


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
 Programa de Pós Graduação - Engenharia de Sistemas Agrícolas

**EFEITO DO CLIMA NA
 PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA**




ESALQ

Departamento de Eng. de Biosistemas
 Disciplina (LEB0630) **Agrometeorologia e Aplicada**
 Responsável - Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas
 Colaborador - Prof. Dr. Gustavo C. Beruski
 E-mail - beruskige@usp.br

Piracicaba - SP

INTRODUÇÃO



Bioconversão da energia solar

$$\begin{matrix} \text{BOC} \\ + \\ \text{BOL} \\ = \\ \text{Rn} \end{matrix}$$

Balanço de radiação

$$=$$

$$\begin{matrix} \text{ARM} \\ = \\ \text{P} \\ - \\ \text{LE} \\ + \\ \text{G} \end{matrix}$$

Balanço hídrico

$$+$$

$$\begin{matrix} \text{F}_{\text{liq}} \\ = \\ \text{F} \\ - \\ \text{RM} \end{matrix}$$

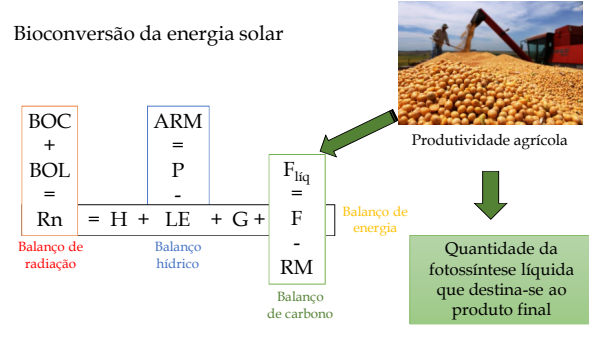
Balanço de carbono

$$=$$

$$\text{Produtividade agrícola}$$


$$\rightarrow$$

$$\text{Quantidade da fotossíntese líquida que destina-se ao produto final}$$



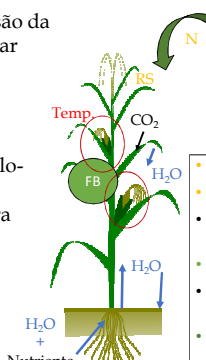
Prof. Dr. Paulo Sentelhas
 Prof. Dr. Gustavo Beruski
 LEB0630

INTRODUÇÃO



Bioconversão da energia solar

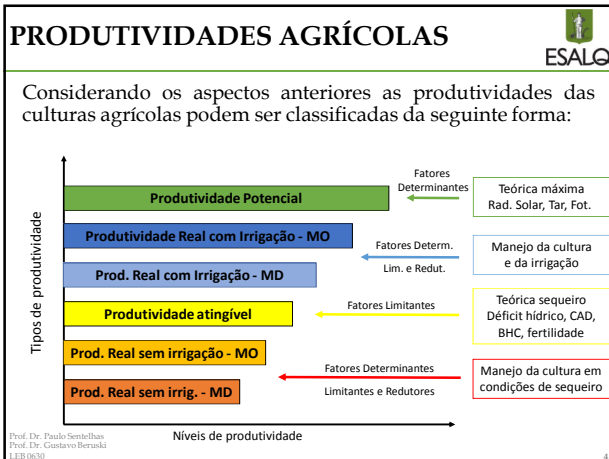
Sistema Solo-Planta-Atmosfera

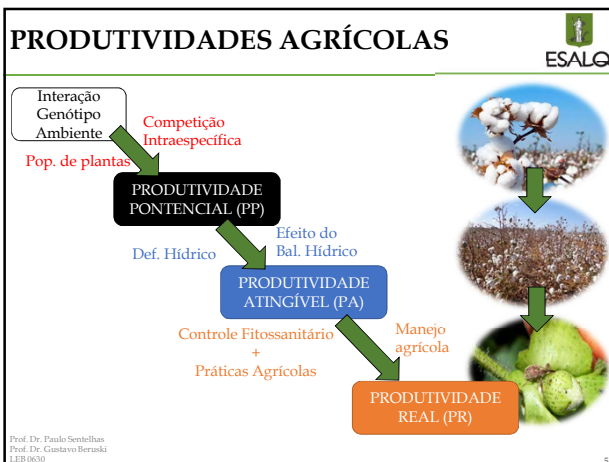


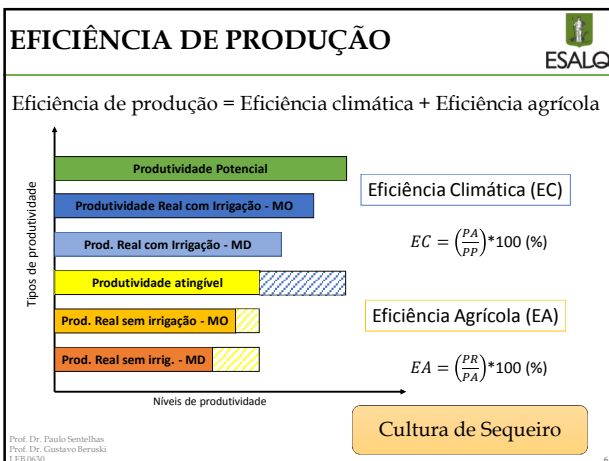
População de Plantas
Manejo Agrícola

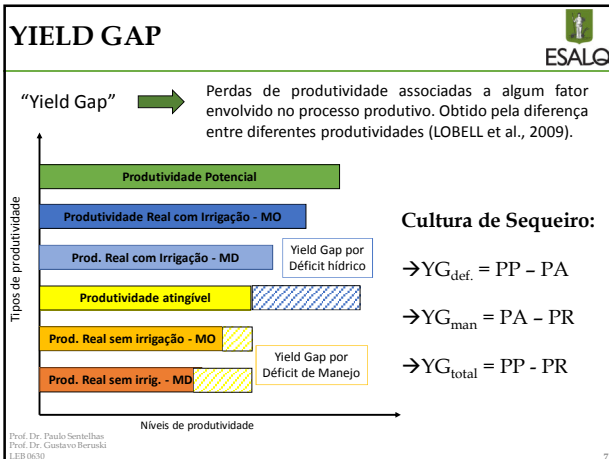
- Energia → RS;
- Turno de Trabalho → N
- Mat. Prima → CO₂, H₂O + Nutriente
- Processo → Fotossíntese
- Custo de manutenção → Resp. de manutenção (f - Temp.)
- Produto final → Biomassa

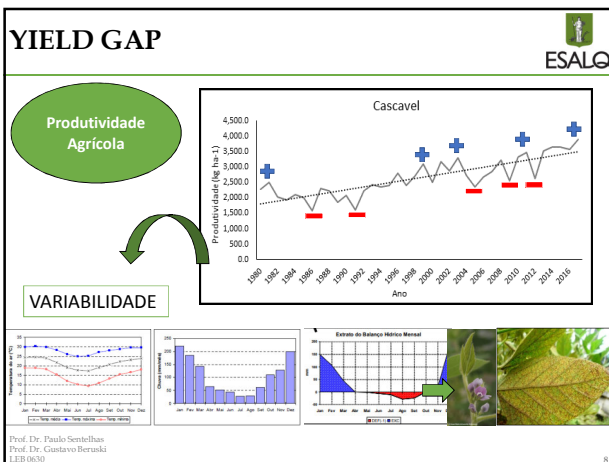
Prof. Dr. Paulo Sentelhas
 Prof. Dr. Gustavo Beruski
 LEB0630

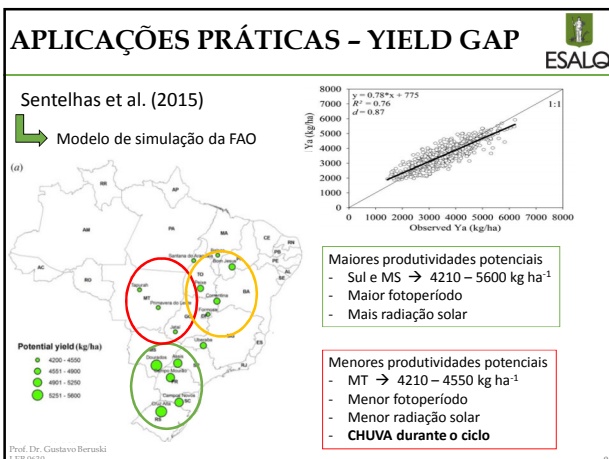












APLICAÇÕES PRÁTICAS - YIELD GAP

ESALQ

Sentelhas et al. (2015)

(b)

Attainable yield (kg/ha)

- 2800 - 3000
- 3001 - 3300
- 3301 - 3500
- 3501 - 3800

Cruz Alta, RS

- 2800 – 3050 kg ha⁻¹
- Déficit hídrico durante enchimento

Centro-Sul / Nordeste

- 3050 – 3300 kg ha⁻¹
- Déficit hídrico durante enchimento

Mato Grosso / Goiás / Minas Gerais

- 3300 – 3800 kg ha⁻¹
- Excedentes hídricos

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
1.1.18.0639

APLICAÇÕES PRÁTICAS - YIELD GAP

ESALQ

Sentelhas et al. (2015)

(c)

Actual yield (kg/ha)

- 2000 - 2500
- 2501 - 2800
- 2801 - 3100
- 3101 - 3400

Mato Grosso / Goiás / Tocantins

- 3100 – 3400 kg ha⁻¹
- Manejo eficiente da propriedade

Cruz Alta, RS

- 2200 – 2500 kg ha⁻¹
- Déficit no manejo agrícola

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
1.1.18.0639

APLICAÇÕES PRÁTICAS - YIELD GAP

ESALQ

Yield gap by water deficit (kg/ha)

- 0 - 1000
- 1001 - 1500
- 1501 - 2000
- 2001 - 2500

Yield gap by management (kg/ha)

- 0 - 200
- 201 - 500
- 501 - 800
- 801 - 1000

Condições analisadas – Termos relativos
Yield Gap – Déficit Hídrico
42 – 29 % → Média 37 %

Termos relativos
Yield Gap – Manejo Agrícola
Média 13 %

Prof. Dr. Gustavo Beruski
1.1.18.0639

APLICAÇÕES PRÁTICAS - YIELD GAP

ESALQ

Produtividade na região

El Niño Oscilação Sul

El Niño

La Niña

Fenômeno que afeta do padrão de ocorrência de chuvas em regiões do Brasil, especialmente no Sul

Cascavel

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/USP

APLICAÇÕES PRÁTICAS - YIELD GAP

ESALQ

Produtividade (kg ha⁻¹)

Ano

Safrinha 2010-11
Neutro - ENOS

Safrinha 2011-12
La Niña - ENOS

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/USP

Sentelhas et al. (2015)

APLICAÇÕES PRÁTICAS - YIELD GAP

ESALQ

Tipo de produtividade

Nível de produtividade

Fatores Redutores

Data de Semeadura

18/11/2014

12/12/2014

Produtividade (kg ha⁻¹)

1800 kg ha⁻¹

1800 kg ha⁻¹

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/USP

BIOCONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR

ESALQ

- Modelo Teórico de Thorwley (1970)

$$\Delta W / \Delta t = Y (Fb - M - W)$$

Taxa de crescimento da planta

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
11/2019

BIOCONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR

ESALQ

Aspectos fisiológicos da produtividade:

- Quantidade de substrato (ΔS);
- Intervalo de tempo (Δt);
- Taxa de fotossíntese bruta (Fb)

$$Fb = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

No mesmo dia:

- Substrato fotossintetizado deva ser utilizado
- Processos de crescimento (ΔSc);
- Manutenção da fitomassa existente (ΔSm)

$$\Delta S = \Delta Sc + \Delta Sm$$

ΔSm - Quantidade de carboidrato que é convertido em energia pela *respiração de manutenção*.

- ΔSm = Custo energético para manter a planta, sem que haja crescimento.
- Proporcional a fitomassa existente (W);
- M é o coeficiente de manutenção.

$$\Delta Sm = M + W + \Delta t$$

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
11/2019

BIOCONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR

ESALQ

- Consumo carboidratos fotossintetizados:
 - Processo de *conversão do substrato* disponível;
 - Crescimento (ΔSc) em nova fitomassa (ΔW)
 - A única fonte de energia para esse processo é a *respiração de crescimento* (ΔSr):

$$\Delta S = \Delta W + \Delta Sr + \Delta Sm$$

- Eficiência (Y) do processo de conversão de fotossintetizados:

$$Y = \frac{\Delta W}{\Delta Sc} = \frac{\Delta W}{\Delta W + \Delta Sr}$$

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
11/2019

BIOCONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR

ESALQ

$\Delta S = F_b \Delta t$

$\Delta S_m = M W \Delta t \rightarrow \frac{\Delta W}{\Delta t} = Y \times (F_b - M \times W)$

$\Delta S_r = (\Delta W / Y) - \Delta W$

Interação Genótipo Ambiente

FENÓTIPO

Taxa de crescimento da cultura → Eficiência de conversão de carboidratos → Fotossíntese Bruta → Resp. de Manutenção
 Dependência da cultura → Genótipo, R5, T, N, H₂O, CO₂, P, p, Nutrientes → Cultura, Idade e Temperatura

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
1.123.0633

BIOCONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR

ESALQ

Y Eficiência de conversão de carboidratos

1 grama de Carboidrato Fotossinteticamente Sintetizado **Gera**

- 0,404 g de Proteína;
- 0,303 g de Lipídeos;
- 0,472 g de Lignina;
- 0,826 g de Carboidrato estrutural;
- 1,107% de Ácidos Orgânicos

| Cultura | Órgão | CE | P | Lip | Lig | AO | Y |
|----------|-------|----|----|-----|-----|----|------|
| Cana | Colmo | 88 | 2 | 2 | 7 | 1 | 78 % |
| Milho | Grão | 75 | 8 | 4 | 11 | 1 | 73 % |
| Soja | Grão | 29 | 37 | 18 | 6 | 5 | 53 % |
| Amendoim | Grão | 14 | 27 | 39 | 14 | 3 | 45 % |

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
1.123.0633

EFEITO DO AMBIENTE NA BIOCONVERSÃO

ESALQ

Papel Fotossíntese

Fornecimento de ATP e NADPH usados na fixação e redução do CO₂

PRODUÇÃO DE CARBOIDRATO

- Plantas C3 - Folha largas:
 - RUBISCO;
 - Taxa de transpiração - 450-900 (H₂O/aumento de peso);
 - Razão de clorofilas a/b da folha - 3,9±0,6;
 - Fotorrespiração detectável;
 - Temperatura ideal para fotossíntese - 15-25°C.
- Plantas C4 - Folha estreitas:
 - PEP Carboxilase Rubisco;
 - Taxa de transpiração - 250-350 (H₂O/aumento de peso);
 - Razão de clorofilas a/b da folha - 2,8±0,4;
 - Fotorrespiração detectável parcialmente;
 - Temperatura ideal para fotossíntese - 30-47°C.

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
1.123.0633

EFEITO DO AMBIENTE NA BIOCONVERSÃO

ESALQ

O valor assintótico é cerca de 1,5 vezes maior no milho do que na soja. Assim, o milho tem potencial de produção de fitomassa. Ressalta-se a importância da análise da produção de órgãos de interesse econômico.

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/0630

EFEITO DO AMBIENTE NA BIOCONVERSÃO

ESALQ

Temperatura do ar também apresenta efeito direto na fotossíntese

Resposta da taxa de fotossíntese de uma planta de milho; a) submetidas a diferentes temperaturas e radiação solar; b) sob diferentes temperaturas com radiação solar máxima

A temperatura afeta a taxa de respiração das plantas

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/0630

EFEITO DO AMBIENTE NA BIOCONVERSÃO

ESALQ

A temperatura afeta a taxa de respiração das plantas

- Maior temperatura;
- Maior respiração.
- De modo que a taxa de fotossíntese líquida, que reflete os ganhos e perdas de carbono, também é regulada pela temperatura

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/0630

MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE ESALQ

- Método da Zona Agroecológica (FAO 33, 1994)
 - Obtido por uma variedade altamente produtiva;
 - Cultura bem adaptada ao ambiente de crescimento;
 - Sem limitação hídrica, nutricional e de salinidade;
 - Sem danos significativos causados por pragas e doenças.


$$PP_f = PPB_p * C_{IAF} * C_{RESP} * C_{COL} * NDC * C_{UM}$$

- C_{IAF} = correção para o índice de área foliar máximo da cultura;
- C_{RESP} = correção para as perdas por respiração (man. e cresc.);
- C_{COL} = correção para a parte da planta efetivamente colhida ;
- NDC = número de dias do ciclo da cultura;
- C_{UM} = correção para considerar a umidade da parte colhida;

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
L.F.B.0639


MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE ESALQ

$PPB_p = PPB_c + PPB_n$



PPBc = Prod. no Período de Céu Claro

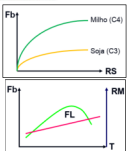
$PPBc = (107,2 + 0,36 Q_0) (n/N) cTc$



PPBn = Prod. no Período de Céu Nublado

$PPBn = (31,7 + 0,219 Q_0) (1 - n/N) cTn$

- Q_0 = Radiação Solar Extra-Terrestre;
- N = Fotoperíodo;
- n = número efetivo de horas de brilho solar;
- cTc e cTn = Correções para o efeito da temperatura:
 - Tipo de metabolismo fotossintético (C3, C4, CAM);
 - Clima da região de origem da espécie.



Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
L.F.B.0639

MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE ESALQ

Grupo 1 – Plantas C3 de inverno

Se $15^{\circ}C < T < 20^{\circ}C$

$cTn = 0,7 + 0,035 T - 0,001 T^2$


$cTc = 0,25 + 0,0875 T - 0,0025 T^2$

Trigo

Se $T < 15^{\circ}C$ ou $T > 20^{\circ}C$

$cTn = 0,25 + 0,0875 T - 0,0025 T^2$

$cTc = -0,5 + 0,175 T - 0,005 T^2$



Feijão

Grupo 2 – Plantas C3 de verão

Se $16,5^{\circ}C < T < 37^{\circ}C$

$cTn = 0,583 + 0,014 T + 0,0013 T^2 - 0,000037 T^3$

$cTc = -0,0425 + 0,035 T + 0,00325 T^2 - 0,0000925 T^3$

Soja

Se $T < 16,5^{\circ}C$ ou $T > 37^{\circ}C$

$cTn = -0,0425 + 0,035 T + 0,00325 T^2 - 0,0000925 T^3$

$cTc = -1,085 + 0,07 T + 0,0065 T^2 - 0,000185 T^3$

Arroz

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
L.F.B.0639

EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO

Conhecendo-se a relação ETR/ETc, PP_F e k_y pode-se determinar a produtividade real (PR) de uma cultura:

$$(1 - PR/PP_F) = k_y (1 - ETR/ET_c)$$

$$PR = [1 - k_y (1 - ETR/ET_c)] PP_F$$

O modelo estima a produtividade real (PR) em função da produtividade potencial (PP_F) e do déficit hídrico relativo (1 - ETR/ETc) que ocorre em cada fase do desenvolvimento, representada pelo K_y.

OBSERVAÇÃO
A PR de uma fase será a PP da fase seguinte.

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/0630

APLICAÇÃO PRÁTICA

Seleção de cultivares resistentes a seca

17 locais / 3 safras agrícolas / 101 cultivares

10% Perda relativa da prod.

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/0630

TOMADA DE DECISÃO

Seleção de cultivares com sistema radicular profundo

Promoção de melhoria dos perfis do solo para aprofundamento


Profundidade do sistema radicular → Produtividade → Condições de clima

CAD do solo

$$CTA = \frac{(C_c - P_m)}{10} \times ds \times z$$

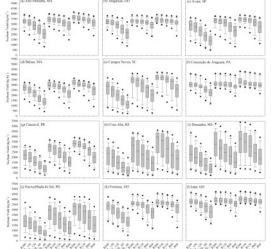
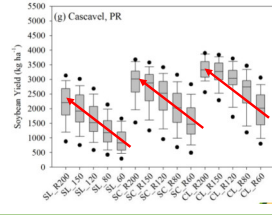
Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEBR/0630

TOMADA DE DECISÃO



Ganho de produtividade em função da profundidade das raízes


Criação de cinco cenários de distribuição do sistema radicular em função de altas e baixas produtividades da cultura (Sako et al., 2016 – Pivetta et al., 2011).


Ganhos de produtividade - 2000 kg ha⁻¹

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEP/0630
Battisti; Sentelhas (2017)

EXEMPLO: CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE REAL (PR)



| | | | |
|-----------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Cultura: Soja | Local: Minha Soja, SP (23°S) | Ciclo: 130 dias | PP = 5324 kg.ha ⁻¹ |
| Fase Fenológica | Duração (dias) | ETR/Etc | Ky |
| Estabelecimento | 10 | - | - |
| Des. Vegetativo | 40 | 0,90 | 0,2 |
| Floração | 30 | 0,64 | 0,8 |
| Frutificação | 35 | 0,71 | 1,0 |
| Maturação | 15 | - | - |



$PR_{DV} = [(1 - 0,2 * (1 - 0,9))] * 5324 = 5217 \text{ kg.ha}^{-1}$

$PR_{FL} = [(1 - 0,8 * (1 - 0,64))] * 5217 = 3714 \text{ kg.ha}^{-1}$

$PR_{FR} = [(1 - 1,0 * (1 - 0,71))] * 3714 = 2637 \text{ kg.ha}^{-1}$

Portanto, a quebra estimada de produtividade foi: $(1 - PR/PPf) = (1 - 2637 / 5324) = 0,495$, ou seja, aproximadamente 50%

Prof. Dr. Paulo Sentelhas
Prof. Dr. Gustavo Beruski
LEP/0630
38
