



Programa de Pós-Graduação em  
**Modelagem Computacional**  
em Ciência e Tecnologia

Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC



## Modelagem Computacional de um sistema Dinâmico-Fuzzy para análise de viabilidade

Um estudo de caso do biodiesel a partir de óleo de pinhão manso

Discente: Elivaldo Lozer Fracalossi Ribeiro

Orientador: Dr. Francisco Bruno Souza Oliveira

Corientador: Dr. José Adolfo de Almeida Neto

# Sumário

## 1 Introdução

- Motivação
- Contextualização
- Objetivos

## 2 Sistemas Dinâmicos

- Apresentação
- Conceitos básicos

## 3 Lógica Fuzzy

- Apresentação
- Conjuntos Fuzzy
- Controladores Fuzzy

## 4 Descrição e Modelagem

- Softwares utilizados
- Modelo Genérico DF

## 5 Estudo de caso

- Combustíveis
- Exergia como indicador ambiental
- Estudos preliminares
- Modelo Dinâmico-Fuzzy
- Resultados e Discussão

## 6 Conclusões



# Introdução / Motivação

## Dentre outros fatores

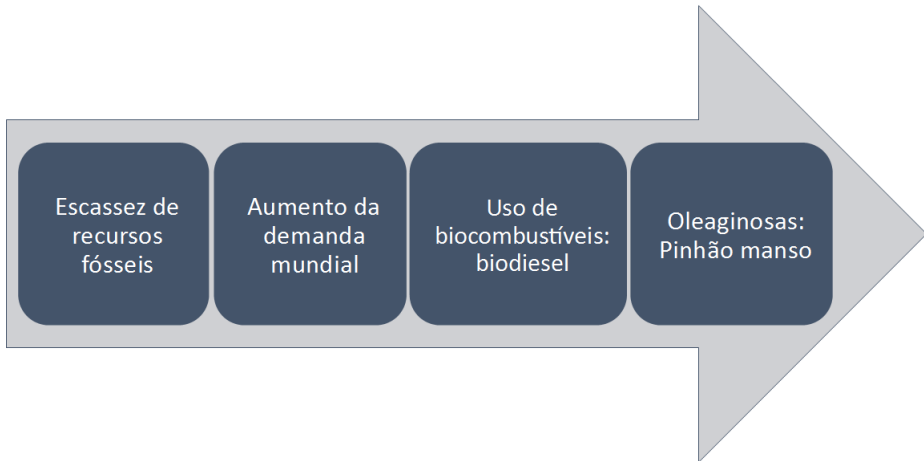
Levando em consideração as subjetividades e as incertezas envolvidas, é possível comparar a viabilidade de produtos distintos?

Por exemplo, qual é o mais viável:

- ▷ Garrafa PET ou de vidro?
- ▷ TV de LED ou LCD?
- ▷ 50.000 folhas A4 ou 1 pendrive?
- ▷ Biodiesel de Pinhão manso ou Soja?



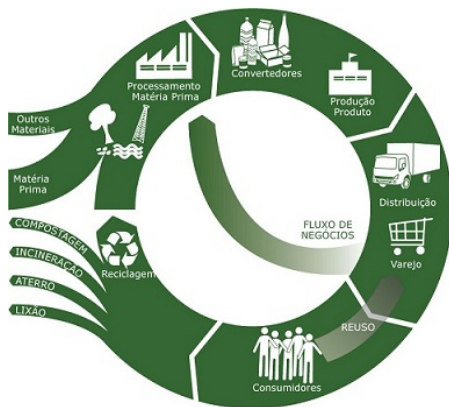
# Introdução / Contextualização



# Introdução / Contextualização

## ▷ Sustentabilidade ecológica

- (i) Monitoramento de toda cadeia de produção, que poderá ser avaliada com a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)
- (ii) Limites da regeneração dos recursos ambientais empregados
- (iii) Utilização dos recursos naturais



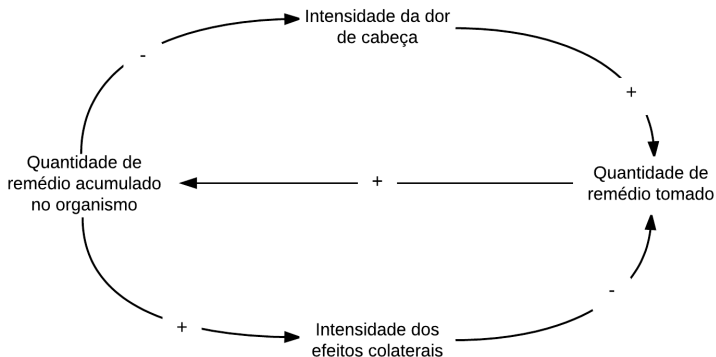
# Introdução / Contextualização

- ▷ Relações do homem com objeto de estudo
  - (i) Processos naturais influenciam uns aos outros
  - (ii) Sistemas controlados por humanos usam os recursos naturais e geram resíduos (e/ou emissões) que podem afetar os ecossistemas
  - (iii) O estado atual dos ecossistemas podem ser alterado por consequência de uma ação externa sob o mesmo



# Introdução / Contextualização

- ▷ Relações do homem com objeto de estudo
  - (i) Processos naturais influenciam uns aos outros
  - (ii) Sistemas controlados por humanos usam os recursos naturais e geram resíduos (e/ou emissões) que podem afetar os ecossistemas
  - (iii) O estado atual dos ecossistemas podem ser alterado por consequência de uma ação externa sob o mesmo
- ▷ Sistemas Dinâmicos



# Introdução / Contextualização

- ▶ A análise de sistemas é dificultada pelo número e pela heterogeneidade dos dados/resultados, incertezas, modelos e opções do praticante





# Introdução / Contextualização

- ▷ A análise de sistemas é dificultada pelo número e pela heterogeneidade dos dados/resultados, incertezas, modelos e opções do praticante
- ▷ Lógica Fuzzy



# Introdução / Objetivos

## Objetivo Geral:

- ▶ Desenvolver um modelo computacional para um sistema Dinâmico-Fuzzy como ferramenta de análise de viabilidade

## Objetivos Específicos:

- ▶ Propor um modelo genérico para estimar a viabilidade
- ▶ Aplicação da modelagem na análise de viabilidade do biodiesel de pinhão manso
- ▶ Avaliar a funcionalidade e potencial de aplicação do modelo proposto



# Sistemas Dinâmicos / Apresentação

- ▶ Criado nos anos 50 pelo professor americano Jay W. Forrester



- ▶ São sistemas suscetíveis à influência do ambiente ao seu redor
  - ao contrário dos estáticos
- ▶ A modelagem dinâmica é feita através da análise da evolução dos estados ao longo do tempo

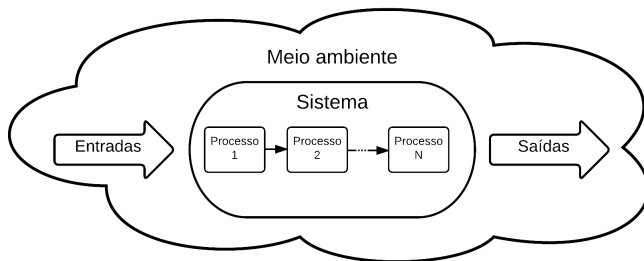


# Sistemas Dinâmicos / Conceitos básicos

- ▷ Teoria Geral dos Sistemas se baseia em
  - (i) Os sistemas existem dentro de sistemas
  - (ii) Os sistemas são abertos
  - (iii) As funções de um sistema dependem de sua estrutura

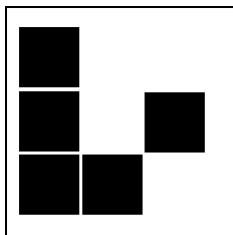
## Formalmente

Um sistema (de modo geral) por ser descrito como uma coleção de componentes agrupados por uma ou mais dependência, de modo que existam relações de causa e efeito entre os elementos

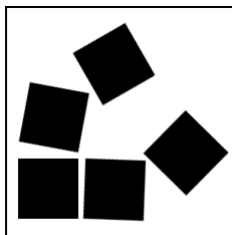


# Sistemas Dinâmicos / Conceitos básicos

- ▷ Os sistemas são de dois tipos
  - Estático: quando a saída depende unicamente da entrada atual
    - ◇ Exemplo: Cálculo de  $\int_0^3 x^2 dx$
  - Dinâmico: quando a grandeza de algum elemento varia em função do tempo
    - ◇ Exemplo: Gasto anual de uma família com vestuário



**Static**



**Dynamic**



# Sistemas Dinâmicos / Conceitos básicos

- ▶ A importância de determinar a evolução das variáveis ao longo do tempo se justifica pois
  - Nem sempre o sistema modelado de fato existe
  - O objetivo pode ser tentar explicar o comportamento de algum modelo já existente
  - O teste experimental pode ser caro ou perigoso.

## O objetivo dos modelos dinâmicos

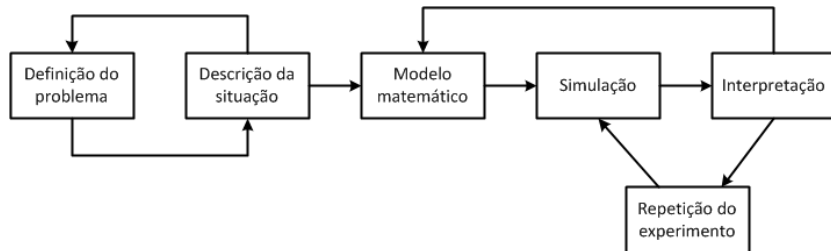
Prever o funcionamento de um sistema ou explicar como um existente opera

- ▶ Um Sistema Dinâmico inclui
  - (i) Um espaço de estados
  - (ii) O tempo
  - (iii) Leis de evolução



# Sistemas Dinâmicos / Conceitos básicos

- ▷ Sequência lógica das etapas que compõem um modelo dinâmico



- ▷ Vantagens da metodologia
- Sensibilizar variáveis
  - Simular atrasos
  - Conhecimento detalhado do modelo estudado



# Lógica Fuzzy / Apresentação

- ▷ Desenvolvida por Lotfi A. Zadeh na década de 60



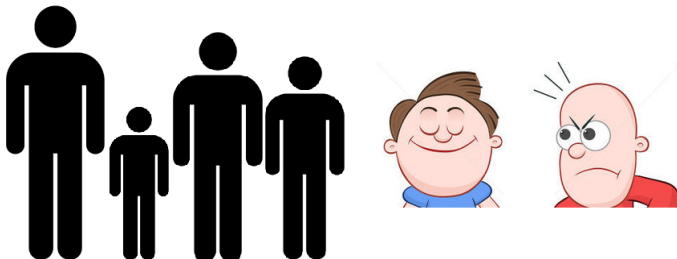
- ▷ Extensão da Lógica Clássica
  - Ferindo os dois princípios básicos: não-contradição e terceiro excluído
  - Criando a ideia de “Verdade parcial”
- ▷ A Lógica Clássica não modela precisamente conceitos subjetivos (manipulados pela mente humana)
  - Como cheio, vazio, alto, baixo, etc.





# Lógica Fuzzy / Conjuntos Fuzzy

- ▷ Lógica Clássica: Seja  $A$  um conjunto e  $x$  um elemento, pode-se afirmar que  $x \in A$  ou  $x \notin A$
- ▷ Na prática, os problemas não são precisos
  - Exemplo:  $B = \{ y \mid y \text{ é próximo de } 0 \}$ , com  $B \subseteq \mathbb{R}$ 
    - ◇ Se  $y_1 = 0,01$ ,  $y_1 \in B$ ?
    - ◇ Se  $y_2 = 0,9$ ,  $y_2 \in B$ ?
  - As repostas não são óbvias, pois  $y_1$  “é mais próximo” de zero do que  $y_2$
  - Para a Lógica Fuzzy:  $y_1$  e  $y_2$  pertencem a  $B$  com diferentes graus de pertinência



# Lógica Fuzzy / Conjuntos Fuzzy

- ▶ Um conjunto clássico  $A$  pode ser representado por sua função característica

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

- ▶ Para a Lógica Fuzzy, Zadeh flexibilizou a função característica
  - Ideia de grau de pertinência
  - Um elemento pode parcialmente pertencer a um conjunto
- ▶ Um conjunto Fuzzy  $B$ , do universo  $U$ , pode ser definido como uma função  $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ , chamada de função de pertinência
  - Se  $\mu_A(x) = 1$ : então  $x$  está totalmente presente em  $A$
  - Se  $\mu_A(x) = 0$ : então  $x$  está totalmente ausente em  $A$
  - Se  $0 < \mu_A(x) < 1$ : então  $x$  está parcialmente em  $A$ , com grau  $\mu_A(x)$



# Lógica Fuzzy / Conjuntos Fuzzy

- ▶ Assim como nos clássicos, nos conjuntos Fuzzy valem:
  - Operações:  $A = B$ ,  $A \subset B$ ,  $A \cup B$ ,  $A \cap B$ , etc.
  - Propriedades:  $A \cup B = B \cup A$ ,  $A \cap B = B \cap A$ ,  $A \cap \emptyset = \emptyset$ ,  $A \cup U = U$ ,  $\overline{(A \cap B)} = \overline{A} \cup \overline{B}$ , etc.
- ▶ Dada um conjunto de proposições clássicas, elas podem se relacionar por meio de conectivos lógicos
  - Negação ( $\neg$ , não), conjunção ( $\wedge$ , e), disjunção ( $\vee$ , ou), implicação ( $\rightarrow$ , se... então...), etc.
- ▶ Proposições Fuzzy não são bem definidas como as clássicas
- ▶ Necessidade de “adaptar” para os conjuntos Fuzzy os conectivos clássicos
  - Negação Fuzzy, t-norma, t-conorma e da implicação Fuzzy



## Negação Fuzzy

- ▶ Pode ser definida como  $\eta : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , desde que
  - $\eta(0) = 1$  e  $\eta(1) = 0$
  - $\eta(\eta(x)) = x$

## T-norma

- ▶ Pode ser definida como  $\Delta : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , desde que
  - $1 \Delta x = x$
  - $x \Delta y = y \Delta x$
  - $x \Delta (y \Delta z) = (x \Delta y) \Delta z$
  - se  $x \leq y$  e  $z \leq w$  então  $x \Delta z \leq y \Delta w$



## T-conorma

- ▶ Pode ser definida como  $\nabla : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , desde que
  - $0 \nabla x = x$
  - $x \nabla y = y \nabla x$
  - $x \nabla (y \nabla z) = (x \nabla y) \nabla z$
  - se  $x \leq y$  e  $z \leq w$  então  $x \nabla z \leq y \nabla w$

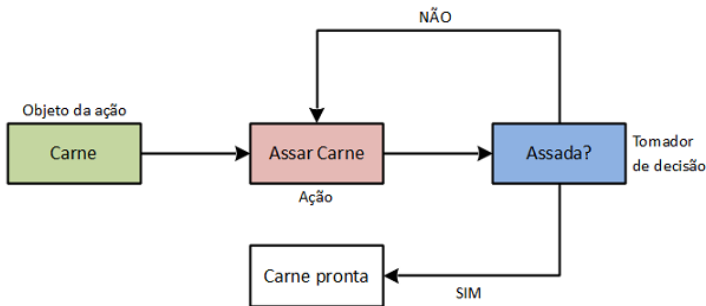
## Implicação Fuzzy

- ▶ Pode ser definida como  $I : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$
- ▶ Utilizada nas regras do tipo *Se <premissas> então <conclusão>*



# Lógica Fuzzy / Controladores Fuzzy

- ▷ Aplicação da Lógica Fuzzy
- ▷ Descreve o funcionamento de um sistema por meio de opiniões de especialistas, ao invés de simplesmente executar ações
- ▷ Trata informações imprecisas e determina a melhor saída possível, dada certas condições iniciais
- ▷ Exemplo prático: assar carne

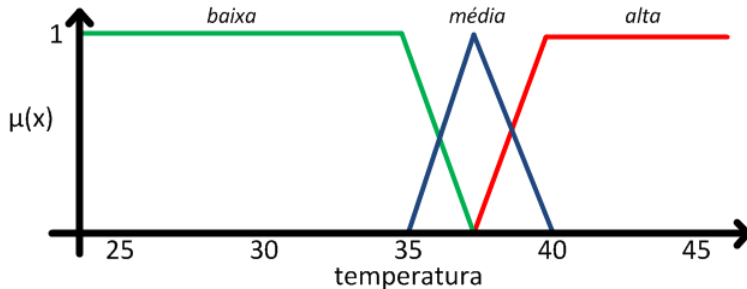


## Lógica Fuzzy / Controladores Fuzzy

- ▷ É composto por: Fuzzificação, Base de regras, Inferência Fuzzy e Defuzzificação

# Lógica Fuzzy / Controladores Fuzzy / Fuzificação

- ▷ Transforma as entradas do sistema em conjuntos Fuzzy, de acordo com seus respectivos domínios
  - Transforma os dados de entrada em variáveis linguísticas





- ▷ Objetivo do módulo é caracterizar a estratégia adotada no sistema modelado, por meio de um conjunto de regras
- ▷ As regras são do tipo *Se <premissas> então <conclusão>*
  - *premissas*: composta por condições que correspondem aos graus de pertinência
  - *conclusão*: contém ações que vão definir o comportamento do controlador
- ▷ Exemplo
  - $R_1$  Se <Febre=alta e Idade=alta> então <Preocupação=altíssima>
  - $R_2$  Se <Febre=média e Idade=média> então <Preocupação=média>
  - $R_3$  Se <Febre=média e Idade=alta> então <Preocupação=alta>

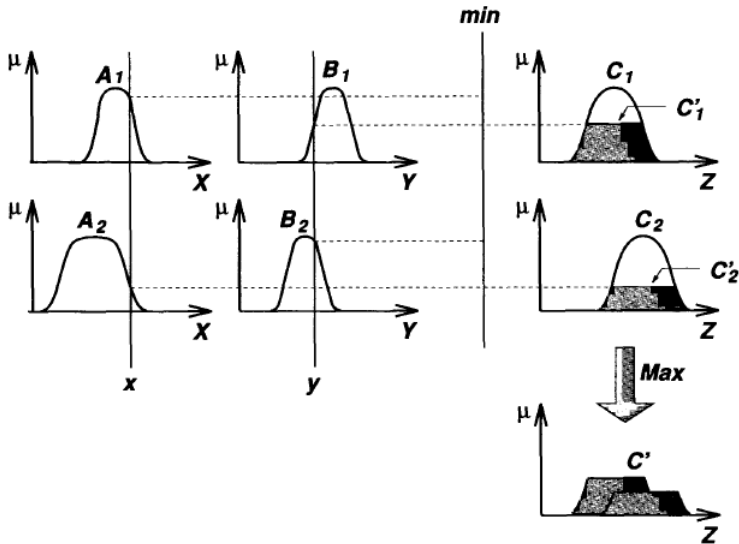


- ▷ Processa os dados de entrada e as regras e resulta em uma ação
  - Quando várias regras inferem a mesma saída, os resultados são agregados por meio de alguma operação matemática
- ▷ O método define quais t-normas, t-conormas e regras de inferência são utilizadas para traduzir matematicamente as sentenças da base de regras
  - Exemplos: Mamdani, Larsen, Tsukamoto e TSK
- ▷ Mamdani propôs seu método utilizando
  - (i) a aplicação do min para todas as condições “Se <premissas> então <conclusão>” de cada regra
  - (ii) a t-norma do min para a conjunção
  - (iii) a t-conorma do max para a disjunção



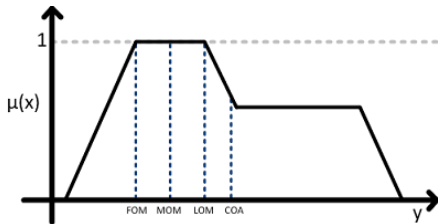
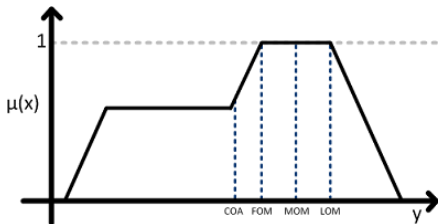
# Lógica Fuzzy / Controladores Fuzzy / Inferência Fuzzy

## ► Visualização do método de Mamdani



# Lógica Fuzzy / Controladores Fuzzy / Defuzzificação

- ▷ Faz o inverso feito na fuzzificação
  - Em alguns estudos pode não ser necessário
- ▷ Métodos: Primeiro dos máximos, Último dos máximos, Média dos máximos, Centro de área, etc.



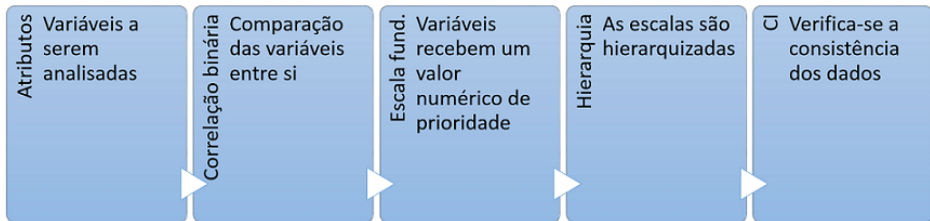
# Descrição e Modelagem / Software e AHP

## Software utilizado

- ▷ Matlab: Simulink e Fuzzy Logic Toolbox

## *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

- ▷ Oferece suporte em tomadas de decisões complexas
- ▷ Escalona critérios de categorias distintas e de difícil comparação
- ▷ A técnica é baseada em cinco elementos



# Descrição e Modelagem / AHP

## 1 Atributos

- Emissão de GEE, Custos e DExA

## 2 Correlação binária

	Emissão	Custos	DExA
Emissão	1	3	3
Custos	0,33	1	1
DExA	0,33	1	1
SOMA	1,67	5	5

## 3 Escala fundamental

- Média de seus valores normalizados, com base na soma de cada coluna
  - ◇ Dividir cada correlação binária pela soma da coluna
  - ◇ Peso de cada variável é a média aritmética dos valores de sua linha

	Emissão	Custos	DExA
Emissão	$1/1,67 = 0,6$	$3/5 = 0,6$	$3/5 = 0,6$
Custos	$0,33/1,67 = 0,2$	$1/5 = 0,2$	$1/5 = 0,2$
DExA	$0,33/1,67 = 0,2$	$1/5 = 0,2$	$1/5 = 0,2$



## 4 Hierarquia

- Tem-se os pesos de todos os critérios, basta classificar do maior para o menor para obter os critérios “mais importantes” com relação aos demais
- 60% é o peso da Emissão e 20% dos outros dois casos

## 5 Inconsistência

- Calculado pela fórmula:  $CI = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1}$ 
  - ◇  $\lambda_{MAX}$  é o denominado valor principal  
( $\lambda_{MAX} = [(0,6 * 1,67) + (0,2 * 5) + (0,2 * 5)] = 3,002$ )
  - ◇  $n$  é o número de critérios avaliados
- $CI = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1} = \frac{3,002 - 3}{3 - 1} = \frac{0,002}{2} = 0,001$
- $TC = \frac{CI}{IAC} = \frac{0,001}{0,58} = 0,00172 = 0,17\% < 10\%$



# Descrição e Modelagem / Modelo Genérico DF

- ▷ Visa ser o mais genérico possível
- ▷ Pode ser adaptado ou ajustado para melhor atender a demanda do estudo

## Ideia

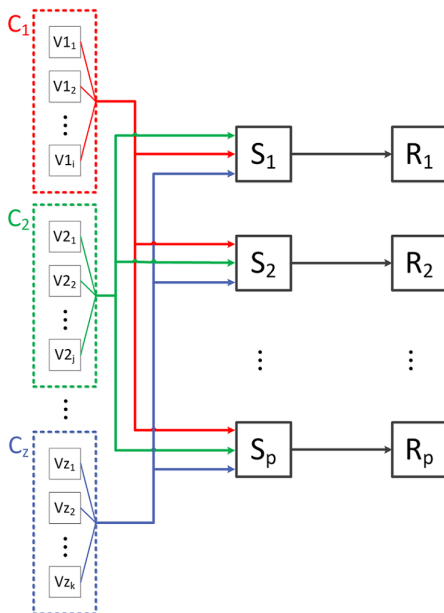
Desenvolver um modelo como ferramenta de análise de viabilidade

- ▷ No modelo
  - Existem  $z$  categorias de variáveis ( $C_1, C_2, \dots, C_z$ )
  - Cada categoria  $C_g$  possui  $n$  variáveis (variando de  $Vg_1$  até  $Vg_n$ )
  - Com  $p$  cenários propostos

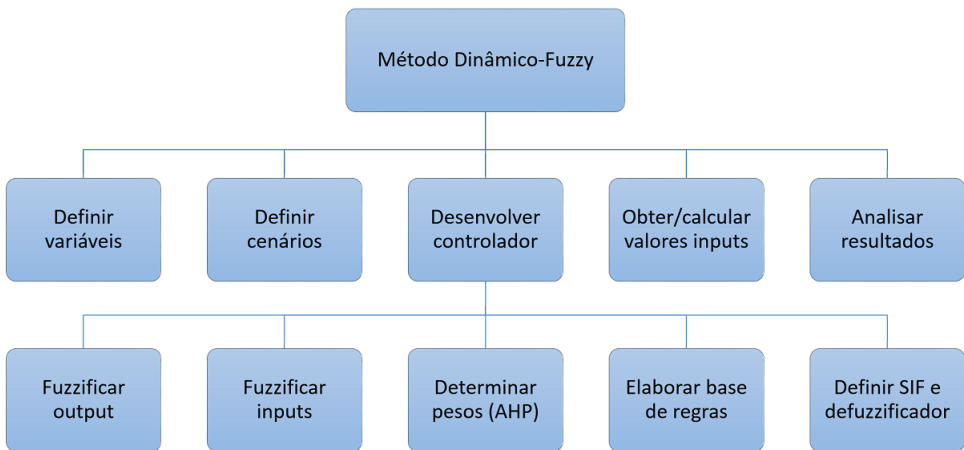




# Descrição e Modelagem / Modelo Genérico DF



# Descrição e Modelagem / Modelo Genérico DF



# Estudo de caso / Combustíveis renováveis e não renováveis

(a)



(b)



(c)



(d)



# Estudo de caso / Exergia

- ▶ O melhor modo de estudar a viabilidade é através da análise energética (PLT)?
  - Não quantificação das perdas
  - A PLT descreve que toda a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada/transferida.
- ▶ A Exergia não se conserva
  - Parte da mesma é perdida por causa dos processos irreversíveis
- ▶ Exergia é a quantidade máxima de energia disponível (SLT)
  - $\delta Ex = T_0 \Sigma \Delta S$
- ▶ DExA é um indicador que quantifica a exergia de todos os processos e materiais de um sistema
  - $DExA = \sum_i (m_i * Ex_{(ch),i}) + \sum_j (n_j * r_{ex-e(ch,k,p,n,r,t),j})$



# Estudo de caso / Estudos preliminares / Inventário

- ▶ Etapa importante e necessária em estudos dessa natureza
- ▶ Elencadas todas as entradas e saídas do sistema
  - visando agrupar as informações utilizadas

Parâmetros	Unid.	Ano 03	Ano 04	X anos	Total	Total / T óleo	Total / kg óleo	DEA	Mé
<b>Viveiro</b>									
Calcário	Kg	0,00	0,00	0,00	25,00	0,17	0,00	1,52	
Cloreto de Potássio	kg	0,00	0,00	0,00	14,00	0,09	0,00	9,64	
Consumo de água	m³	0,00	0,00	0,00	105,00	0,70	0,00	0,01	
Energia Elétrica	kwh	0,00	0,00	0,00	262,80	1,75	0,00	1,33	
Esterco de gado curtido	kg	0,00	0,00	0,00	3600,00	23,91	0,02	2,52	
Frete Sementes		0,00	0,00	0,00	7,50	0,05	0,00	2,80	
Saquinhos (15cm x 28cm)	unid	0,00	0,00	0,00	2,70	0,02	0,00	77,22	
Super Simples	Kg	0,00	0,00	0,00	100,00	0,66	0,00	50,98	

Parâmetros	Unid.	Ano 03	Ano 04	X anos	Total	Total / t óleo	Total / kg óleo	Mé
<b>Preparo do solo</b>								
Aração	h/máq.	0,00	0,00	0,00	5,00	0,03	0,00	0,19
Calagem	h/máq.	0,00	0,00	0,00	5,00	0,03	0,00	0,02
Distribuição de adubo	h/máq.	0,00	0,00	0,00	5,00	0,03	0,00	0,02
Gradagem	h/máq.	0,00	0,00	0,00	5,00	0,03	0,00	0,02

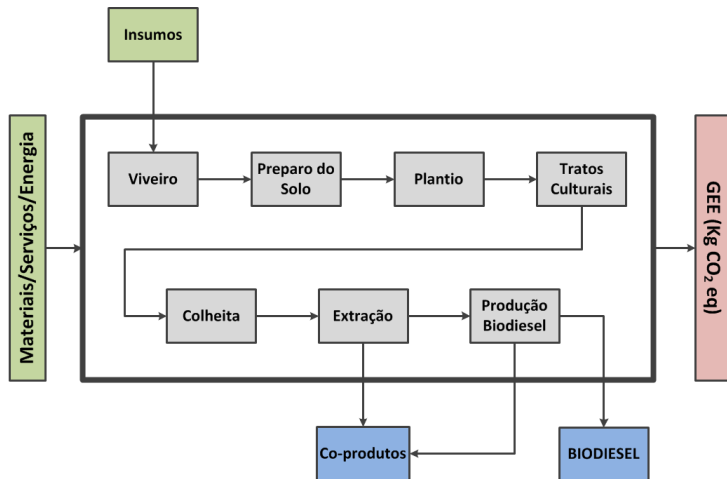
Parâmetros	Unid.	Ano 03	Ano 04	X anos	Total	Total / t óleo	Total / kg óleo	Mé
<b>Plantio</b>								
Operação de transolante (Carreta)	h/máo.	0,00	0,00	0,00	15,00	0,10	0,00	1415,52



# Estudo de caso / Estudos preliminares / Esboço cadeia

- Agrupamento por subsistema: Viveiro, Preparo do Solo, Plantio, Tratos Culturais, Colheita, Extração e Produção do Biodiesel

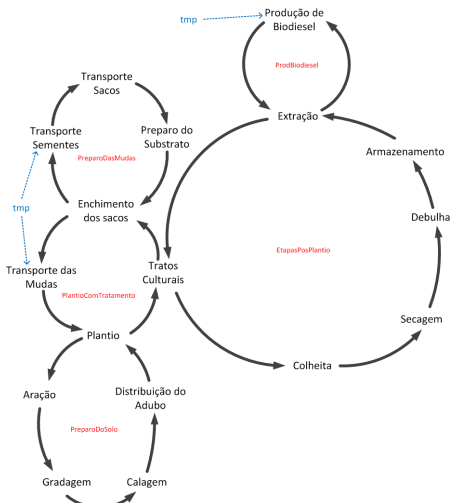
## Esboço Linear



# Estudo de caso / Estudos preliminares / Esboço cadeia

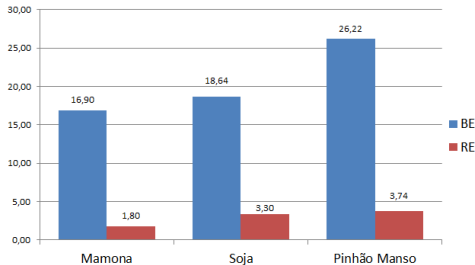
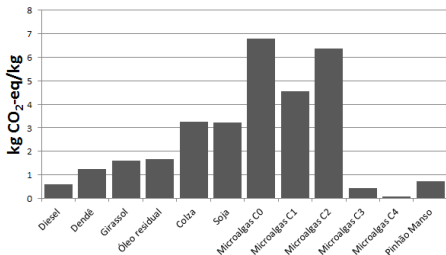
- ▶ Agrupamento por subsistema: Viveiro, Preparo do Solo, Plantio, Tratos Culturais, Colheita, Extração e Produção do Biodiesel

## Esboço Dinâmico



# Estudo de caso / Estudos preliminares / GEE, BE e RE

$$\triangleright GEE = \frac{\sum e(m_i)}{ProdTotal}, BE = pci(O) - \sum dea(I_i) \text{ e } RE = \frac{pci(O)}{\sum dea(I_i)}$$

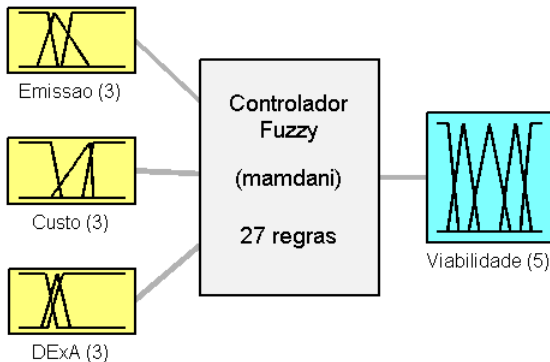




# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

## Variáveis analisadas

- ▶ Três variáveis para aplicar o modelo: Emissão de GEE, Custo e DExA
- ▶ Em cada caso, foi estimado o total durante um ciclo produtivo de 15 anos



# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

## Cenários propostos

- ▶ Foram propostos cenários com base em situações hipotéticas
- ▶ As hipóteses foram importantes para propor a contribuição de cada input com relação ao output, determinadas com auxílio do AHP
- ▶ Cenários
  - $C_1$  Ambiental: Emissão (60%), Custo (20%) e DExA (20%)
  - $C_2$  Econômico: Emissão (10,5%), Custo (63,7%) e DExA (25,8%)

Tabela 1 – Representação das variáveis analisadas para o cenário ambiental

	Emissão	Custos	DExA
Emissão	1	3	3
Custos	0,33	1	1
DExA	0,33	1	1
SOMA	1,67	5	5

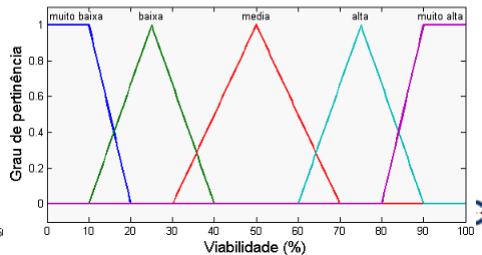
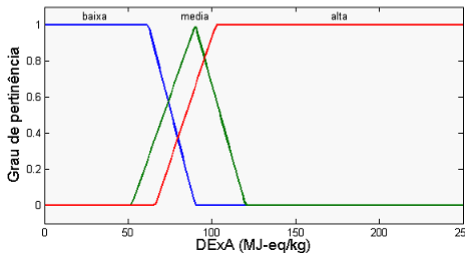
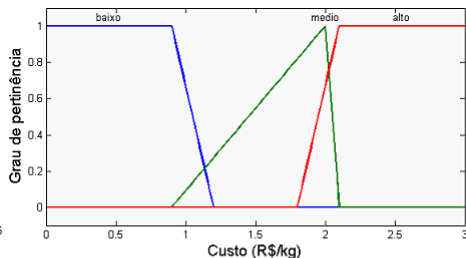
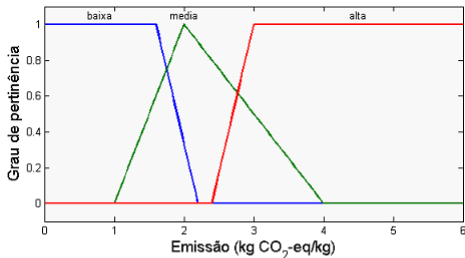
Tabela 2 – Representação das variáveis analisadas para o cenário econômico

	Emissão	Custos	DExA
Emissão	1	0,2	0,33
Custos	5	1	3
DExA	3	0,33	1
SOMA	9	1,53	4,33



# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

## Fuzzificação



# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

## Base de Regras

- ▷ Ambas foram construídas conforme os seguintes passos
  - ① Considerando todas as combinações possíveis, nos inputs o valor 3 substituiu os piores casos e 1 os casos contrários
  - ② Para cada cenário, um valor numérico para cada regra foi calculado
    - ◇  $VN(R_i)_{C_1} = GEE * 0,6 + CP * 0,2 + DExA * 0,2$
    - ◇  $VN(R_i)_{C_2} = GEE * 0,105 + CP * 0,637 + DExA * 0,258$
  - ③ Cada regra foi classificada conforme uma variável linguística

$$V(R_i) = \begin{cases} MA, & \text{se } VN(R_i) > 2,6 \\ A & \text{se } 2,6 \geq VN(R_i) > 2,2 \\ M, & \text{se } 2,2 \geq VN(R_i) > 1,8 \\ B, & \text{se } 1,8 \geq VN(R_i) > 1,4 \\ MB, & \text{se } 1,4 \geq VN(R_i) \end{cases}$$



# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

## Base de Regras

- Exemplos de algumas regras que compõem a base

Tabela 3 – Base de regras utilizada na modelagem do Controlador Dinâmico-Fuzzy, para  $C_1$  e  $C_2$

	Se GEE (kg CO <sub>2</sub> - eq/kg)	e CP (R\$/kg)	e DExA (MJ-eq/kg)	Então	Viabilidade (C <sub>1</sub> )	Viabilidade (C <sub>2</sub> )
$R_{01}$	alta	alto	alta		muito baixa	muito baixa
$R_{02}$	alta	alto	media		muito baixa	muito baixa
$R_{03}$	alta	alto	baixa		baixa	baixa
$R_{04}$	alta	medio	alta		muito baixa	baixa
$R_{05}$	alta	medio	media		baixa	media
$R_{06}$	alta	medio	baixa		baixa	media
$R_{07}$	alta	baixo	alta		baixa	alta
$R_{08}$	alta	baixo	media		baixa	alta



# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

## Sistema de Inferência

### ▷ Mamdani

- $\mu_M(x, u) = \max_{1 \leq i \leq r} (\mu_{R_i}(x, u)) = \max_{1 \leq i \leq r} [\mu_{A_j}(x) \wedge \mu_{B_j}(u)]$
- Onde  $A_j$  e  $B_j$  são os subconjuntos Fuzzy da regra  $j$  e sendo  $r$  o número de regras que compõem a base de regras

## Defuzificação

### ▷ Centro de Massa

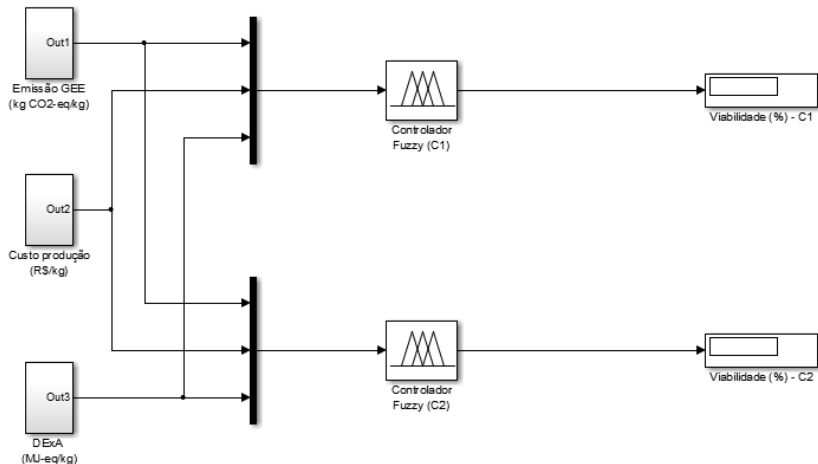
- $$COA(B) = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu_B(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(u_i)}$$
- Onde  $u_i$  são os elementos de maior pertinência do conjunto Fuzzy  $B$ , que são  $n$



# Estudo de caso / Aplicação do Modelo Dinâmico-Fuzzy

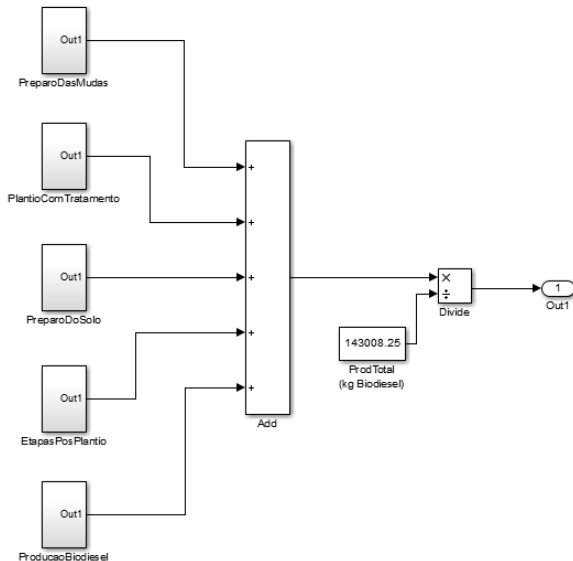
## Dinamismo

- Os dados dinâmicos serviram como “fonte de alimentação” para o Controlador Fuzzy



# Estudo de caso / Resultados

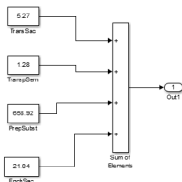
- Construção dos inputs: exemplo para Emissão de GEE (nível 1)



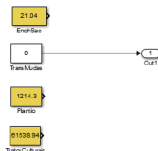


# Estudo de caso / Resultados

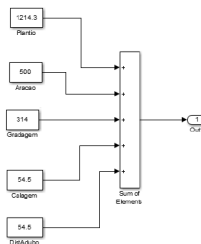
## ► Construção dos inputs: exemplo para Emissão de GEE (nível 2)



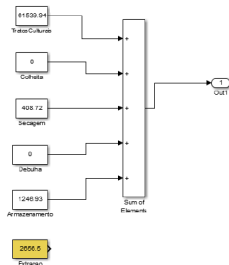
(a) Segundo nível para o Preparo das Mudas.



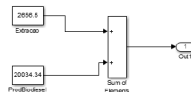
(b) Segundo nível para o Plantio com Tratamento.



(c) Segundo nível para o Preparo do Solo.



(d) Segundo nível para as Etapas Pós Plantio.



(e) Segundo nível para a Produção de Biodiesel.



## Estudo de caso / Resultados

- ▶ De posse do modelo, viabilidades podem ser estimadas, bastando parametrizar o modelo
  - Dados calculados x obtidos

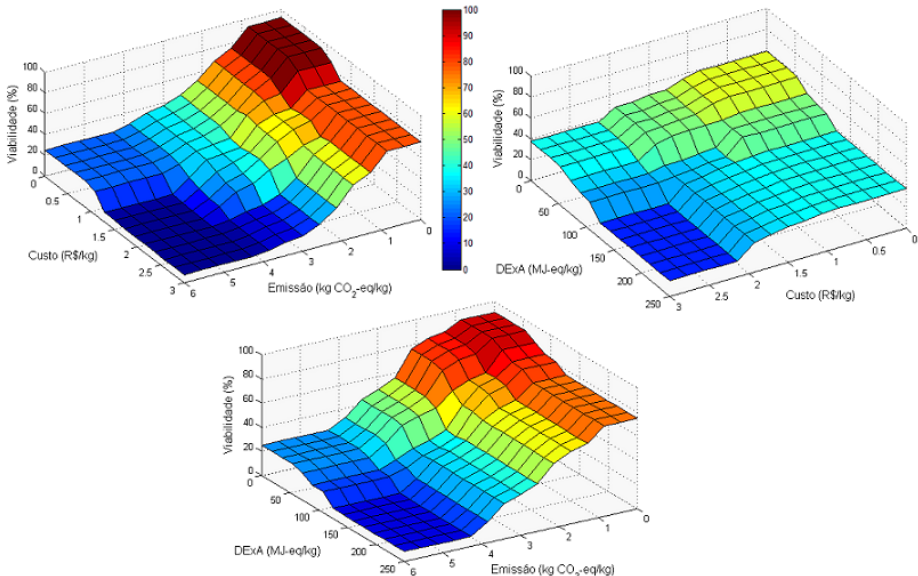
Tabela 4 – Simulações utilizando o Controlador Dinâmico-Fuzzy para 7 oleaginosas, incluindo o pinhão manso, para o cenário ambiental ( $C_1$ ) e econômico ( $C_2$ )

Oleaginosa	Emissão (kg CO <sub>2</sub> -eq/kg)	Custo (R\$/kg)	DExA (MJ-eq/kg)	Viabilidade ( $C_1$ )	Viabilidade ( $C_2$ )
Pinhão Manso	0,62	0,83	168,5	92,5	75,0
Soja	3,23	1,14	199,4	33,9	75,0
Dendê	1,25	1,07	228,1	90,2	75,0
Girassol	1,61	1,59	34,3	82,0	75,4
Colza	3,25	1,40	40,5	52,3	73,1
Microalgas (C0)	5,57	5,74	40,1	25,0	25,0
Microalgas (C4)	0,07	5,74	40,1	92,2	25,0



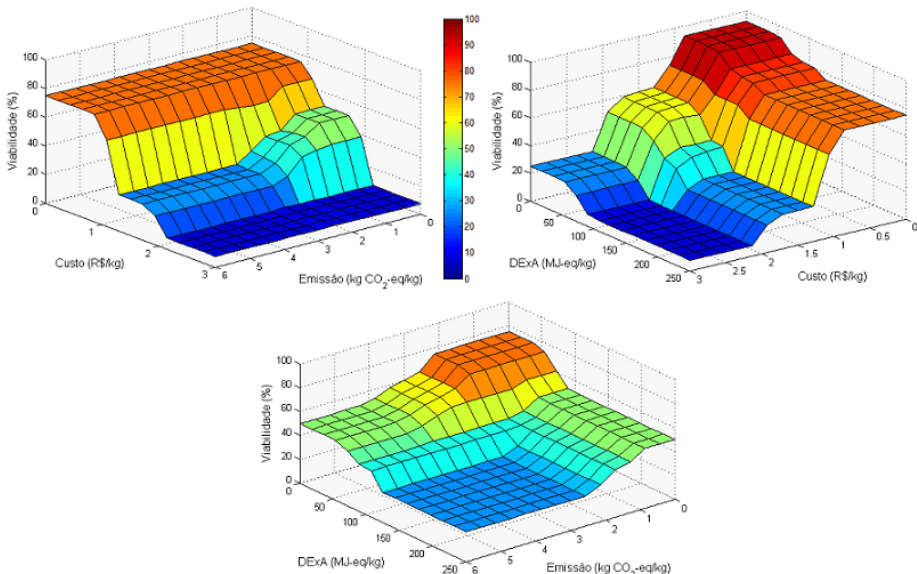
# Estudo de caso / Resultados

▷ Superfícies relacionado as entradas:  $C_1$



# Estudo de caso / Resultados

▷ Superfícies relacionado as entradas:  $C_2$



# Conclusões

- ▶ Biodiesel é uma alternativa na atual realidade da oferta e demanda
- ▶ Considerar as particularidades e as subjetividades
- ▶ Questões ambientais, econômicas e exergéticas
- ▶ Desenvolvimento de políticas públicas transparentes
- ▶ O estudo confirmou a literatura especializada
- ▶ Elevada relação de dependência entre inputs e output
- ▶ Incentivo ao progresso em estudos dessa natureza



# Agradecimentos

**fapesb**





Programa de Pós-Graduação em  
**Modelagem Computacional**  
em Ciência e Tecnologia

Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC



## Modelagem Computacional de um sistema Dinâmico-Fuzzy para análise de viabilidade

Um estudo de caso do biodiesel a partir de óleo de pinhão manso

Discente: Elivaldo Lozer Fracalossi Ribeiro

Orientador: Dr. Francisco Bruno Souza Oliveira

Corientador: Dr. José Adolfo de Almeida Neto