

1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I  
Introdução à Modelagem de Culturas Agrícolas

Prof. Quirijn de Jong van Lier  
Prof. Fábio R Marin

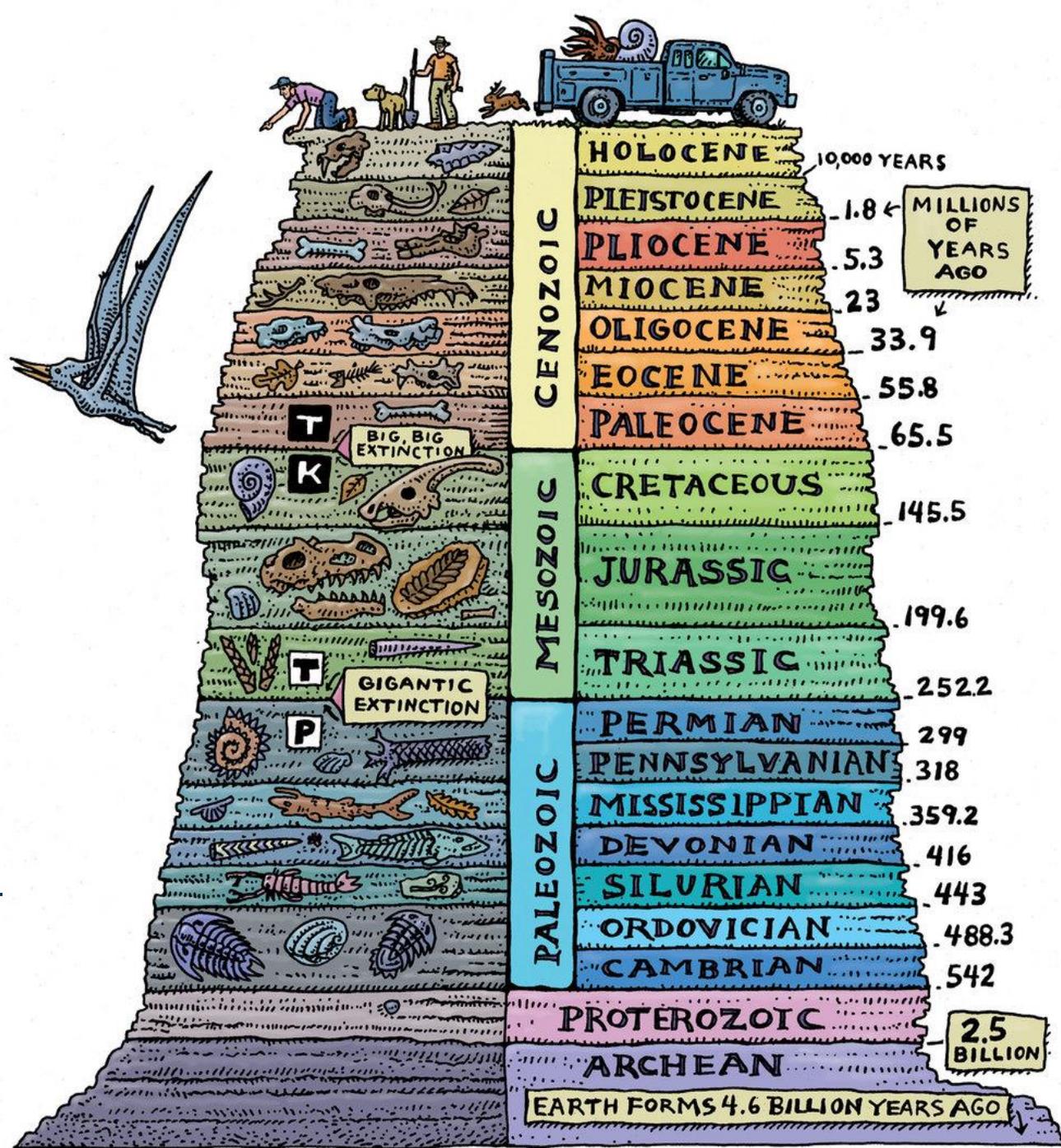


1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I



# História da Terra e da Humanidade

- Registros indicam que o primeiro ser humano (*Homo sapiens*) foi descoberto há cerca de 200 mil anos.
- Desde então, estima-se que a humanidade tenha passado por 3 Revoluções Agrícolas



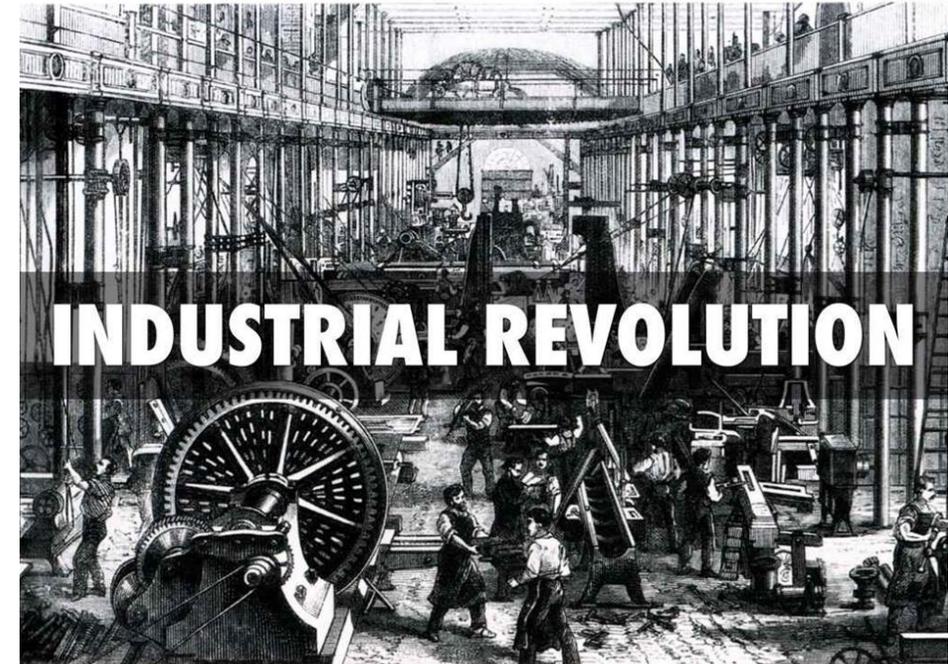
# Primeira revolução agrícola

- Entre 10 e 8.500 aC, na região que atualmente compreende Egito, Israel, Turquia e Iraque iniciaram o processo hoje conhecido como agricultura, plantando grãos ao invés de colhê-los na natureza.
- Por volta de 7.000 aC: domesticação de ovelhas, porcos e cabras. Cerca de mil anos depois, iniciou-se a domesticação do gado.



# Revolução Agrícola Britânica

1. Coincide com a Revolução Industrial (1800 - 1950)
2. Mecanização e advento de novas invenções e tecnologias (tratores, semeadoras);
3. Avanço no comércio global de alimentos;
4. Crescimento demográfico atinge um novo patamar
5. Tem relação com o padrão genético atualmente utilizado - homogeneidade



# Revolução Verde

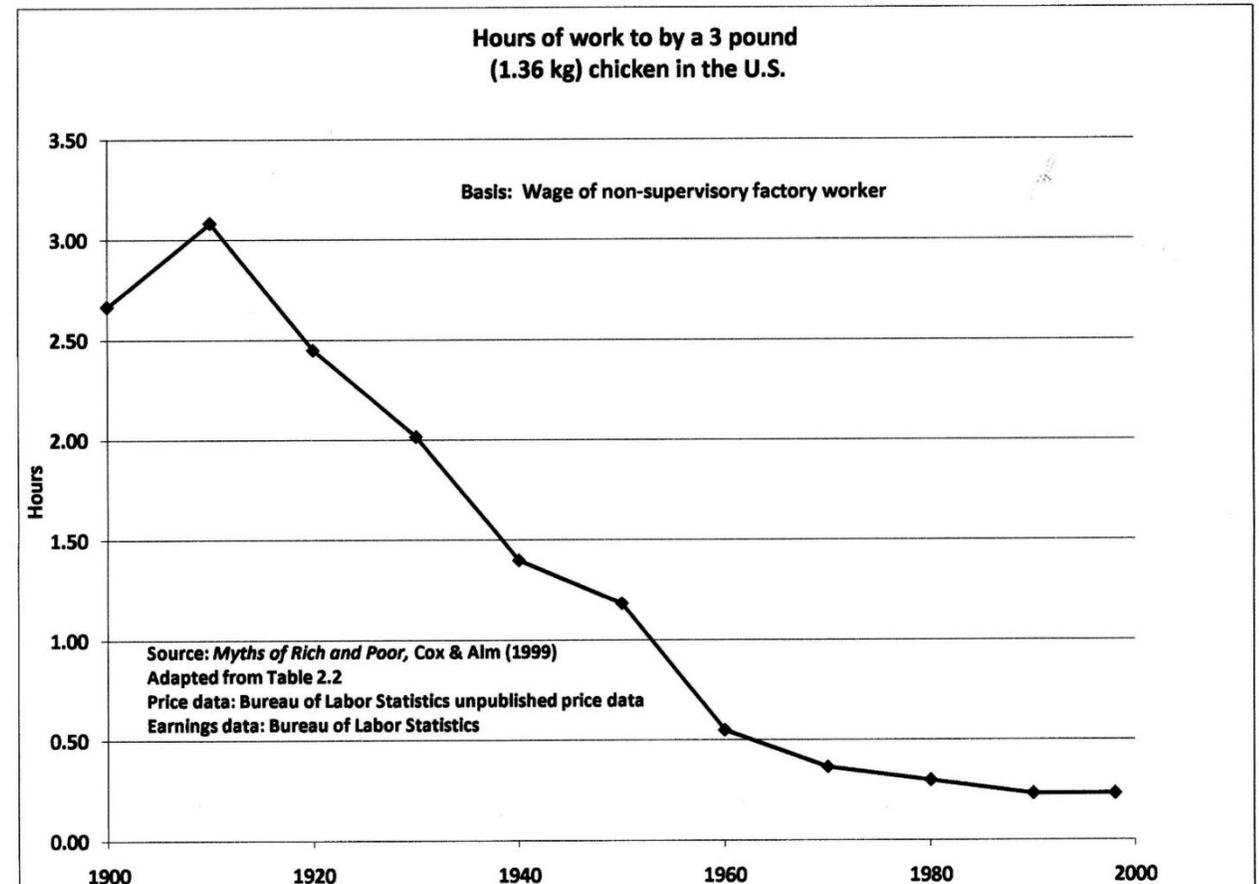
1. Na segunda metade do século XX, revolução agrícola contemporânea:
2. motorização-mecanização,
3. seleção de variedades de plantas e de animais, fertilizantes,
4. alimentos concentrados para o gado, químicos para controle de pragas, doenças e daninhas;
5. Progressão vigorosamente nos países desenvolvidos e em regiões agrícolas de países subdesenvolvidos



Norman Borlaug  
Nobel da Paz-1970

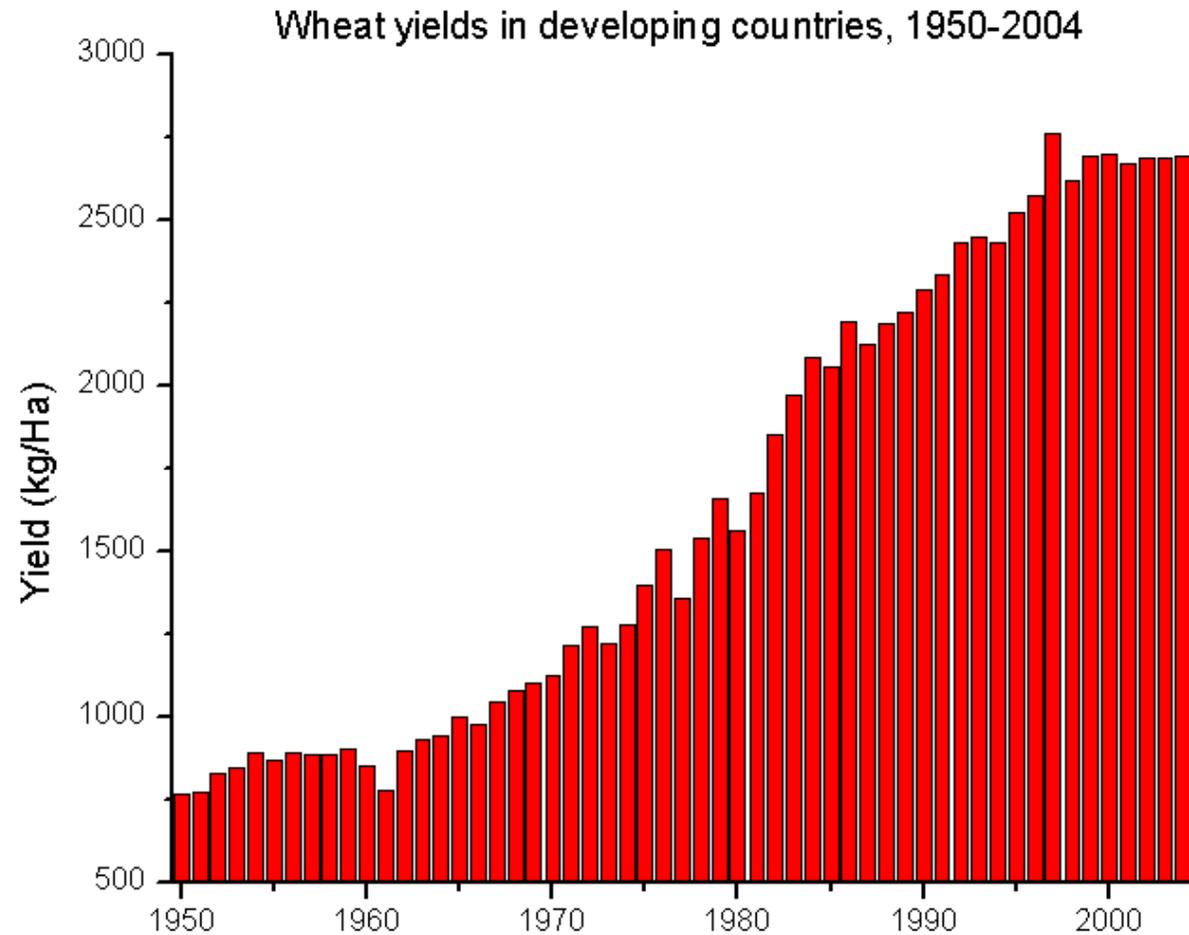
# Revolução Verde

O termo “Revolução Verde” refere-se a um conjunto de tecnologias e iniciativas de transferência que contribuíram para elevar a produção de alimentos pelo mundo, especialmente nos países em desenvolvimento, especialmente após 1960. Essas iniciativas foram lideradas pelo Prof. Norman Borlaug, conhecido como o pai da Revolução Verde.



Nutrição mineral, defensivos agrícolas, melhoramento genético e biotecnologia (OGM's), mecanização

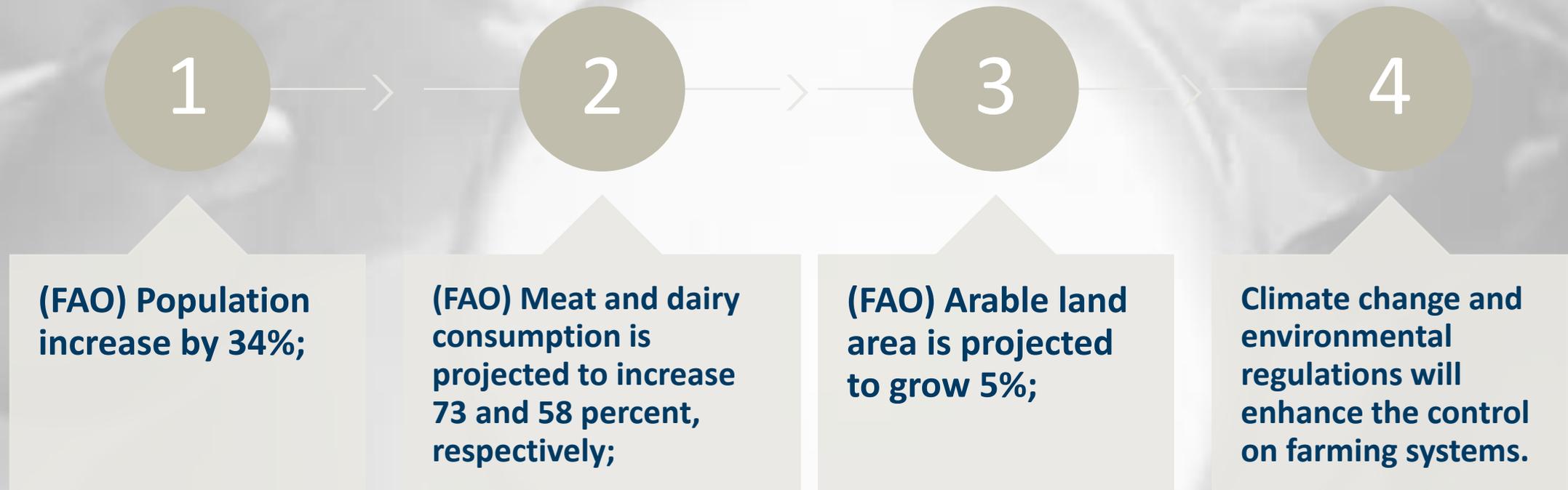
# Revolução Verde



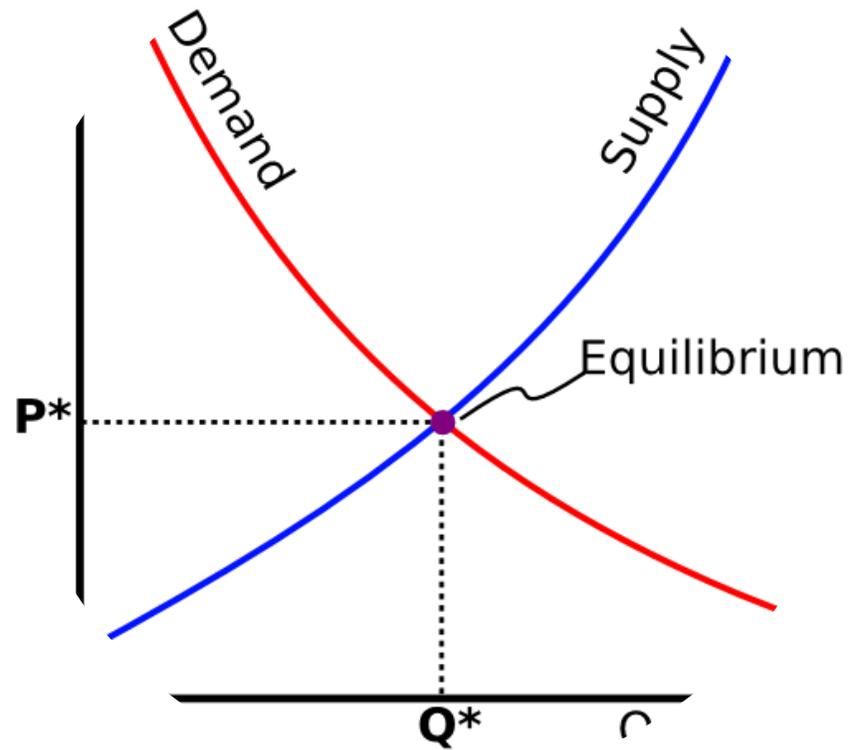
Source: FAO Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I



# Projected Global Changes for 2050



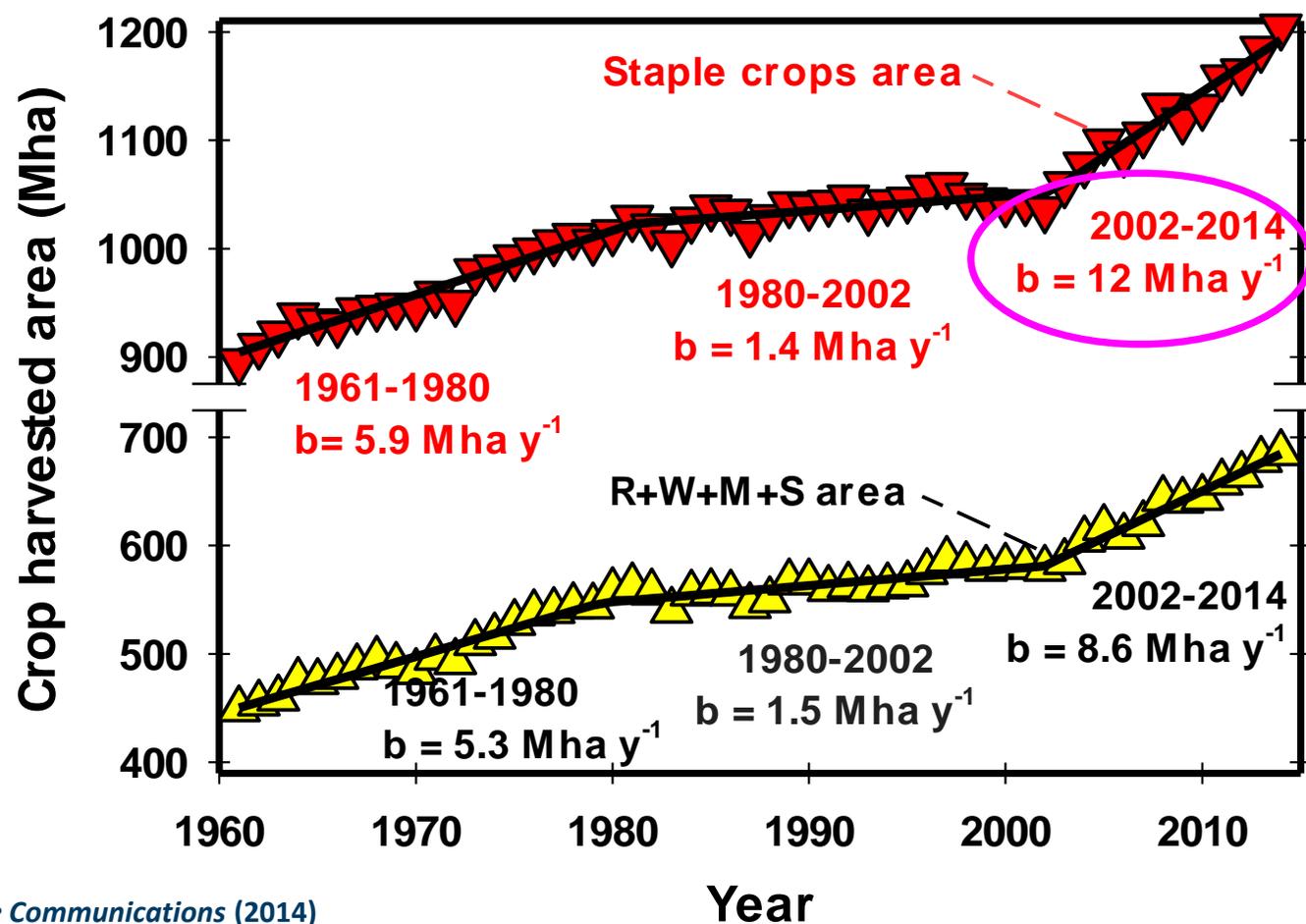
**Intensificação agrícola sustentável**



*Demanda crescente + oferta estável = aumento de preço*

# A time bomb in agriculture

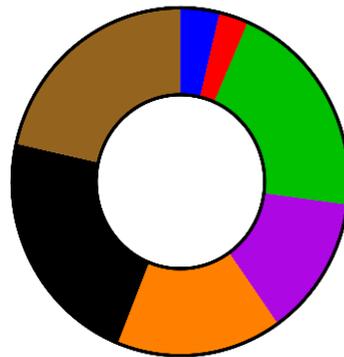
**Red symbols:** staple-crop area, which includes cereals, oilseed, pulses, sugar, root, fiber, and tuber crops.  
**Yellow symbols:** sum of rice (R), wheat (W), maize (M), and soybean (S) areas.



Source: Grassini et al., Nature Communications (2014)



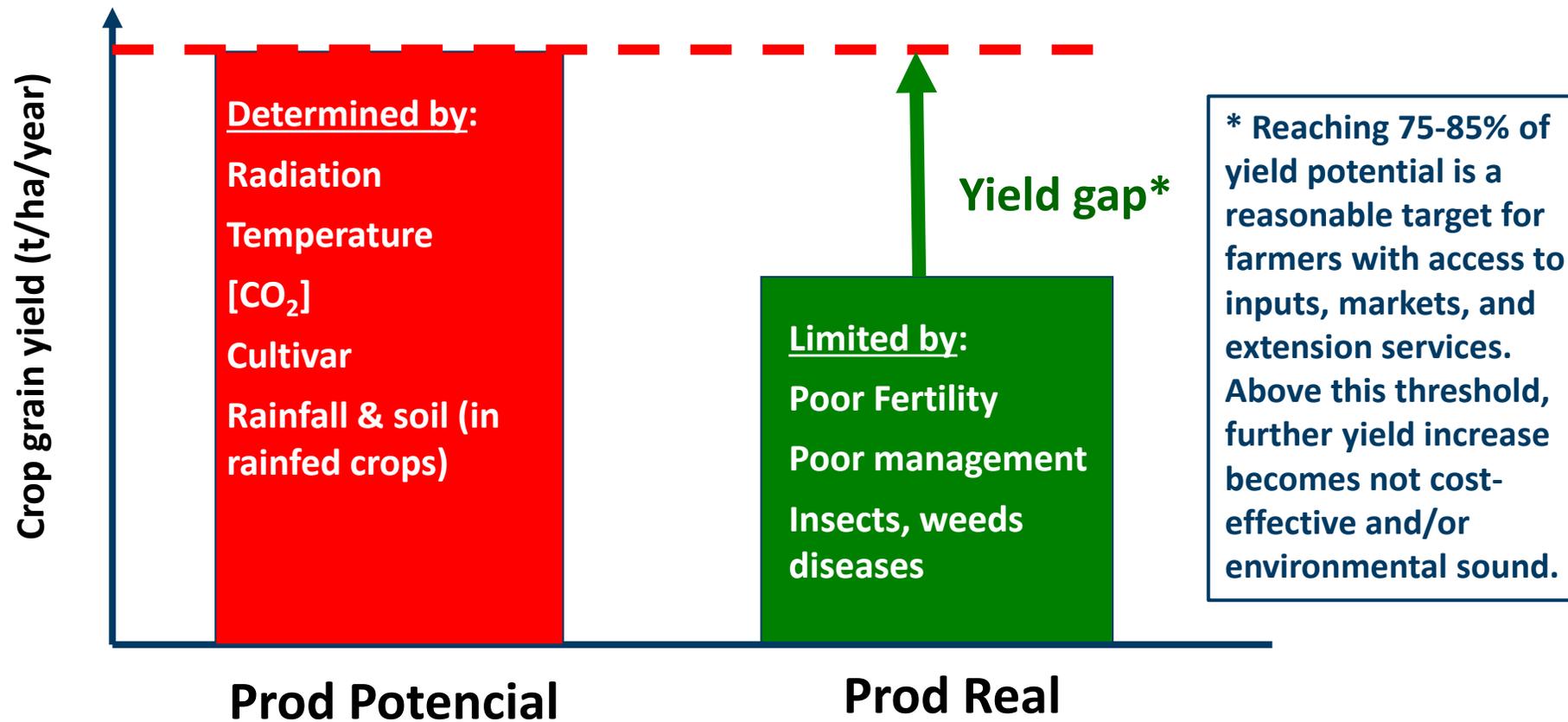
### Where is cropland area expanding?



- Sub-Saharan Africa
- South America
- Southeast Asia
- South Asia
- Central Asia
- North America
- Rest of the world



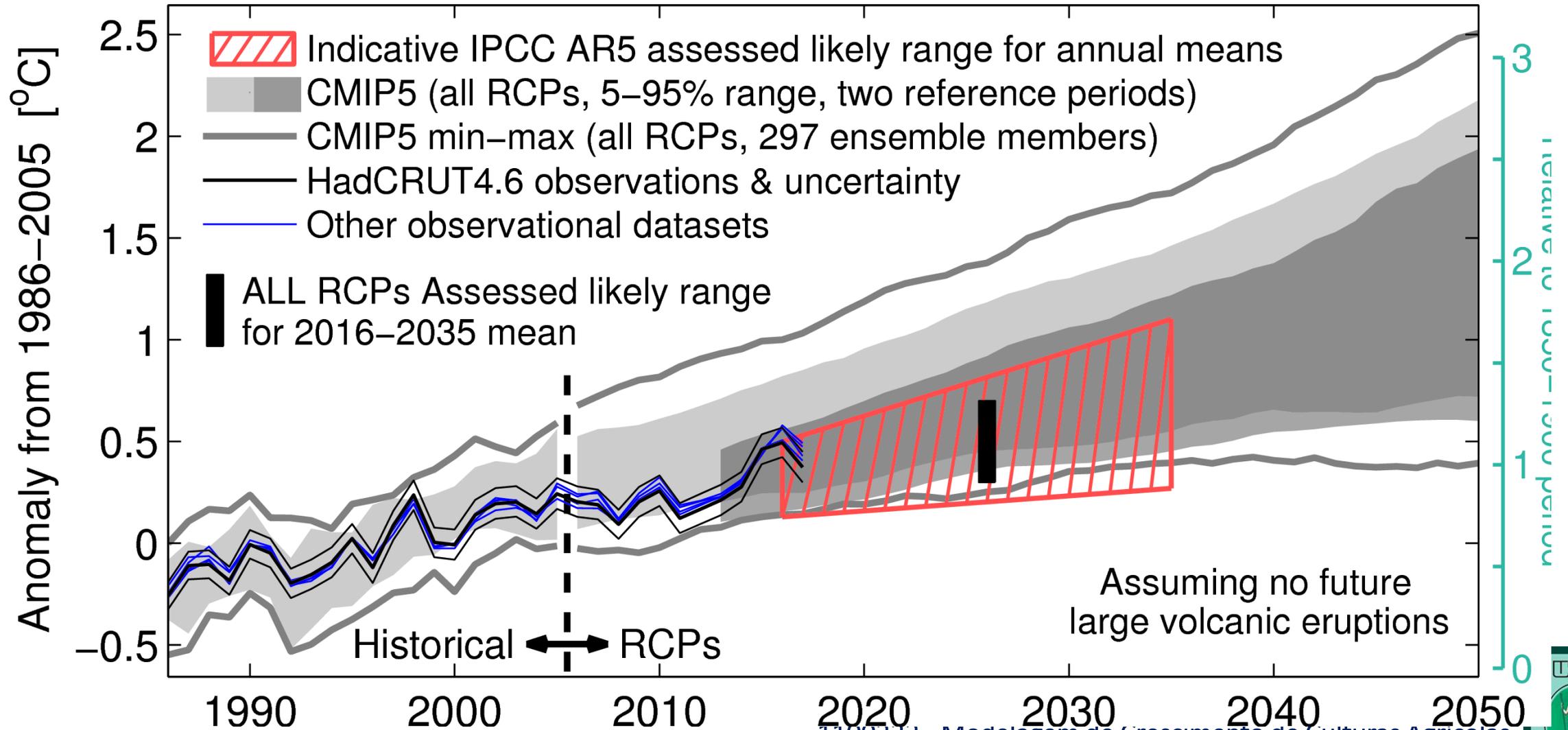
# Yield potential, farm yield, yield gaps and sustainable intensification



Modified from: van Ittersum and Rabbinge, *Field Crops Research* (1997)  
1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I



CMIP5 near-term global temperature projections: updated from IPCC AR5 Fig. 11.25

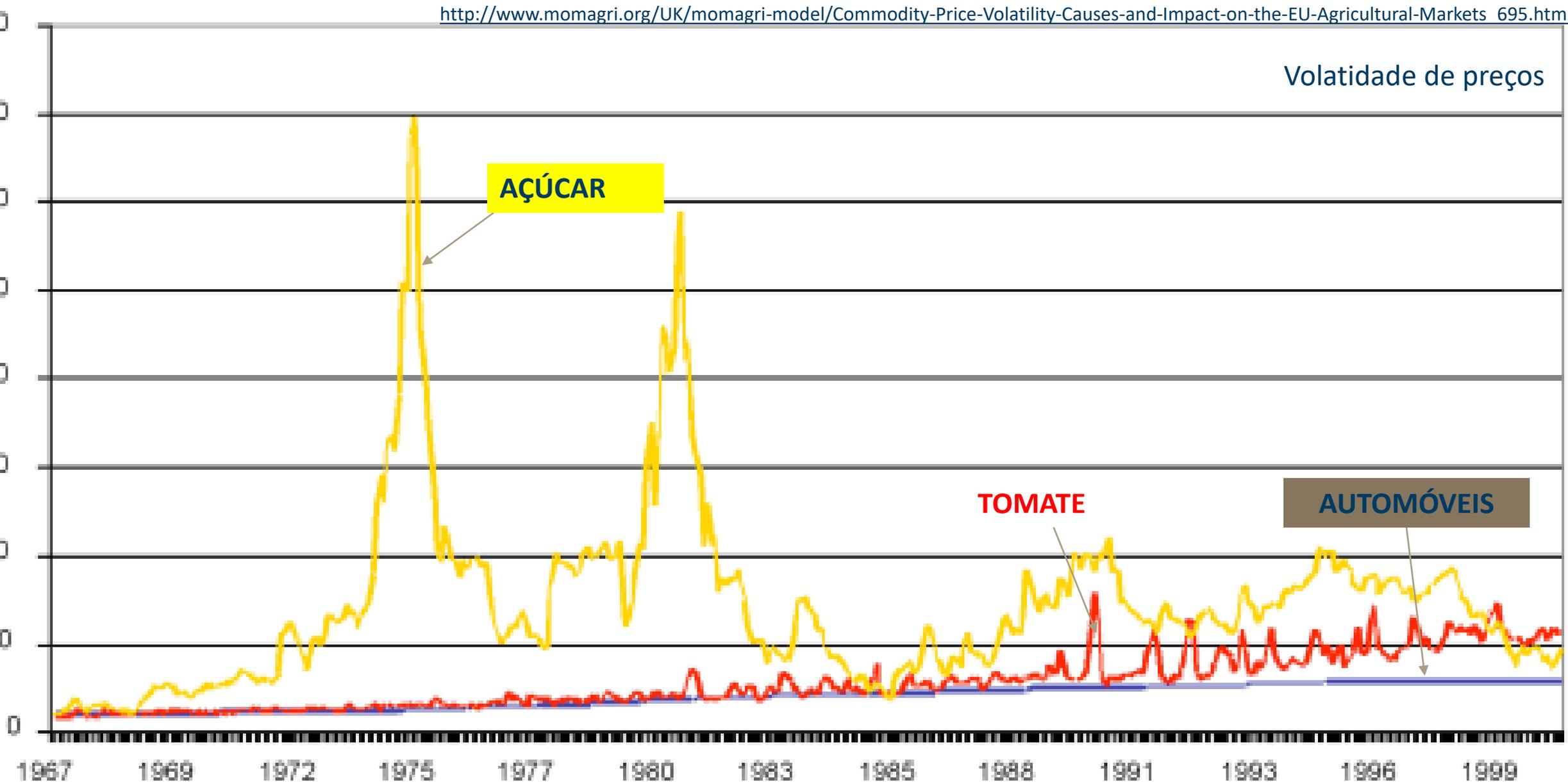


# Volatilidade de preços

**AÇÚCAR**

**TOMATE**

**AUTOMÓVEIS**



Automobiles

Tomatoes

Sugar

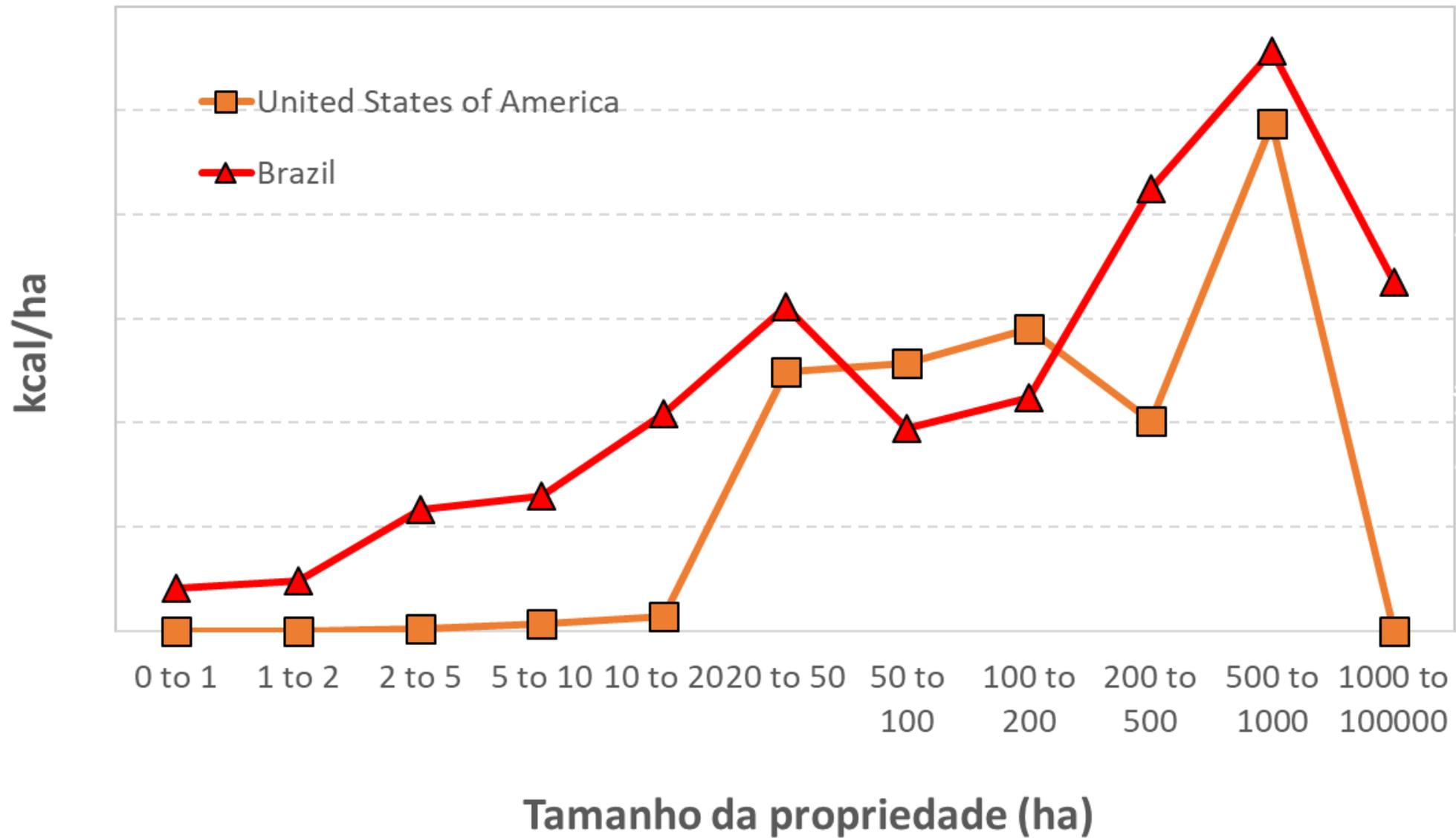
US CPI price index of new

Retail Price in main US cities

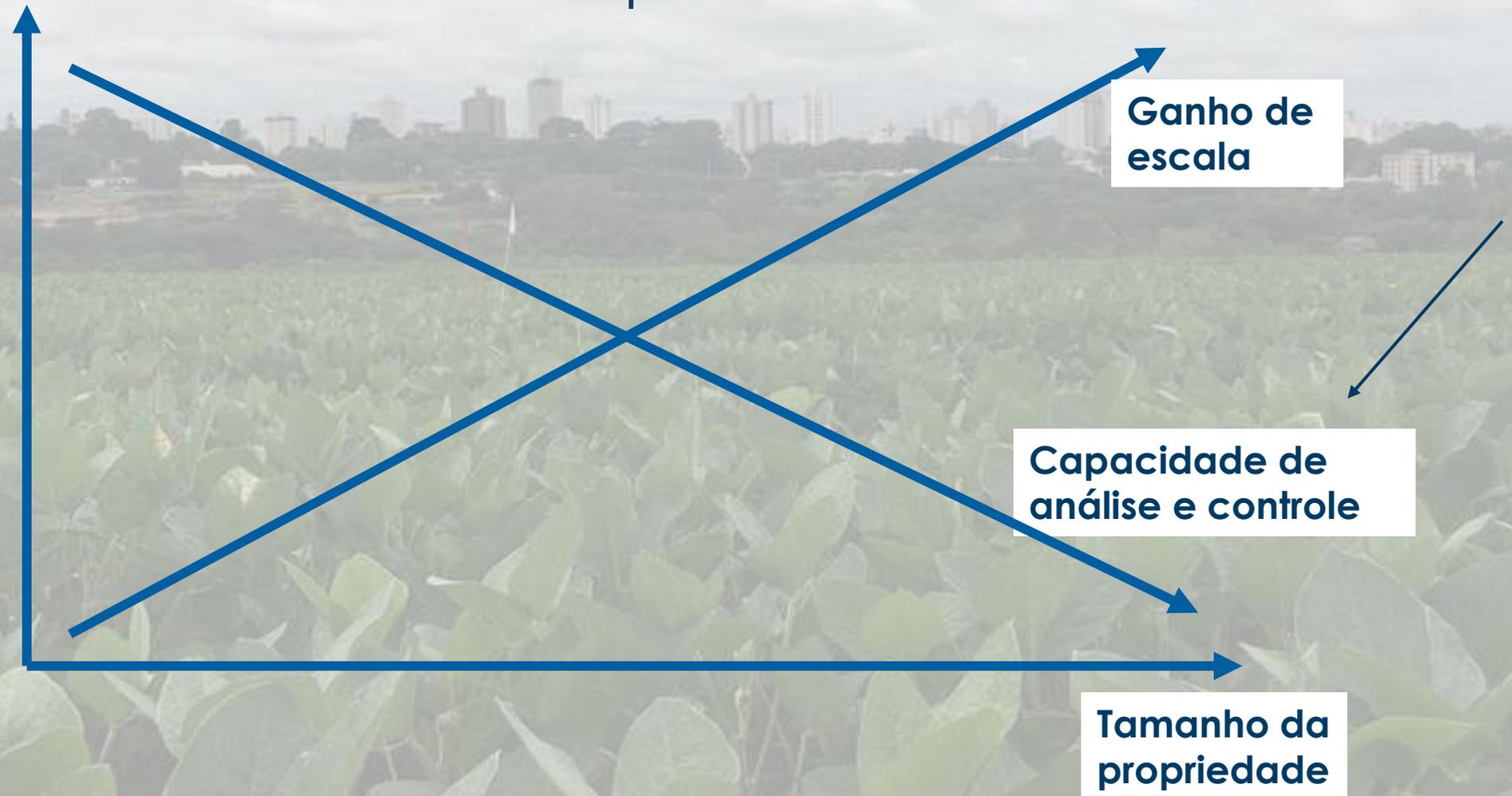
Sugar #11 Chicago Spot

Atmosfera





# Qual o nível de intensificação mais adequada?



Schumpeter

# Digital disruption on the farm

**Managers in the most traditional of industries distrust a promising new technology**

May 24th 2014 | From the print edition



830



Brett Ryder

INNOVATION is a word that brings to mind small, nimble startups doing clever things with cutting-edge technology. But it is also vital in large, long-established industries—and they do not come much larger or older than agriculture. Farmers can be among the most hidebound of managers, so it is no surprise that they are nervous about a new idea called prescriptive planting, which is set to disrupt their business. In essence, it is a system that tells them with great precision which seeds to plant and how to cultivate them in each patch of land. It could be the biggest change to agriculture in rich countries since genetically modified crops. And it is proving nearly as controversial, since it raises profound questions about who owns the information on which the service is based. It also plunges stick-in-the-mud farmers into an unfamiliar world of “big data” and privacy battles.

o Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I

# TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO AGRO

1. Transformação Digital é toda adaptação necessária, com o uso de meios digitais, estimuladas pelas forças da economia.
2. Trata-se, em suma, da racionalização do uso de insumos, da terra, da água, de energia, para a intensificação agrícola sustentável
3. Tem forte relação com a dificuldade de controle que envolve a operação agrícola, com implicação sobre os padrões de manejo e no uso eficiente de insumos.

# O Que é um Modelo?

- *Wikipedia: Um modelo é um padrão, um plano, uma representação ou descrição feita para demonstrar o funcionamento de um objeto, um sistema, ou conceito*
- *Modelos de simulação são representações relativamente simples do mundo real a nossa volta.*
- *Do latim: modulus – uma pequena proporção ou redução de um padrão*

# MODELAGEM / MODELOS

- Um modelo é uma representação simples de um processo ou fenômeno mais complexo;
- Para interpretar dados precisamos sempre de algum tipo de modelo, implícito ou explícito;
- Um modelo permite entender e prever fenômenos, analisar sensibilidades, indicar necessidades de pesquisa e experimentação, ...

***“Everything should be made as simple as possible, but not simpler”***

**Albert Einstein**

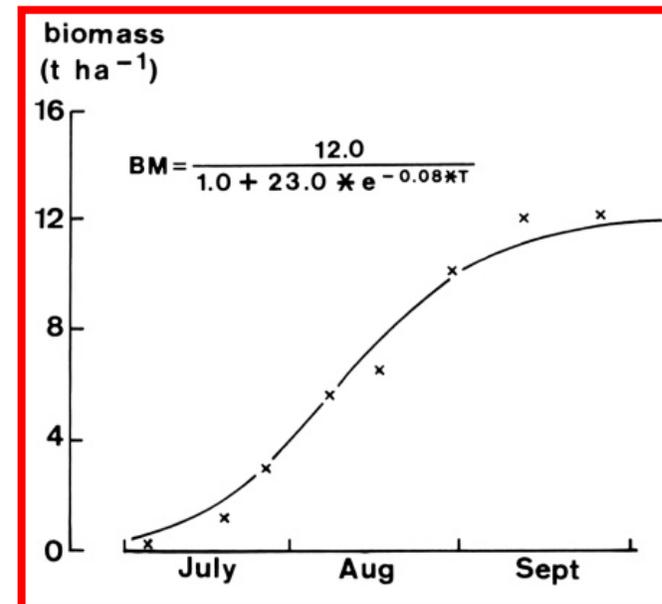
**Qualquer modelo do sistema agrícola ou ecológico requer conhecimento sobre seu funcionamento, bem como as condições iniciais e de contorno.**

# Tipos de Modelos

- Modelos Empíricos

- Modelos descritivos consistem em uma ou mais equações, e normalmente estão associados a características locais, com dificuldade para sua extrapolação.

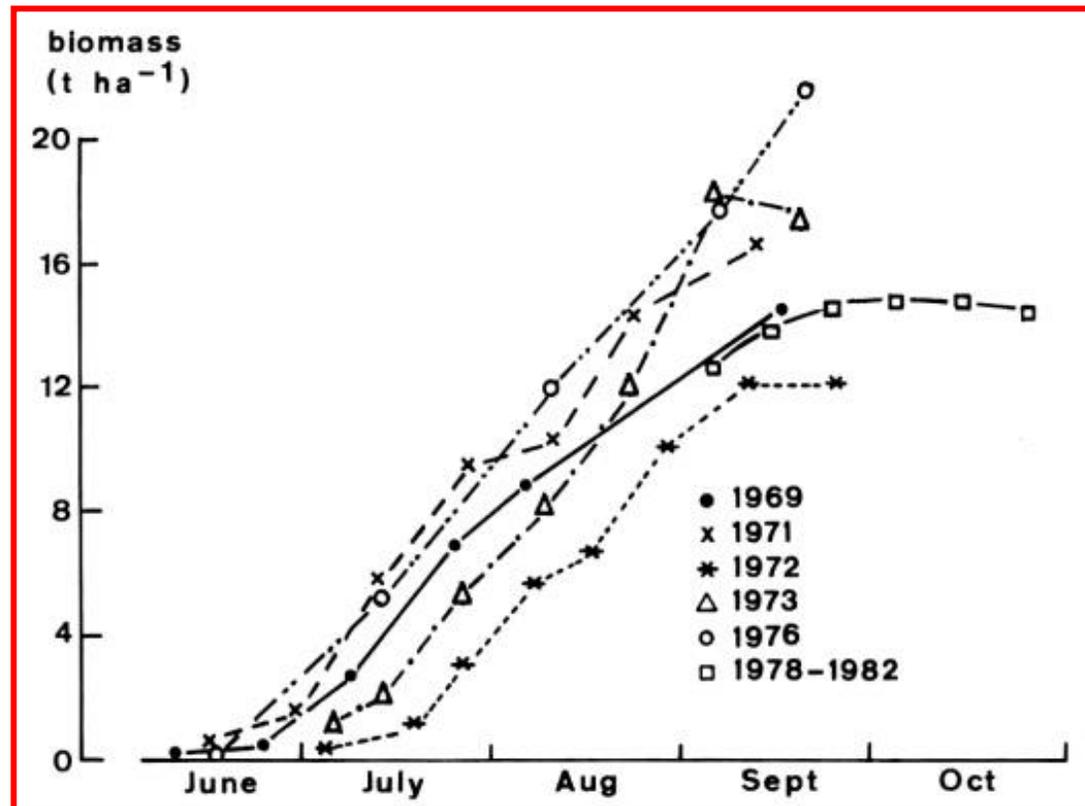
Observe a figura ao lado e note que a relação obtida é função da condição de umidade, temperatura etc, durante o período de medida da biomassa. Se as medições fossem realizadas continuamente, certamente outras equações seriam obtidas por causa da variabilidade natural do clima.



110022 Variação da massa seca de cultura de grãos agrícolas  
milho na safra de 1972, na Holanda. agrícolas I

# Tipos de Modelos

- Modelos Empíricos



Variabilidade meteorológica não contemplada.

Variação da massa seca de cultura de milho na safra em diferentes anos agrícolas, na Holanda.

Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I

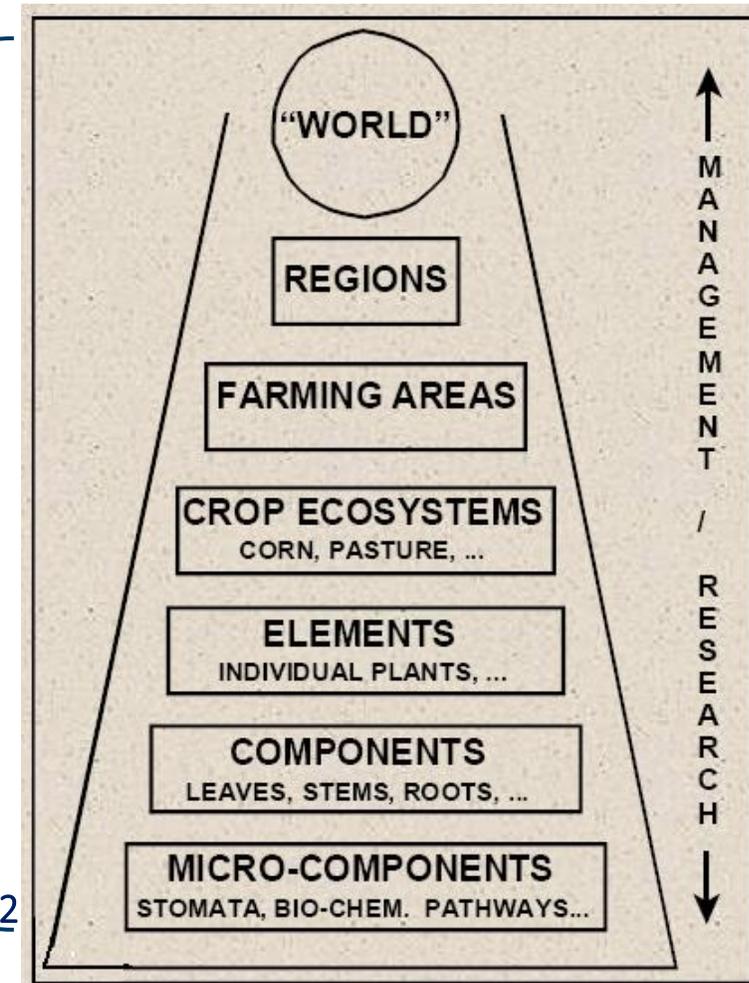
# Tipos de Modelos

- Modelos Mecanísticos

Sistemas vivos são compostos por subsistemas e componentes e cada deles interage entre simultaneamente de forma não-linear e caótica, por natureza. Por causa dessa complexidade, métodos clássicos (matemáticos-estatísticos) têm se mostrado inadequados quando aplicado para sistemas vivos (Jones & Lyuten, 1998).

Hierarquia e Escala de Análise dos Sistemas Biológicos e Agrícolas

110022

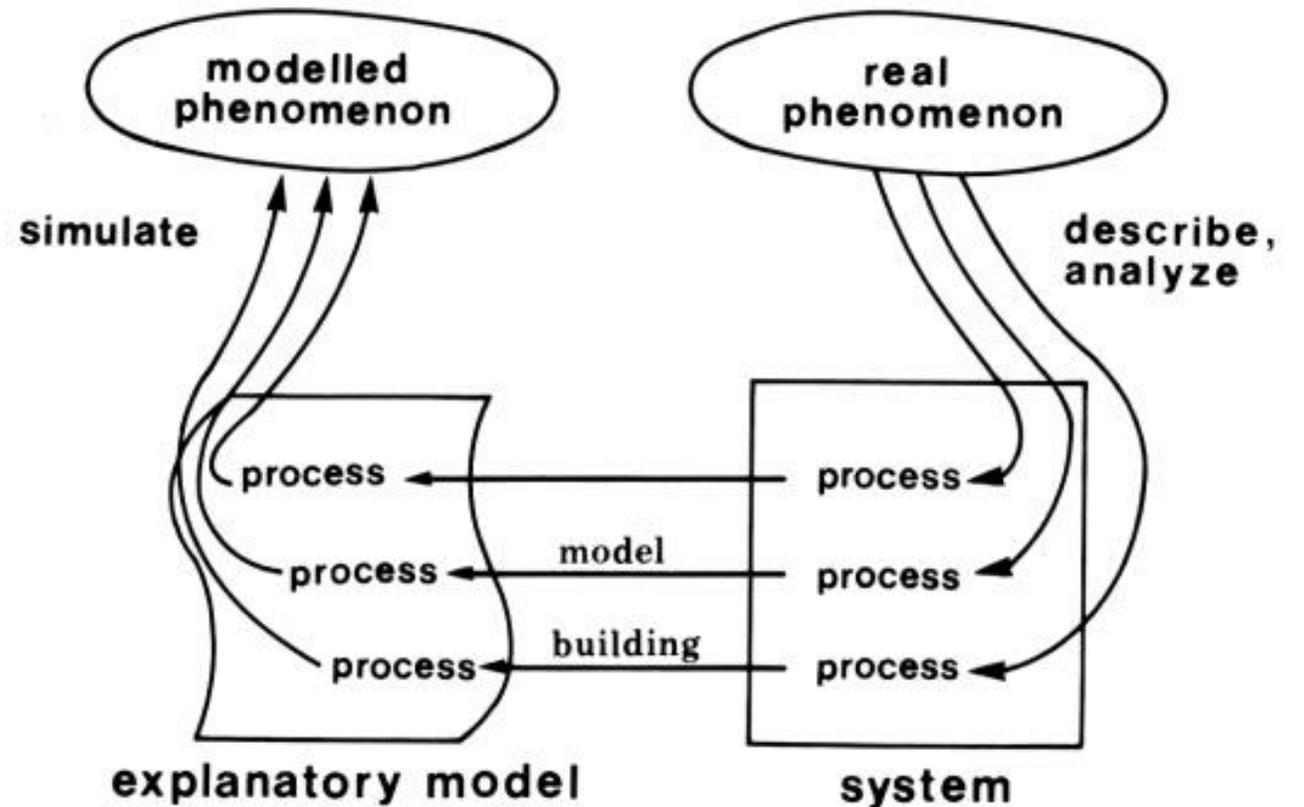


Agrícolas  
Agrícolas I

# MODELAGEM AGRÍCOLA MECANÍSTICA

Para criar e desenvolver um modelo, seus mecanismos são analisados e seus processos quantificados separadamente. Por isso, normalmente, modelos mecânicos têm módulos específicos para fotossíntese, expansão da área foliar, desenvolvimento radicular, etc.

“PROCESS BASED CROP MODELS”

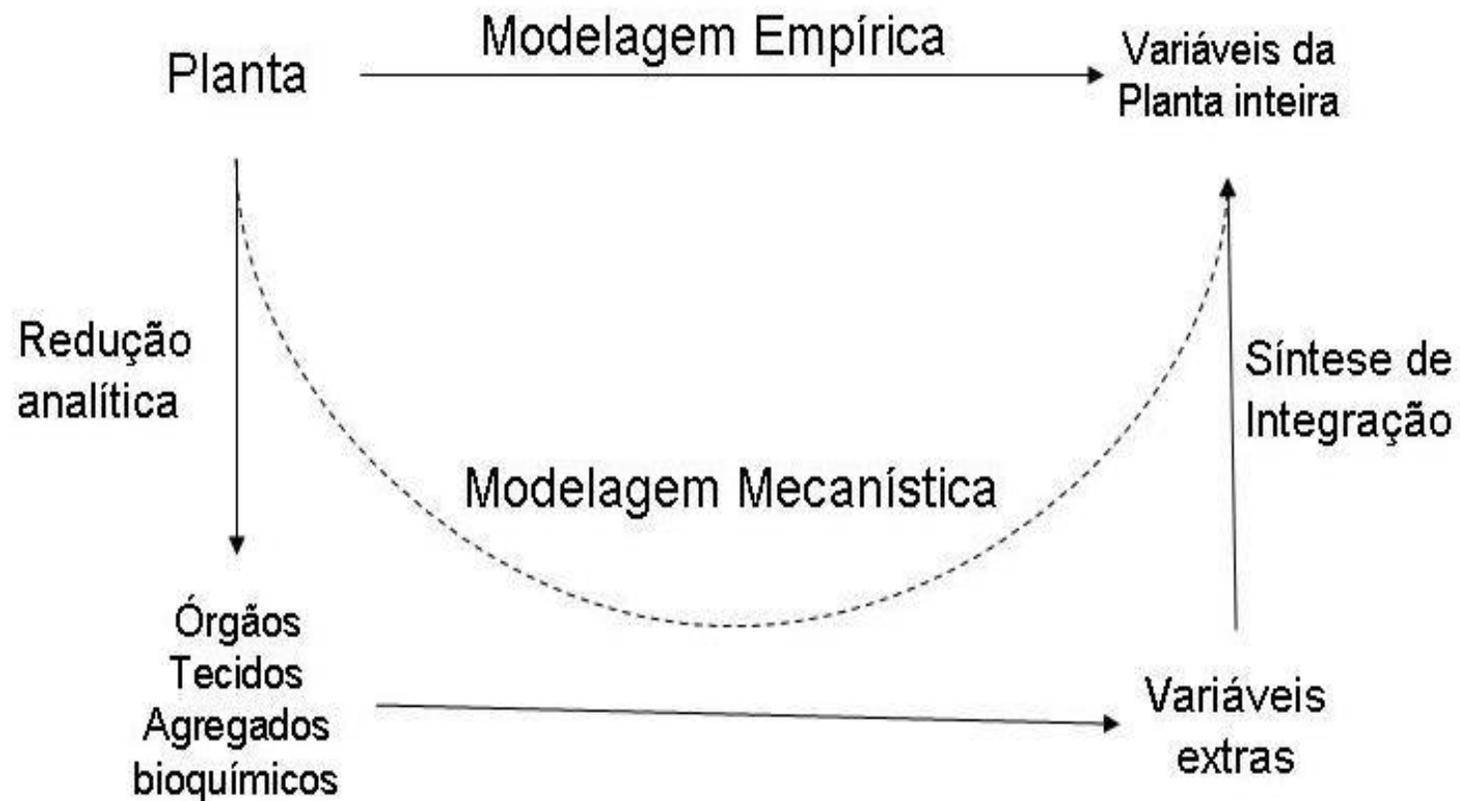


Thornley & Johnson. 1990.

1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I

# Tipo de Modelos

## Empíricos vs. Mecanísticos (em sistemas biológicos)



Thornley & Johnson (1990)

1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas

LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I

*"Crop modeling is hard science"*



# Modelagem e Simulação

- Modelos Conceituais – O início de tudo... (experimentação)



- **Simulação:** Ação ou efeito de simular; imitação de algo verdadeiro; fingimento, disfarce, dissimulação.
- **Simulação Computacional:** processamento de um programa em um computador para reproduzir o comportamento de um sistema biológico. A simulação parte de modelo conceitual implementado na forma de um código computacional para resolução numérica de um (ou vários) algoritmo(s) que representa o sistema em questão.

# Conceitos e Definições

- **Sistema:** coleção de componentes e suas inter-relações, agrupadas com o propósito de estudar alguma parte do mundo real. Dependente da visão do modelador sobre a realidade e do propósito da modelagem.
- **Ambiente e condições de contorno:** na definição do escopo de um sistema, é necessário definir seus limites e seu conteúdo. O ambiente inclui tudo, com exceção dos componentes do sistema. Ambiente afeta o sistema, mas o sistema não afeta o ambiente.

# Conceitos e Definições

- **Modelo:** Representação matemática de um sistema. Conjunto de equações na forma de códigos de programação que quantifica o conhecimento sobre o sistema. Em agricultura, por exemplo, sistema pode ser uma cultura; seus elementos podem ser as folhas, raízes, colmos, flores e frutos, e seus processos, a transpiração, fotossíntese, respiração, crescimento radicular, particionamento.

# Conceitos e Definições

- **Entradas e saídas:** variáveis de entrada (variáveis exógenas) são grandezas do ambiente que afetam o comportamento do sistema, mas não são influenciados por ele. Variáveis de saída representam numericamente o comportamento do sistema que é de interesse para o modelador.
- Na modelagem agrícola, há especial interesse em analisar variáveis meteorológicas e sua repercussão nos modelos.

# Conceitos e Definições

- **Parâmetros e Constantes:** são características dos componentes do sistema que permanecem inalteradas ao longo de uma simulação. Constantes são grandezas com valores suficientemente confiáveis que permanecem fixos ainda que as condições experimentais sejam modificados. Parâmetros são grandezas com maior incerteza e que podem ser alterados para configurar o modelo a uma situação específica de simulação.
- **Variáveis de Estado:** são grandezas que descrevem os componentes do sistema, mudando com o tempo conforme os componentes interagem entre si e com o ambiente.

# Conceitos e Definições

- **Calibração:** consiste em ajustar parâmetros para aproximar as simulações dos dados observados experimentalmente. A estrutura do modelo, portanto, permanece a mesma. Em alguns casos, a calibração é o único meio prático de estimar o valor de alguns parâmetros considerados em processos biológicos.
- **Validação:** é o processo de comparação das variáveis de saída com dados experimentais que não foram utilizados na calibração.

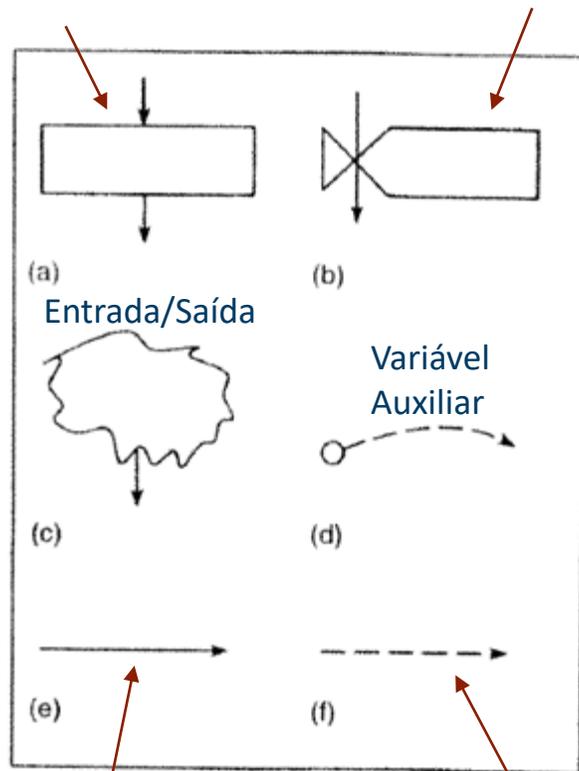
# Conceitos e Definições

- **Análise de Sensibilidade:** consiste na exploração do desempenho de um modelo pela variação nos valores dos parâmetros. A finalidade dessa análise é quantificar quanto a variação em um parâmetro influencia nas variáveis de saída de um modelo. Pode-se agrupá-las grosseiramente em dois modos de análise: local e global.

# Diagramas de Forrester

Variável de Estado

Taxa



(a)

Entrada/Saída

(b)

Variável Auxiliar

(c)

(d)

(e)

(f)

Fluxo de massa ou energia

Fluxo de informação

Exemplo:

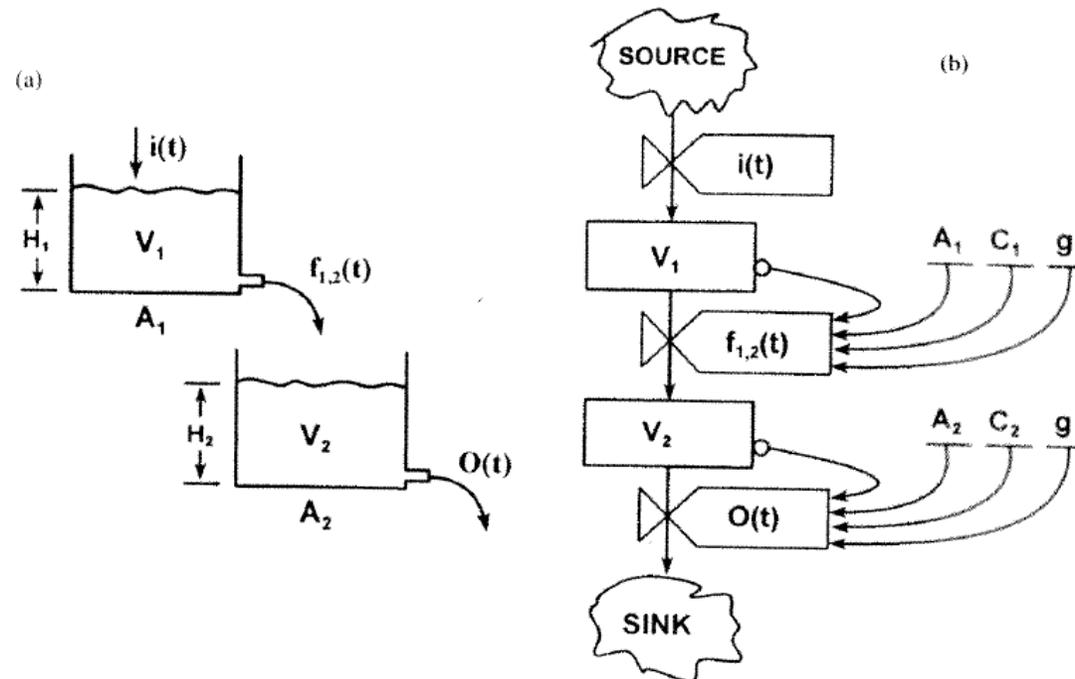


FIGURE 3 (a) Schematic of a two-tank water flow system; (b) the corresponding compartment model using Forrester (1961) notation; and (c) example results.

Jones & Luyten (1998)

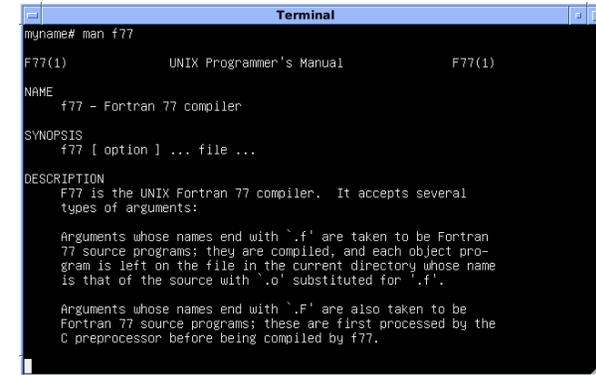
1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas

LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I



# Linguagem de Programação - Fortran

- Foi desenvolvida a partir da década de 1950 e continua a ser usada hoje em dia. O nome é um acrônimo da expressão "IBM Mathematical **FORM**ula **TRAN**slation System"



```
Terminal
myname# man f77
F77(1)          UNIX Programmer's Manual          F77(1)
NAME
  f77 - Fortran 77 compiler
SYNOPSIS
  f77 [ option ] ... file ...
DESCRIPTION
  F77 is the UNIX Fortran 77 compiler.  It accepts several
  types of arguments:

  Arguments whose names end with `.f' are taken to be Fortran
  77 source programs; they are compiled, and each object pro-
  gram is left on the file in the current directory whose name
  is that of the source with `.o' substituted for `.f'.

  Arguments whose names end with `.F' are also taken to be
  Fortran 77 source programs; these are first processed by the
  C preprocessor before being compiled by f77.
```

- A linguagem Fortran é principalmente usada em análise numérica. Apesar de ter sido inicialmente uma linguagem de programação procedural, versões recentes de Fortran possuem características que permitem suportar programação orientada por objetos.

- O Fortran permite a criação de programas que primam pela velocidade de execução. Daí reside seu uso em aplicações científicas computacionalmente intensivas como meteorologia, oceanografia, física, astronomia, geofísica, economia e modelagem agrícola.

- Comparações com Excel VBA mostraram redução de 87% no tempo de processamento numérico.

*“A melhor linguagem é a que você conhece”.*



# Linguagem de Programação - Python

- Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada e orientada a objetos. Foi lançada por Guido van Rossum em 1991. Atualmente possui um modelo de desenvolvimento comunitário, aberto e gerenciado pela organização sem fins lucrativos Python Software Foundation.
- A linguagem foi projetada com a filosofia de enfatizar a importância do esforço do programador sobre o esforço computacional, além de exigir poucas linhas de código se comparado ao mesmo programa em outras linguagens. Prioriza a legibilidade do código sobre a velocidade ou expressividade. Combina uma sintaxe concisa e clara com os recursos poderosos de sua biblioteca padrão e por módulos e frameworks desenvolvidos por terceiros.
- Foi considerada pelo público a 3ª linguagem "mais amada", de acordo com uma pesquisa conduzida pelo site Stack Overflow, em 2018, e está entre as 5 linguagens mais populares de acordo com uma pesquisa conduzida pela RedMonk.
- O nome Python teve a sua origem no grupo humorístico britânico Monty Python, criador do programa Monty Python's Flying Circus, embora muitas pessoas façam associação com o réptil do mesmo nome.



Fonte: Wikipedia

# A História

- Modelos foram desenvolvidos a partir da década de 1960. Poderosa ferramenta em ciências biológicas.
- Difusão dos computadores de pequeno porte e baixo custo.
- Interesse na interação não linear entre os componentes

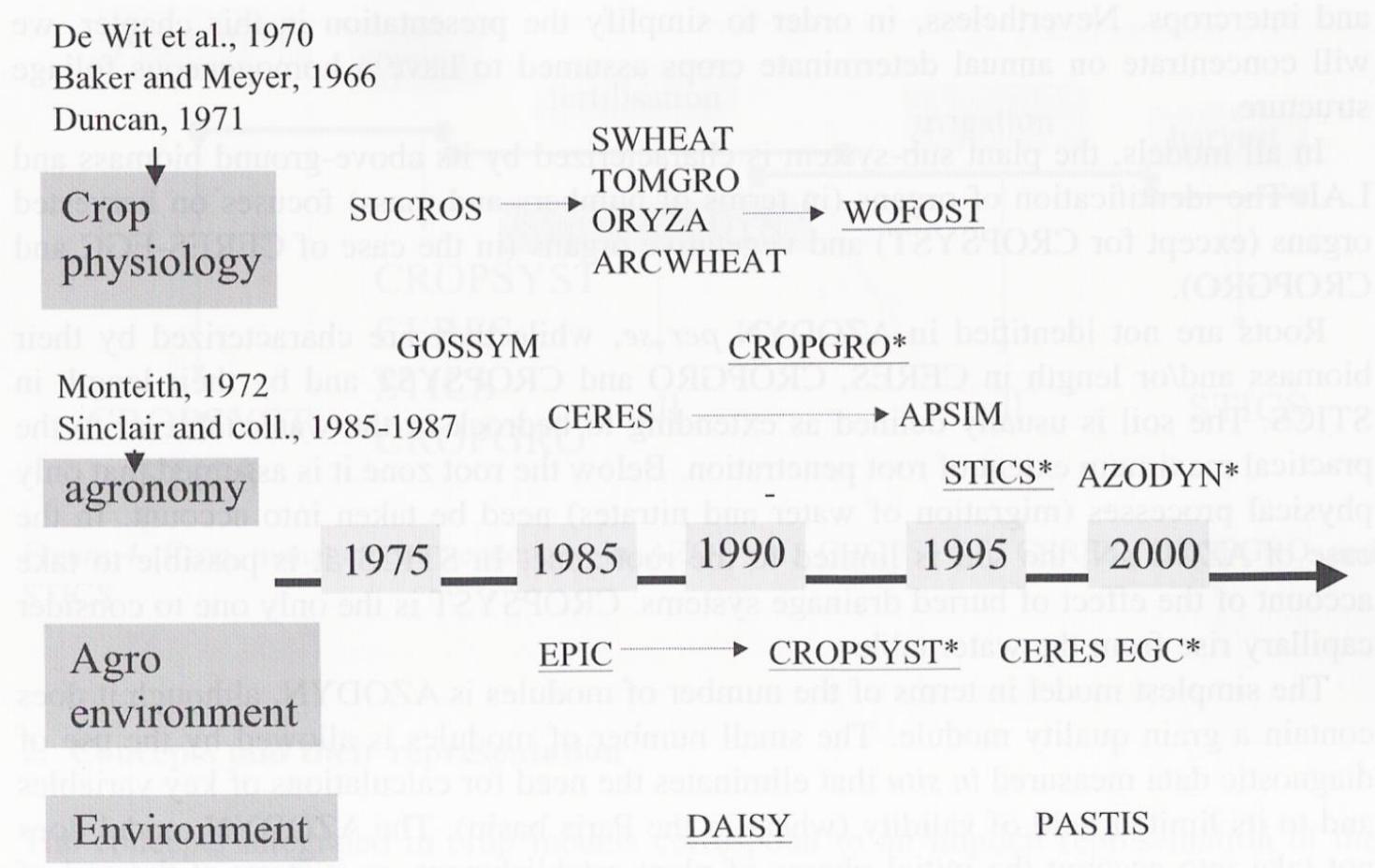


Figure 3. Chronology of crop modeling: underlined – generic models and \* – models described in detail in this presentation.

Brisson et al. 2006



# RAÍZES CIENTÍFICAS DA MODELAGEM AGRÍCOLA

UC-Davis  
Loomis & Willians 1963



Wageningen UR  
de Wit 1965

University of Florida  
Zur & Jones, 1981



CSIRO  
Muchow et al., 1996

University of Florida  
IBSNAT (1988)



# Sistemas de modelagem de culturas agrícolas mais utilizados no mundo

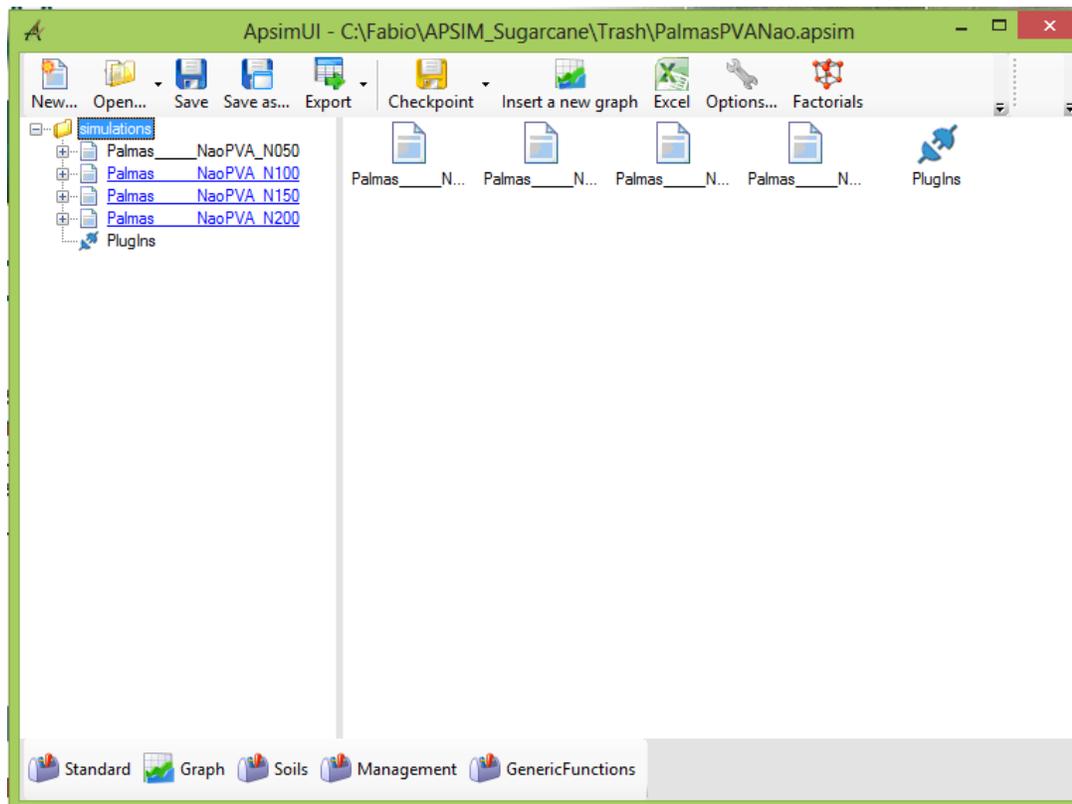
## STICS



1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I

# Sistemas de modelagem de culturas agrícolas mais utilizados no mundo

## APSIM



2 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I



# Sistemas de modelagem de culturas agrícolas mais utilizados no mundo

## SWAP

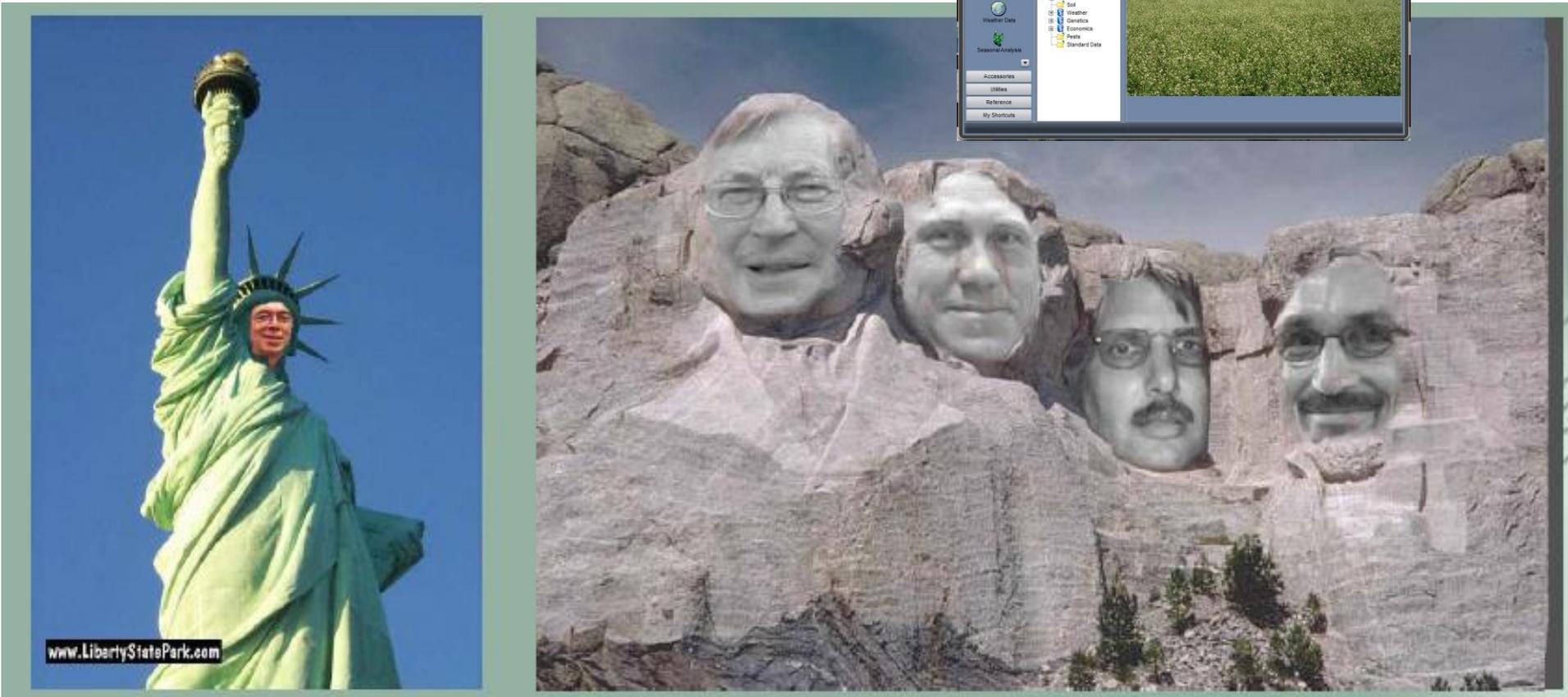
```
C:\Users\Fabio\Documents\setupSwap32\swap3236\executable\swap.exe
running swap ....
ERROR in FOPENG: File does not exist

Arguments of the CALL to FOPENG leading to this error:
Unit          = 11
File name     = swap.swp
File status   = RDO
File type     = FS
Record length = 0
Delete privilege =
Fatal execution error, press <Enter>
```



# Sistemas de modelagem de culturas agrícolas mais utilizados no mundo

## DSSAT



[www.LibertyStatePark.com](http://www.LibertyStatePark.com)





OBRIGADO!

1100222 - Modelagem de Crescimento de Culturas Agrícolas  
LEB5048 - Modelagem de Culturas Agrícolas I

