

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Departamento de Ciência do Solo



# **MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

## **Discentes:**

Felipe Hipólito dos Santos  
Beatriz Vanolli  
Gabriel Braz Martins

## **Docente:**

Carlos Eduardo Pellegrino Cerri

## Climate-smart soils

Keith Paustian. Department of Soil and Crop Sciences, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.

Johannes Lehmann. Atkinson Center for a Sustainable Future, Department of Soil and Crop Sciences, Cornell University, Ithaca, New York, USA.

Stephen Ogle. Department of Ecosystem Science and Sustainability, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.

David Reay. School of Geosciences, University of Edinburgh, Edinburgh, UK.

G. Philip Robertson. W. K. Kellogg Biological Station and Department of Plant, Soil and Microbial Sciences, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA.

Pete Smith. Institute of Biological and Environmental Sciences, University of Aberdeen, Aberdeen, UK.

- **Contexto da discussão:** O que há de mais moderno na pesquisa de GEE; Práticas de mitigação e potenciais, identificar as lacunas, “gaps”, nos dados e no seu entendimento e maneiras de acabar com isso por meio de novas pesquisas, tecnologia e colaboração.
- **Controle de processos**
  - Sequestro de C pela melhoria do manejo do solo
  - Sequestro do solo C via entradas exógenas
  - Manejo do solo para redução da emissão de  $N_2O$
  - Manejo do solo para reduzir as emissões de  $CH_4$
- Implementação de práticas de mitigação
- Quantificando incertezas

# Contexto

A agricultura é apontada a muitos anos, como uma das principais emissoras de GEE.



Solo como forma de sequestrar C da atmosfera.

Baixo custo, e larga escala.

Potencial de sequestrar C, e criar sinergia com N  
Forma-se ambientes altamente produtivos



# Contexto



Agricultura e mudanças  
associadas ao uso da terra  
(25%)

SOLOS: MAIOR  
COMPARTIMENTO  
DE C ORGÂNICO  
terrestre

Mitigação

CO<sub>2</sub>  
CH<sub>4</sub>  
N<sub>2</sub>O

Sinergia

Solos representam  
37% das emissões de  
GEE na agricultura.

# Contexto



Projetos de  
mitigação centrados  
no solo

PRODUTOS  
DE “↓ C”

Mercados de  
compensação de  
GEE

↑  
SEQUESTRO  
DE C PELO  
SOLO

Implantado em  
larga escala e a  
baixo custo.

Quantificar com  
precisão as  
**emissões e  
reduções**  
continua a ser  
um desafio  
substantial

# Controle de processo e práticas de mitigação



## Sequestro de C pela melhoria do manejo do solo

---

1. Variedades ou espécies melhoradas com maior massa radicular para **depositar C em camadas mais profundas** onde o turnover é mais lento;
2. Adoção de rotações de culturas que fornecem **maiores entradas de C**;
3. Maior retenção de resíduos;
4. Culturas de cobertura durante períodos de pousio para **fornecer insumos C** durante todo o ano

# Decision tree for cropland GHG mitigating practices

## Baseline condition

## Mitigation practices

Degraded or marginal land?

(i) Convert to perennial vegetation

↓  
Drained, cropped organic (histosol) soils?

(ii) Restore to wetland

↓  
Severe nutrient deficiency?

(iii) Add nutrients; add lime; grow N-fixing species

↓  
Extensive bare fallow

(iv) Grow cover crops; reduce or vegetate fallow fields

↓  
Excess N fertilizer use?

(v) Reduce to economic-optimal rates

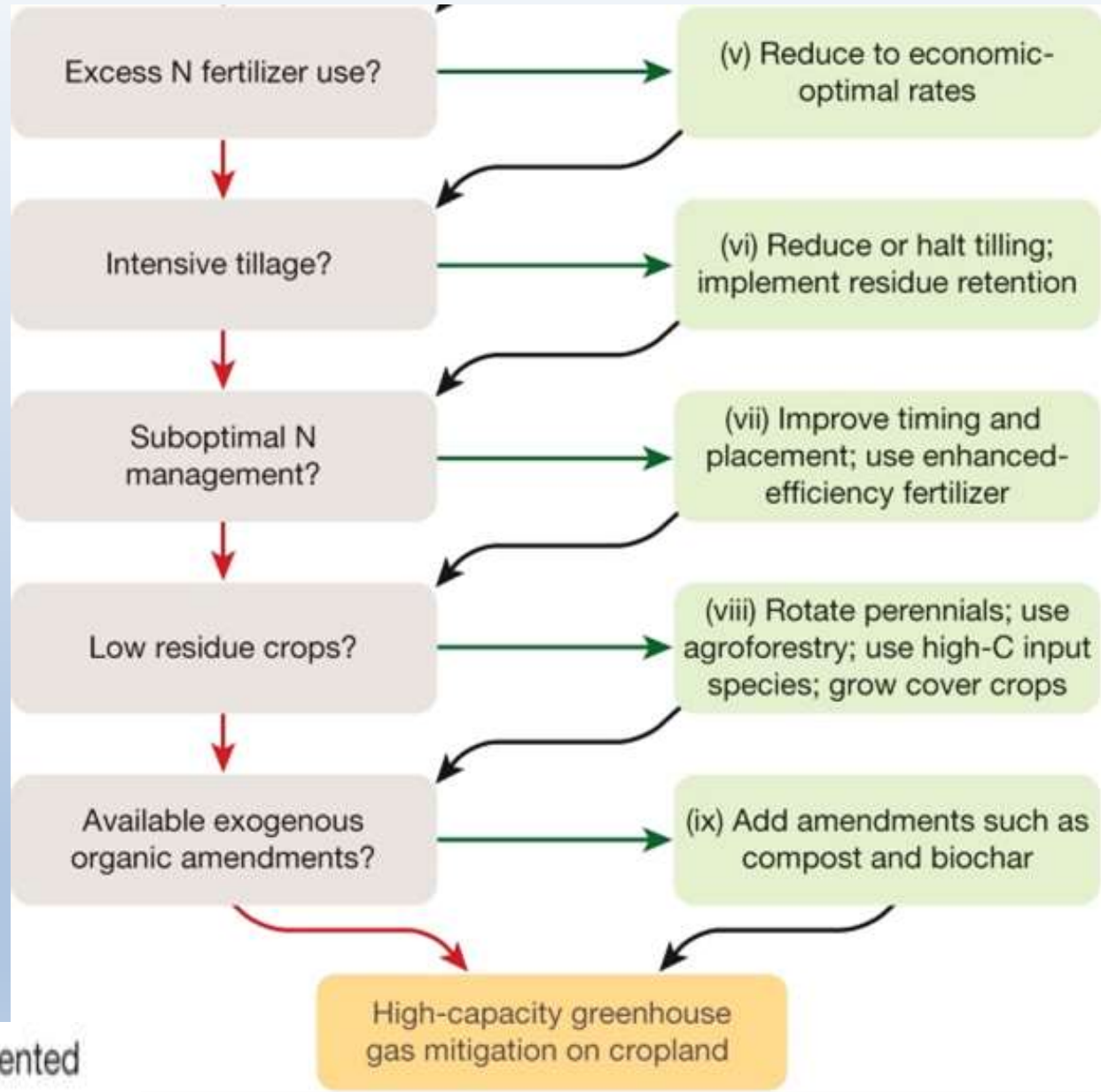
↓ No    → Yes

→ Practices implemented





# Decision tree for cropland GHG mitigating practices



↓ No → Yes

→ Practices implemented

# Co-benefícios, custos relativos e restrições para as práticas de mitigação

Práticas de Mitigação	Co-benefícios das práticas	Custo relativo		Restrições e Limitações
		Desenvolvida	Menos desenvolvida	
Converção para perene vegetação	↓ Erosão o solo	\$	\$	Terra alternativa / subsistência para agricultores de subsistência; potencial de lixiviação
	↑ Biodiversidade			
	↑ Qualidade da água			
Restauração de histosols	↑ Biodiversidade	\$\$\$	\$\$\$	Potencial de aumentar emissão de CH4, potencial de lixiviação
	↑ Qualidade da água			
Adubação, calagem e espécies fixadoras de N	↑ Segurança alimentar	\$	\$	Disponibilidade ou acesso ao fertilizante; potencial de aumentar emissão de N2O
	↑ Qualidade da água			
Uso de culturas de cobertura, diminuir áreas de pousio	↓ Erosão o solo	\$	\$	Implantação limitada em áreas secas
	↑ Qualidade da água			
	↑ Segurança alimentar			
	↑ Qualidade do solo			
Reduzir para taxas econômicas ótimas (PME)	↑ Qualidade da água	\$	\$	Risco de perda de produção
Sistema plantio direto, menos revolvimento	↓ Erosão o solo	\$	\$	Implantação limitada em climas frios; potencial aumento do custo do equipamento e do uso de herbicidas
	↑ Qualidade da água			
	↑ Qualidade do solo			
Melhorar o "timing" e local do fertilizante, uso de fertilizante de eficiência melhorada	↑ Qualidade da água	\$	\$\$\$	Disponibilidade ou acesso a fertilizante de eficiência aprimorada
Rotação de culturas, ILPF, uso de espécies com alta fixação de C, uso de plantas de cobertura	↑ Biodiversidade	\$\$\$	\$	Menor eficiência em áreas secas com solos rasos; menor retorno por perda de produção
	↑ Qualidade da água			
	↑ Qualidade do solo			
Adicionar condicionadores de solo (compostos, biochar,...)	↑ Segurança alimentar	\$\$\$	\$\$\$	Depende das emissões geradas na produção do condicionante do solo (composto, biochar,...)
	↑ Qualidade do solo			

# “Gaps” no Sequestro de C

- Como a  $\Delta T ^\circ C$  influencia no turnover de C entre as frações da MOS;
- Interações entre os componentes químicos da MO e com a superfície de minerais;
- Saturação de C;
- Acúmulo, turnover e **estabilização da MOS** no sub-solo (>30 cm);
- Mudanças de ambiente (particularmente o **impacto da erosão e transporte lateral de C**);
- MOS estabilizada **é de origem microbiana** em vez de ser diretamente originada da planta;

# Controle de processo e práticas de mitigação

## Sequestro do solo C via entradas exógenas

Entrada de compostos e biochar

Estoques

TMR

Mineralização 10 a 100x  
mais lenta que a biomassa  
não concentrada



# Controle de processo e práticas de mitigação

## Sequestro do solo C via entradas exógenas

1. Remoção, transporte e processamento da biomassa externa
2. Usos finais alternativos da biomassa
3. Interações com outros processos produtores de GEE no solo
4. Sinergias entre alterações do solo e a fixação e retenção de C *in situ* derivado de plantas.



# Controle de processo e práticas de mitigação



## Sequestro do solo C via entradas exógenas

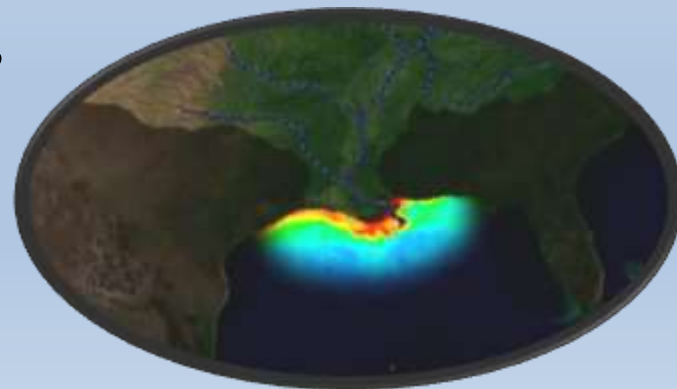
- Efeito sobre outras emissões
- Mineralização do Carbono existente no solo em resposta a adição de corretivos
- Priming negativo



## Manejo do solo para redução da emissão de N<sub>2</sub>O

---

- Solos **aráveis emitem mais N<sub>2</sub>O** para a atmosfera do que qualquer outra fonte antropogênica
- A melhoria do manejo de N para reduzir as emissões também melhoraria outros problemas ambientais



## Manejo do solo para redução da emissão de N<sub>2</sub>O

---

- O N<sub>2</sub>O é produzido nos solos pela atividade microbiana - principalmente nitrificação e desnitrificação
- **Dreno – Atenuação emissão**
- **Inibidores – NBPT/DCD/DMPP**



# Controle de processos e práticas de mitigação



## Manejo do solo para reduzir as emissões de CH<sub>4</sub>

- > 200 Tg ano<sup>-1</sup>
- Terras alagadas e arroz



Solos bem drenados  
(estimado em ~ 30 Tg ano<sup>-1</sup>)

- Conversão de vegetação nativa para a agricultura.

# Controle de processos e práticas de mitigação



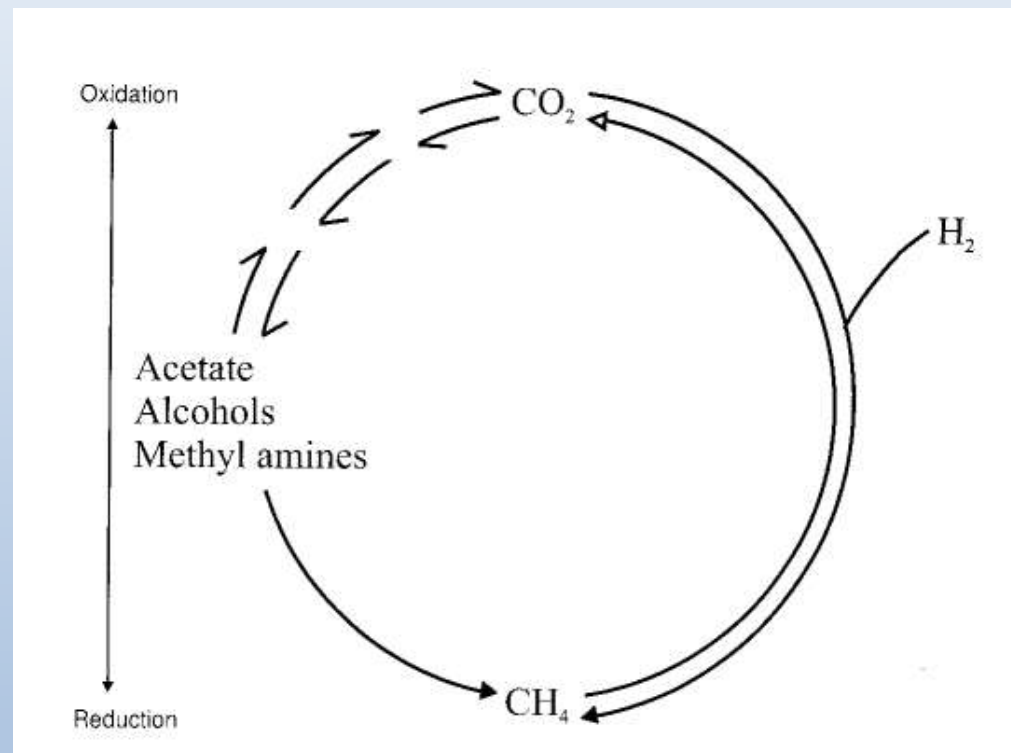
## Manejo do solo para reduzir as emissões de CH<sub>4</sub>

- Fontes e drenos de metano
- Captação de metano pelo solo
  - porosidade
  - conteúdo de água

# Controle de processo e práticas de mitigação

Restauração da captação de  $\text{CH}_4$  do solo após conversão agrícola

Redução da geração de  $\text{CH}_4$  em rizosferas de arroz



# Potencial global para mitigação de GEE pelo solo



**USO DA TERRA**  
25% emissões  
globais de GEE



**MELHORAS NO  
MANEJO DO  
SOLO**

Restrições econômicas,  
sociais e políticas.

10% a 14%  
**Produção  
Agropecuária**

12% a 17% da  
**Mudança de  
cobertura**

# Potencial global para mitigação de GEE pelo solo



## ANÁLISE GLOBAL

Modelagem do **clima** de reduções de emissões e sequestro de solo C

Modelagem **econômica** e de **mudança do uso da terra**

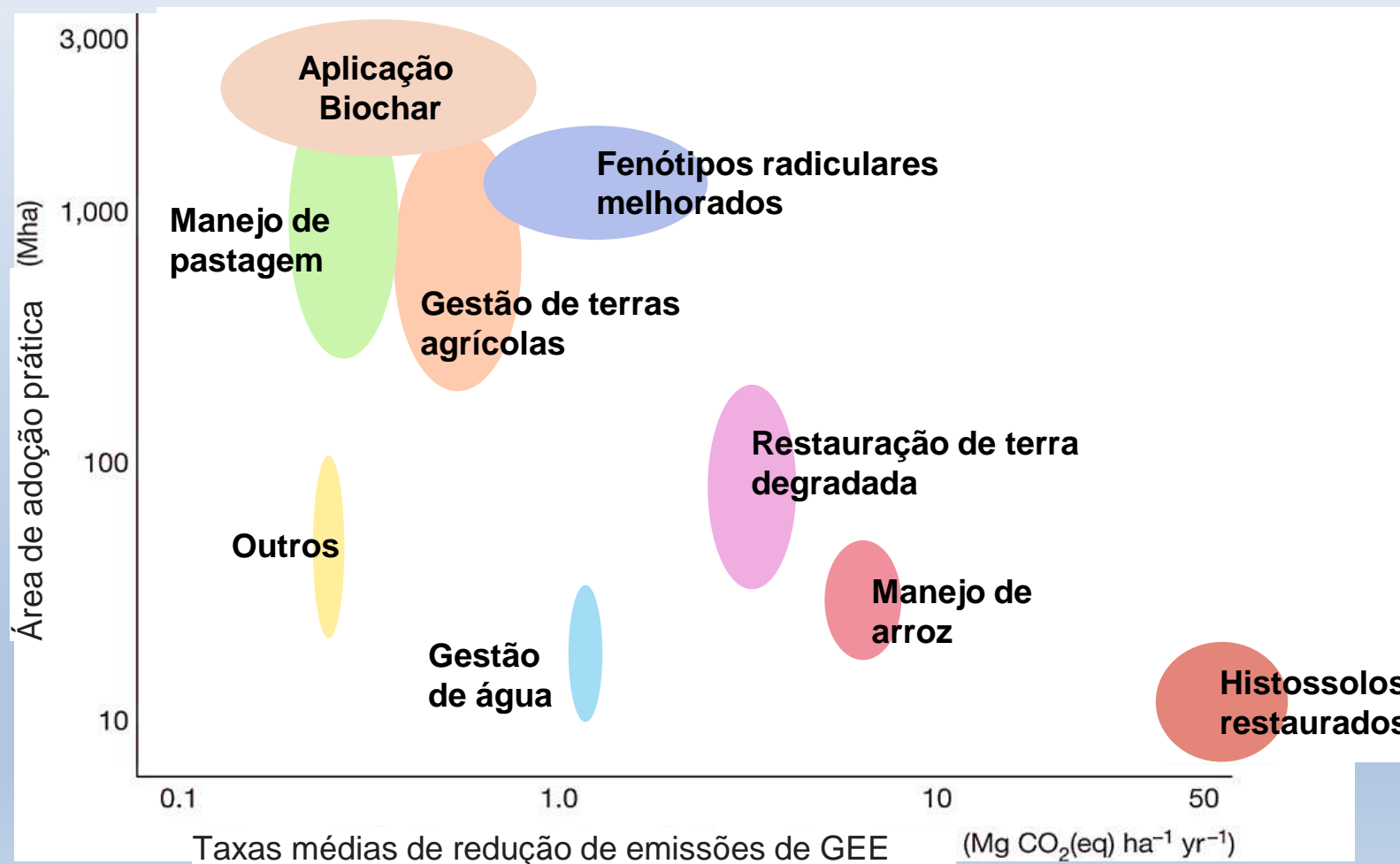
**Potencial global de mitigação em função de 'preços de C'**

5,3 Pg CO<sub>2</sub> a 1,5 Pg CO<sub>2</sub> (eq)

Menor preço C especificado = US\$ 20 por Mg de CO<sub>2</sub> (eq)

As taxas médias para a maioria das intervenções de manejo são <1 Mg CO<sub>2</sub> (eq) por ha por ano

# Potencial global para mitigação de GEE pelo solo



# Implementação de práticas de mitigação



REGULAÇÃO E TAXAÇÃO



SUBSÍDIOS



GREEN-PRODUCTS



CAP-AND-TRADE

# Expansão do papel do solo na mitigação de GEE



## Ciência e tecnologia

Pesquisa básica no processo vegetal do solo

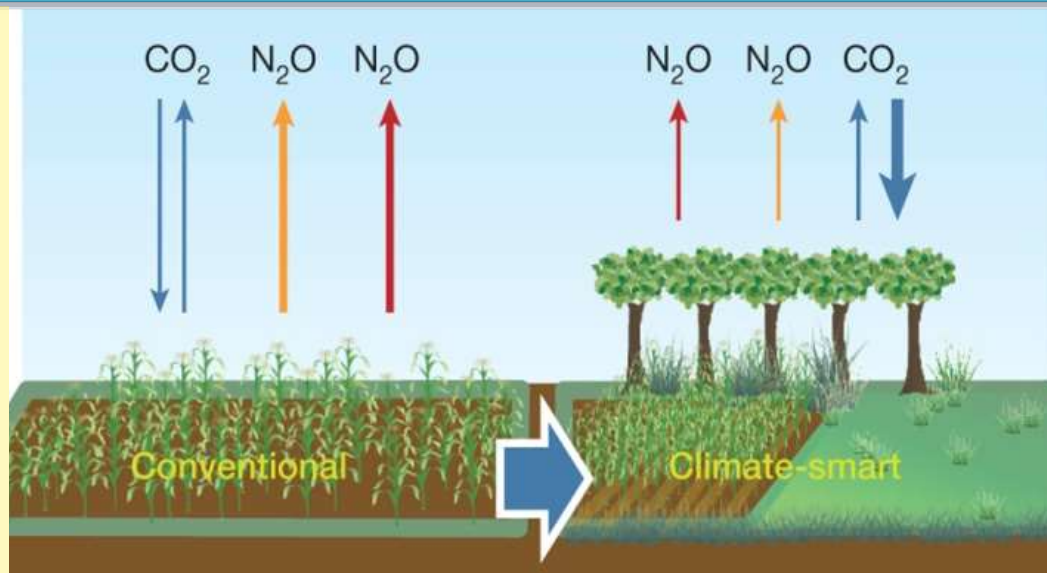
Redes de medição de pesquisa

Redes de monitoramento de solo

Redes avançadas de gases de efeito estufa

Sensoriamento remoto

Bancos de dados espaciais e integração de modelos



## Práticas

Baixo Revolvimento

Biochar

Restauração de terras

Melhor rotação de culturas

Composto orgânico

Manejo de nutrientes

Culturas de cobertura

Agrofloresta

## Implementação

Programa nacional e internacional de mitigação de gases de efeito estufa

Mercados de compensação de gases de efeito estufa e serviços ecossistêmicos

Gestão de cadeia de fornecimento de produtos agrícolas

Sistemas de suporte à decisão

Engajamento do usuário da terra



# Quantificação de Incertezas

MUDANÇAS NOS ESTOQUES DE C

FLUXOS DE GEE

INCERTEZAS

- Parametrização inadequada
- Limitações na entrada de modelos

Clima

Dados dos Solos

Em programas de agricultura inteligentes modelos fornecerão a **estrutura mais robusta**

- ✓ Sistemas de monitoramento
- ✓ Relatórios
- ✓ Verificação



Desconto de pagamentos

Incentiva esforços de monitoramento para reduzir a incerteza ao longo do tempo



**MÉTODOS + AVANÇADOS**

# Quantificação de Incertezas

## INCERTEZAS

Estoque de C  
Emissões de GEE



**INDIVÍDUOS  
ISOLADOS**



"A agregação de muitas fazendas em projetos maiores reduzirá as incertezas → Possível gerenciar a incerteza e reduzir o desconto dos pagamentos de incentivo.

## ✓ Verificação

- Fornecer confiança
- Precisão das estimativas
- Observações atmosféricas de [gás] (modelagem inversa)
- Redes de monitoramento

# Conclusões

Buscar medidas de redução de **mudança climática** e a **mitigação de GEE** viáveis economicamente e ambientalmente sustentáveis



Necessário planejamento de **políticas eficazes** que promovam a mitigação de GEE baseada no solo



A Inviabilidade de quantificar e verificar as atividades de mitigação do solo **impede a implementação** de estratégias mais agressivas



↑ Bases de dados para melhorar modelos, além de novos modelos para estimular a inovação e abordagem mais aberta de desenvolvimento



Envolvimento dos **proprietários** de terra que implementaram as práticas que diminuem as emissões de GEE e sequestram C.

# Recomendações



## **SUPERAÇÃO DESSA BARREIRA:**

- ↑ aceitação do manejo do solo dentro dos mercados C;
- ↓ custos para o governo por fornecerem subsídios baseados no meio ambiente;
- Atender às demandas dos consumidores por produtos de 'baixo carbono



**MANEJO DO SOLO INTELIGENTE EM  
TERMOS CLIMÁTICOS**

# Obrigado pela atenção



**Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP**  
**Departamento de Ciência do solo**

**[felipe.hipolito@usp.br](mailto:felipe.hipolito@usp.br)**  
**[gbm94@usp.br](mailto:gbm94@usp.br)**  
**[beatrizvanolli@usp.br](mailto:beatrizvanolli@usp.br)**