



# *Inovações tecnológicas em Microbiologia do solo*

*Ieda Mendes-Embrapa Cerrados EMATER, 2017*



**Embrapa**

---

DEBATE

---

BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO:  
DOS LABORATÓRIOS DE PESQUISA PARA O CAMPO

*Iêda de Carvalho Mendes<sup>1</sup>*  
*Djalma Martinhão Gomes de Sousa<sup>2</sup>*  
*Fábio Bueno dos Reis Junior<sup>3</sup>*



**CADERNOS DE CIÊNCIA  
& TECNOLOGIA**

[CAPA](#) [SOBRE](#) [ACESSO](#) [PESQUISA](#) [ATUAL](#) [ANTERIORES](#) [NOTÍCIAS](#)

v. 32, n. 1/2 (2015)

Sumário

Introdução

[EDIÇÃO COMEMORATIVA DO ANO INTERNACIONAL DOS SOLOS \(AIS - 2015\)](#)

# SOLO: base de tudo



2015

Ano Internacional  
dos Solos

*Celebrating*



2015

International  
Year of Soils



*Healthy Soils  
for a  
Healthy Life*

# **SOLO: base de tudo**

**Produção de comida = segurança alimentar: supre nutrientes, dá suporte para raízes, armazena água**

**Maior filtro e tanque de armazenamento de água**

**Mais carbono no solo do que na superfície: regula emissões de gases de efeito estufa**

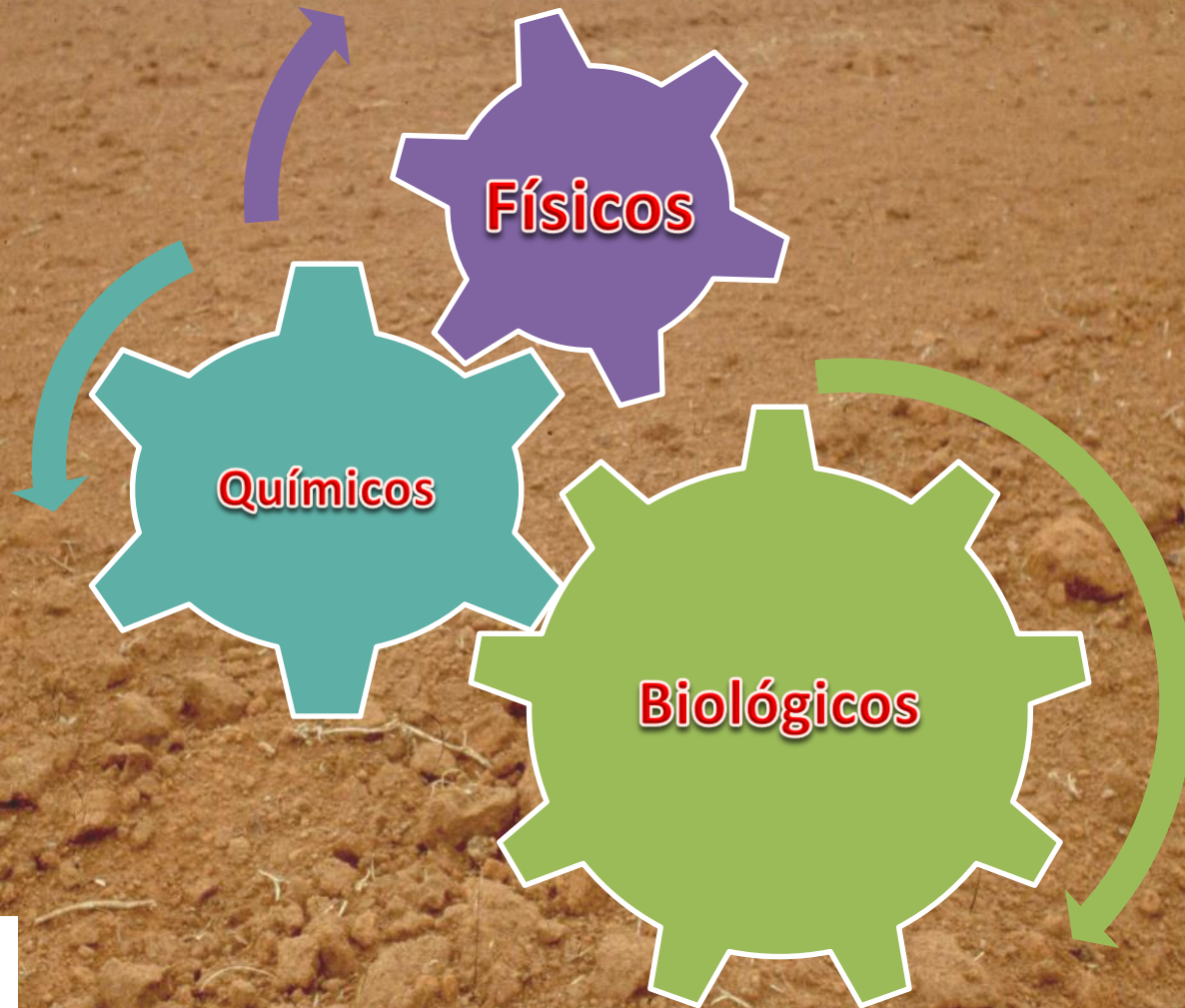
**Hospeda a maior diversidade do planeta.**



2015

Ano Internacional  
dos Solos

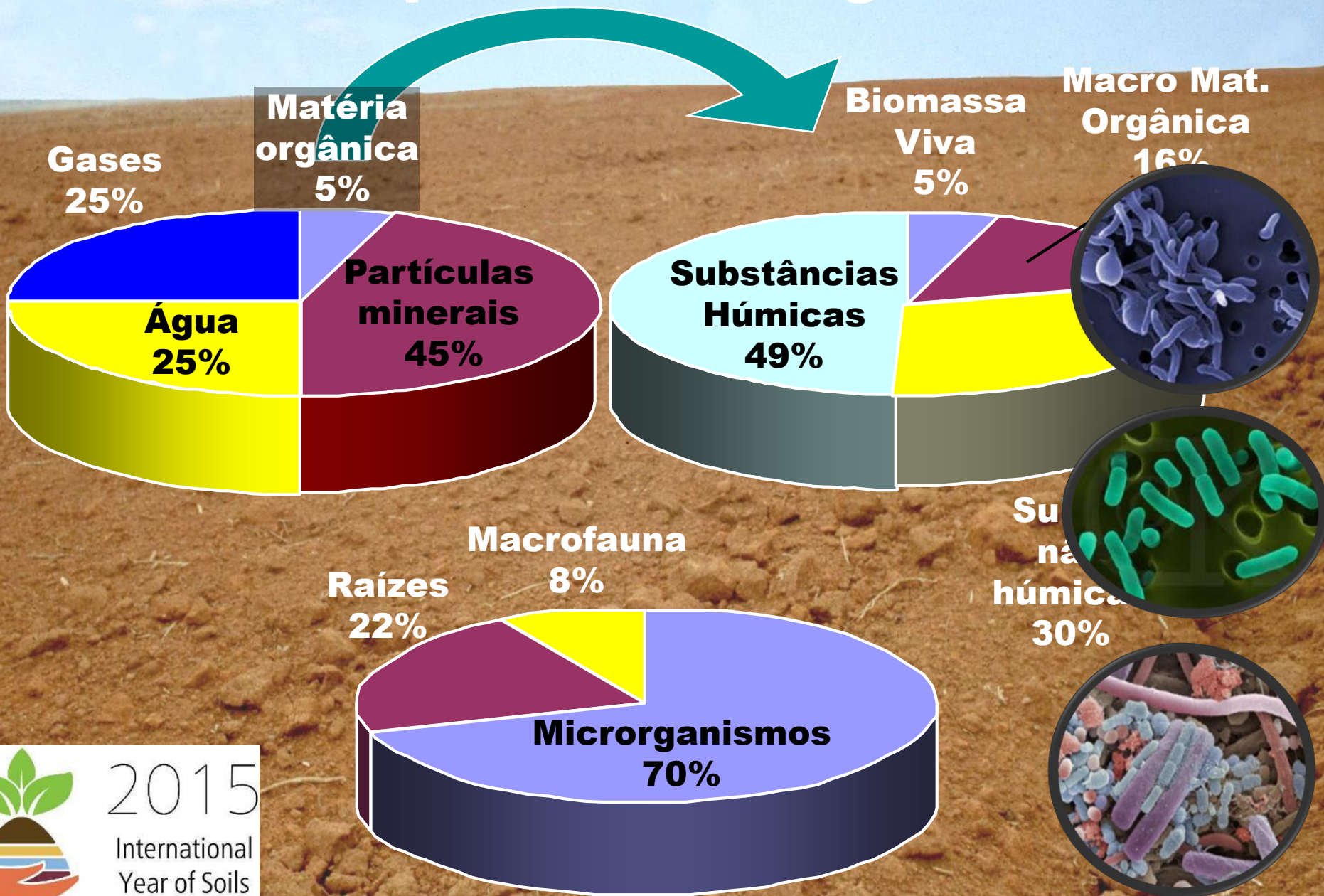
# O funcionamento do solo....



2015

Ano Internacional  
dos Solos

# A Maquinaria Biológica do solo



# Microbiologia x sustentabilidade de sistemas agrícolas

**A importância dos infinitamente pequenos é  
infinitamente grande (L. Pasteur)**

# Biodiversidade x Quantidade

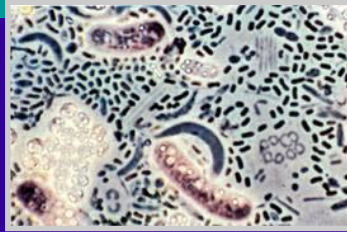
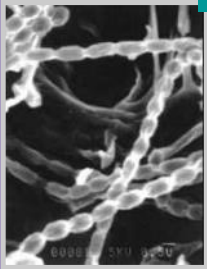
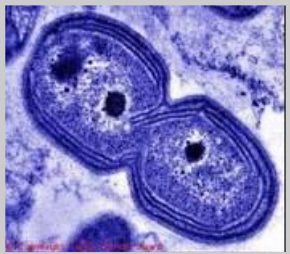


1 g solo



10,000 spp. espécies diferentes de microrganismos  
1.000.000.000 bactérias  
1.000.000 actinomicetos  
100.000 fungos  
(1.5 vezes mais organismos numa colher de chá do que toda a população humana do planeta - *Doran et al., 1996*). **UNIVERSO PARALELO**

90 a 99% não crescem em meio de cultura no laboratório





# Experimentos de longa-duração

Soja

Alta atividade biológica

Baixa atividade biológica

# Experimentos de longa-duração

**Milho**

Alta atividade biológica

Baixa atividade biológica



# Rizobio e a FBN soja = bom para o bolso é para o meio ambiente!



Com rizóbio

Sem rizobio

**Soja brasileira**  
**Economia anual > US\$ 10,0 bilhões**

# FBN em SOJA:



I. Dúvidas que não devem ser  
dúvidas



# FBN: Solos de primeiro cultivo: Funciona?



# Rendimento da soja cv. Tracaja em áreas de cerrado de 1º ano, Roraima (textura arenosa).

Tratamentos	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )				Média
	2005		2006		
Controle	2462	d	1984	b	2223
Test. Nitrogenada (200 kg ha <sup>-1</sup> de N)	4246	ab	3249	a	3749
Semia 587	3915	abc	3301	a	3608
Semia 5019	3427	c	3110	a	3269
Semia 5079	4366	a	3216	a	3791
Semia 5080	4383	a	2981	a	3683

Ganho médio de 23 sacas com a inoculação

# ***Reinoculação da soja: vale a pena?***

***Reinoculação = inoculação de uma área que já foi inoculada anteriormente***



# Sim!! Reinocular vale a pena!!!



+ 80 ensaios

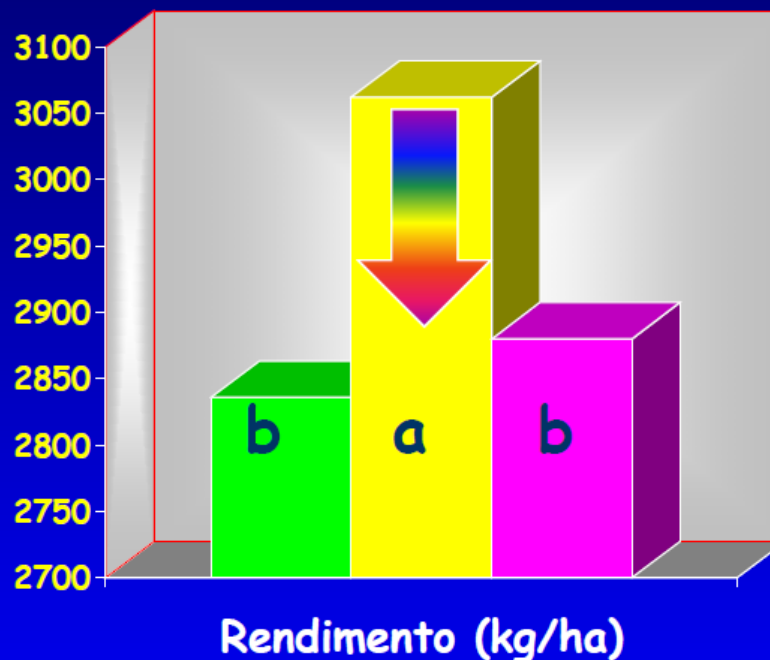
Solos com  $10^3$  a  $10^6$  células/g solo

Rendimentos >2.000 kg/ha

**+ 8%**  
**( $P < 0,05$ )**

*Hungria et al. 2006, 2007,  
+dados não publicados*

■ NI ■ IP ■ NI+ 200 kg N



+ 80 ensaios

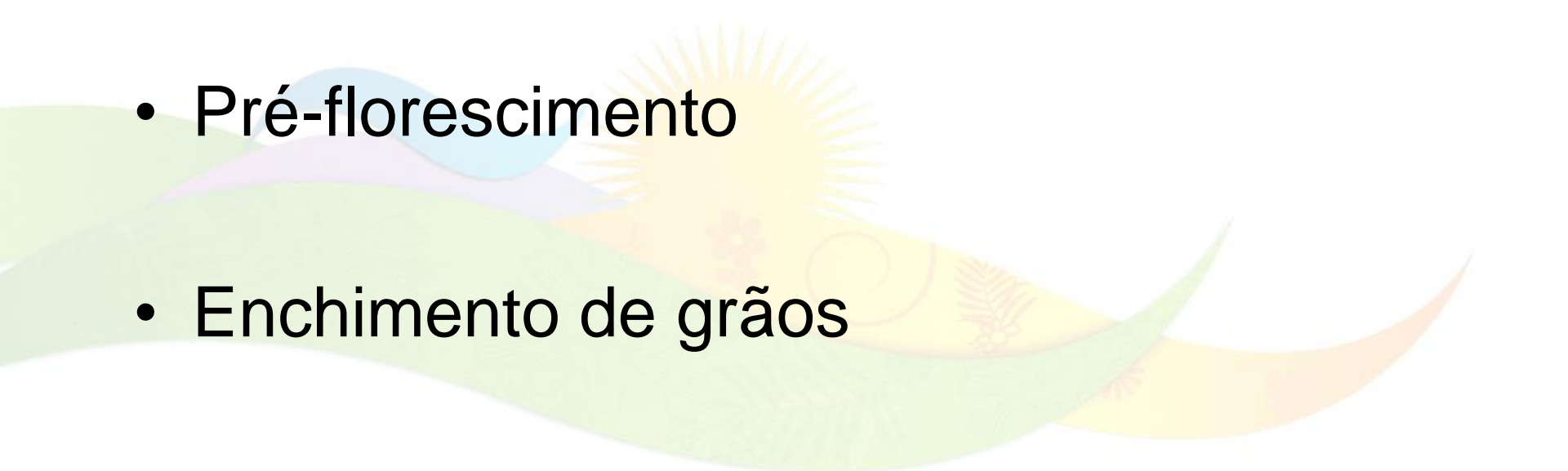


**+ 7-14%**

*Perticari et al., vários;  
levantamento Hungria et al.  
2006*

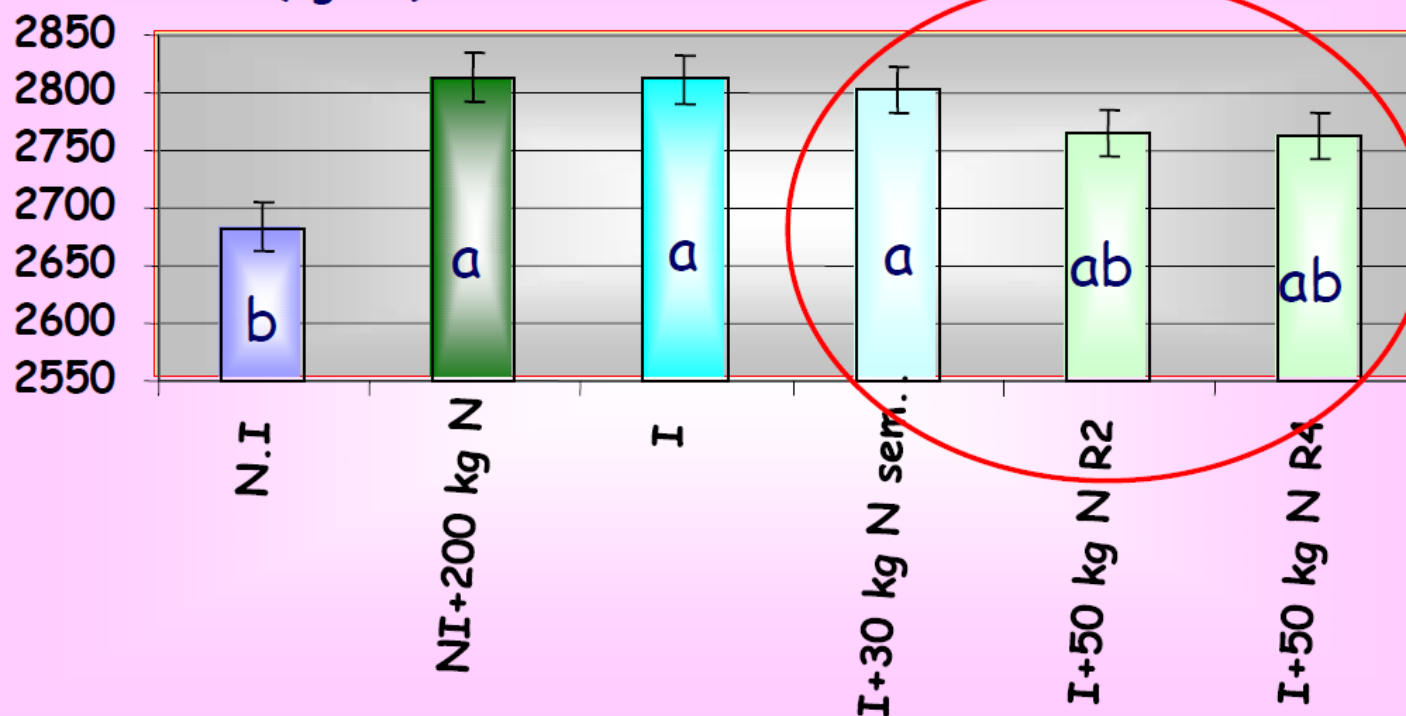


# Precisa adubar a soja com nitrogênio?

- Semeadura
  - Pré-florescimento
  - Enchimento de grãos
- 

# Não precisa adubar a soja com nitrogênio

Rendimento (kg/ha)



+ de 60 ensaios



# CESB

REDE DE PESQUISA



## Protocolo de Nitrogênio Safrá 2012/2013



Cascavel, 26 de junho de 2013

Estudos sobre o Efeito da Aplicação  
de Nitrogênio na Fase de enchimento de Grão de Soja



**“De um total de 51 experimentos,  
7 apresentaram significância estatística  
no que diz respeito aos níveis de N.  
Sem viabilidade econômica.**



**Pesquisa realizada pelo CESB descarta ganho econômico no uso de  
adubação nitrogenada no cultivo da soja**

Conclusão é resultado do primeiro protocolo de pesquisa desenvolvido pelo CESB a partir de 51 experimentos. Participaram da análise de dados, junto à entidade, 16 instituições, entre particulares e públicas

**São Paulo, 27 de janeiro de 2014** – O Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB) finalizou os resultados do seu primeiro protocolo de pesquisa após um ano do lançamento da Rede de Pesquisas CESB, que foi criada com objetivo de estimular nas entidades de pesquisa a desenvolvimento de novas tecnologias, validação e refinamento das

- **LOCALIZAÇÃO:**  
Campo experimental da FAPA em Guarapuava-PR
- **TIPO DE SOLO:**  
Latosolo Bruno alumínico
- **CLIMA:**  
Subtropical, com verões amenos, do tipo Cfb (Köppen)
- **PRECIPITAÇÃO:**  
Média de 1.995 mm
- **CULTIVOS ANTERIORES:**  
Milho, Trigo, Soja

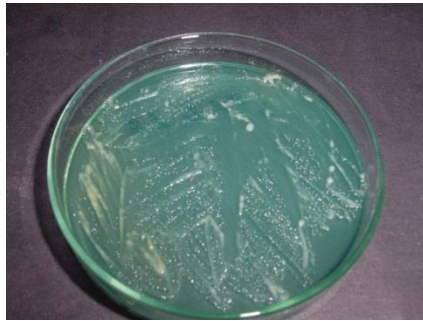
Trat.	Dose de N*1 (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádio fenológico	Média
<b>1</b>	<b>Test. Inoc.</b>	-	<b>6.326 a</b>
2	100	V5	5.988 a
3	200	V5	6.167 a
4	100	R1	5.888 a
5	200	R1	6.103 a
6	100	R5.3	6.283 a
7	200	R5.3	6.475 a
8	5 (Foliar)	R1	6.260 a
9	10 (Foliar)	R1	6.004 a
10	5 (Foliar)	R5.3	6.179 a
11	10 (Foliar)	R5.3	6.211 a
Média			6.171

**105 sacos/ha**



\*1 Produto aplicado: ureia.

CV%	4,49
Prob>F	0,1943



## ***Fixação Biológica do Nitrogênio no Feijão: Mito ou realidade?***



# Estirpes para a inoculação do FEIJÃO

## desde 1984



Recomendação das estirpes:

- CENA C-05, CPAC V-23 (de 1984 a 1989)
- CIAT 899 ( recomendada de 1984 até hoje)
- PRF 81 (recomendada a partir de 1998)
- CPAC H12 (recomendada a partir de 1998)



# Inoculação do feijoeiro: Assentamentos de reforma agrária, Unaí-MG 2006/2007

➤➤➤ No **pio**r cenário: Cultivar Diamante Negro

Tratamento	Ganho	Receita	Custo	Lucro
	Sacos/ha	-----R\$-----		
60kg N	5,0	500,00	175,00	325,00
Inoc.	2,0	200,00	20,00	180,00

**Ganho por R\$ investido:**

**60 kg N:  $325/175= 1,80$**

**Inoc:  $180/20= 9 ( 5 x )$**



# Conclusões

- 1-Importância da validação dos resultados de pesquisa em propriedades rurais**
- 2-Importância de realizar essa validação em vários locais/em vários anos, para a obtenção de dados robustos:**
  - inoculação do sulco**
  - tratamento de sementes**
- 3- Uso excessivo de adubo nitrogenado nas lavouras de feijão: desperdício de dinheiro e poluição ambiental**
- 4-Importância de dar continuidade a esses estudos.**



---

***Mito: Fixação Biológica do Nitrogênio  
no Feijão não funcionava ...***



---

# Folder FBN no feijão:



## FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

INOCULAÇÃO EM FEIJÃO: VALE A PENHA FAZER ANUALMENTE.



## FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

A pesquisa selecionou bactérias fixadoras de nitrogênio (“rizóbios”) com alta eficiência simbiótica que, aliadas a práticas culturais adequadas, resultaram na independência da cultura da soja em relação aos fertilizantes nitrogenados.

A fixação ocorre em nódulos nas raízes, onde as bactérias se estabelecem e captam o gás  $N_2$  do ar e o transforma em N-amoniaco, que é fornecido à planta.

Estima-se que para cada 1000 kg de grãos de soja sejam necessários 80 kg de N, que pode ser totalmente fornecido pela fixação biológica. Mesmo em áreas cultivadas há longa data com soja, a reinoculação garante incrementos médios de 8% no rendimento, pois reintroduz anualmente bactérias eficientes.

Para maximizar a eficiência da fixação biológica, alguns aspectos precisam ser observados:

### FBN NO FEIJÃO

O feijoeiro é uma planta pertencente a família das leguminosas e que, semelhantemente à soja, possui a capacidade de fixar Nitrogênio biologicamente através da simbiose com bactérias denominadas rizóbios. A prática da inoculação das sementes, com rizóbios selecionados pela pesquisa, representa uma alternativa de baixo custo para aumentar o rendimento do feijoeiro, além de evitar a contaminação dos recursos hídricos pelo adubo nitrogenado e de diminuir a emissão de gases de efeito estufa.

Rendimentos elevados e consistentes vêm sendo obtidos pela inoculação com essas estirpes de Rhizobium selecionadas pela pesquisa e disponíveis no mercado. Atualmente três estirpes de Rhizobium tropici são recomendadas para a fabricação do inoculante comercial. As vantagens da inoculação do feijoeiro são aplicáveis desde pequenos agricultores familiares até propriedades altamente tecnificadas, que visam altos rendimentos. Em algumas propriedades familiares de Unai - MG ganhos médios de produtividade de 25 % foram obtidos com a inoculação.

Nas safras de inverno de 2012 e 2013 experimentos conduzidos em fazendas onde o feijão é cultivado para altas produtividades sob irrigação FORAM OBTIDOS aumentos médios de produtividade de 10% apenas com a inoculação, em relação ao tratamento sem inoculação e sem adubação

# FBN em gramíneas

Arroz

Cana de açúcar

Milho

Trigo

Pastagens

*Azospirillum* spp.

*Herbaspirillum* spp.

*Gluconacetobacter diazotrophicus*

*Burkholderia* spp.



# TECNOLOGIA DE COINOCULAÇÃO

---

RIZÓBIOS E  
AZOSPIRILLUM  
EM SOJA E  
FEIJOEIRO

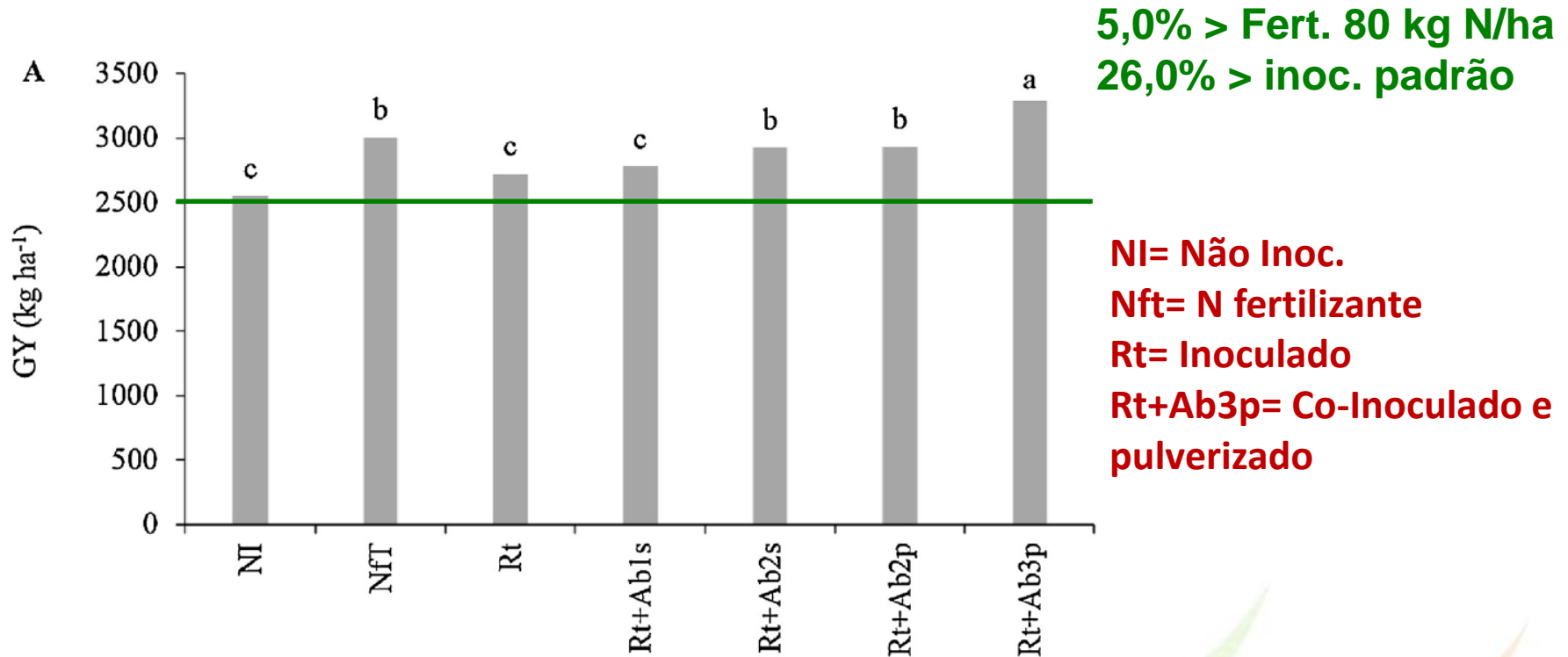
Embrapa 

Produtividade da soja em quatro experimentos com co-inoculação nas sementes.

Tratamento	Locais			
	Londrina	Ponta Grossa	Rio Verde	Cachoeira Dour.
Ñ-inoculado	3360 c	2599 c	2613 b	2635 b
Inoculado	3512 b	2877 b	2586 b	2477 b
Co-inoculado	3755 a	3044 a	2798 a	3042 a

{ Veranico }

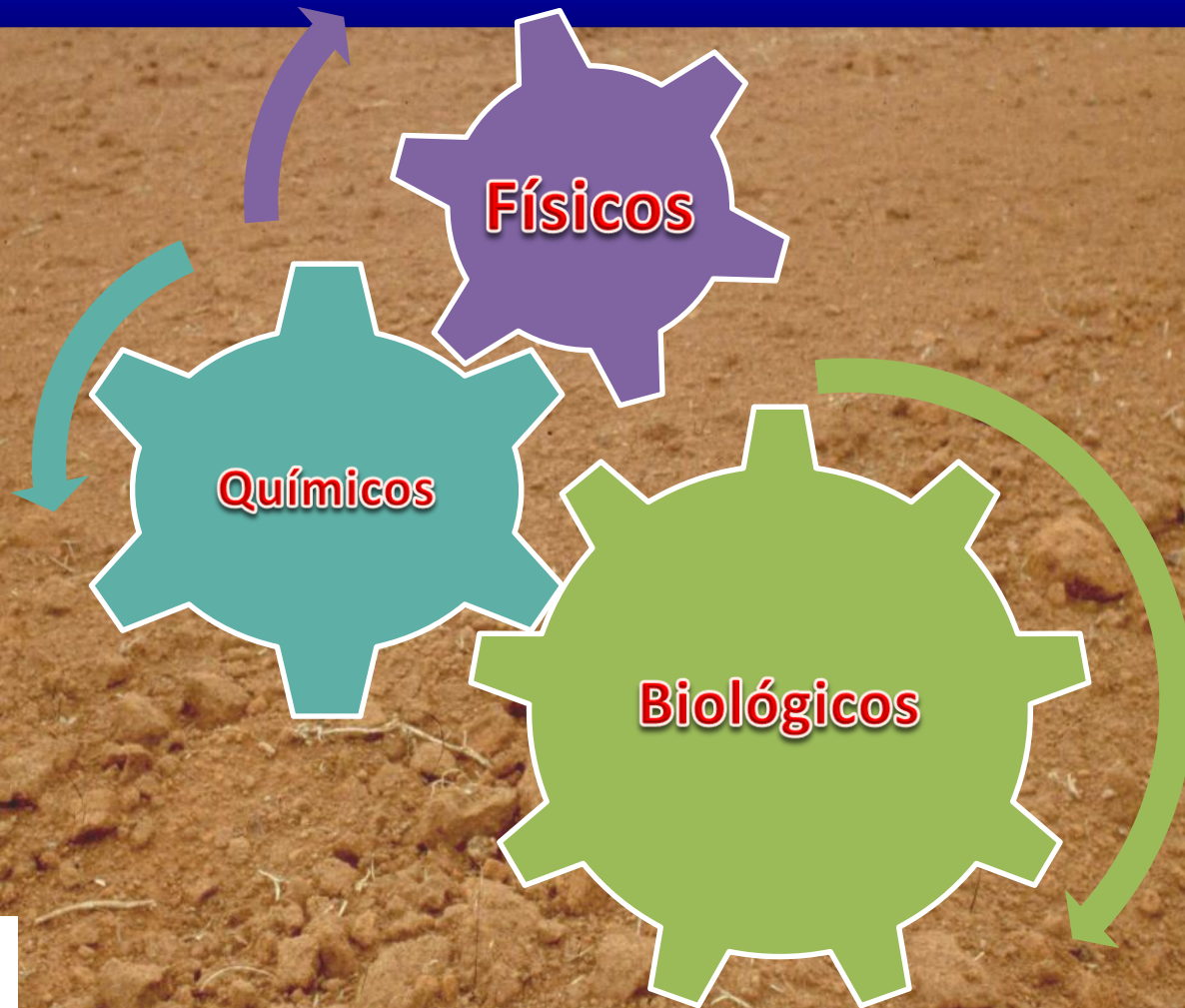
# Co- Inoculação do feijão



**Sete experimentos** com co-inoculação conduzidos em seis diferentes locais dos estados de GO e MG (Cristalina, Goianésia, Itaberaí, Santo Antônio de Goiás, Paracatu e Unaí).



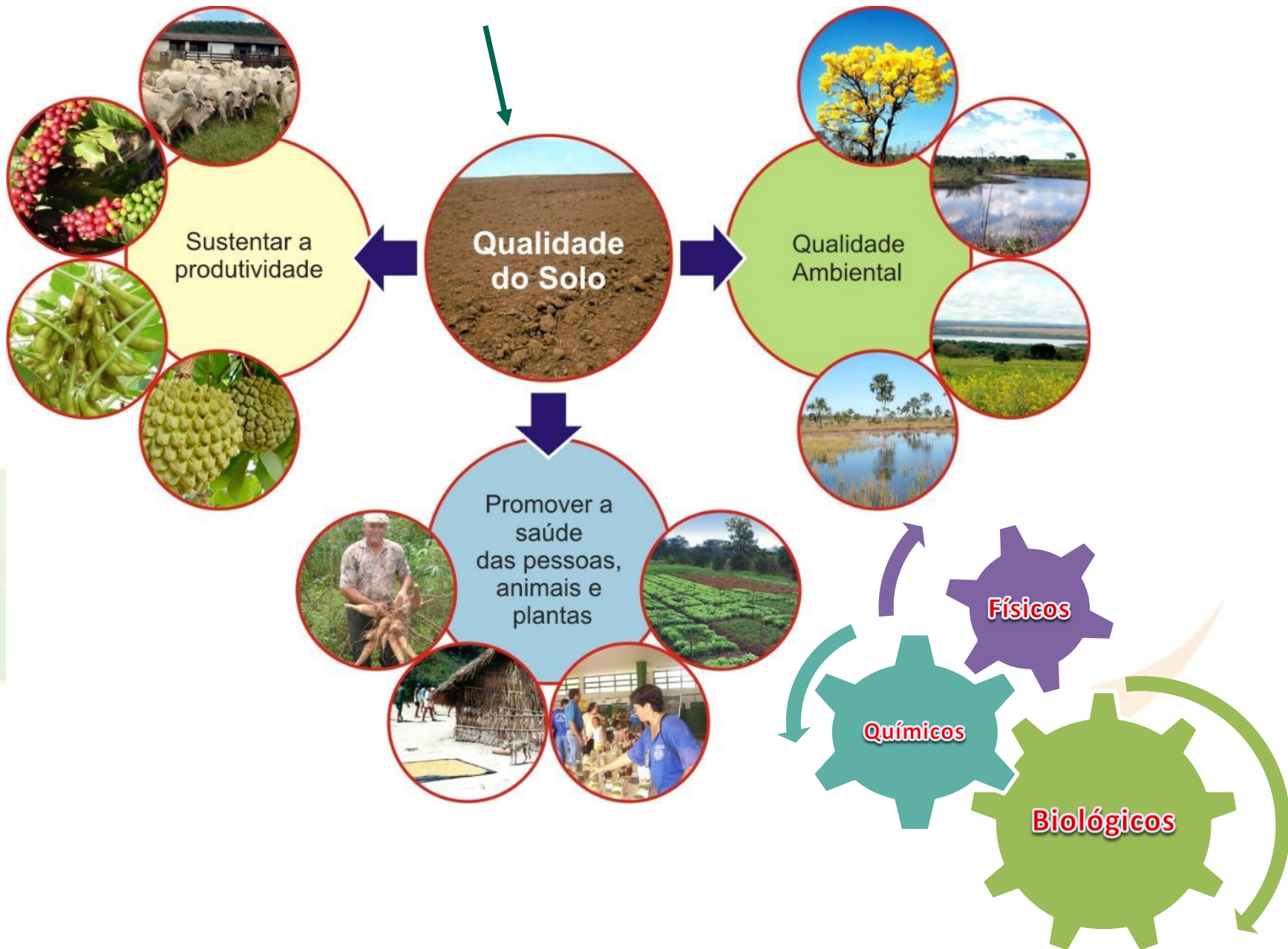
# A maquinária biológica faz o solo funcionar....



2015

Ano Internacional  
dos Solos

# Capacidade do solo funcionar....



# Como avaliar a maquinaria biológica do solo?



**Bioindicadores de saúde solo**



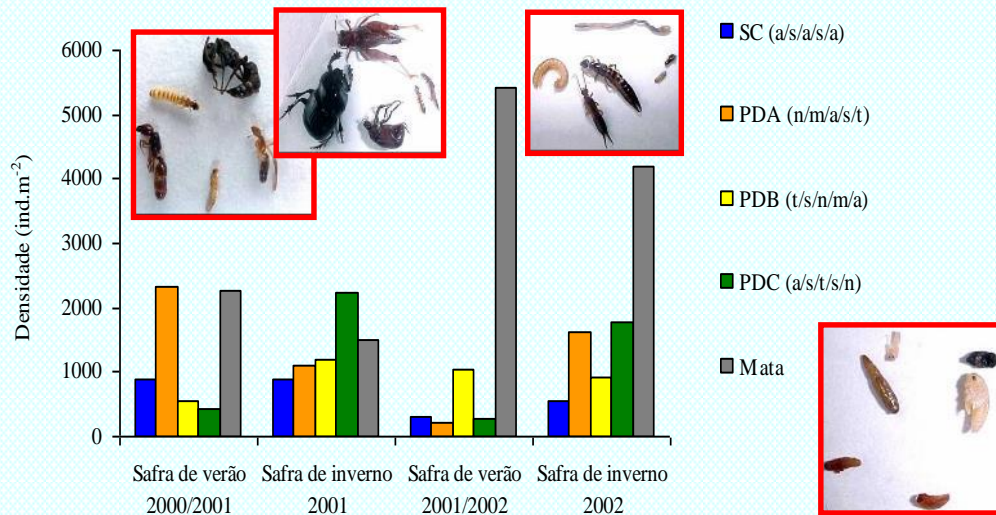
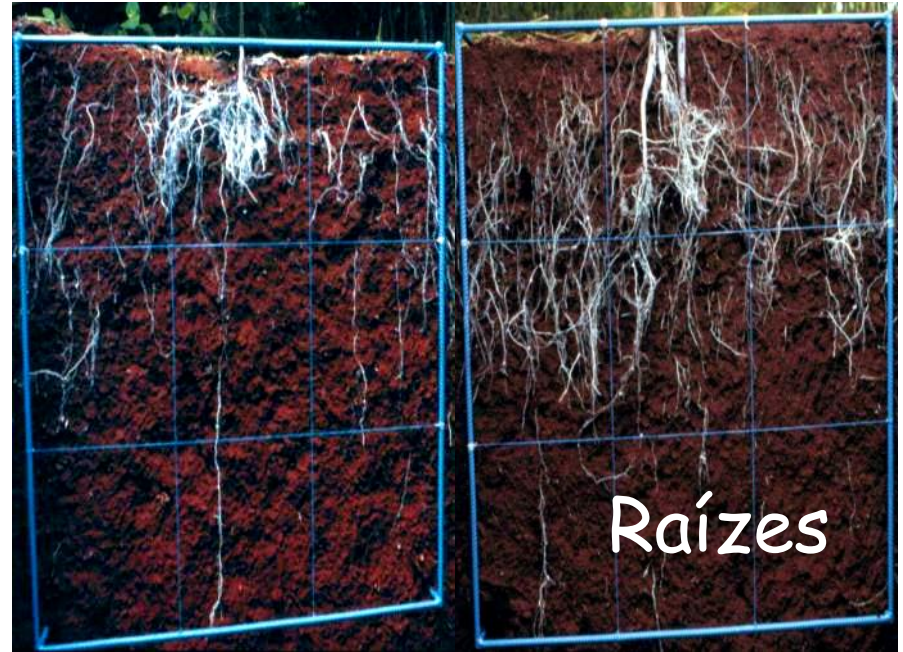
**Soluções simples**

# Bioindicadores

Cresc. Plantas



Alta X baixa atividade



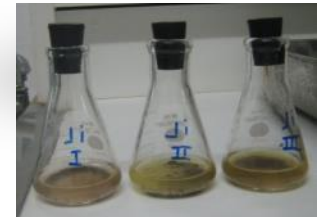
Macrofauna



# Indicadores Microbiológicos

Biomassa microbiana

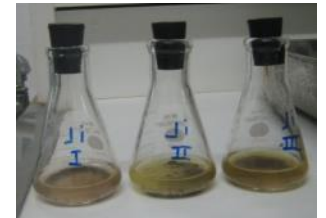
Atividade enzimática



# Indicadores Microbiológicos: Dos labs para o campo

Biomassa microbiana

Atividade enzimática



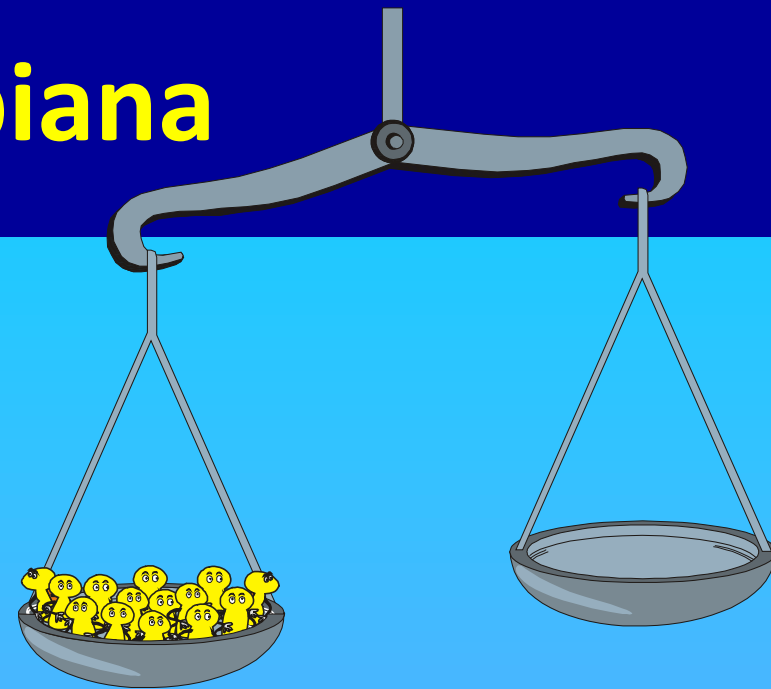
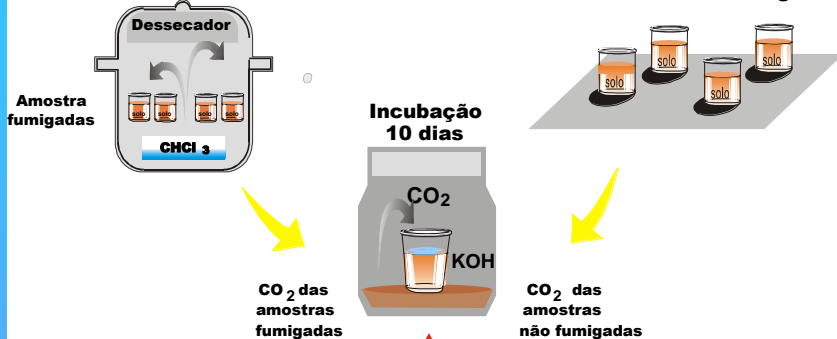
# Biomassa microbiana

## Biomassa microbiana (CFI)

### PRÉ-INCUBAÇÃO

Fumigação por 48 horas

Amostra não fumigadas



## Biomassa microbiana (CFE)

### PRÉ-INCUBAÇÃO

Fumigação por 48 horas

Amostra não fumigadas



Solo agrícola : Biomassa

300 mg C/kg solo → (30cm)

900 Kg C microrganismos/ha

= 1,5

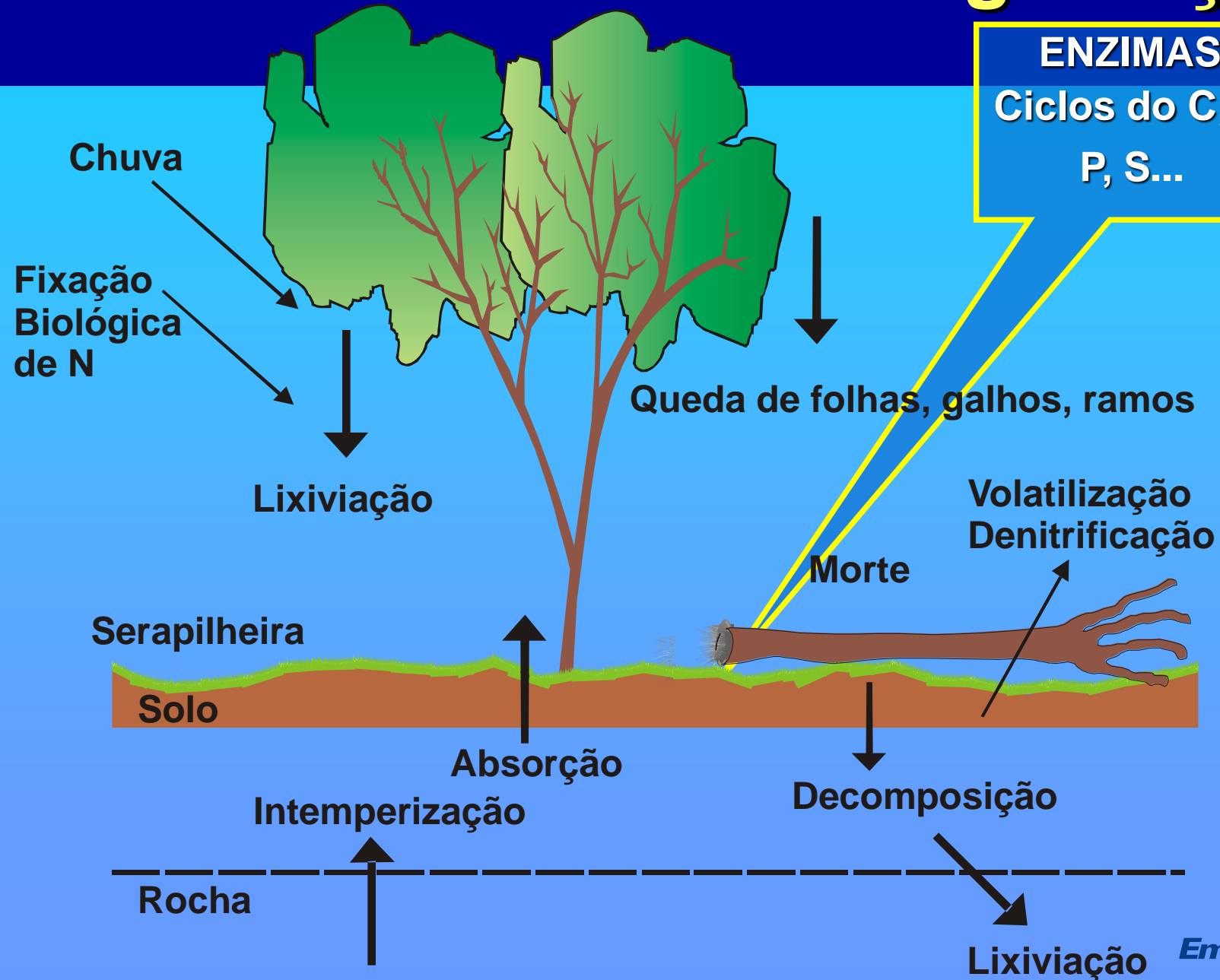


18



# Enzimas : Síntese X degradação

**ENZIMAS:**  
Ciclos do C, N,  
P, S...





# Enzimas avaliadas na Embrapa Cerrados

## ⇒ **Ciclo do C: $\beta$ -glicosidase**

### ⇒ **Hidrólise de resíduos de celobiose**

⇒ Estágios finais da decomposição da celulose)

## ⇒ **Ciclo do P: Fosfatase ácida**



⇒ Ciclagem do P orgânico

## ⇒ **Ciclo do S: Arilsulfatase**



⇒ Ciclagem do S orgânico



# ***Bioindicadores: Por quê usar?***

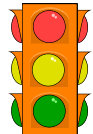


# Bioindicadores como um suporte para tomadas de decisão de manejo

i) Incentivar o agricultor que já está adotando sistemas agrícolas conservacionistas: MOTIVAÇÃO



ii) Alertar aquele que está adotando sistemas de manejo que levam à degradação do solo: DESENCADear A VONTADE DE MELHORAR



Hoje:

**Químicos**

→ pH, Al,  
Ca+Mg, P,  
K ...

**Matéria  
orgânica**

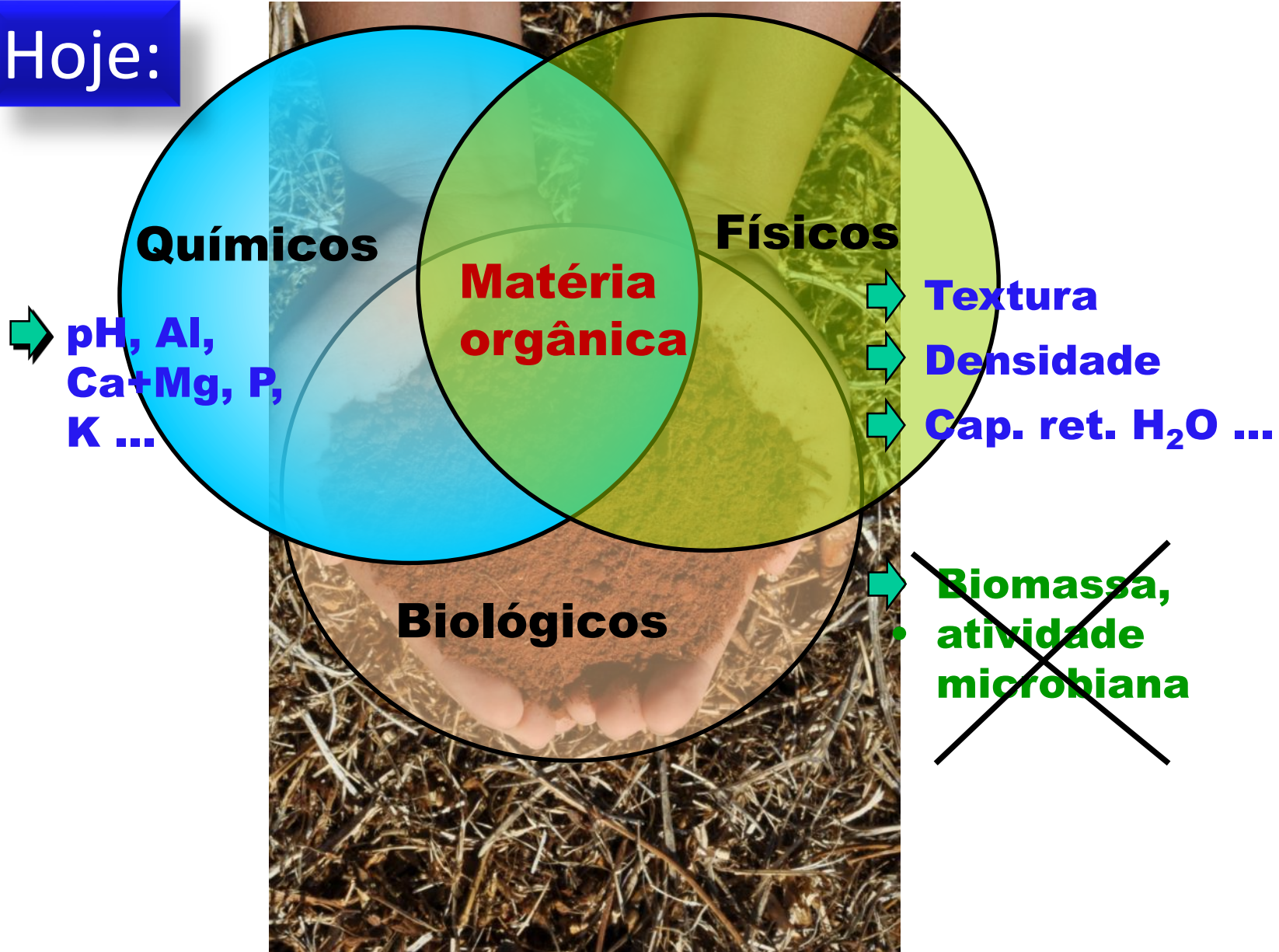
**Físicos**

→ **Textura**  
→ **Densidade**  
→ **Cap. ret. H<sub>2</sub>O ...**

**?**



**Hoje:**





# ***Bioindicadores: O que estava faltando?***



# Tabelas de Interpretação de Indicadores Químicos

**Tabela 6.** Interpretação da análise de solo da camada de 0 a 20 cm, para P extraído pelo extrator Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para sistemas de sequeiro em solos do Cerrado.

Teor de argila	Teor de P no solo				
	muito baixo	baixo	médio	adequado	alto
%	----- mg/dm <sup>3</sup> -----				
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16 a 35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36 a 60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

**Tabela 7.** Interpretação da análise de solo da camada de 0 a 20 cm, para P extraído pelo extrator Mehlich 1, de acordo com o teor de argila para sistemas irrigados em solo do Cerrado.

Teor de argila	Teor de P no solo				
	muito baixo	baixo	médio	adequado	alto
%	----- mg/dm <sup>3</sup> -----				
≤ 15	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0
16 a 35	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 30,0	> 30,0
36 a 60	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
> 60	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0

**Tabela 8.** Interpretação da análise de solo da camada de 0 a 20 cm, para P extraído pela resina trocadora de íons para sistemas agrícolas de sequeiro e irrigado em solos do Cerrado.

Sistema agrícola	Teor de P no solo				
	muito baixo	baixo	médio	adequado	alto
	----- mg/dm <sup>3</sup> -----				
Sequeiro	0 a 5	6 a 8	9 a 14	15 a 20	> 20
Irrigado	0 a 8	9 a 14	15 a 20	21 a 35	> 35

INIBINDO

**Tabela 9.** Interpretação da análise de solo do Cerrado, da camada de 0 a 20 cm, para pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub> e saturação por bases.

Interpretação	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	Saturação por bases
			%
Baixo (a)	≤ 5,1	≤ 4,4	≤ 20
Médio (a)	5,2 a 5,5	4,5 a 4,8	21 a 35
Adequado (a)	5,6 a 6,3	4,9 a 5,5	36 a 60
Alto (a)	6,4 a 6,6	5,6 a 5,8	61 a 70
Muito alto (a)	≥ 6,7	≥ 5,9	≥ 71

**Tabela 10.** Interpretação da análise de solo do Cerrado, da camada de 0 a 20 cm, a pH H<sub>2</sub>O 6,0 para B, Cu, Mn e Zn.

Interpretação	B <sup>1</sup>	Cu <sup>2</sup>	Mn <sup>2</sup>	Zn <sup>2</sup>
Baixo	< 0,2	< 0,4	< 1,9	< 1,0
Médio	0,3 a 0,5	0,5 a 0,8	2,0 a 5,0	1,1 a 1,6
Alto	> 0,5	> 0,8	> 5,0	> 1,6

<sup>1</sup> Extraído com água quente.

<sup>2</sup> Extraído com extrator Mehlich 1.

**Tabela 11.** Interpretação da análise de enxofre em solos do Cerrado, considerando-se a média aritmética dos teores nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm.

Interpretação	S <sup>1</sup>
	mg/dm <sup>3</sup>
Baixo	≤ 4
Médio	5 a 9
Alto	≥ 10

<sup>1</sup> Extraído com Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol/L em água (relação solo:solução extratora de 1:2,5).  
S = (teor na camada de 0 a 20 + teor na camada de 20 a 40 cm)/2.

# Tabela de Interpretação de Indicadores Microbianos



Indicador	Classe de Interpretação		
	Baixo	Moderado	Adequado
Biomassa Microb.			
Resp. Basal			
B-Glucosidase			
Celulase			
Fosfatase Acida			
Arilsulfatase			

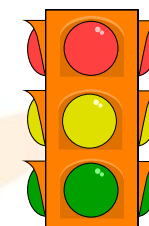


# 1ª tabela de Interpretação de Valores Individuais de Indicadores Microbianos com base na Matéria Orgânica do Solo (MOS)



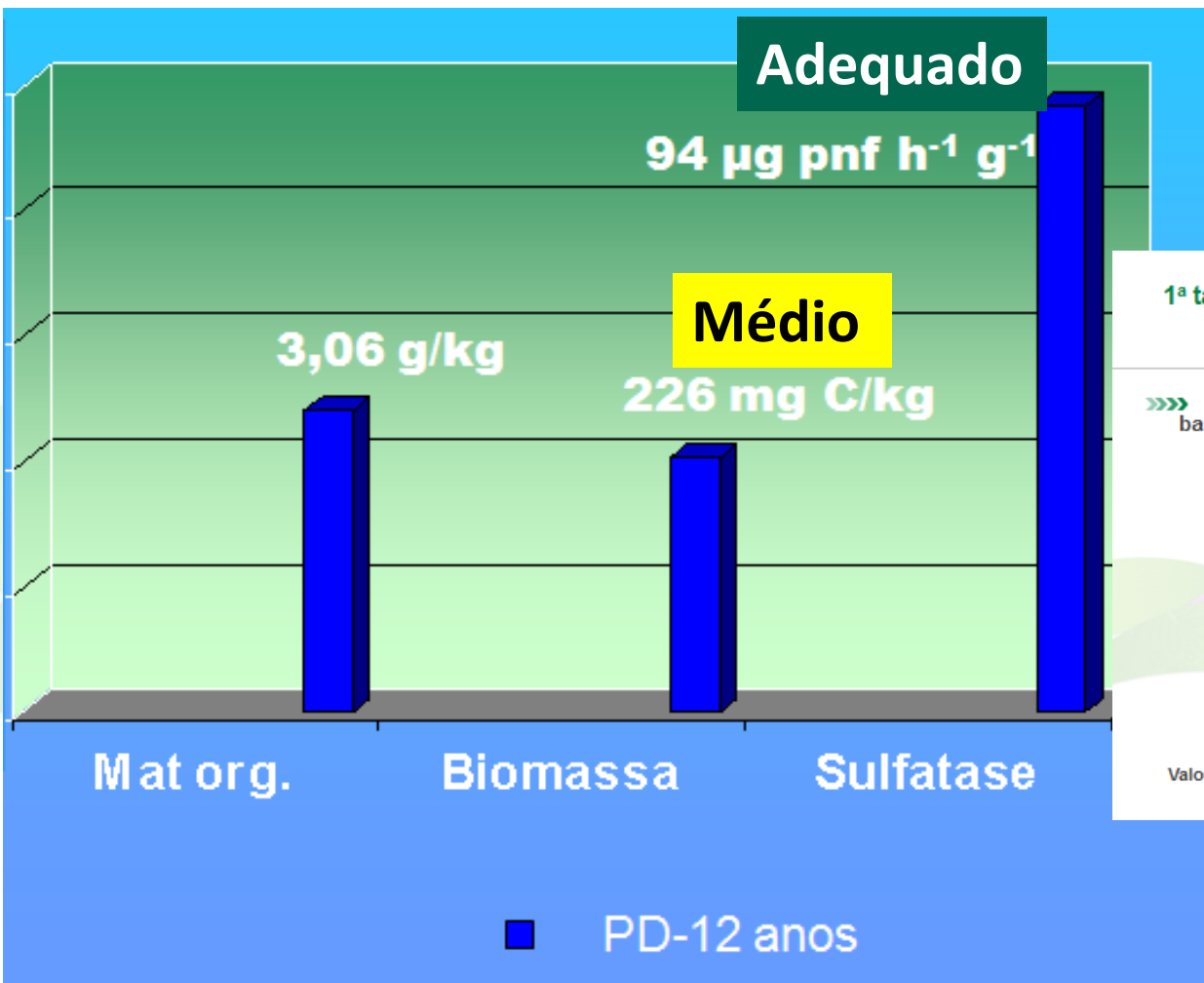
Específica para latossolos argilosos e baseada nos princípios de calibração de nutrientes do solo.

Indicador	Classe de Interpretação		
	Baixo	Moderado	Adequado
Biomassa Microb.	≤ 205	206 a 405	>405
Resp. Basal	≤ 40	41 a 100	>100
B-Glucosidase	≤ 70	71 a 115	>115
Celulase	≤ 60	61 a 140	>140
Fosfatase Acida	≤ 640	641 a 1150	>1150
Arilsulfatase	≤ 35	36 a 90	>90



Valores referência que podem fornecer informações sobre diferentes sistemas de manejo e seus impactos na qualidade do solo

# Interpretação de Valores Individuais de Indicadores Microbianos- Solos argilosos




1ª tabela de Interpretação de Valores Individuais de Indicadores Microbianos com base no Rendimento de Grãos

Específica para latossolos argilosos (40 milhões ha) e baseada nos princípios de calibração de nutrientes do solo.

Indicador	Classe de Interpretação		
	Baixo	Moderado	Adequado
Biomassa Microb.	≤ 215	216 a 375	>375
Resp. Basal	≤ 40	41 a 90	>90
B-Glucosidase	≤ 65	66 a 115	>115
Celulase	≤ 70	71 a 105	>105
Fosfatase Ácida	≤ 680	681 a 1160	>1160
Ariulfatase	≤ 40	41 a 90	>91

Valores referência que podem fornecer informações sobre diferentes sistemas de manejo e seus impactos na qualidade do solo





# ***Bioindicadores: Para quê e para quem?***



***i) Bioindicadores selecionados, com níveis críticos bem estabelecidos,***

***ii) que possam ser utilizados no monitoramento da qualidade do solo, pelos agricultores, nas diferentes regiões do Brasil.***





# *A amostra FERTBIO: Unificar fertilidade e microbiologia*

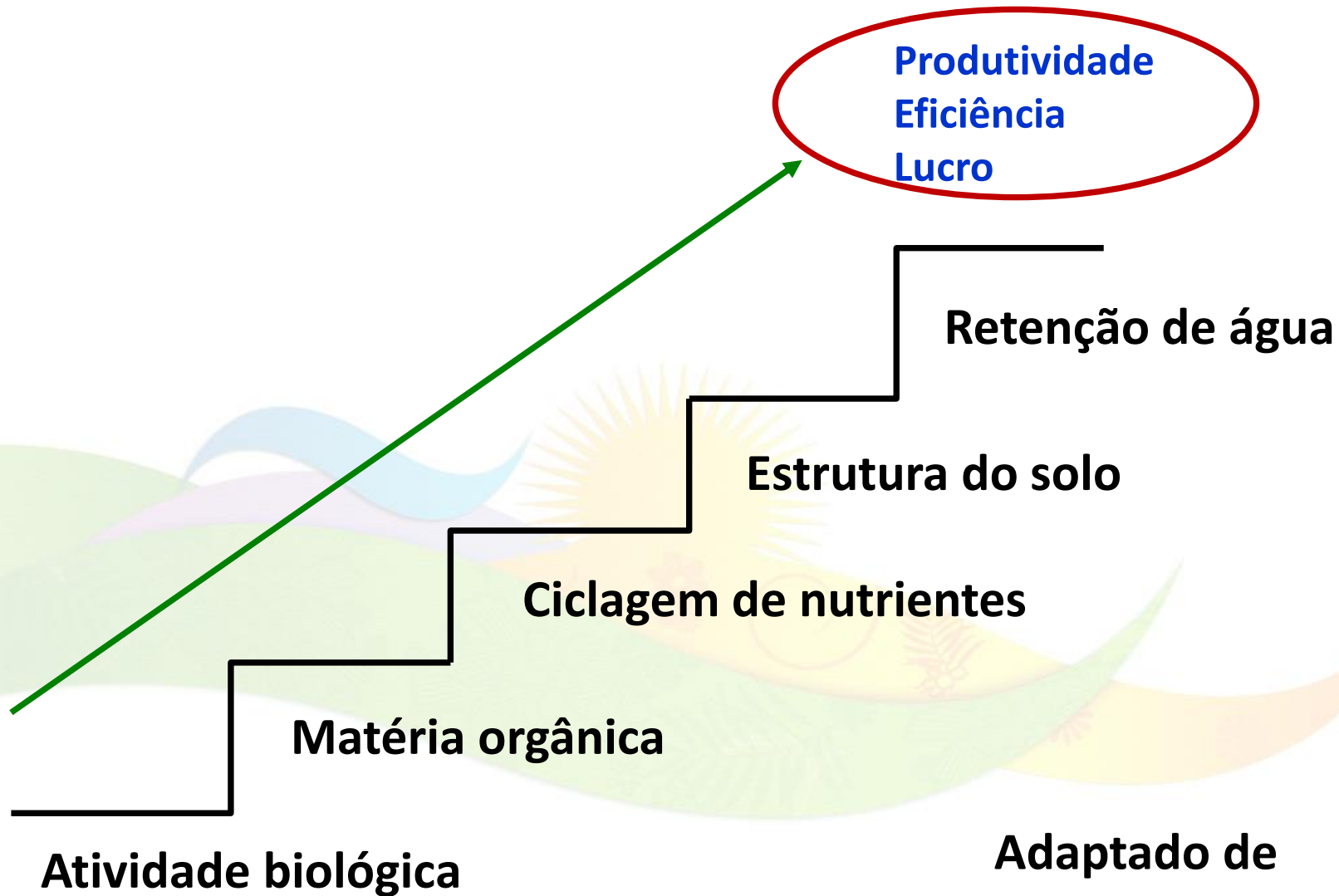




# ***Bioindicadores: Entender é fundamental...***



# Escalada da melhoria de um solo....



Adaptado de  
Hatfield, 2015



# ***Bioindicadores: Onde ? Quando ?***



# Diferentes tipos de solos/climas, culturas diferentes tabelas...

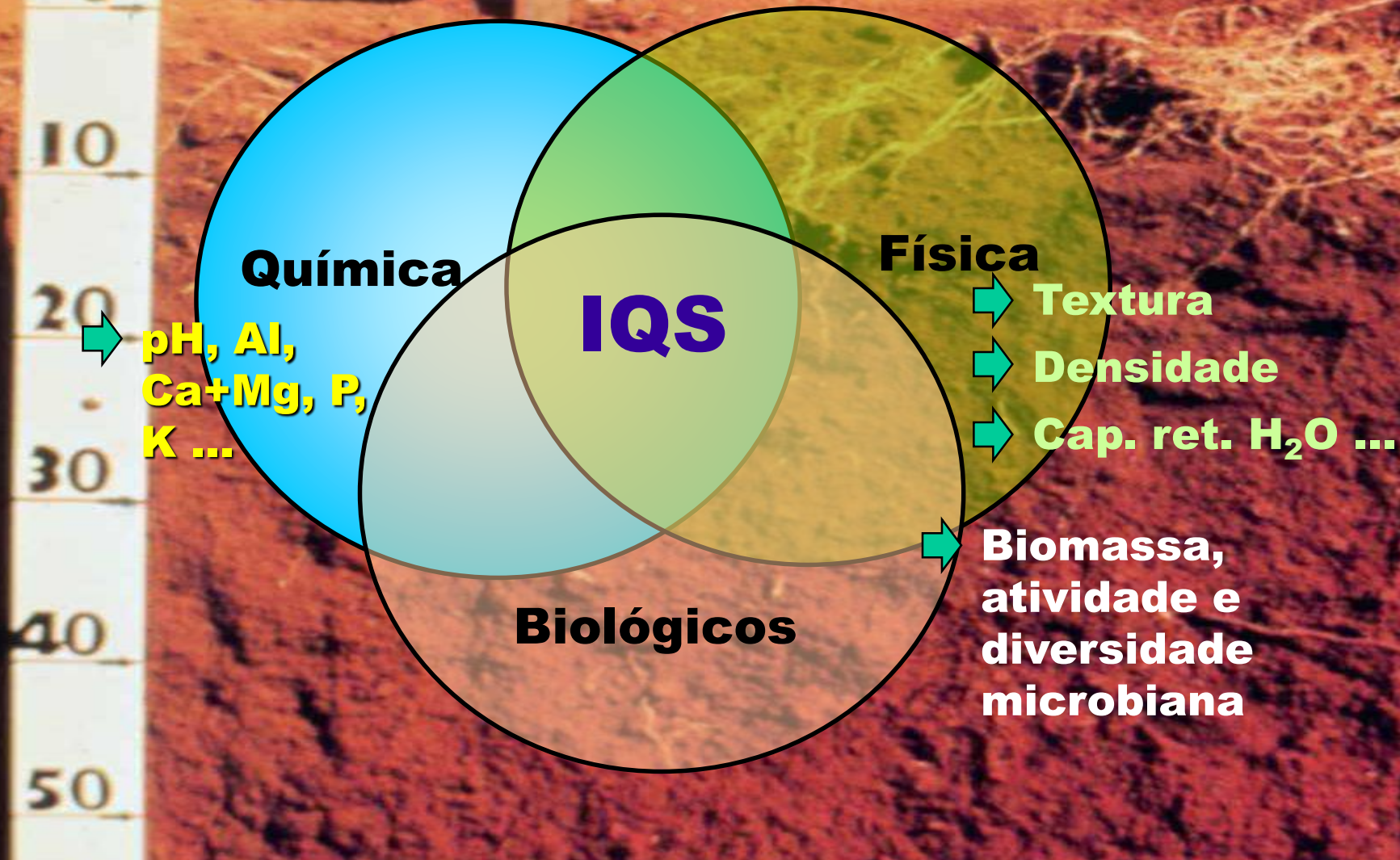


## Biombras Brasileiros

**Especificidades Regionais**



# Um novo momento....



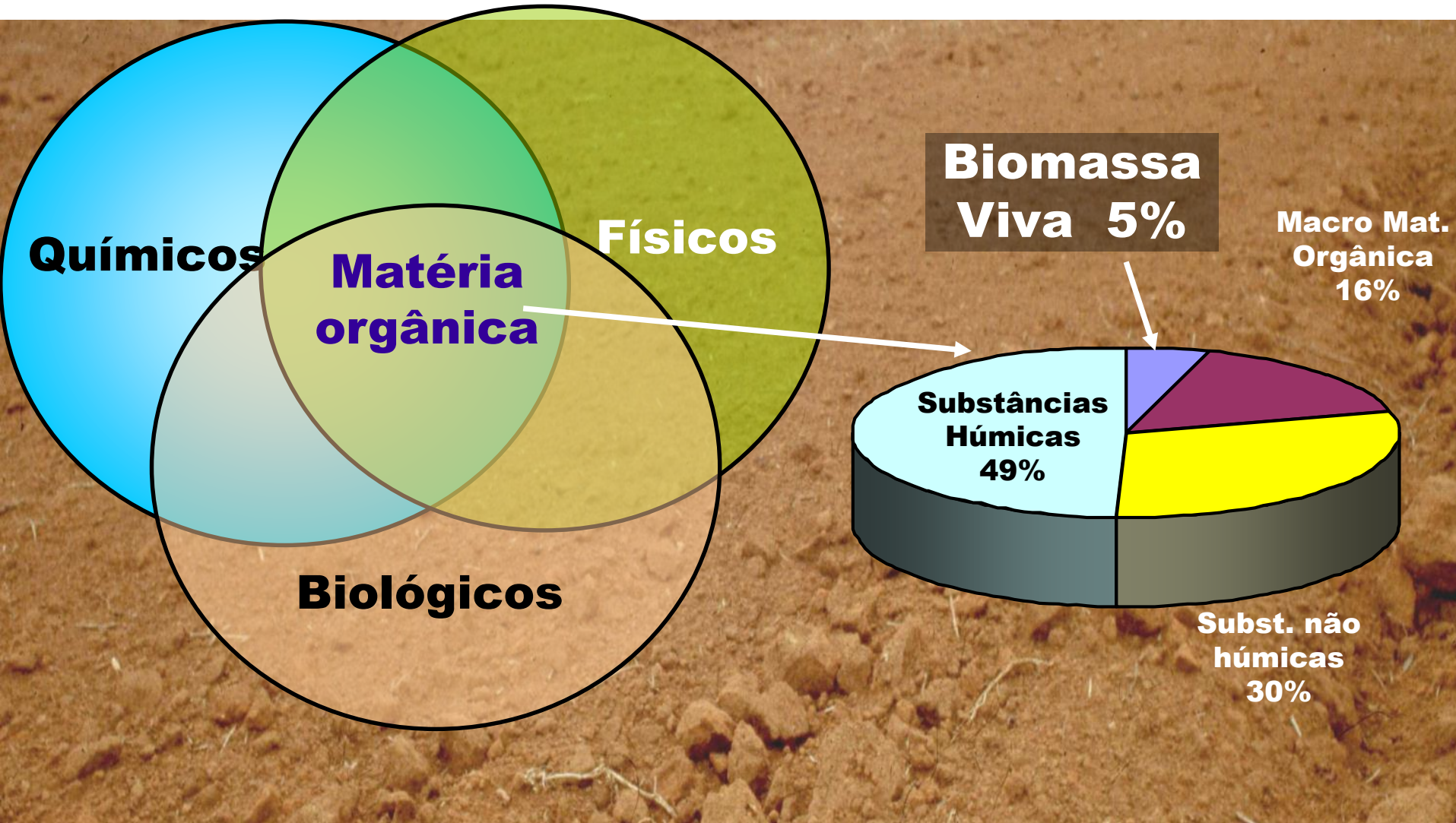
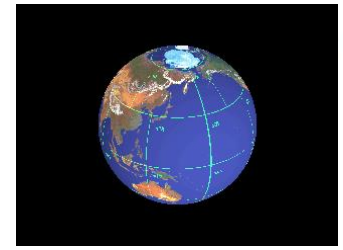
Agregar informações para fazer um Índice de Qualidade de Solo (IQS)



**Não esquecer que:**

**Mais importante que avaliar a qualidade do solo é adotar manejos que promovam essa qualidade!!**

# Tudo está conectado...



# Sustentabilidade: O Grande Desafio da Agricultura



# Desafio: Produzir com sustentabilidade



- Reduzir as emissões de gases de efeito estufa,
- maior eficiência no uso dos recursos naturais,
- baixa geração de resíduos
- equidade social

(UNEP, 2008)

**O uso de microorganismos como bioindicadores pode nos ajudar a atingir esses objetivos !!**

# Indicadores Microbiológicos: dos labs para o campo



Muito obrigada!!