



¹Question: What is your level of adoption on the following sustainable practices? (2022, n = 4,474; 2024, n = 4,382). Adoption entails use of a given sustainable practice on any part of a farmer's operations and does not necessarily indicate use on 100% of their acres.

²Includes variable rate spraying or fertilization without the use of assisting agtech.

³France, Germany, and Netherlands.

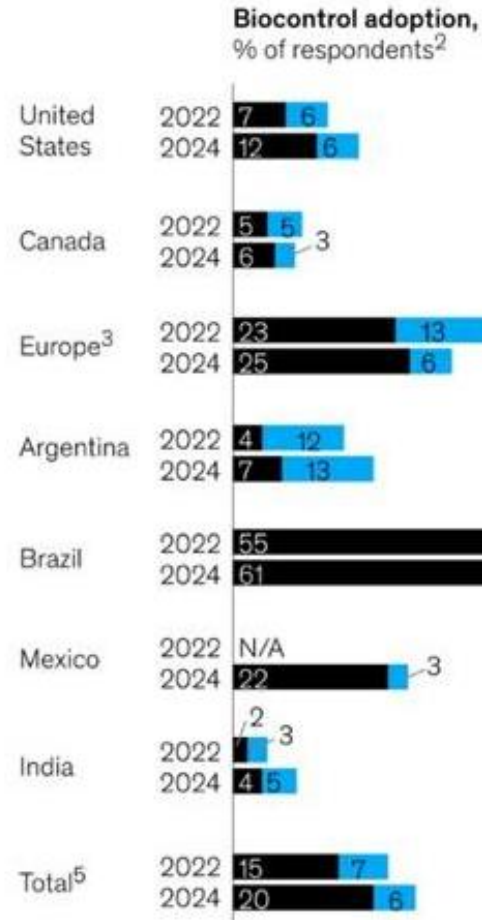
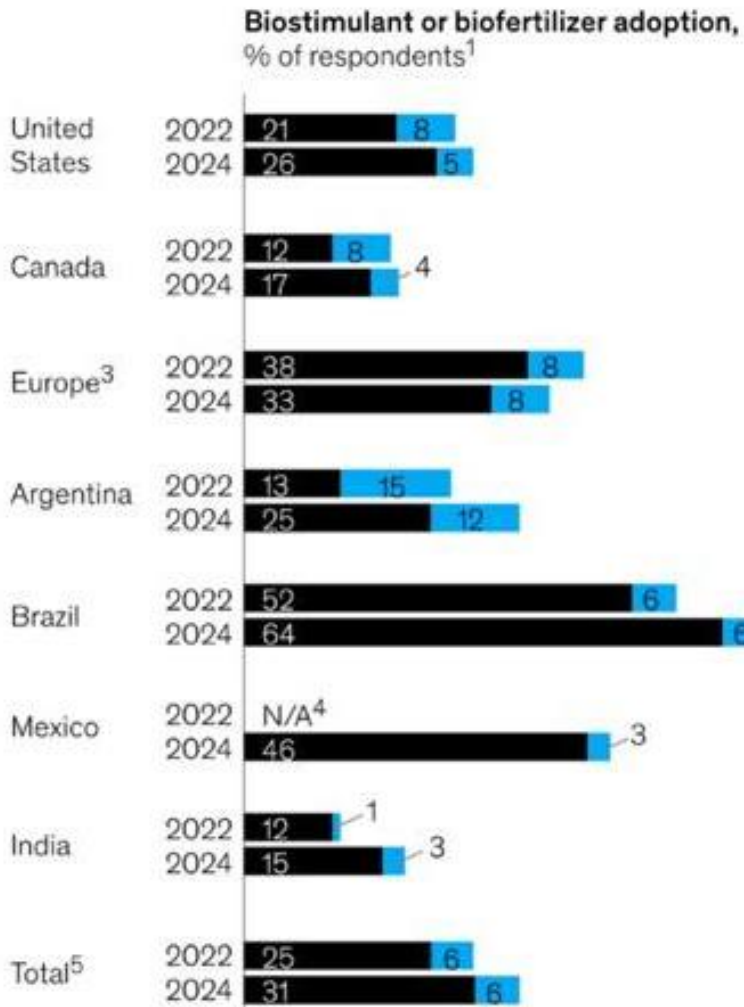
⁴Reduced or no tillage excludes crops such as sugarcane, coffee, fruits, and vegetables for reduced or no tillage. Plant cover crops reflects 2022 value due to translation.

Source: McKinsey Global Farmer Insights 2024



More farmers are adopting biostimulants or biofertilizers compared with biocontrols in their fertilizer and crop protection protocols.

■ Currently using ■ Planning to use



¹Question: Are you using biostimulants or biofertilizers in your fertilizer protocol? (2022, n = 4,474; 2024 n = 4,382).

²Question: Are you using alternative forms of crop protection into your pest management protocol? (2022, n = 4,474; 2024, n = 4,382).

³France, Germany, and Netherlands.

⁴Mexico was not part of this survey in 2022.

⁵2024 total average excludes Mexico, so samples are comparable.

Source: McKinsey Global Farmer Insights 2024

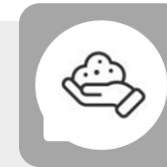
Agricultura Regenerativa Tropical

Agricultura baseada em processos



Plantas de cobertura; sistemas integrados; plantio direto; boas práticas de conservação do solo

Ferramentas locais e regionais



Bioinsumos (biocontrole; biostimulantes; biofertilizantes)
Agrominerais regionais (silicatos; fosfatos, carbonatos, sulfatos)

Resultados esperados

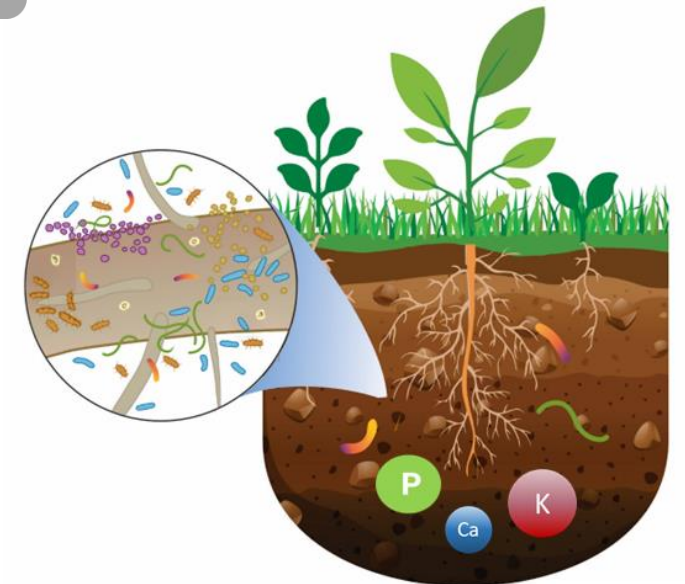


Incremento na saúde do solo, sequestro de C, aumento da biodiversidade, desenvolvimento de novas cadeias regionais de valor, melhoria dos produtos agrícolas (densidade nutricional), autonomia da agricultura



What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes

Peter Newton*, Nicole Civita, Lee Frankel-Goldwater, Katharine Bartel and Colleen Johns



Métricas da Agricultura Regenerativa

Medidas de transações econômicas

Diminuição de uso de insumos globais por insumos locais e regionais

04

03

Física, química e biológica

Saúde do solo

02

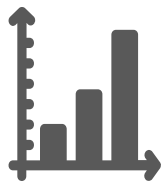
% cobertura do solo com fotossíntese ao longo das estações do ano

Medidas de qualidade dos produtos agrícolas

Medidas na melhoria na qualidade nutricional, tempo de prateleira

01

Medidas diretas e por sensoriamento remoto



Muito grato!

