



Introdução

- Modelagem = ferramentas formais para busca de conhecimento:
 - Vantagens: evita ambiguidades, permite inferências
 - Desvantagens: linguagens limitadas, formação acadêmica necessária, processo de modelagem...
 - Instrumentos
 - Matemática
 - Computação
- ✓ **Apresentação de hoje:**
- ✓ ***Importância dos pressupostos teóricos e metodológicos do processo de modelagem***
 - Natureza do objeto?
 - Objetivos do modelo?
 - ✓ ***Questão da sustentabilidade (desenvolvimento sustentável)?***

Modelagem matemática, para quê?

- ▶ Modelos matemáticos para
 - Prever
 - Explicar
 - Otimizar
 - Comunicar

- ▶ Natureza do objeto?
 - Fechado (controlável)
 - Aberto (não controlável)

Sistemas de produção agropecuária são sistemas complexos

- ▶ Complexidade
 - Matemática: relações não-lineares
 - Física: estruturas dissipativas
 - *Determinismo e imprevisibilidade*
 - *Auto-organização*
 - *Evolução, história...*
- ▶ Sistemas complexos são sistemas abertos, apresentando propriedades novas ao longo do tempo
- ▶ Muitas dessas propriedades são emergentes, as quais tornam os sistemas complexos não-controláveis
- ▶ **Conceito desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade x complexidade?**

Desenvolvimento sustentável, uma abordagem baseada na complexidade

- ❖ Processo aberto, porém inteligível, e determinado, porém imprevisível => as trajetórias de desenvolvimento são específicas;
- ❖ desenvolvimento não corresponde a um estado específico, mas à **capacidade de evoluir da sociedade**;
- ❖ não há países ou regiões desenvolvidos, mas países e regiões capazes de se desenvolver (evoluir);
- ❖ sociedades que se desenvolvem sofrem mudanças (e mesmo crises e renovações...), portanto **sustentabilidade** não pode ser sinônimo de preservação.
- ✓ *Promover o desenvolvimento sustentável não é procurar atingir um estado específico e pré-definido, mas estimular **propriedades sistêmicas**.*
- ✓ *A definição do que é ou não um desenvolvimento sustentável só tem sentido a partir da **análise de situações concretas** e das **possibilidades** oferecidas por elas.*
 - ✓ *Ciência em condições não controláveis*
 - ✓ *Modelagem de sistemas abertos*

Modelagem matemática de sistemas abertos

- ▶ Uso qualitativo da modelagem matemática (método quantitativo!)
 - Compreender o comportamento do sistema e não prever um estado futuro específico do mesmo
 - Ênfase na relevância, na consistência e na operacionalidade (e não na representatividade)
- ✓ *Modelos prospectivos (sub-ótimos...)*
- ✓ *Modelos (relativamente) agregados com um número (relativamente) restrito de variáveis*
- ✓ **Modelos para aprender e não para controlar**
 - ✓ *Compreensão progressiva e metódica do sistema*
 - ✓ *Processo coletivo de aprendizagem, inclusive com os agricultores...*
 - ✓ *Definir normas técnicas??*
 - ✓ *Potencializar a capacidade de evoluir...*

Ferramentas matemáticas e computacionais

- ▶ Modelos gráficos lineares
 - Análise global de sistemas e subsistemas
 - *EXCEL*
- ▶ Sistemas dinâmicos
 - Comportamento do sistema ao longo do tempo
 - *Programa Stella e (muitos) outros (EDO)*
- ▶ Programação matemática
 - Comportamento do sistema em uma situação dada
 - Modelos de otimização
 - Programação linear e não-linear (?!?)
 - *Programa Lingo e (muitos) outros*

Modelagem de sistemas de produção por meio da programação matemática

- ▶ Modelo geral de programação matemática (PM):

$$\begin{aligned} & \text{Máx (min) } Z = \sum (c_i x_i) \\ & \text{Sujeito às restrições} \end{aligned}$$

$$\sum a_{im} x_i \leq b_m$$

Ou

$$\begin{aligned} & \text{Máx (min) } cx \\ & \text{Sujeito às restrições} \end{aligned}$$

$$Ax \leq b$$

Modelos de PM visando a sustentabilidade (1)

- ▶ Restrições de disponibilidade de recursos naturais

Máx (min) cx

Sujeito às restrições

$Ax \leq b$

$Dx \leq r$

- ▶ Programação multicritério (princípio da precaução)

- Maximin

Máx M

Sujeito às restrições

$Ax \leq b$

$Cx \geq M$

- Minimax

Min M

Sujeito às restrições

$Ax \geq b$

$Cx \leq M$

Modelos de PM visando a sustentabilidade (2)

- ▶ Escolha de sistemas alternativos (agroecológicos x convencionais, tratamento de dejetos, etc.)

Máx $c_k k + c_q q$

Sujeito às restrições

$K k \leq b$

$Q q \leq b$

$k - g a_1 \leq 0$

$q - g a_2 \leq 0$

$a_1 + a_2 = 1$

Onde

c_k = vetor dos resultados econômicos das atividades k

K = matriz de coeficientes técnicos das atividades k

b = vetor de recursos disponíveis

a_1 e a_2 = variáveis binárias (0 ou 1)

g = constante com valor elevado (em geral, $g >$ restrição de terra)

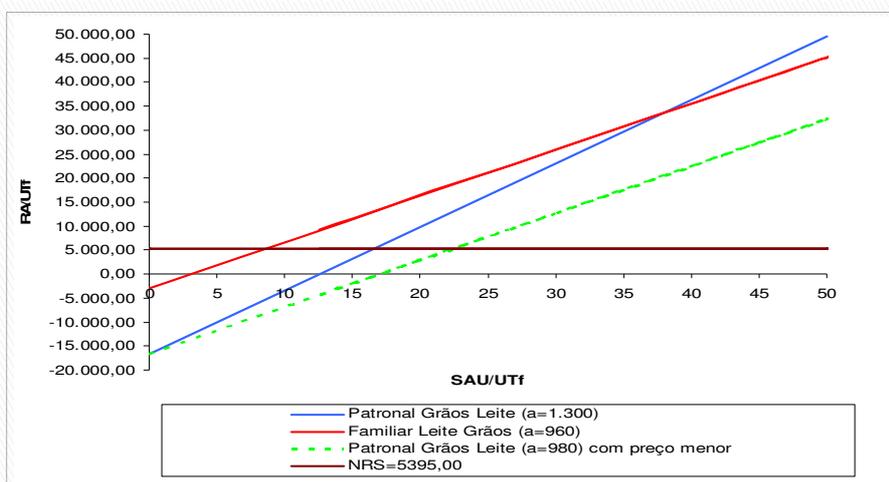
Exemplos

- ▶ Modelos lineares de padrão tecnológico na produção de leite
- ▶ Modelos de PM de produção de leite
- ▶ Modelo de PM de escolha de sistema de tratamento de dejetos de suínos

Padrão tecnológico e sustentabilidade da produção de leite

- ▶ Produção intensiva (sistemas estimulados pelas agroindústrias, pesquisadores, professores e técnicos em geral):
 - Rendimentos físicos elevados por animal (litros/vaca/ano)
 - Lotações elevadas por hectare
 - Alta concentração de dejetos (potencial de poluição)
 - Rentabilidade econômica elevada (!?)
- ▶ *Produção intensiva de leite é realmente mais rentável?*
- ▶ *Sistemas de produção com bovinocultura de leite menos intensivos (à base de pastagens, etc.)?*
- ▶ *Influência das relações de produção, da disponibilidade relativa de fatores de produção, etc.?*
 - ▶ *Agricultura familiar x patronal...*
- ▶ **Estudo em Ijuí (Oliveira, 2010):**
- ▶ **Paisagem, história => tipologia das UPAs**
- ▶ **Padrão tecnológico da bovinocultura de leite**
- ▶ **=> modelos de PM dos sistemas de produção**

Modelo linear de padrão tecnológico na produção de leite



Simulação da renda por pessoa de dois sistemas de produção agropecuária com bovinocultura de leite.
Fonte: Oliveira (2010).

Otimização do sistema de produção familiar com bovinocultura de leite (tipo capitalizado)

Atividade	Unidade de medida	Sistema Atual (R\$ 0,51/litro leite)	Sistema Otimizado (R\$ 0,51/litro leite)
Resultado econômico	Reais	53.376	56.391
Soja	hectares	40,00	32,0
Trigo	hectares	26,00	41,0
Produção total de leite	litros	98.550	100.610
Rendimento das vacas	litros animal ⁻¹ dia ⁻¹	15,00	21,00
Vacas em lactação	cabeças	18,00	13,2
Potreiro	hectares	0,5	3,3
Sorgo	hectares	5,0	9,6
Aveia/avevém	hectares	20	5,0
Milho Grão	hectares	2,0	3,6
Milho Silagem	hectares	2,0	0,9
Ração	Kg	20.000	11.246

Fonte: Oliveira (2010)

Otimização do sistema de produção patronal com bovinocultura de leite

Atividade	Unidade de medida	Sistema Atual	Sistema Otimizado	
		(R\$ 0,65/litro)	(R\$ 0,65/litro)	(R\$ 0,51/litro)
Resultado econômico	Reais	147.000	153.775	137.729
Soja	hectares	72,00	95,00	91,5
Trigo	hectares	12,00	96,00	93,5
Triticale	hectares	14,00	0,0	0,0
Produção total de leite	litros	251.850	143.880	93.368
Rendimento das vacas	litros animal ⁻¹ dia ⁻¹	23,00	24,0	15,5
Vacas em lactação	cabeças	30	17	17
Potreiro	hectares	3,0	0,0	0,0
Sorgo	hectares	10,00	0,8	0,0
Tifton	hectares	2,0	3,0	4,2
Aveia	hectares	30,00	1,0	2,1
Milho Silagem	hectares	12,00	1,4	4,3
Ração	kg	32.250	76.515	12.124

Fonte: Oliveira (2010)

Otimização do sistema de produção familiar com bovinocultura de leite (tipo descapitalizado)

Atividade	Unidade de medida	Sistema Atual	Sistema Maximizado
		(R\$ 0,41/litro)	(R\$ 0,41/litro)
Resultado econômico	R\$	9.598	21.321
Soja	hectares	6,0	0,00
Milho	hectares	3,0	0,00
Produção total de leite	litros	27.540	66.340
Rendimento das vacas	litros animal ⁻¹ dia ⁻¹	8,5	11,58
Vacas em lactação	cabeças	9,0	16
Potreiro	hectares	0,75	0,0
Capim Elefante	hectares	0,25	4,2
Capim Sudão	hectares	2,0	0,00
Aveia/azevém	hectares	14	3,9
Milho Grão	hectares	3,0	6,7
Cana	hectare	0,25	4,3
Ração	kg	4.925	0,00

Fonte: Oliveira (2010)

Escolha de tratamentos de dejetos em sistemas de produção com suinocultura

- ▶ Capacidade de absorção de dejetos pelo solo é limitada
 - Transporte?
 - Poluição de cursos d'água e dos solos
- ▶ Sistemas de tratamento aumentam essa capacidade, porém
 - Custo do sistema de tratamento x
 - Eficiência em relação ao tipo de poluente
- ▶ Estudo em Itapiranga/SC (Teloecken, 2009):
 - Nitrogênio e fósforo
 - Otimização de um sistema de produção de leite-suínos
 - Modelo de PM com escolhas excludentes (variáveis binárias...)

Otimização de sistemas de tratamento de dejetos de suínos em função da área da propriedade

S.A.U	Resultado econômico	Número de Lotes	Sistema de tratamento
3,5	15.917,47	0	-
3,6	21.141,85	1	LAF
4,9	27.435,16	1	LAF
5	27.770,16	1	LA
7	38.032,83	1	LA
7,1	43.733,40	2	LAF
9,8	57.845,15	2	LAF
9,9	58.180,15	2	LA
10,6	59.774,69	2	LA
10,7	65.475,25	3	LAF
14,7	73.640,23	3	LAF
14,8	73.889,58	3	LA
28,7	84.988,82	3	LA
28,8	85.401,43	3	LF
35,4	87.451,04	3	LF
35,5	87.579,69	3	ST
82,5	92.285,54	3	ST
02,6		3	ST

Legenda dos sistemas de tratamentos:

LAF = tratamento combinando lagoa anaeróbica e facultativa.

LA = tratamento com lagoa anaeróbica.

ST = sem tratamento.

Fonte: TELOEKEN (2009)

Considerações finais

- ▶ Modelos (relativamente) simples e (essencialmente) lineares podem ser extremamente úteis para a análise de sistemas complexos, como as unidades de produção agropecuárias.
- ▶ Importância da reflexão teórica e metodológica sobre o processo de modelagem.
- ▶ Modelagem matemática inserida em um processo emancipatório de promoção do desenvolvimento sustentável.
 - Qualitativo x quantitativo?
 - Ciências Sociais x Ciências Naturais?...



Bibliografia

- OLIVEIRA, A. de: **A produção de leite e o desenvolvimento rural: uma análise baseada nos sistemas de produção do município de Ijuí (RS)**. Dissertação apresentada no Curso de Mestrado em Desenvolvimento da UNIJUI, 2010 (documento não publicado).
- SANTOS, P. E. dos ; OLIVEIRA, A. de & SILVA NETO, B. . Sistemas Agrários, Sistemas Complexos. *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas: Prática Sistêmica em Situações de Complexidade*, 2007.
- SILVA NETO, B. Complexidade e Desenvolvimento. *Desenvolvimento em Questão*. No. 4, p. 9-32, 2004.
- SILVA NETO, B. Abordagem sistêmica, complexidade e sistemas agrários. In: MOTA, Dalva Maria da; SCHMITZ, Heribert; VASCONCELOS, Helenira Ellery M. (Org.). **Agricultura familiar e abordagem sistêmica**. 1 ed. Aracaju: Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, p. 81-103, 2005.
- SILVA NETO, B. Análise-Diagnóstico de Sistemas Agrários: uma interpretação baseada na Teoria da Complexidade e no Realismo Crítico. *Desenvolvimento em Questão*, v. 5, p. 33-58, 2007.
- SILVA NETO, B. e SANTOS, P. E. dos; Desenvolvimento sustentável: uma abordagem baseada no conceito de estrutura dissipativa. *Eisforia* (UFSC), v. 5, p. 199-215, 2007.
- SILVA NETO, B. Fundamentos estatísticos da Análise-diagnóstico de sistemas agrários. *Desenvolvimento em Questão*, v. 12, p. 121-148, 2008.
- SILVA NETO, B. & OLIVEIRA, A. de. **Modelagem e Planejamento de Sistemas de Produção. Manual de aplicação da programação matemática**. Ijuí, Ed. UNIJUI, 2009.
- TELOEKEN, A.: **Modelagem matemática do tratamento de dejetos suínos em unidades de produção agropecuárias**. Dissertação apresentada no Curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, 2009 (documento não publicado).