

COU, L.  
1986

# I Curso de Uso e Manejo da Irrigação

**CNPMS, 10 anos  
pesquisando para o produtor**  
**————— 1976 - 86 —————**



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS  
Sete Lagoas - MG

0089

A - Eficiência no Uso da Água

A eficiência no uso da água, EUA, em uma cultura, em termos de unidade de água usada por unidade de matéria seca produzida é de grande importância, especialmente onde existe um suprimento limitado de água. Segundo dados de literatura, a eficiência no uso da água para culturas de alto rendimento varia de 200 a 500 e para áreas com vegetação esparsa, como em regiões áridas, chega a alcançar 2.000.

$$EUA = \frac{\text{Unidade de Água}}{\text{Unidade de M. Seca}}$$

A eficiência no uso da água pode ser representada também em termos das relações:

$$EUA = \frac{ET}{C} = \frac{ET}{Y} = \frac{SA}{Y}$$

Onde:

ET = Evapotranspiração

C = Crescimento (Matéria Seca)

Y = Rendimento (grãos, fibra, açúcar, óleo, massa verde, etc. ...)

SA = Suprimento de Água

SA = Precipitação + Água no Perfil do Solo + Irrigação.

Em termos de irrigação a eficiência no uso da água deve levar em conta a frequência de irrigação e a quantidade de água aplicada. Se as irrigações são muito frequentes as perdas de água por evaporação aumentam. Se o turno de rega é muito longo a relação  $ET_c/ET_o$  cai, prejudicando a produção.

Outros fatores que devem ser levados em conta são: estágio de crescimento da planta, períodos críticos, tipo de material a ser colhido (grãos, folhas, frutos, fibras, etc....).

Em geral, quanto mais alto o rendimento em matéria seca em uma cultura, maior será a eficiência, EUA, porque a produção de matéria seca aumenta mais rapidamente que o uso de água. Portanto, a eficiência no uso da água é aumentada quando os outros fatores de produção não estão limitando, como por exemplo:



o uso de cultivares com potencial genético para altas produtividades, com sistema radicular profundo; níveis adequados de fertilizantes, etc. .

Entretanto, mesmo sob condições ótimas 200 a 500 unidades de água são necessárias para se produzir uma unidade de matéria seca. Isto, porque plantas com estruturas fotossintéticas eficientes permitindo a entrada de grandes quantidades de gás carbônico permitem também a saída de grandes quantidades de vapor d'água (transpiração).

O fluxo de  $CO_2$  da atmosfera para o interior das células, na folha, segue o mesmo trajeto do fluxo de vapor d'água do interior das folhas para a atmosfera, porém o sentido é oposto.

O fluxo de  $CO_2$  se dá segundo a equação

$$P = \Delta [CO_2] / r'$$

P = difusão de  $CO_2$

$\Delta [CO_2]$  = gradiente da concentração de  $CO_2$

$r'$  = resistência à difusão de  $CO_2$ .

Similarmente, o fluxo de vapor d'água segue a lei geral de transporte:

$$T = \frac{1}{r_a + r_f} (C_v^{cel} - C_v^{ar})$$

T = Transpiração

$r_a$  = resistência devido ao ar

$r_f$  = resistência total da folha

$C_v^{cel}$  = concentração de vapor d'água na célula

$C_v^{ar}$  = concentração de vapor d'água no ar

O fluxo de água do interior do tecido das folhas para a atmosfera é regulado por resistências internas, de uma maneira análoga a resistências elétricas, fig. 1.

A abertura estomatal depende além da intensidade de luz, do "Status" de água na folha, o potencial de água. A resistência estomatal, cresce rapidamente com o decréscimo do potencial de água na folha, figura 2, atingindo valores altíssimos, resultando no fechamento dos estômatos. Segue-se alguns exemplos de EUA, para algumas culturas:

#### Grupo C4

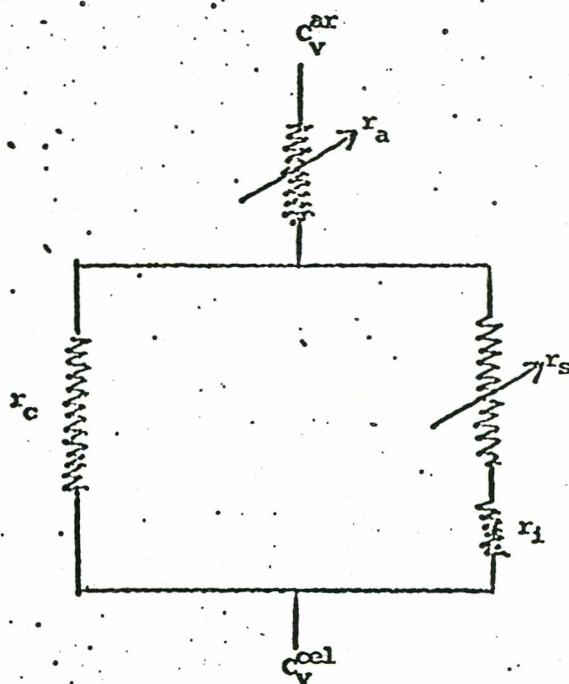
Milho

349 g de água/g de Matéria Seca

Figura 1

Transporte de água (fase vapor) no sistema Planta-Atmosfera

$$T = \frac{1}{r_a + r_f} (C_v^{cel} - C_v^{ar})$$



$T$  = transpiração

$C_v^{ar}$  = conc. de vapor d'água no ar

$C_v^{cel}$  = conc. de vapor d'água na célula

$r_a$  = resistência devido ao ar (Boundary Layer)

$r_s$  = resistência estomatal

$r_c$  = resistência cuticular

$r_i$  = resistência interna

$r_f$  = resistência total da folha

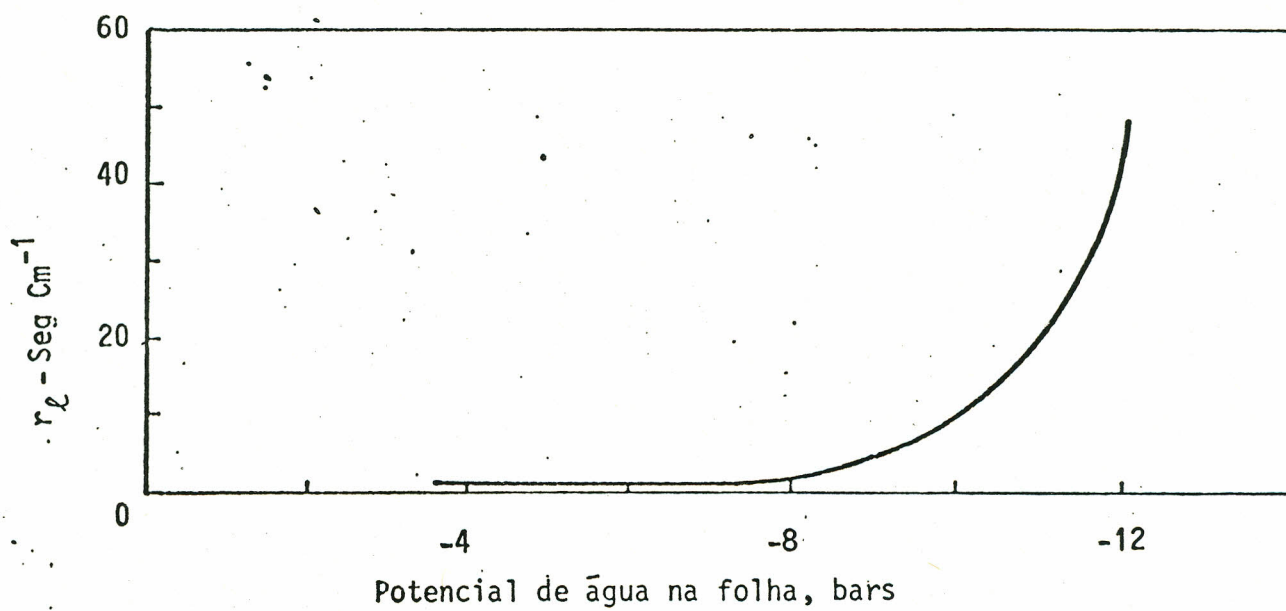


FIGURA 2. Relação entre a abertura estomatal, indicada pela resistência na folha ( $r_f$ ) e o potencial de água ( $\psi$ )



Grupo C 4

Milho	349 g de água/g de Matéria Seca
Sorghum sudanense	305 g de água/g de Matéria Seca
Sorghum spp	304 g de água/g de Matéria Seca
Panicum miliaceum	267 g de água/g de Matéria Seca
Setaria etalica	285 g de água/g de Matéria Seca

Grupo C 3

Média de 29 espécies	628 g de água/g de Matéria Seca
Faixa	415 - 912 g de água/g de Matéria Seca

## B - Transpiração e Fotossíntese

A eficiência no uso da água, EUA, pode também ser expressa pela relação entre a transpiração, T, e a fotossíntese líquida, P

$$EUA = T/P$$

T = perda de água em g/dm<sup>2</sup>/h

P = g de CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/h

Exemplo:

		durante o dia	à noite
Grupo	C 4	250 - 350	-
Grupo	C 3	450 - 600	-
CAM		150 - 600	25 - 150

Cerca de 85 a 90% da matéria seca das plantas é constituída por compostos à base de carbono, provenientes da fotossíntese, isto é, resultantes da redução do gás carbônico, CO<sub>2</sub>, pela luz. O processo da fotossíntese pode ser considerado como três processos parciais:

- Difusão de CO<sub>2</sub> da atmosfera para os cloroplastos.
- Interceptação da luz pelos vários pigmentos nos cloroplastos (Fotoquímico).
- Redução do CO<sub>2</sub> a carboidratos e outros compostos.

A difusão de CO<sub>2</sub> da atmosfera para o interior da folha se dá segundo a equação:

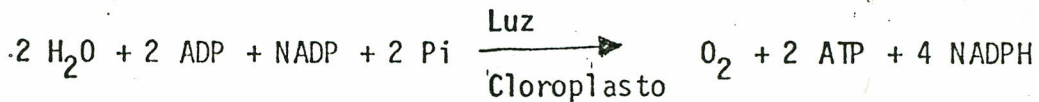
$$P = \frac{\Delta [CO_2]}{r}$$

$\Delta [CO_2]$  = gradiente da concentração de  $CO_2$ .

$r$  = resistência à difusão de  $CO_2$ , da atmosfera para o interior dos tecidos. A resistência mais importante nesse processo é a resistência estomatal e ela governa a difusão de  $CO_2$ .

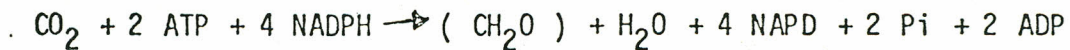
Fatores ambientais tais como intensidade de luz e fatores internos como potencial de água na folha exercem influência na abertura estomatal e consequentemente na resistência, portanto devem ser considerados.

O segundo processo é o fotoquímico, envolve a interceptação da luz pelos vários pigmentos nos cloroplastos. A energia radiante (luz), com fosfato inorgânico,  $P_i$ , é usada para dividir a molécula de água e produzir oxigênio molecular, NADPH, nicotinamida adenina fosfatodinucléotido reduzida e adenosina trifosfato, ATP.



O processo é controlado pela quantidade de radiação absorvida pelos cloroplastos e não é afetado pela concentração de  $CO_2$  ou temperatura.

Na terceira fase da fotossíntese o NADPH e ATP produzidos na presença da luz, são usados para reduzir o  $CO_2$  a carboidratos e outros compostos.



Esta redução pode ocorrer no escuro mas é dependente da temperatura.

A interação entre os três processos pode ser ilustrada através da figura 3.

A baixos valores de iluminância o processo fotoquímico é limitante e a taxa de fotossíntese depende desses valores. A medida que a iluminância cresce o suprimento de  $CO_2$  se torna mais importante e eventualmente limitante.

Na concentração normal de  $CO_2$  na atmosfera (0,03%) há pouco efeito da temperatura na taxa de fotossíntese.

Em altas taxas de iluminância e altas concentrações de  $CO_2$  na atmosfera (0,13%), fig. 3, a temperatura e portanto os processos bioquímicos se tornam limitantes. Nesse caso, um aumento de 20 para 30°C produz um aumento de 50% na taxa de fotossíntese.

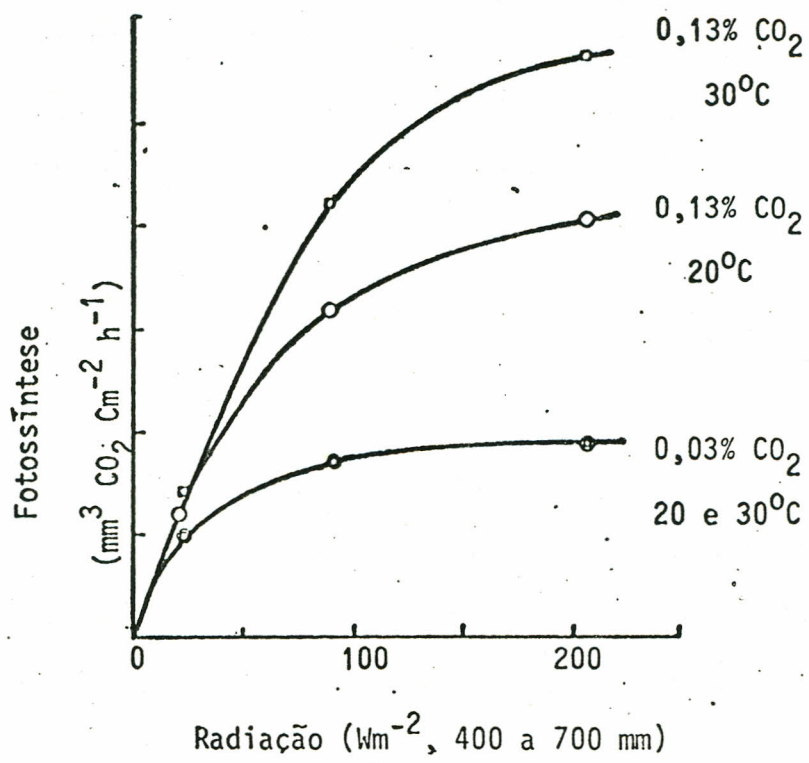


FIGURA 3. Efeitos da "radiação", temperatura e concentração de  $\text{CO}_2$  na taxa de fotossíntese



A reação total da fotossíntese pode ser expressa simplesmente como:



C - Plantas dos grupos C 4, C 3 e CAM

Com relação aos mecanismos e aos caminhos seguidos na redução do  $\text{CO}_2$ , na fotossíntese, as plantas são agrupadas em C 4, C 3 e CAM.

#### Grupo C 3 ou ciclo de Calvin

Por muitos anos acreditou-se que esse era o único mecanismo existente. Nesse processo o produto final da redução do  $\text{CO}_2$  é a hexose. Esse tipo de mecanismo é geralmente encontrado em espécies de origem de regiões temperadas. As leguminosas de um modo geral apresentam esse mecanismo.

#### Grupo C 4

A partir dos anos 60, descobriu-se em pesquisas com cana de açúcar, no Havai, outro tipo de mecanismo para a redução do  $\text{CO}_2$ . Nas plantas que possuem esse mecanismo o  $\text{CO}_2$  é transformado inicialmente em oxaloacetato, malato e aspartato. Esses são então transformados em carboidratos. Esse tipo de mecanismo tem sido encontrado comumente em espécies de origem tropical e regiões áridas, especialmente gramíneas (milho, sorgo, cana de açúcar, capins).

#### CAM (metabolismo do ácido Crassulaceo)

Aqui a absorção de  $\text{CO}_2$  se dá principalmente no escuro (à noite) quando os estômatos se abrem, ao contrário das plantas pertencentes aos grupos C 3 e C 4. Esse tipo de mecanismo ocorre em um grande número de espécies, geralmente adaptadas a stress hídrico. Entre as plantas cultivadas a principal representante é o abacaxi. Nesse processo ocorre acumulação de ácidos orgânicos, à noite, e estes são transformados em carboidratos e outros produtos, durante o dia, quando a luz fornece a energia necessária. Há pouca absorção de  $\text{CO}_2$  durante o dia porque os estômatos geralmente se encontram parcialmente fechados. Portanto as taxas de evapotranspiração são baixas, aumentando a eficiência no uso da água, EUA.

Quando a fotossíntese líquida não é limitante por fatores ambientais ou fisiológicos, fig. 4, a curva de resposta à luz em folhas de plantas C4 não apresenta saturação para luz, a taxas de iluminância comumente presentes no verão. No entanto, nas plantas do grupo C 3 esta saturação para luz ocorre entre um terço e a metade desses valores.

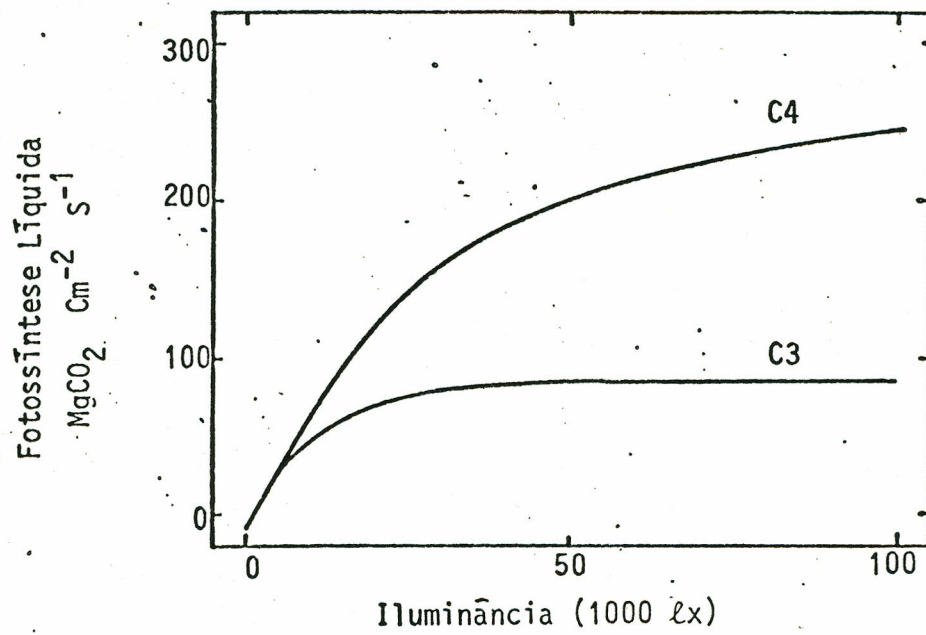


FIGURA 4. Fotossíntese líquida em plantas do grupo C4 e C3 em da iluminância

### D - Função de Produção

A Função de Produção expressa a relação entre um ou mais fatores, como água, fertilizantes, etc... e a produção.

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Onde:

Y = rendimento, como definido pelo mercado ou uso.

Por ex.,: Kg de grãos/ha, Kg de açúcar/ha, matéria seca/ha, massa verde/ha, caixas (frutas)/ha, etc.....

$x_1$  = água

$x_2$  = fertilizante

$x_3$  = população de plantas

$x_n$  = outras variáveis

### E - Função de Produção Água

A função de produção água expressa as relações entre a água (variável) e rendimento, com as outras variáveis mantidas constantes.

- Índice de preço adverso, IPA:

Este índice é definido como:

Preço unitário "in put"/Preço unitário do "out put"

Ex: Milho CZ\$100,00/ton.

Custo de água CZ\$30,00/1000 m<sup>3</sup>

$$IPA = \frac{30}{100} = 0,3$$

O ponto na função de produção no qual a declividade da curva se torna igual ao "Índice de preço adverso", representa o ponto de máxima rentabilidade da irrigação.

- Produto Médio:

$$\text{"out put/in put"} = \frac{\text{Rendimento}}{\text{Lâmina de Água}} = \text{EUA}$$

EUA = Efic. no uso da Água

- Produto Marginal:

Variação do "out put"/unidade de variação no "in put"

$$PM = dy/dA$$

y = rendimento

A = água



- Valor do Produto Marginal:  
 $VPM = dy/dA \times \text{preço do produto}$

A função de produção do tipo mostrado na fig. 5 pode ser dividida em três faixas de produção à medida que a quantidade de Água aumenta.

1ª faixa: Nesta faixa o produto médio aumenta, alcançando um máximo onde ele se torna igual ao produto marginal, isto é, onde:

$$Y/A = dy/dA$$

Este ponto é chamado "Margem extensiva" e pode ser encontrado graficamente pela tangente da função que passa através da origem. Nesta faixa é anti-econômico irrigar porque um aumento no produto médio significa retornos marginais negativos para os fatores fixos. Portanto, se a água é tão limitante para permitir a irrigação de toda a área, nesse nível de "margem extensiva", o melhor seria reduzir a área irrigada e aplicar uma lâmina de irrigação mais adequada.

2ª faixa: Se inicia na "margem extensiva" e termina onde o produto marginal é igual a zero, isto é, onde o rendimento se torna máximo. Este ponto é chamado de "margem intensiva". Esta é a faixa economicamente relevante, e significa que a água deve ser usada em quantidades entre as margens extensiva e intensiva, ou seja, dentro da faixa compreendida entre o máximo produto médio e o produto marginal zero.

3ª faixa: Nesta parte da curva o produto marginal é zero ou negativo. Nesta faixa os acréscimos dos níveis de água são anti-econômicos.

Note-se que a margem extensiva é o ponto onde a eficiência no uso da água é maximizada.

Se o custo da água fosse zero, o nível de água que possibilitasse o máximo de rendimento seria também o que possibilitaria o lucro máximo.

F - Otimização do uso da água

- Se os recursos hídricos são limitantes deve-se perseguir a máxima eficiência no uso da água.
- Se a área é limitada e a disponibilidade de água é grande deve-se buscar o máximo de produção por unidade de área. O mesmo se aplica quando se tem culturas de alto valor comercial, como por exemplo: flores, certas hortaliças.
- Quando não existem limitações, busca-se os lucros máximos.

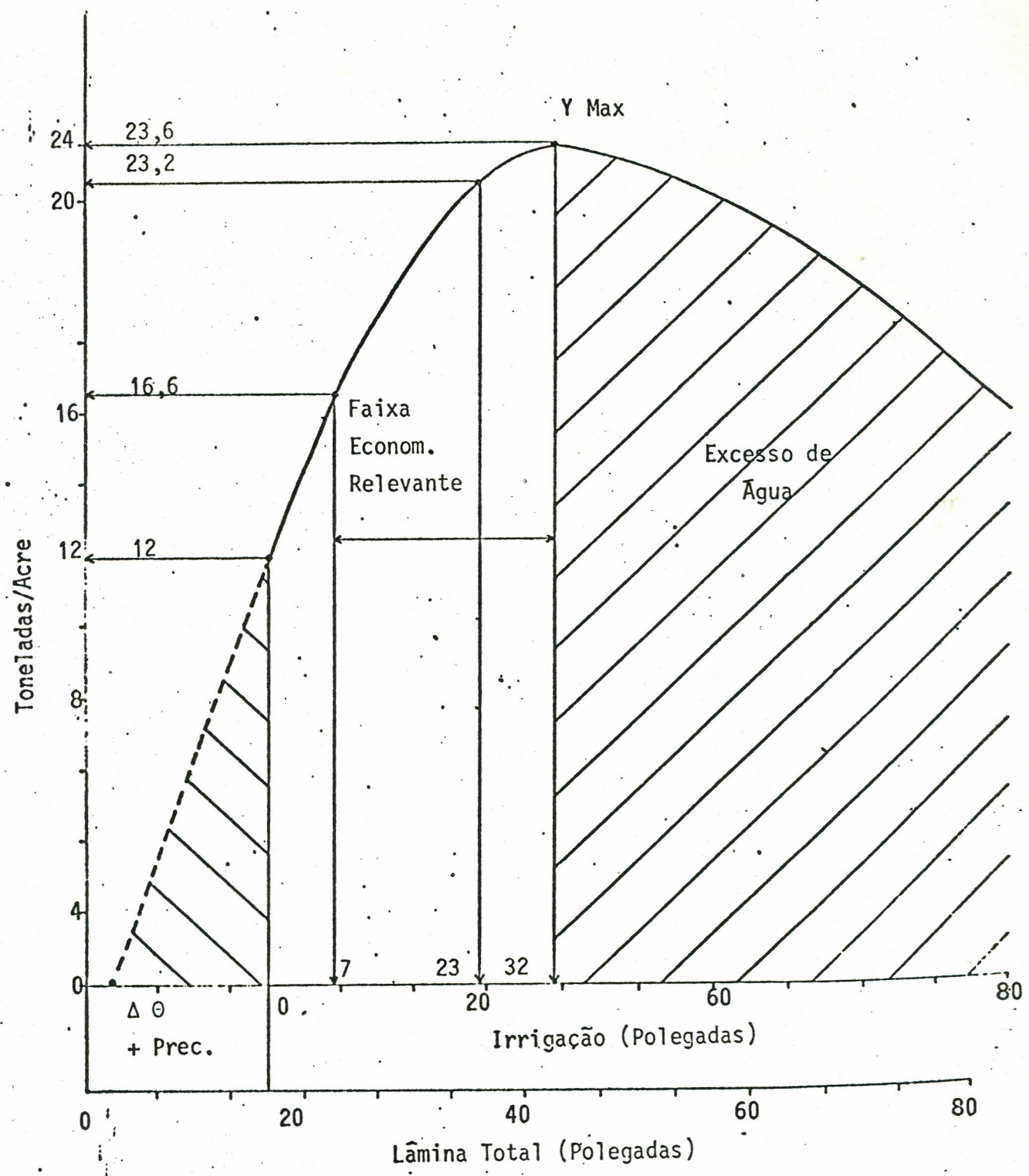


FIGURA 5. Função de produção e eficiência no uso da água pela beterraba açucareira.