



## PEGADA HIDRICA EM CANA-DE-AÇÚCAR



# Pegada Hídrica

- Conceito relativamente novo → Mexe com a imaginação das pessoas;
- Indicador muito útil para mostra quando, onde e como os processos e produtos individuais demandam água;
- Ferramenta útil para quantificar e localizar as pegadas hídricas, e assim identificar opções para reduzi-las onde for necessário;
- Indicador relevante dentro da abrangente temática que envolve a alocação e o uso sustentável, justo e eficiente dos recursos naturais.

# Modelo da Pegada hídrica - Arjen Hoekstra

Reunião de peritos na Holanda, em 2002;  
Fórum da Água, no Japão, em 2003

## Pegada da água



*“O volume total de água consumido direto e indiretamente no processo de produção de bens e serviços”*

- Medido durante as etapas de produção sendo um indicador multidirecional

Modelo permite avaliações temporais e espaciais, durante as etapas de produção.

	Espacial	Temporal	Fonte de dados
Nível A	Global	Anual	Literatura e banco de dados sobre o consumo e poluição, por produto ou processo
Nível B	Nacional, regional ou de uma bacia	Anual ou mensal	Similar ao nível “A” porém com o uso de dados específicos nacionais, regionais ou de bacias.
Nível C	Pequena Bacia, Propriedade ou gleba	Ciclo perene ou anual, mensal e até diário	Dados empíricos ou (se não forem diretamente mensuráveis) melhores estimativas do consumo e poluição da água.

# Classificação pela origem da água:

## **Água azul**

Água consumida de fontes superficiais e/ou subterrânea  
**(Irrigação)** pelo sistema produtivo



## **Água verde**

Água da chuva consumida durante o processo de produção.



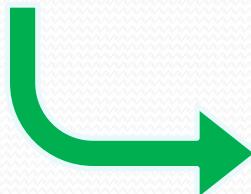
## **Água cinza**

Volume de água possível de poluição durante a produção



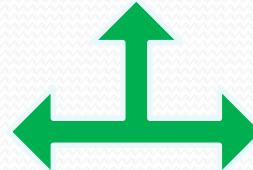
# Consumo direto da água

- Em **sistema agrícola** refere-se ao volume de água consumida pelas plantas durante o ciclo de vida



Evapotranspiração da cultura

Balanço de água no solo



- Obtenção dos componentes

- Água verde e azul

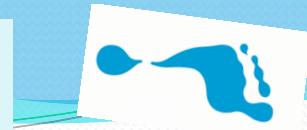
$$PH_{(verde/azul)} = \frac{DH_{(verde/azul)}}{Y}$$

Onde: DH → Demanda hídrica ( $m^3 ha^{-1}$ ); Y → Produtividade ( $Mg ha^{-1}$ );

$$DH_{(verde/azul)} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ETc_{(verde/azul)} \quad (m^3 ha^{-1})$$

Onde: ETc → Evapotranspiração da cultura ( $mm dia^{-1}$ ); 10 → Fator de conversão; lgp → período de crescimento (dia)

# Componente azul e verde



- Sistema localizado → Água de irrigação = água consumida.

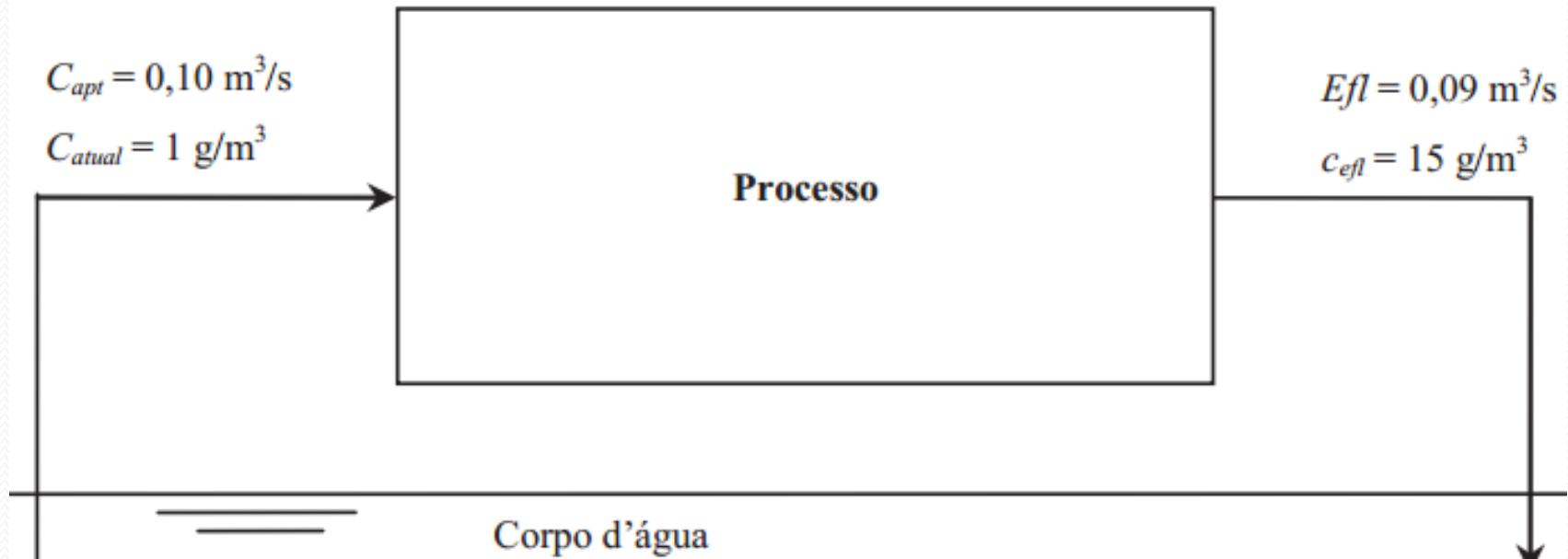
Dia do ano	(t + 1) Data análise (às 7 h)	(t) Data ocorrência	(t + 1) I Fixar:	(t) P 0	(t) ETo (mm)	(t) Kc ajustado	(t) ETc (mm)	(t) P+I-ETc (mm)	(t) Armaz (mm)	Exc (mm)
Fixar AD: 15										
0	31	1	-	-	6.5	0.80	5.2	-5.2	9.8	0.0
1	1	2	-	-	6.5	0.83	5.4	-5.4	4.4	0.0
2	2	3	-	-	5.6	0.80	5.0	-5.0	-0.6	0.0
3	3	4	15.6	-	6.0	0.80	5.3	10.2	9.7	0.0
4	4	1	-	-	6.7	0.92	6.2	-6.2	3.5	0.0
5	5	2	-	-	6.3	0.95	6.0	-6.0	2.5	0.0
6	6	3	17.5	-	6.2	0.98	6.1	11.4	8.9	0.0
		6	-	-	5.2	1.02	5.3	-5.3	3.6	0.0
7	7	1	-	-	4.0	0.85	4.2	-4.2	-0.6	0.0
Total			33.1		53.2		48.7			
$L = 15,5 \text{ mm}$										

Volume (lâmina) de água azul

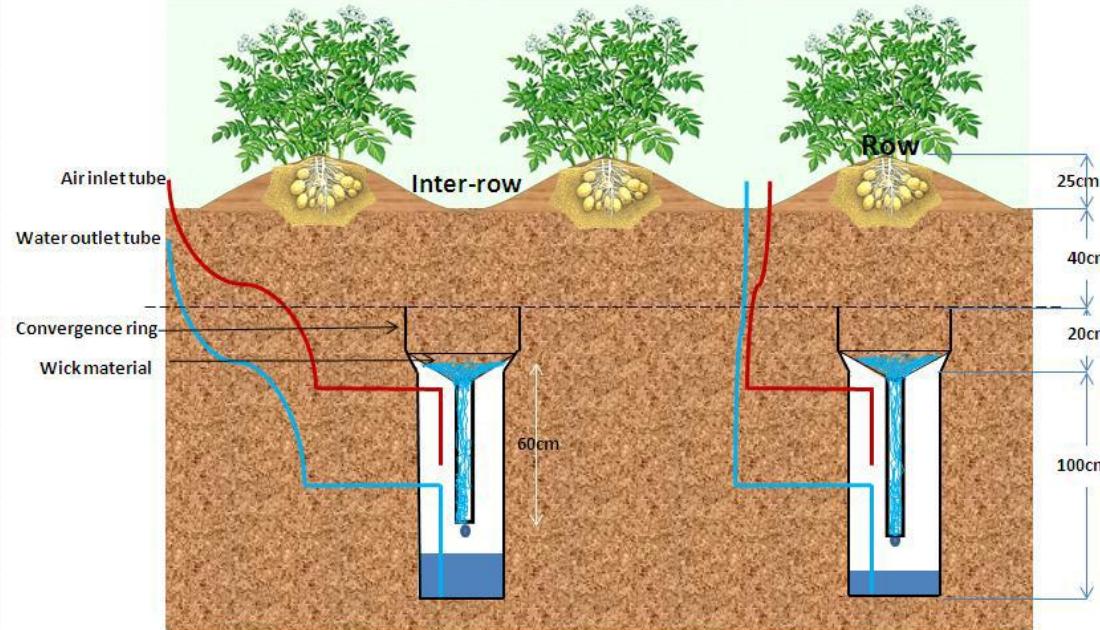
Volume de água verde

# Componente cinza da PH

- Relacionado a carga de poluentes gerados e/ou incorporados durante o cultivo (sistema produtivo).



# Determinação do C<sub>cinza</sub> em campo (Herath et al 2012)



$$C_{nat} = 0.3 \text{ mg L}$$

$$C_{max} = 10 \text{ mg L} \text{ (Cetesb e OMS)}$$

$$PH_{cinza} = \frac{Effl (C_{effl} - C_{nat})}{(C_{max} - C_{nat})}$$

Lisímetro de drenagem – Alta precisão

# Considerações

- Cálculo realizado considerando os padrões naturais do corpo receptor;
- Dificuldade de padrões de qualidade para todas as substâncias.
- Sistema agrícola → Nitrato poluentes principal. Ausência de dados de campo (taxa de lixiviação e/ou escoamento superficial) recomenda-se utilizar 10%.
- Valores limites são frequentemente baseados na potabilidade da água.

# Estudos com cana-de-açúcar

**Table 8.** The water footprint of rain-fed and irrigated agriculture for selected crops (1996–2005).

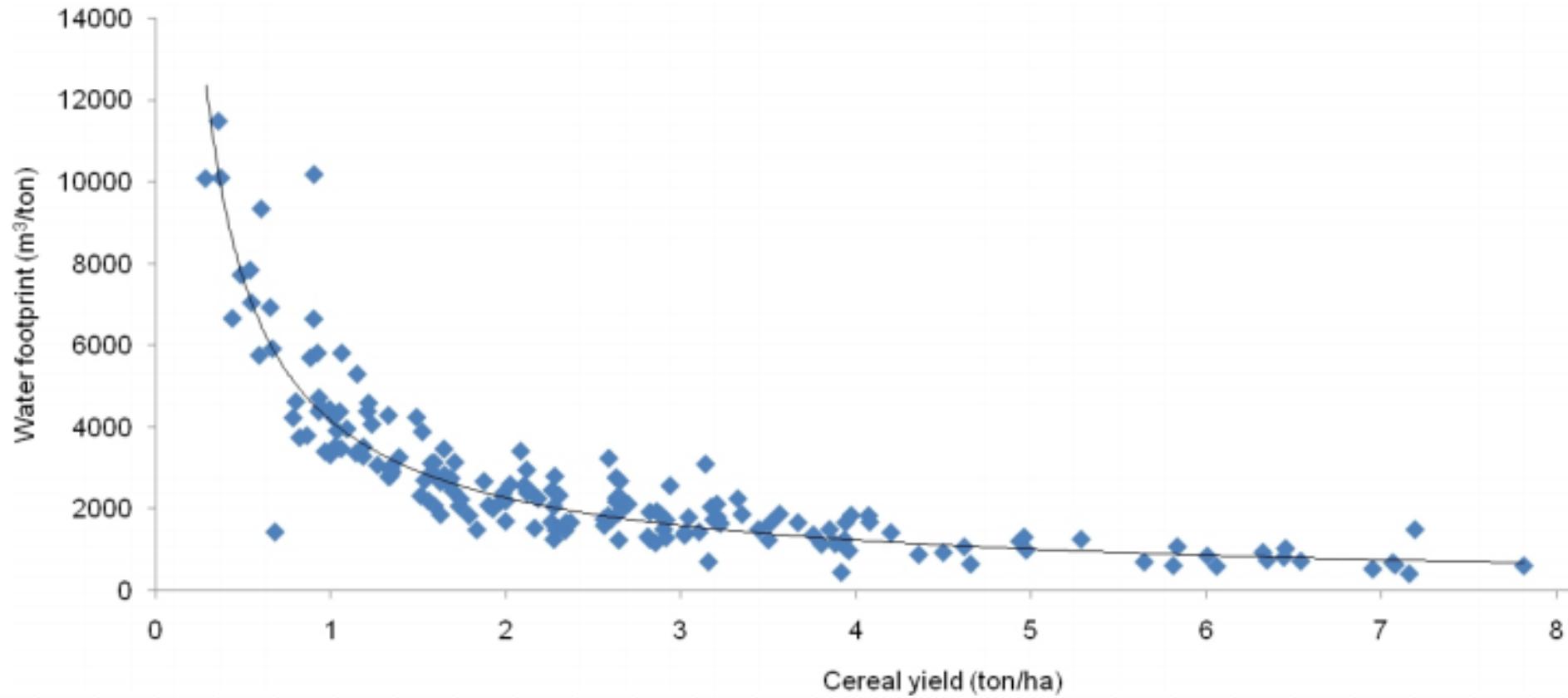
Crop	Farming system	Yield (ton ha <sup>-1</sup> )	Total water footprint related to crop production (Gm <sup>3</sup> yr <sup>-1</sup> )				Water footprint per ton of crop (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )			
			Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey	Total
Wheat	Rain-fed	2.48	610	0	65	676	1629	0	175	1805
	Irrigated	3.31	150	204	58	411	679	926	263	1868
	Global	2.74	760	204	123	1087	1278	342	208	1828
Maize	Rain-fed	4.07	493	0	85	579	1082	0	187	1269
	Irrigated	6.01	104	51	37	192	595	294	212	1101
	Global	4.47	597	51	122	770	947	81	194	1222
Rice	Rain-fed	2.69	301	0	30	331	1912	0	190	2102
	Irrigated	4.67	378	202	81	661	869	464	185	1519
	Global	3.90	679	202	111	992	1146	341	187	1673
Apples	Rain-fed	8.93	24	0	6	30	717	0	167	883
	Irrigated	15.91	8	8	2	18	343	321	71	734
	Global	10.92	33	8	7	48	561	133	127	822
Soybean	Rain-fed	2.22	328	0	5	333	2079	0	33	2112
	Irrigated	2.48	24	12	1	37	1590	926	85	2600
	Global	2.24	351	12	6	370	2037	70	37	2145
Sugarcane	Rain-fed	58.70	95	0	7	102	164	0	13	176
	Irrigated	71.17	85	74	10	169	120	104	14	238
	Global	64.96	180	74	17	271	139	57	13	210

# Pegada hídrica de plantas bioenergética

**Table 3b – Water footprint of biomass for fifteen crops grown in the Netherlands, the United States, Brazil and Zimbabwe (m<sup>3</sup>/GJ)**

Crop	m <sup>3</sup> /GJ			
	The Netherlands	United States	Brazil	Zimbabwe
Cassava	–	–	30	205
Coconut	–	–	49	203
Cotton	–	135	96	356
Groundnuts	–	58	51	254
Maize	9	18	39	200
Miscanthus	20	37	49	64
Palm oil and kernels	–	–	75	–
Poplar	22	42	55	72
Potatoes	21	32	31	65
Soybeans	–	99	61	138
Sugar beets	13	23	–	–
Sugarcane	–	30	25	31
Sunflower	27	61	54	146
Wheat	9	84	83	69
Oilseedrape	67	113	214	–
Average	24	57	62	142

# Produção e Pegada hídrica

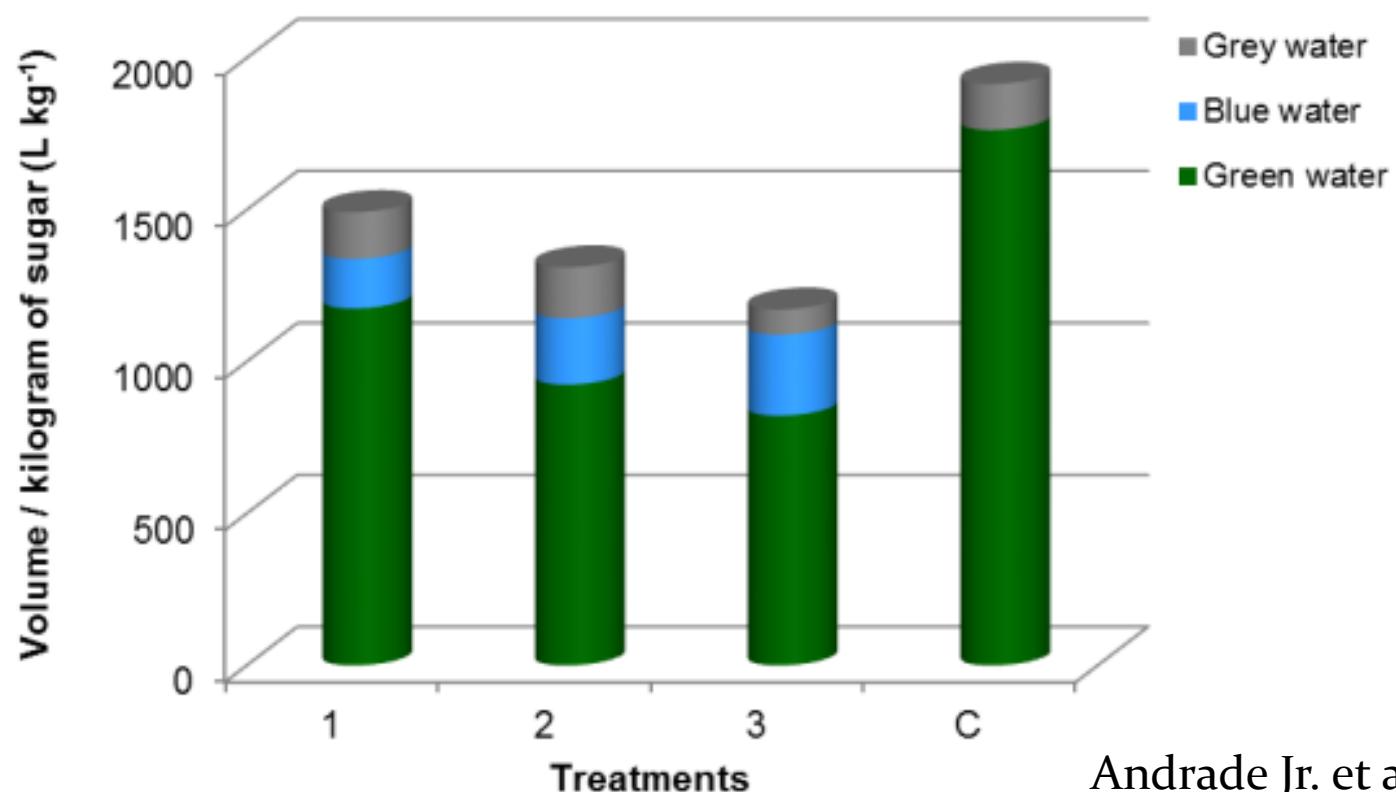


- Uso da irrigação pode reduzir a PH dos produtos agrícolas.

## • Gotejamento em cana – Piauí

Treatment	ID* (mm)	TID** (mm)	N (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	TCH (t ha <sup>-1</sup> )	TAH (t ha <sup>-1</sup> )	VAH (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
1	288.5	2368.9	113.3	133.0	149.4	17.7	12.7
2	492.0	2572.4	160.0	133.0	170.1	22.5	16.0
3	675.0	2755.4	90.0	60.0	207.4	25.3	20.0
C	0.0	2080.4	75.0	75.0	101.0	11.8	8.5

\* Irrigation depth; \*\* Total irrigation depth (Irrigation depth plus rainfall of 2,080.4 mm); C - Control



Andrade Jr. et al., (2012)

## • Irrigação por pivô – Cana-de-açúcar (Paraíba)

Tabela 5. Pegada hídrica verde, azul e cinza da cana-de-açúcar cultivada em sistema de sequeiro e irrigada com 25%, 50%, 75% e 100% de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e através do modelo CROPWAT

Tratamento	PH verde (m <sup>3</sup> /ha)	PH azul (m <sup>3</sup> /ha)	PH cinza (m <sup>3</sup> /ha)	PH total (m <sup>3</sup> /ha)
<b>Sequeiro</b>	82,75	0	20,77	103,52
<b>25%</b>	56,89	69,68	13,62	140,19
<b>50%</b>	55,72	82,49	12,92	151,14
<b>75%</b>	51,14	95,82	11,79	158,75
<b>100%</b>	50,24	97,71	11,57	159,53
<b>Modelo CROPWAT</b>	119,56	107,39	9	235,96

# **Estudo de Caso**

## **Pegada Hídrica da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado via irrigação por gotejamento subsuperficial**

➤ Objetivo:

- Avaliar a pegada hídrica da cana-de-açúcar não irrigada e irrigada com EDT e ARS via IGS, com e sem complementação nutricional.

# Metodologia Geral



Área experimental Feagri/Unicamp, Campinas, SP. (Fonte: Google Earth 2014).

Solo: Latossolo vermelho distroférrico;  
Variedade de cana-de-açúcar RB 867515;  
Plantio - Maio de 2011/Colheita – Setembro de 2012  
Adubação – Rossetto et al. (2008)

# *Delineamento experimental*

- Distribuição em Blocos Casualizados com 5 Repetições
- Esquema 2x2 + 1 testemunha não irrigada

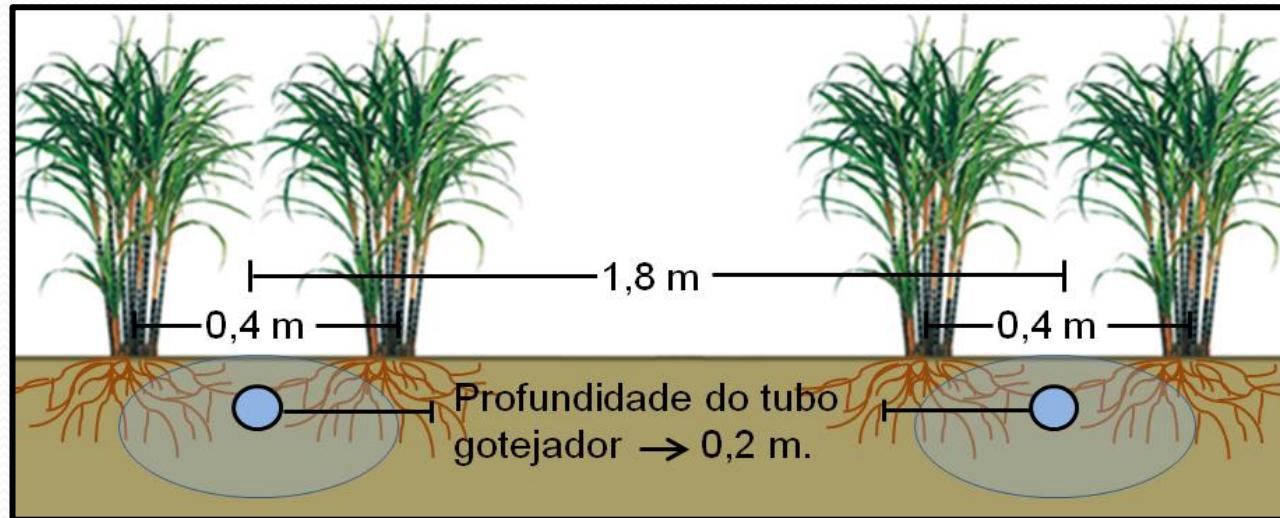
T1	Não irrigado com adubação de cobertura			
T2	Esgoto doméstico tratado - com fertirrigação complementar			
T3	Esgoto doméstico tratado – sem adubação complementar			
T4	Água de reservatório - com fertirrigação complementar			
T5	Água de reservatório - sem adubação complementar			

BLOCOS	1	T2	T5		T3	T1	T4			
	2	T4					T3	T1	T2	T5
	3	T1		T2		T4		T5	T3	
	4	T3		T4	T1	T5		T2		
	5		T1		T5		T3	T4		T2

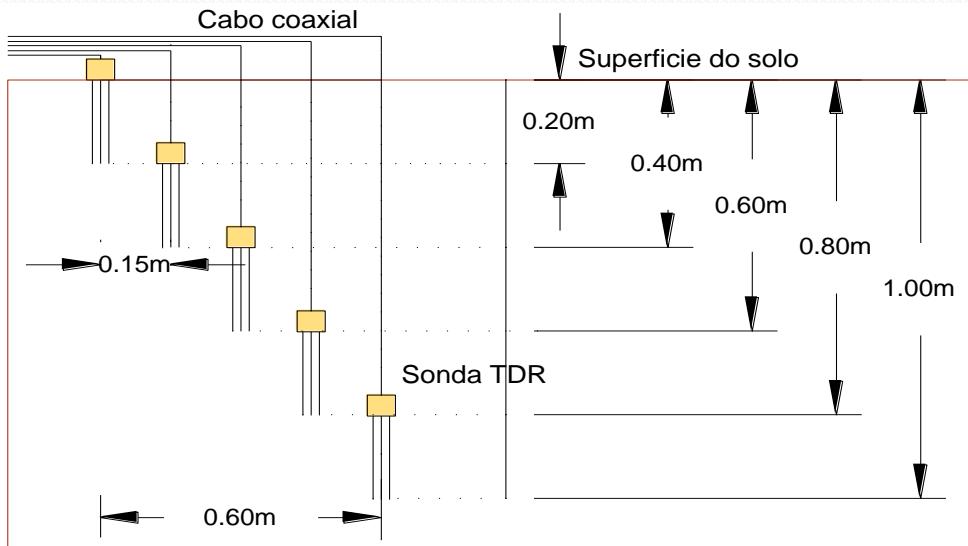
# Tratamento do EDT e Controle da irrigação



# *Esquema da IGS e plantio da cana-de-açúcar*

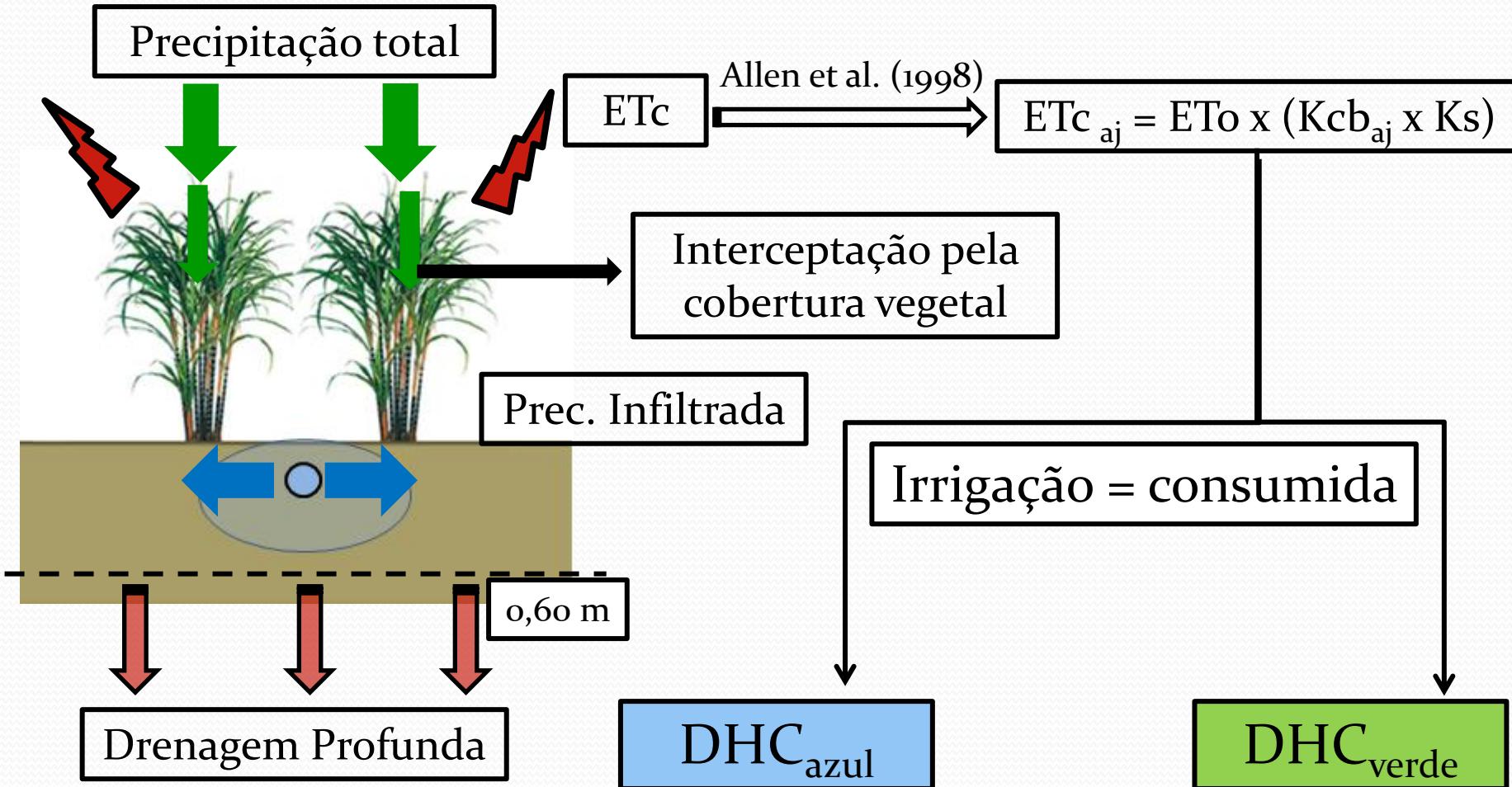


## Irrigação – Umidade do solo - TDR



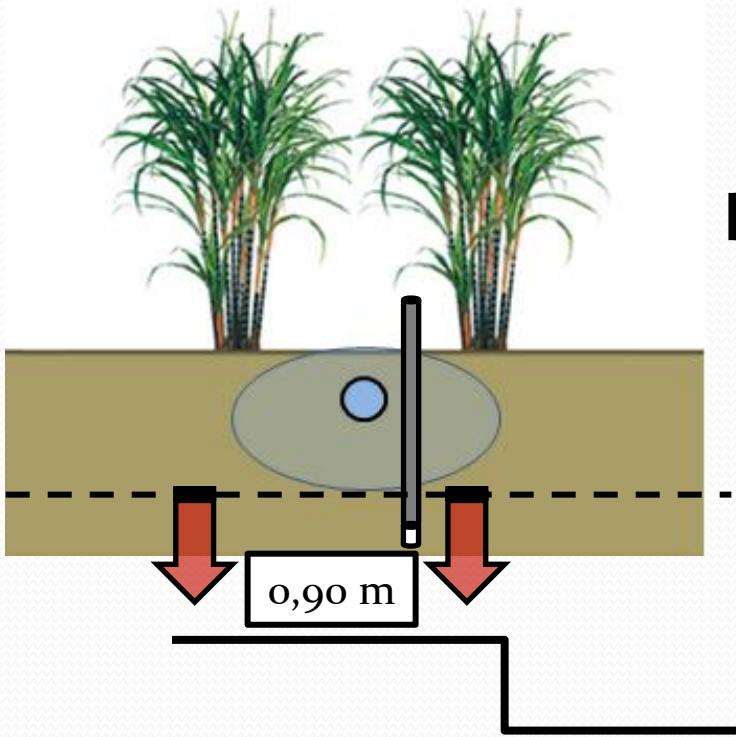
# Consumo direto

## Balanço hídrico – Evapotranspiração – Consumo direto



# Determinação do componente cinza

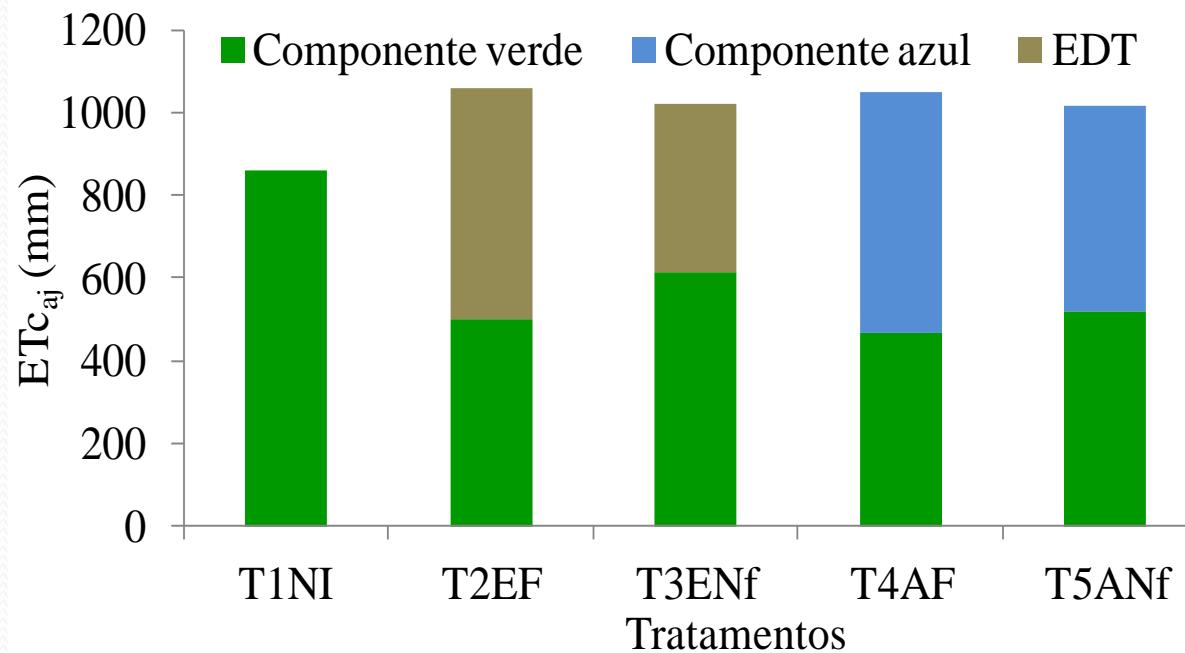
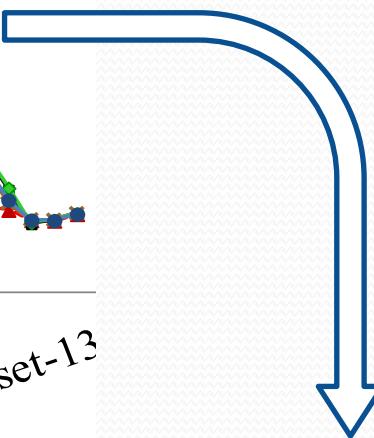
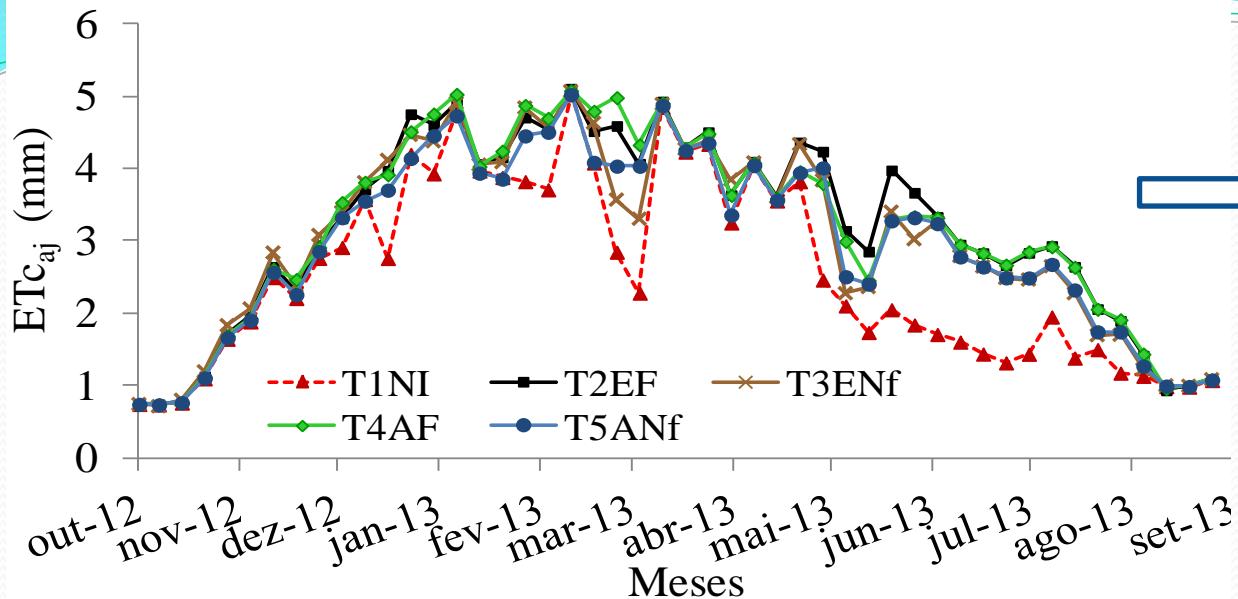
Poluição com nitrato e consumo indireto



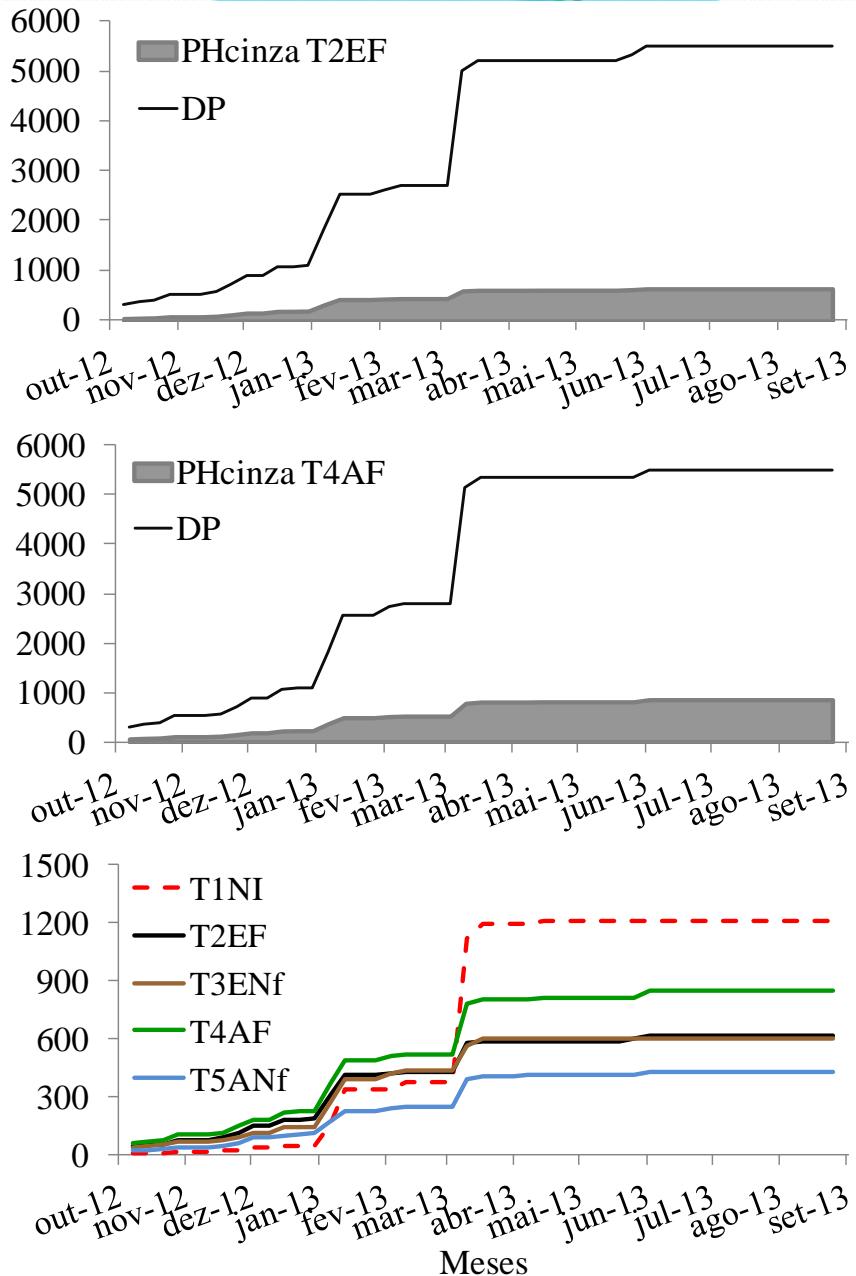
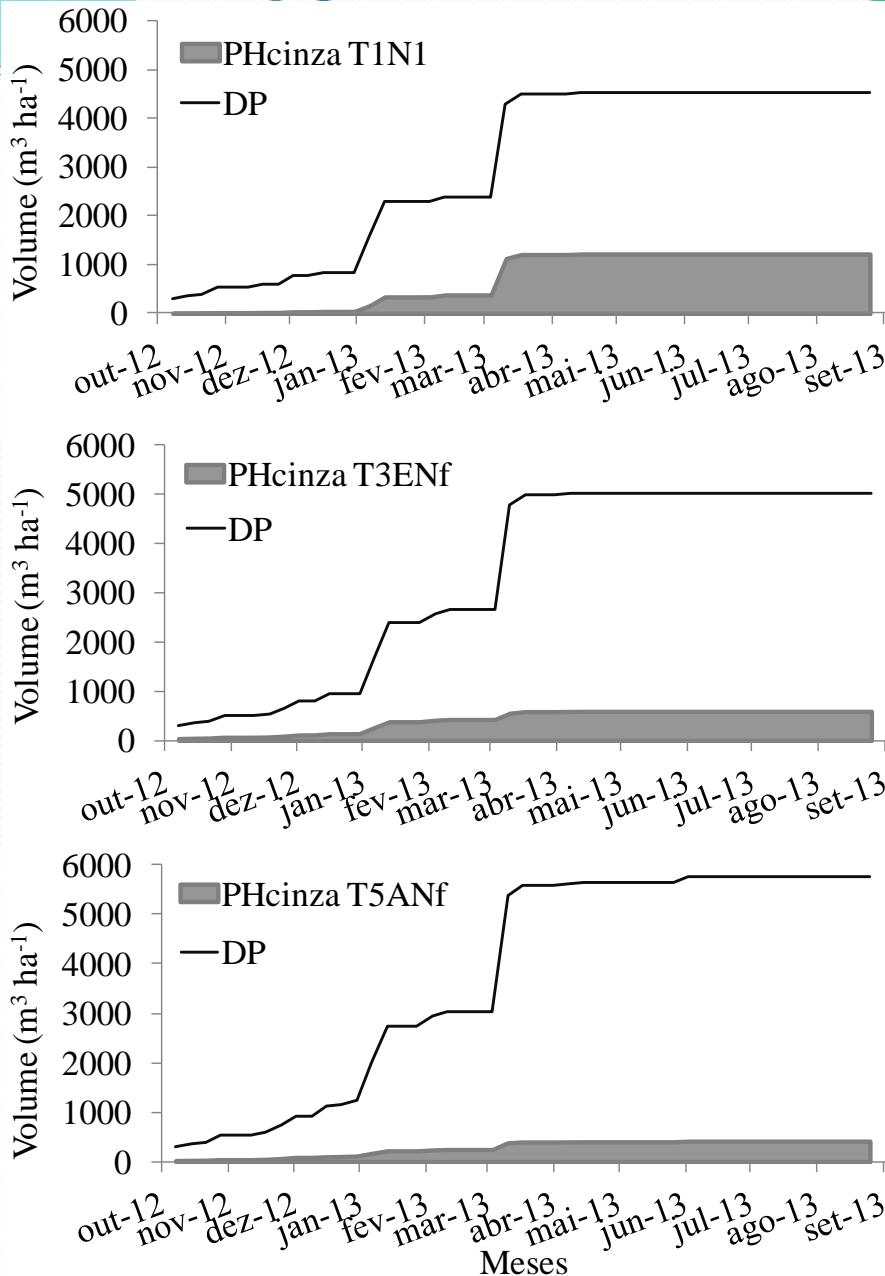
$$DHC_{cinza} = \frac{E_{fl} (C_{efl} - C_{nat})}{(C_{max} - C_{nat})}$$

$$C_{nat} = 0,3 \text{ mg L}^{-1} \text{ e } C_{max} = 10 \text{ mg L}^{-1}$$

# Resultado e discussão – Consumo direto



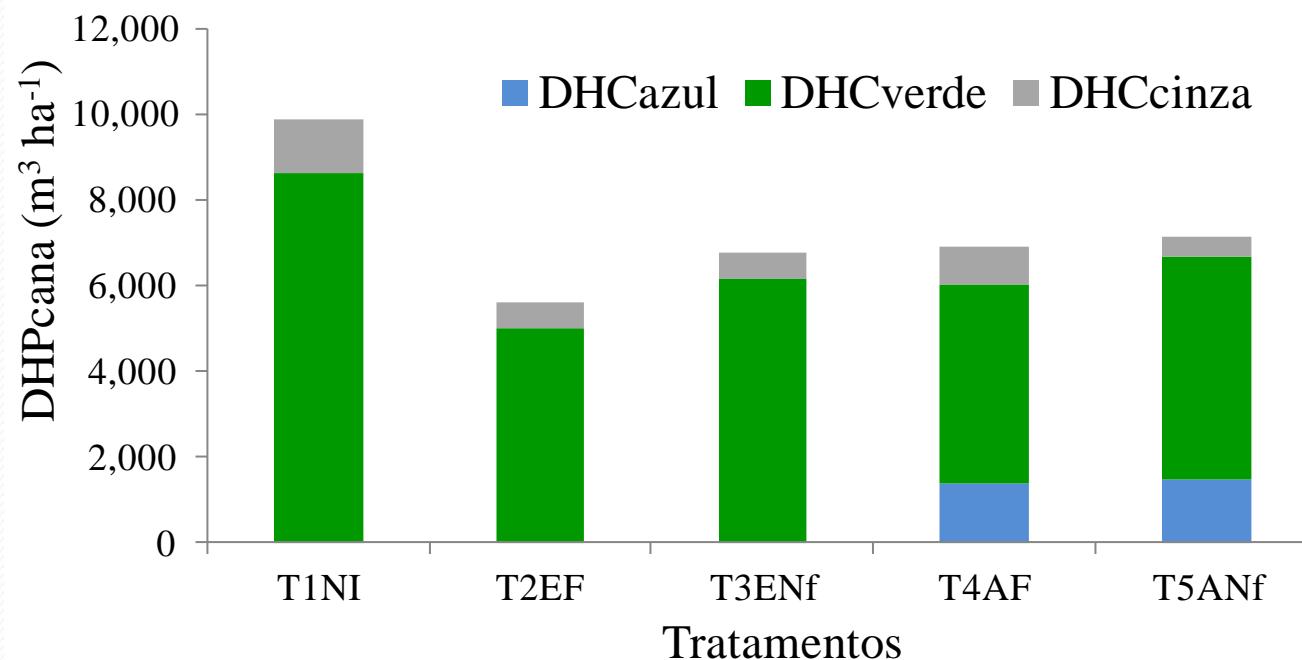
# Consumo indireto



# Lixiviação de nitrato e DHC<sub>cinza</sub>

Tratamentos	T1NI	TEF	T3ENf	T4AF	T5ANf	Teste F	C.V.	Média geral
	kg ha <sup>-1</sup> de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>							
ENP	11,45 a	3,23 b	2,98 b	5,30 ab	1,85 b	4,96*	61,4	4,74
DHC <sub>cinza</sub>	1253 a	602 b	635 b	852 ab	429 b	4,88 *	53,3	756

## Demanda hídrica total



# Resultado e discussão

## Pegada hídrica

Tratamentos	PHazul	PHverde	PHcinza	PHcana
$\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$				
T1NI	-	52,0 a	7,3 a	59,3 a
T2EF	-	21,3 b	2,7 b	24,0 b
T3ENf	-	24,2 b	2,4 b	26,6 b
T4AF	6,4	21,9 b	4,0 ab	32,3 b
T5ANf	7,5	26,5 b	2,1 b	36,1 b
Média Geral	-	29,2	3,70	35,7

$\downarrow \approx 28,5 \text{ m}^3 \text{ Mg}$

$\downarrow \approx 30 \text{ m}^3 \text{ Mg}$

# Conclusões

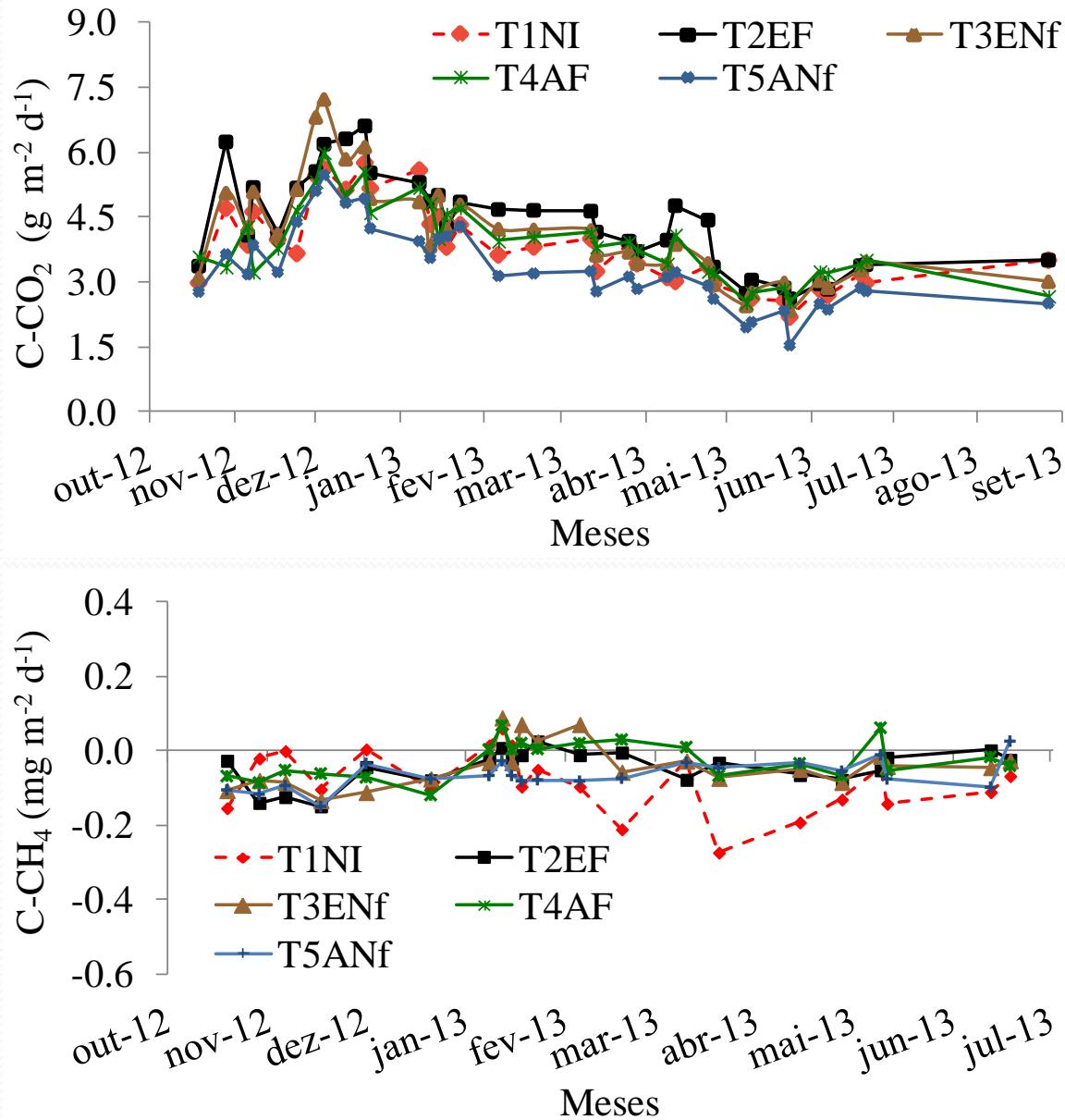
- A adoção da IGS reduziu a  $\text{PH}_{\text{cana}}$  em relação ao cultivo não irrigado;
- O consumo direto de água é menor nos cultivos irrigados por gotejamento subsuperficial em relação ao não irrigado;
- Quando utilizado o nitrato como poluente principal verificou redução no consumo de água nos tratamentos irrigados com EDT em relação ao cultivo não irrigado.

# **Efeito da aplicação de esgoto doméstico tratado e fertirrigação via gotejamento subsuperficial no balanço de gases do efeito estufa**

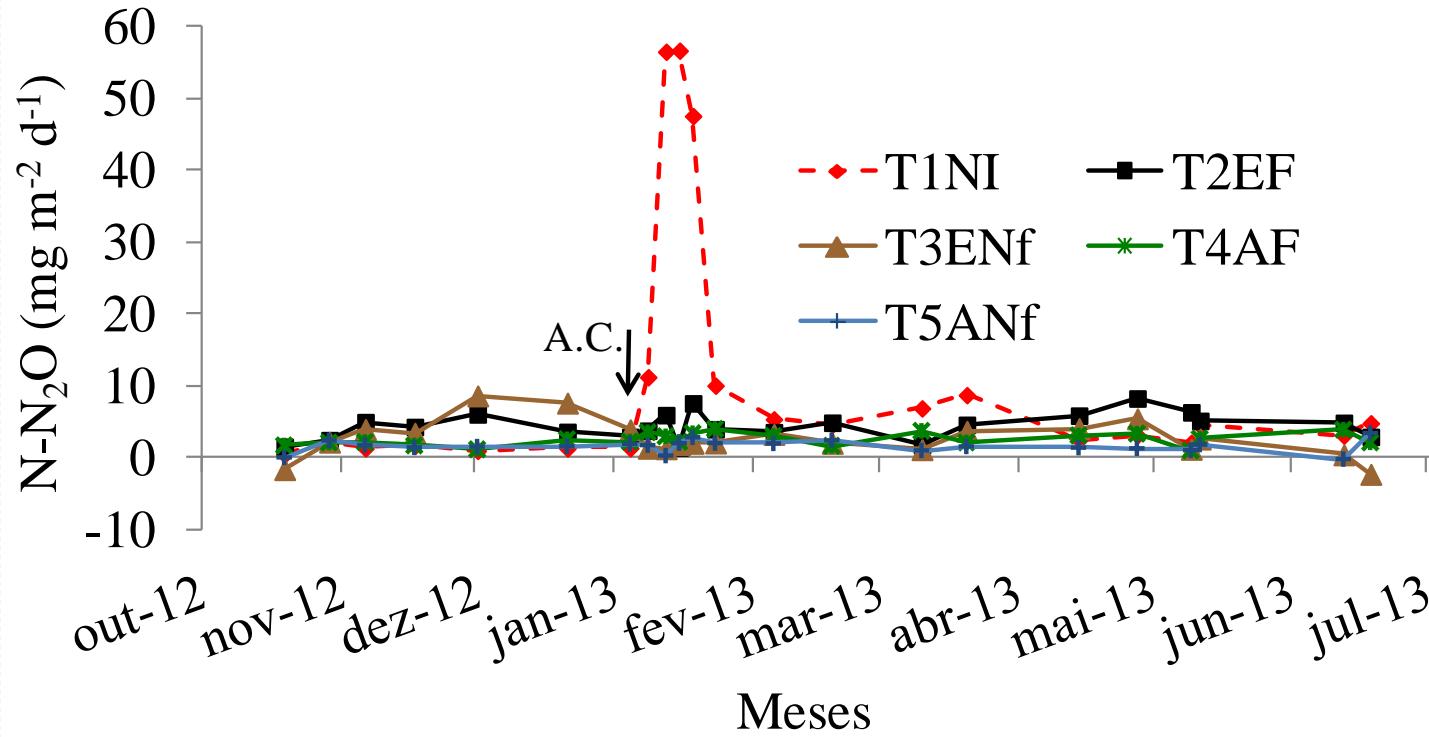
➤ Objetivo:

- Realizar o balanço de GEE, contabilizando as emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em contraste ao CO<sub>2</sub> remanescente da cana não irrigada e irrigada com EDT e ARS, com e sem complementação nutricional.

# Resultado e discussão

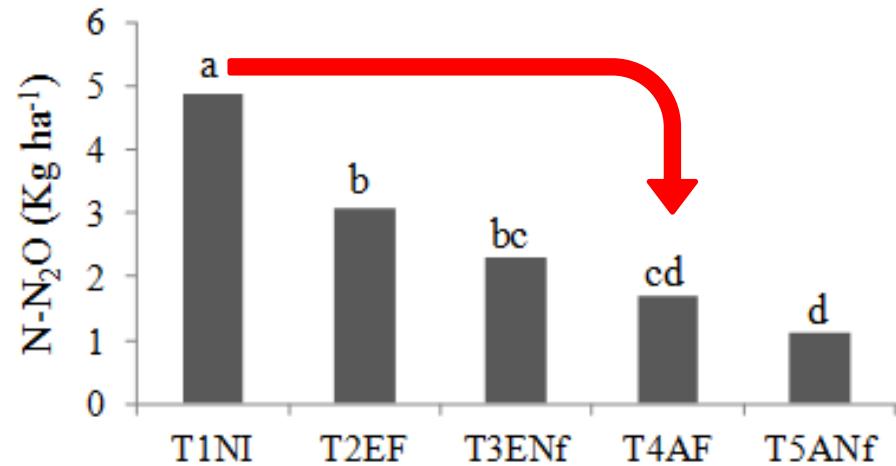
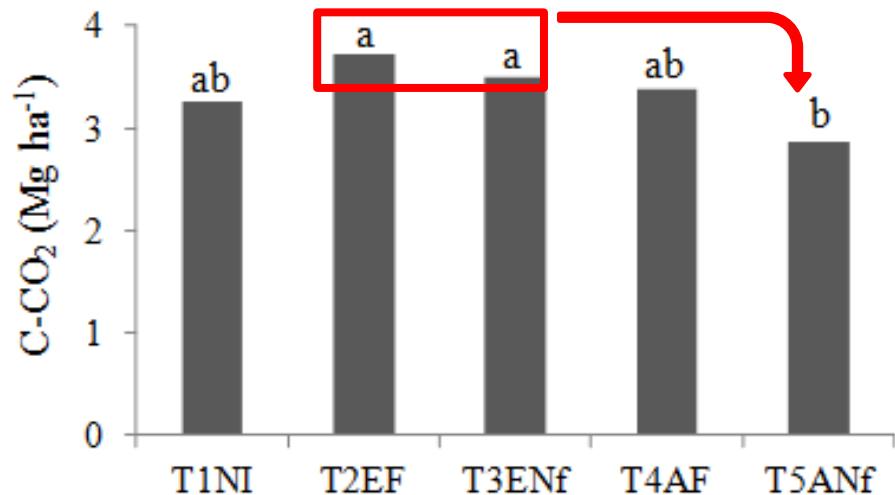


# Resultado e discussão



- Adubação de cobertura → Alta taxa de emissão após aplicação;
- Tratamentos irrigados com EDT maior fluxo em relação ao irrigado com ARS e fertirrigado

# Resultado e discussão



Tratamento	T1NI	T2EF	T3ENf	T4AF	T5ANf
FE N (kg ha <sup>-1</sup> )	3,20±0,35 120,00	1,64±0,18 121,40	1,55±0,97 75,70	0,49±0,36 120,60	- 1,28

# Resultado e discussão

Tratamentos	EAG	F+P	Palhada	SR	ECR	$\Delta\text{CO}_2$ cana
	$\text{Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$					
T1NI	14,28 a	17,09 c	15,12	3,16	35,37 b	21,09 b
T2EF	15,12 a	23,52 a	18,04	2,74	44,30 a	29,18 a
T3ENf	13,93 a	21,59 ab	17,91	3,37	42,86 ab	28,93a
T4AF	13,19 ab	18,31 bc	15,18	3,09	36,58 ab	23,38 ab
T5ANf	11,06 b	18,34 bc	15,10	2,17	35,61 b	24,55 ab
Média	13,52	19,77	16,27	2,91	38,94	25,43
C.V. (%)	7,65	9,33	22,2	22,0	8,86	14,23

$\uparrow \approx 3,38 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$

$\uparrow \approx 7,65 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$

# Conclusões

- A aplicação de EDT na irrigação da cana-de-açúcar, ocasionou um saldo positivo entre as entradas e saída dos GEE, em relação ao cultivo não irrigado.
- A emissão de C-CO<sub>2</sub> apresentou maior contribuição na emissão acumulada de GEE;
- O uso da fertirrigação, via IGS, apresentou efeito mitigador para a emissão do N-N<sub>2</sub>O em comparação ao cultivo NI com adubação de cobertura

# Agradecimentos

