

# Modelagem Hidro-Econômica na Bacia do Araguari para avaliação do impacto da produção de cana- de-açúcar e biocombustíveis no valor econômico da água



PROF. GUILHERME FERNANDES MARQUES, PHD  
GUILHERME.MARQUES@UFRGS.BR



INSTITUTO DE  
PESQUISAS HIDRÁULICAS



*Núcleo de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos*

# Contexto atual e justificativa



- Expansão na demanda por fontes energéticas renováveis, com potencial incremento se o país retomar o crescimento econômico;
- Segundo projeções da Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE, 2008a), uma expansão sustentada anual média do PIB de 5% no próximo decênio irá resultar em um crescimento no consumo total de eletricidade a um taxa de 5,5% ao ano.
- Crescentes preocupações sobre o uso de combustíveis fósseis e seus impactos ambientais.

# Contexto atual e justificativa



- Fontes primárias de energia empregadas no Brasil

	2007	2006
<b>Energia Não Renovável</b>	<b>53,6</b>	<b>55,1</b>
Petróleo e Derivados	36,7	37,8
Gás Natural	9,3	9,6
Carvão Mineral e Derivados	6,2	6,0
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) e Derivados	1,4	1,6
<b>Energia Renovável</b>	<b>46,4</b>	<b>44,9</b>
Produtos da Cana-de-açúcar	16,0	14,5
Energia Hidráulica e Eletricidade	14,7	14,8
Lenha e Carvão Vegetal	12,5	12,7
Outras Renováveis	3,1	2,9

Brasil, Empresa de Pesquisa Energética. (2008b). *Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007: Resultados Preliminares*. Rio de Janeiro: EPE, 2008. 44p.

# Contexto atual e justificativa



- O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, com uma área cultivada de 5,34 milhões de hectares, dos quais 2,66 milhões para produção de álcool.
- Os maiores produtores mundiais de etanol são os Estados Unidos e o Brasil, que utilizam como matéria prima o milho e a cana-de-açúcar respectivamente.
- O Brasil produziu 22,5 milhões de m<sup>3</sup> de álcool em 2007, um aumento de 26% em relação a 2006. No mercado mundial, o Brasil participa com 50% nas exportações de etanol, a maior parte para os países da Índia, Japão e Estados Unidos

# Contexto atual e justificativa



- Devido às vantagens energéticas, econômicas e ambientais do etanol da cana-de-açúcar sobre o do milho, existe um grande potencial para o aumento da demanda por este combustível em nível mundial.

# Contexto atual e justificativa



- Esta demanda trará impactos para as bacias hidrográficas das regiões produtivas:
  - Aumento na demanda pela água no caso dos sistemas irrigados.
  - Produção de efluentes e resíduos.
  - Expansão de fronteiras agrícolas.
- Na ausência do planejamento adequado, estes impactos irão produzir vários efeitos negativos:
  - Aumento na escassez hídrica.
  - Agravamento de conflitos pelo uso da água.
  - Poluição e outros impactos ambientais.

# Foco e objetivos do projeto



- Estudar os **sistemas hídricos** quanto à sua **capacidade de suporte** em um cenário mundial cujo principal desafio é a **produção de energia mais limpa**.
- **Objetivos:**
  - Estudar o impacto da produção de etanol de cana-de-açúcar irrigada no valor econômico da água, na medida em que esta torna-se um insumo para a produção de energia.
  - Identificar qual a produção “ótima” de etanol considerando demandas econômicas que competem por água e energia na bacia do Rio Araguari.
  - Identificar qual o nível de eficiência na produção de etanol necessário para sua viabilidade regional na bacia, reduzindo a demanda por combustíveis fósseis.

# Para que servirão os resultados produzidos ?



- Estudo de cenários futuros “e se” de abastecimento e escassez hídrica envolvendo diferentes demandas por energia e pela água;
- Auxílio na identificação da **alocação otimizada da água entre demandas econômicas**, especialmente aquelas relacionadas com a produção de biocombustíveis;
- Auxílio no desenvolvimento de políticas e planos de gestão da água visando sua conservação e aproveitamento, considerando aspectos econômicos.



# Metodologia



- Modelo de otimização, *economically driven*.
- Abordagem de PL, com função objetivo convexa *piece wise*.
- **Funções econômicas** para agricultura irrigada produzidas por modelo de produção quadrático, calibrado via PMP (*positive mathematical programming*).

# Metodologia - funções econômicas



- As **funções econômicas** podem ser estimadas com o emprego de modelos que maximizam o lucro agrícola sujeito a restrições de disponibilidade de água, capital e outros *inputs*.

$$y = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} - [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \cdot \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

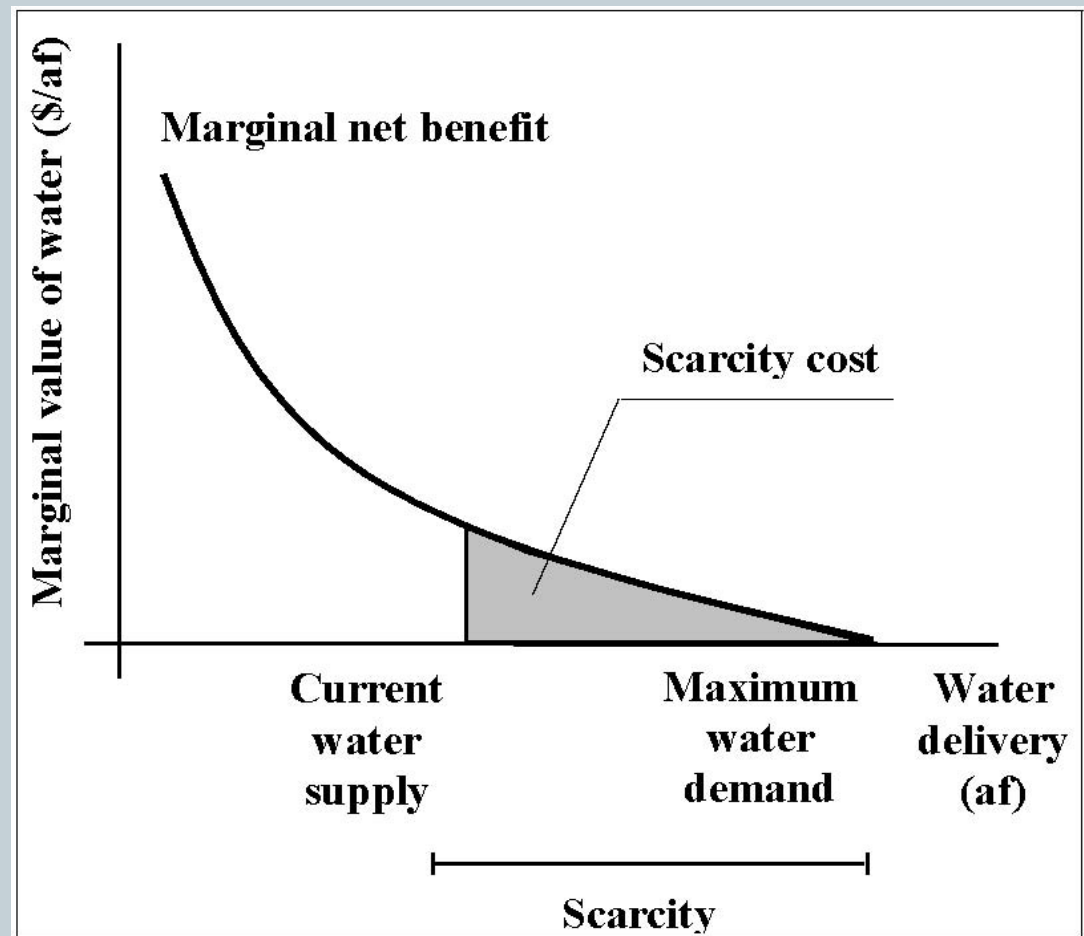
$$\text{Max} \sum_G \sum_i p_i f_{Gi}(x_1, x_2, x_3) - \omega_1 x_1 - \omega_2 x_2 - \omega_3 x_3$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_G \sum_i x_{1,G,i} \leq X_{1,G}$$

$$\sum_G \sum_i x_{2,G,i} \leq X_{2,G}$$

# Funções econômicas e o custo da escassez da água

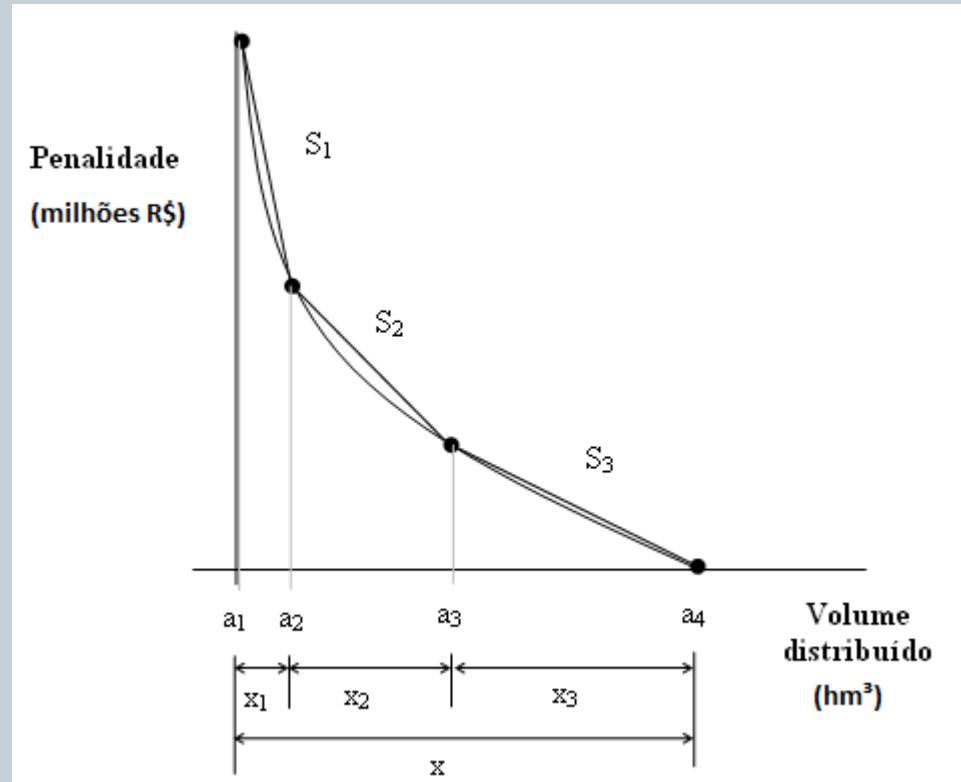
- O custo da escassez é a área sob a curva de demanda entre os pontos do abastecimento atual e a demanda máxima (ponto onde a disponibilidade a pagar pela água, ou valor marginal, é igual a zero).



# Custo da escassez = função de penalidade



- Função objetivo: minimiza o custo da escassez da água.
- Variáveis de decisão: volumes alocados a cada demanda e armazenados em reservatórios.
- Equações de restrição: balanço de massa, limitações físicas de infraestrutura e outros condicionantes como vazões ecológicas e restrições operativas hidráulicas.



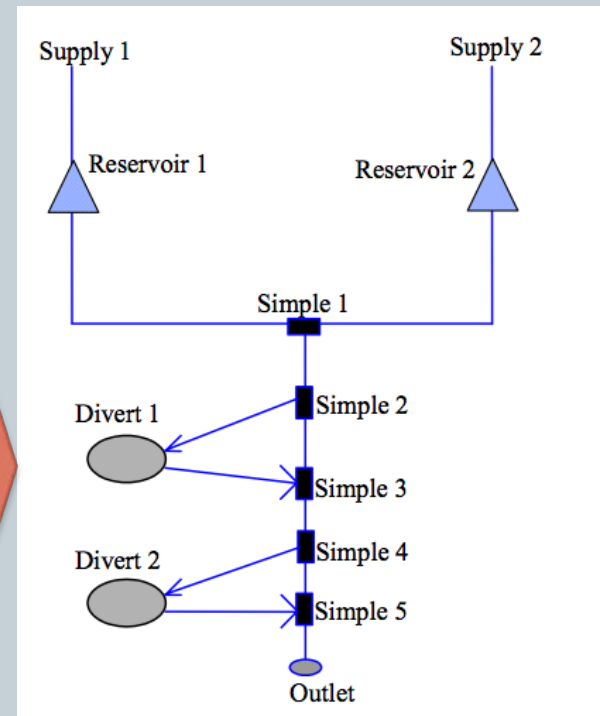
# Metodologia - Otimização de um sistema hídrico

O sistema hídrico modelado pode incluir:

- Fontes de abastecimento;
- Reservatórios;
- Demandas;
- Retiradas e retorno de água.

• Sistema representado como um *grafo*

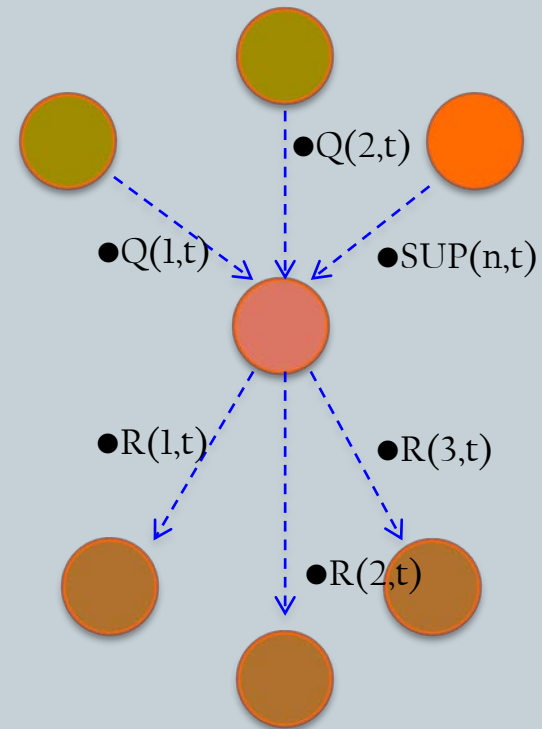
• Presença de arcos (links) e nós



# Equações de restrição

## Nós simples

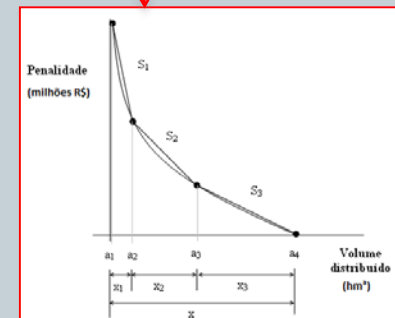
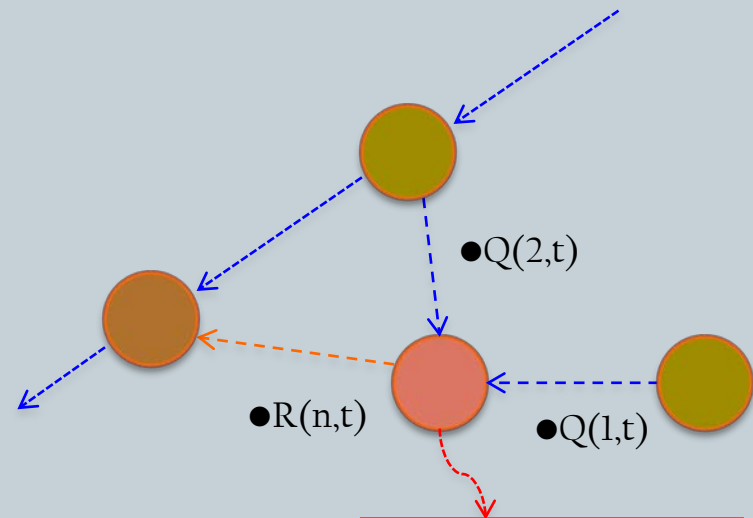
$$\sum_{n \in out} R(n,t) = \sum_{n \in in} Q(n,t) + SUP(n,t)$$



# Equações de restrição

## Nós de demanda

$$R(n,t) = R_j * \sum_{n \in in} Q(n,t) \quad n \in nrr$$

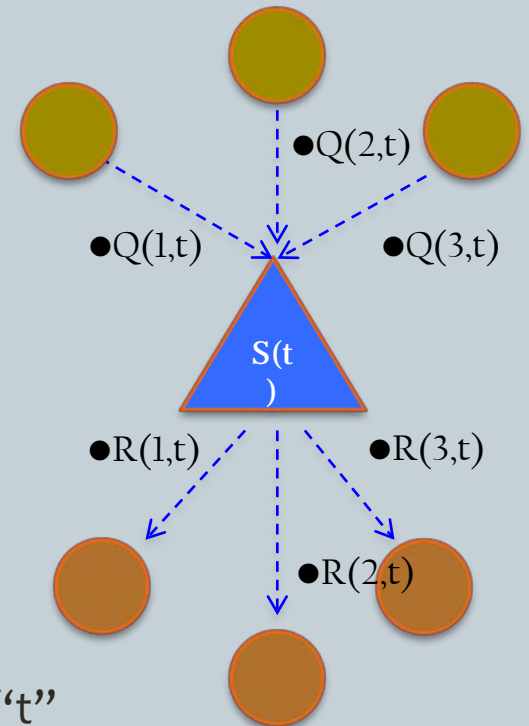


# Equações de restrição

## Nós de reservatório

$$S(n,t) = S(n,t-1) + \sum_{n \in in} Q(n,t) - \sum_{n \in out} R(n,t) \quad n \in nl$$

$S(n,t)$  é o volume armazenado no nó “n” ao fim do intervalo “t”





# Formulação



$$CET = \sum_t \left( \sum_{PT} (C_{MAX_{PT}} - \sum_{CST} X_{t,PT,CST} * CM_{CST,PT}) + \sum EX_{t,PT} * CEX; \right)$$

$$\sum_i VOL_{t,PT,i} - \sum_j VOL_{t,j,PT} = \begin{cases} S_{t+1,PT} - S_{t,PT} - P_{t,PT} + E_{t,PT} + EX_{t,PT}, & \text{IF } PT \in RES_{PT} \\ CONT_{t,PT}, & \text{IF } PT \in DF_{PT} \\ DM_{t,PT}, & \text{IF } PT \in DEM_{PT} \\ Q_{t,PT}, & \text{IF } PT \in IN_{PT} \end{cases} \quad (9)$$

$$X_{t,PT,CST} \leq REST_{CST,PT} \quad (10)$$

$$DM_{t,PT} = \sum_{CST} X_{t,PT,CST} \quad (11)$$

$$VOL_{t,PT,i} \leq UP_{PT,i} \quad (12)$$

$$VOL_{t,PT,i} \geq LOW_{PT,i} \quad (13)$$

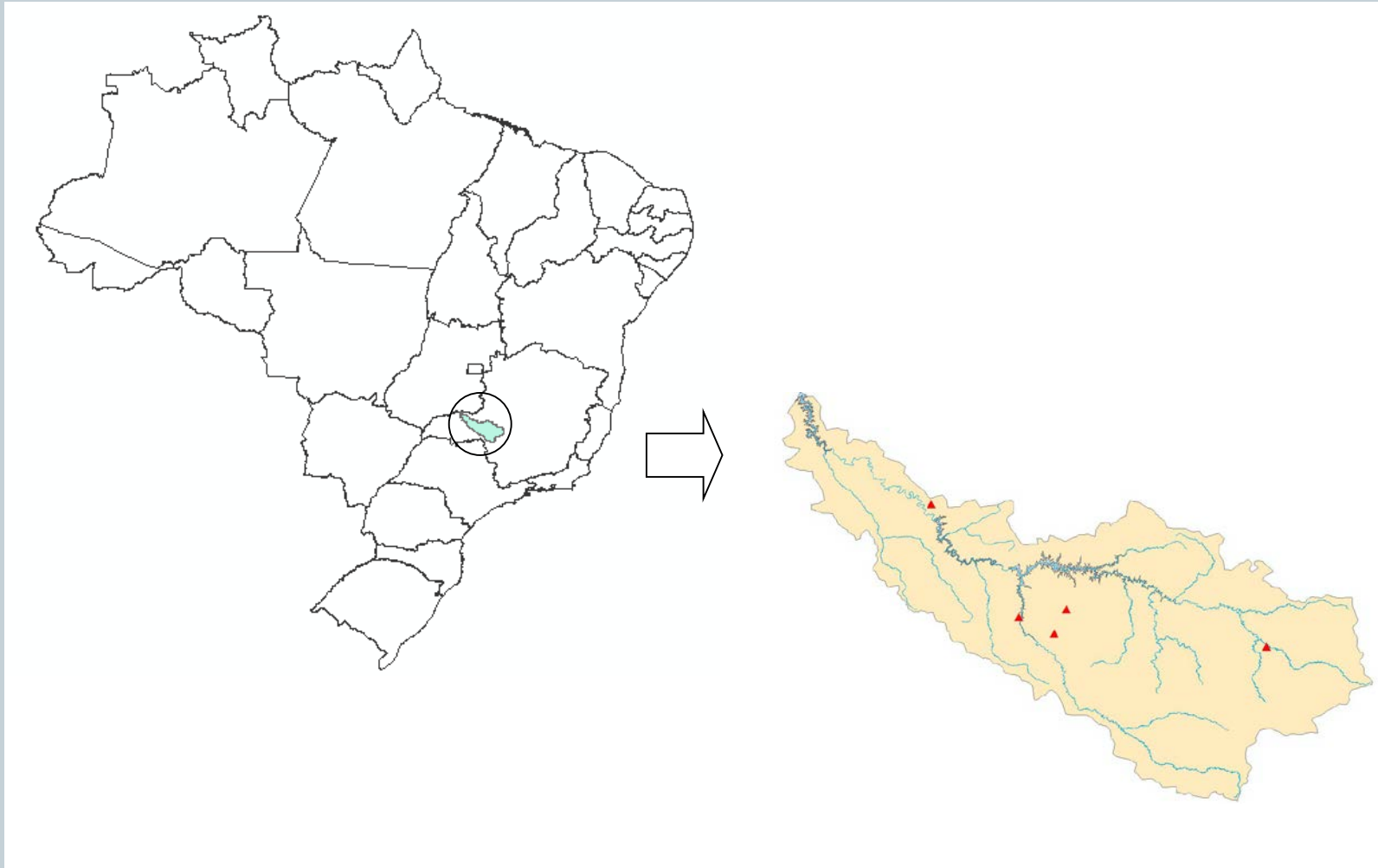
$$S_{t,PT} \geq Smin_{PT} \quad (14)$$

$$S_{t,PT} \geq Smax_{PT} \quad (15)$$

$$CONT_{t,PT} \geq LBOUND_{t,PT}; \quad (16)$$

$$CONT_{t,PT} \leq UBOUND_{t,PT};$$

# Área de estudo



# Cenários analisados



- Situação atual
  - Áreas plantadas de cana de açúcar e outras culturas segundo SIDRA 2006
- Situação sem subsídio na gasolina;
  - Aumento no preço da gasolina: 29,05%
  - Percentual do preço do produto sobre o preço da bomba: 34,6%
  - Aumento de 29,05% no preço da gasolina, resulta em 29,05% \* 34,6% = 10% no aumento do preço na bomba

# Cenários analisados



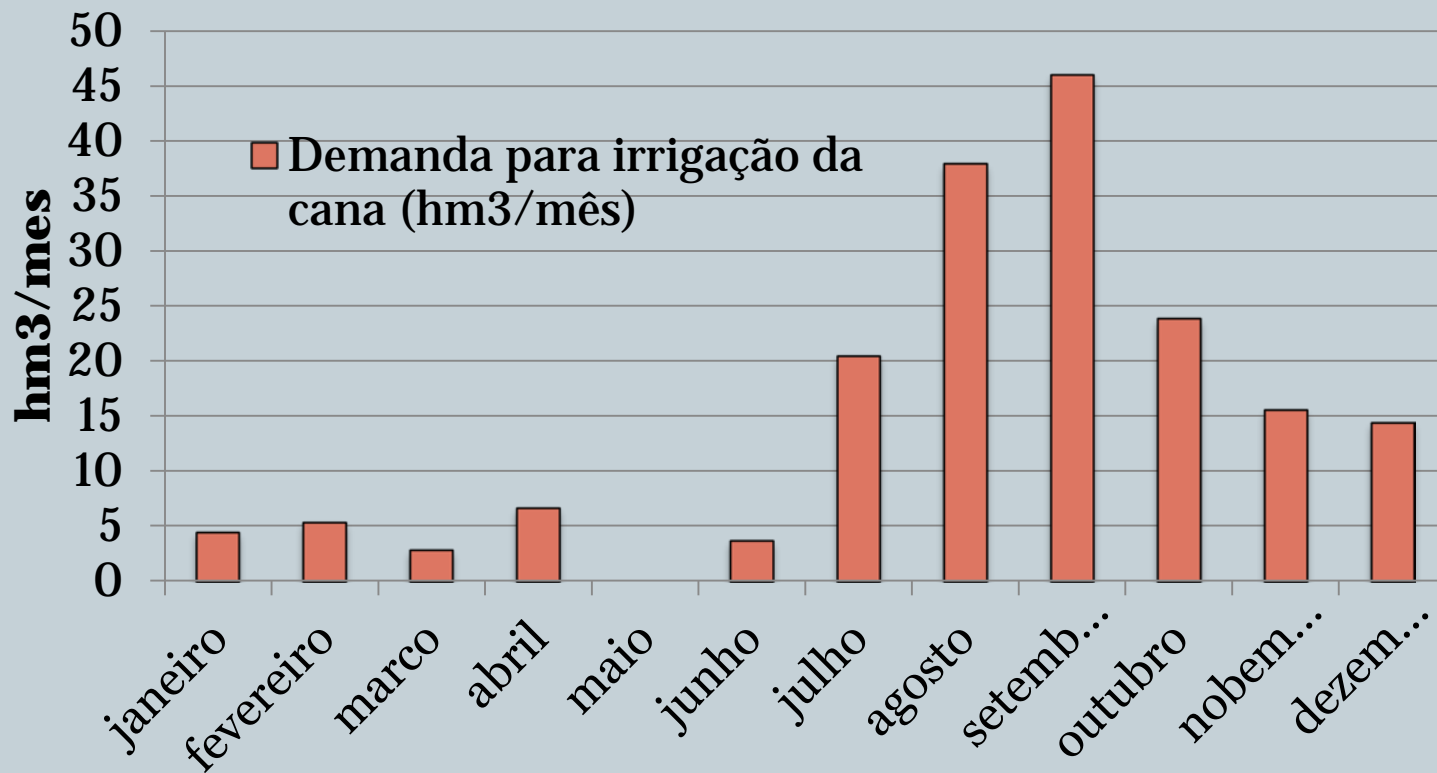
- Média do preço considerando a elasticidade preço cruzada etanol gasolina (dados literatura);
- Aumento resultante da demanda de etanol com o incremento do preço da gasolina é de aproximadamente: **3,7 milhões m<sup>3</sup>/ano**

# Cenários analisados



- Produção de cana-de-açúcar destinado ao etanol no Brasil, safra de 2013/2014: 339,8 milhões de ton,
  - 27,2 milhões m<sup>3</sup> de etanol (CONAB, 2013) e uma razão de 0,08 m<sup>3</sup> de etanol/ton de cana;
- Aumento potencial na demanda de etanol: **13,67%**, (3,7 milhões m<sup>3</sup>)
  - 46,5 milhões de toneladas de cana / ano;
  - O triângulo mineiro produziu 23 milhões de toneladas (6,8% do total nacional);
  - Equivale a 3,14 milhões de toneladas de cana;
  - Equivale a 23.776 ha irrigados (a 132,2 TCH )

# Demanda por água



# Sistema modelado

