



Prof. Fábio
M. DaMatta



A fisiologia do cafeeiro num contexto de mudanças climáticas: estratégias fisiológicas e agronômicas para mitigação dos efeitos de estresses abióticos

fdamatta@ufv.br

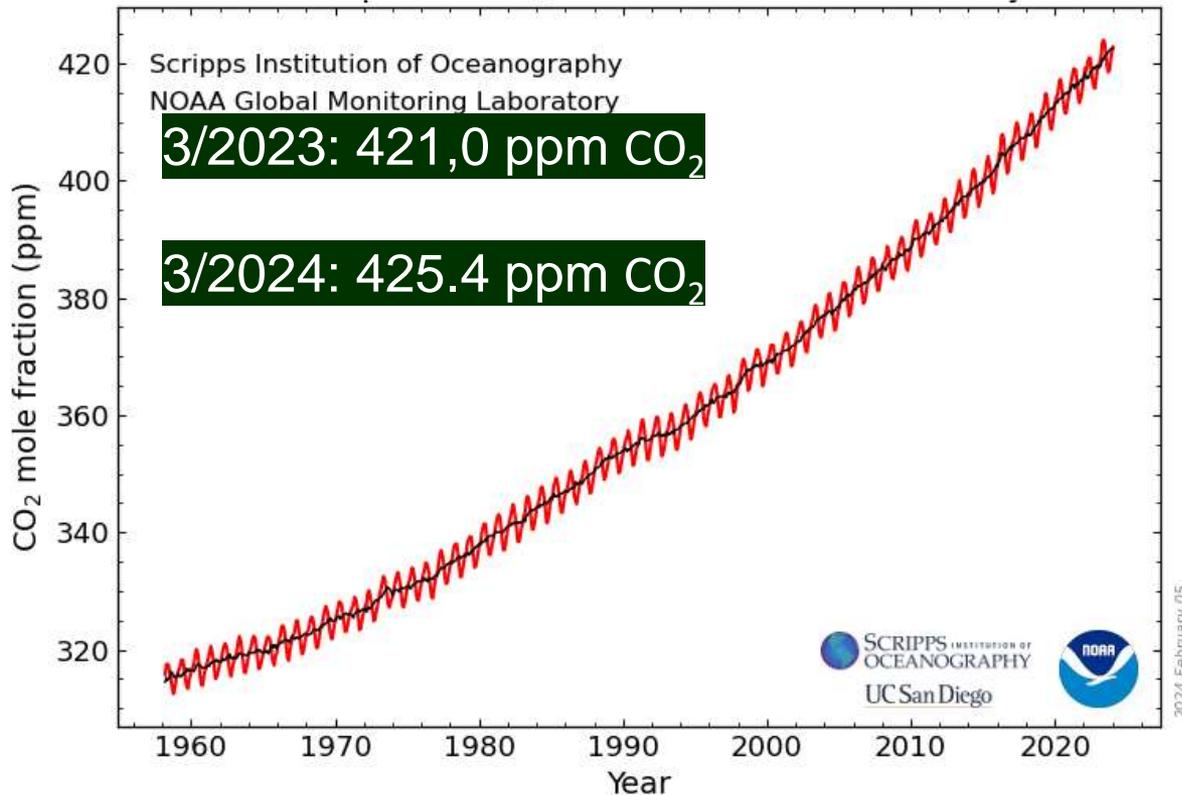


Mudanças climáticas

- Água: solo e *atmosfera*
- Temperatura
- Ozônio
- Radiação UV
- **CO₂**
- Respostas à luz



Concentração atmosférica de CO₂



Em 2100:

- **550-1000 ppm CO₂**
- **↑ 1.8 – 4.0°C em 2100**
- **Extremos de precipitação**

- **↑ 1,1°C (2011-2020 em relação a 1850-1900)**
- **EGEE: em 2019, ↑ 12% em relação a 2010, e ↑ 54% em relação a 1990 (IPCC, 2023)**



**Com as mudanças climáticas em curso,
pergunta-se: qual o futuro da cafeicultura?**



DID YOU KNOW?



Climate change is projected to cut the global area suitable for coffee production by **AS MUCH AS 50%** by 2050.

#SUSTAINCOFFEE

© JASON OUTEANREATH





Depauperamento e perda de sustentabilidade



Predições sobre o futuro da cafeicultura: sinistras e alarmistas... Baseadas quase exclusivamente em aumentos de temperatura



A história do café galês e café portenho

Os cenários catastróficos que muitos postulam, no que respeita ao futuro da cafeicultura, deverão ser pelo menos em parte atenuados pelo aumento da concentração de CO₂ ora em curso!

E por que o aumento da concentração de CO₂ não tem sido considerado nas predições sobre o futuro da cafeicultura?



Para muitas pessoas, as atuais mudanças climáticas já estão impactando (fortemente) a performance da cafeicultura!

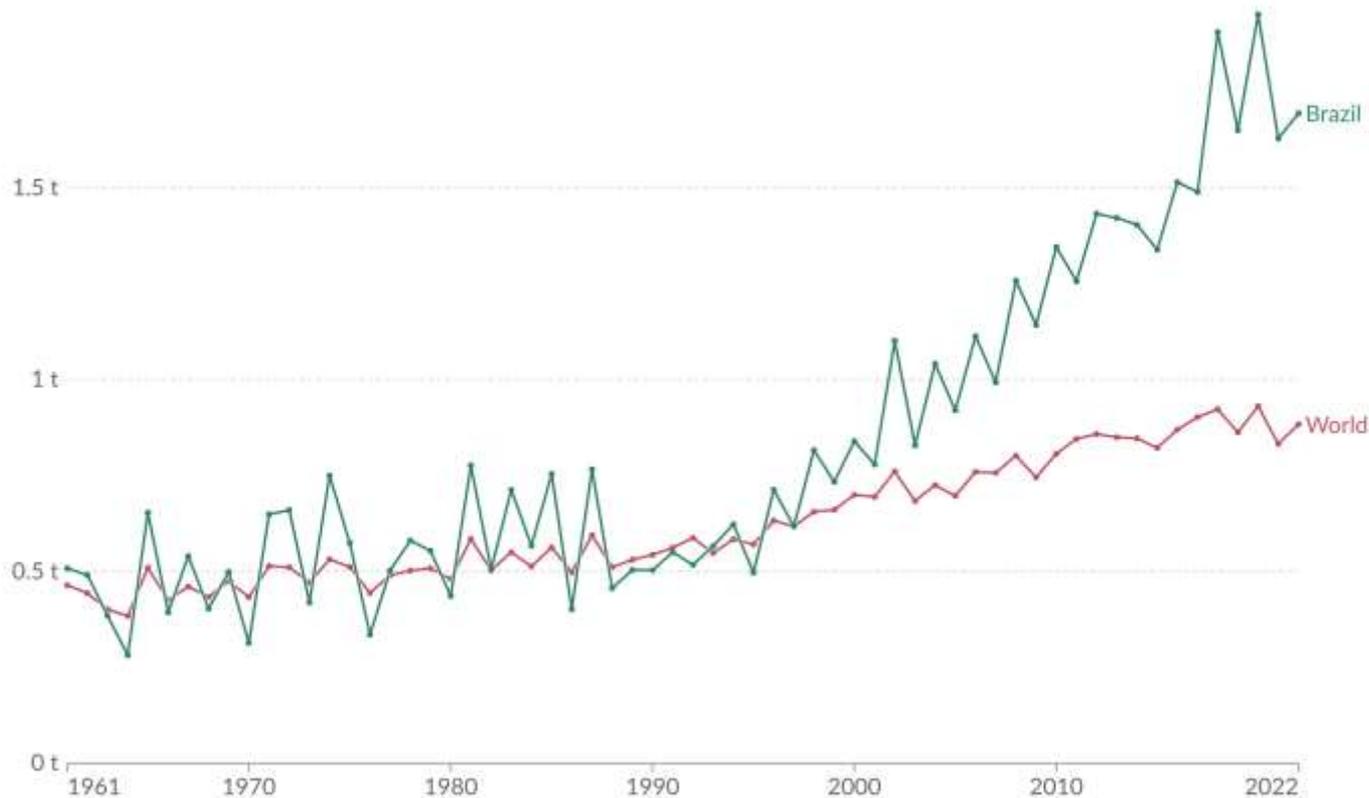
Mas será se é isso mesmo?



Coffee bean yields, 1961 to 2022

Yields are measured in tonnes per hectare.

Our World
in Data



Data source: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023)

OurWorldInData.org/crop-yields | CC BY

Evolução da produtividade do café (ton/ha) no Brasil e no mundo: 1961-2022

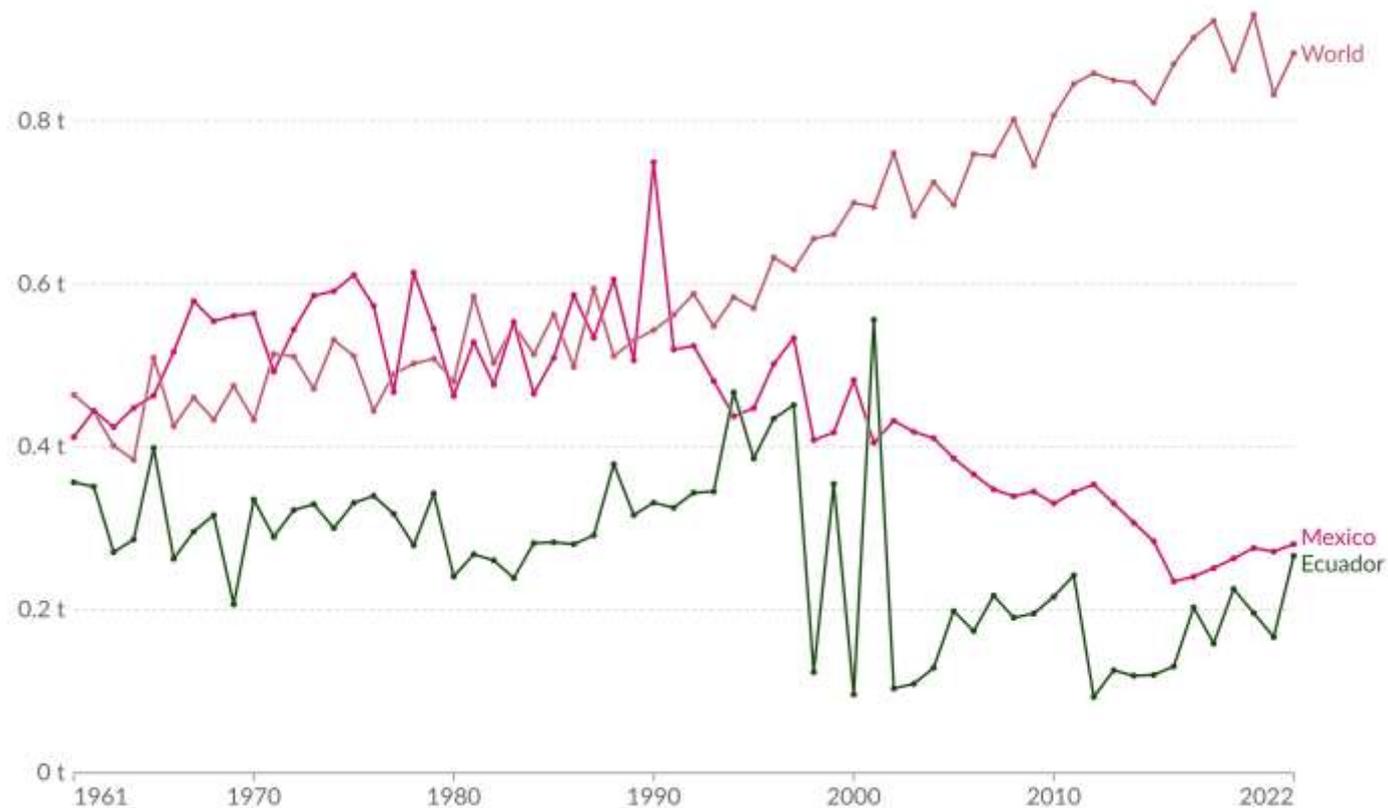
https://ourworldindata.org/grapher/coffee-yields?tab=chart&country=~OWID_WRL



Coffee bean yields, 1961 to 2022

Our World
in Data

Yields are measured in tonnes per hectare.



Data source: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023)

OurWorldInData.org/crop-yields | CC BY

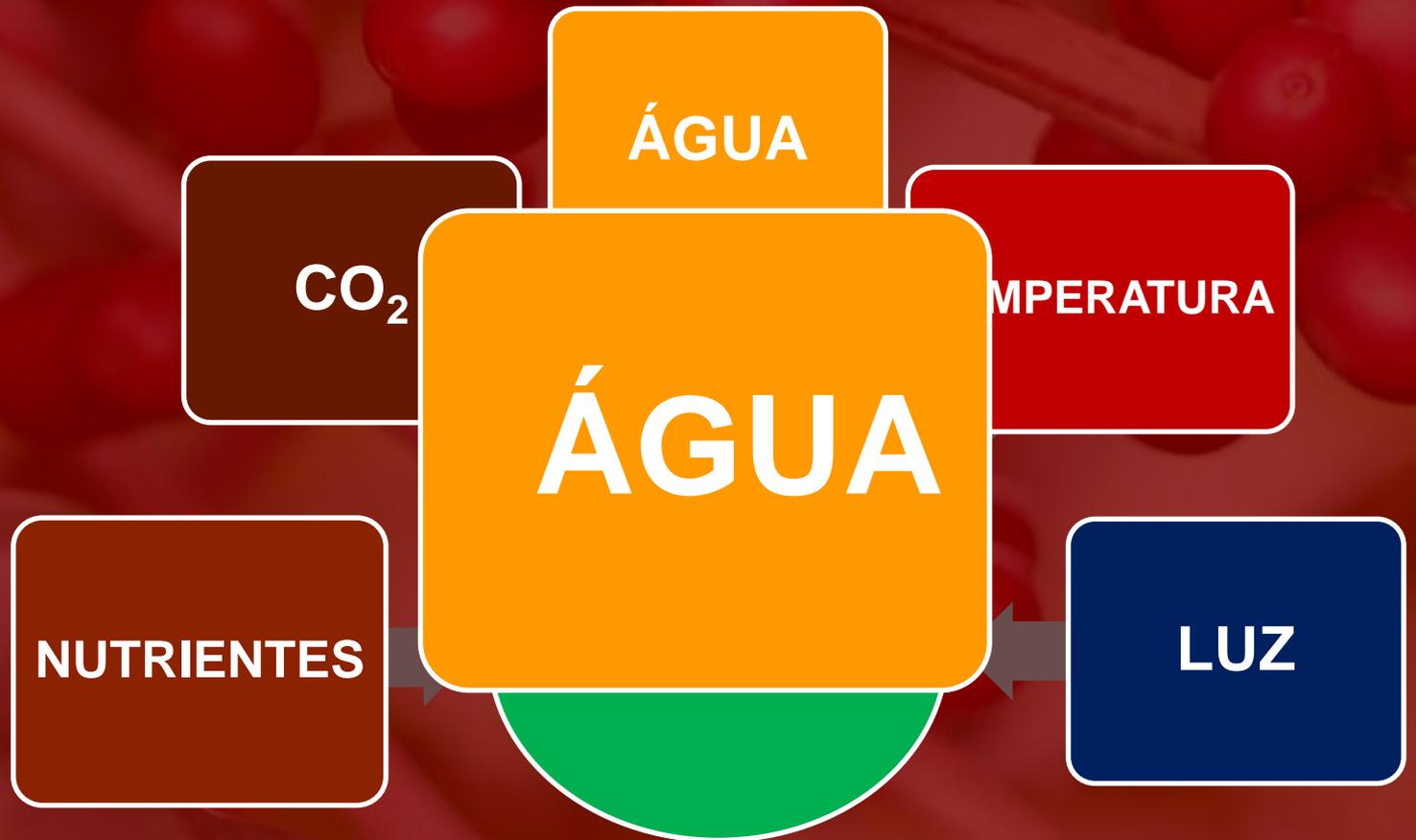
Evolução da produtividade do café (ton/ha) no México, Equador e no mundo: 1961-2022



Um pouco de fisiologia!

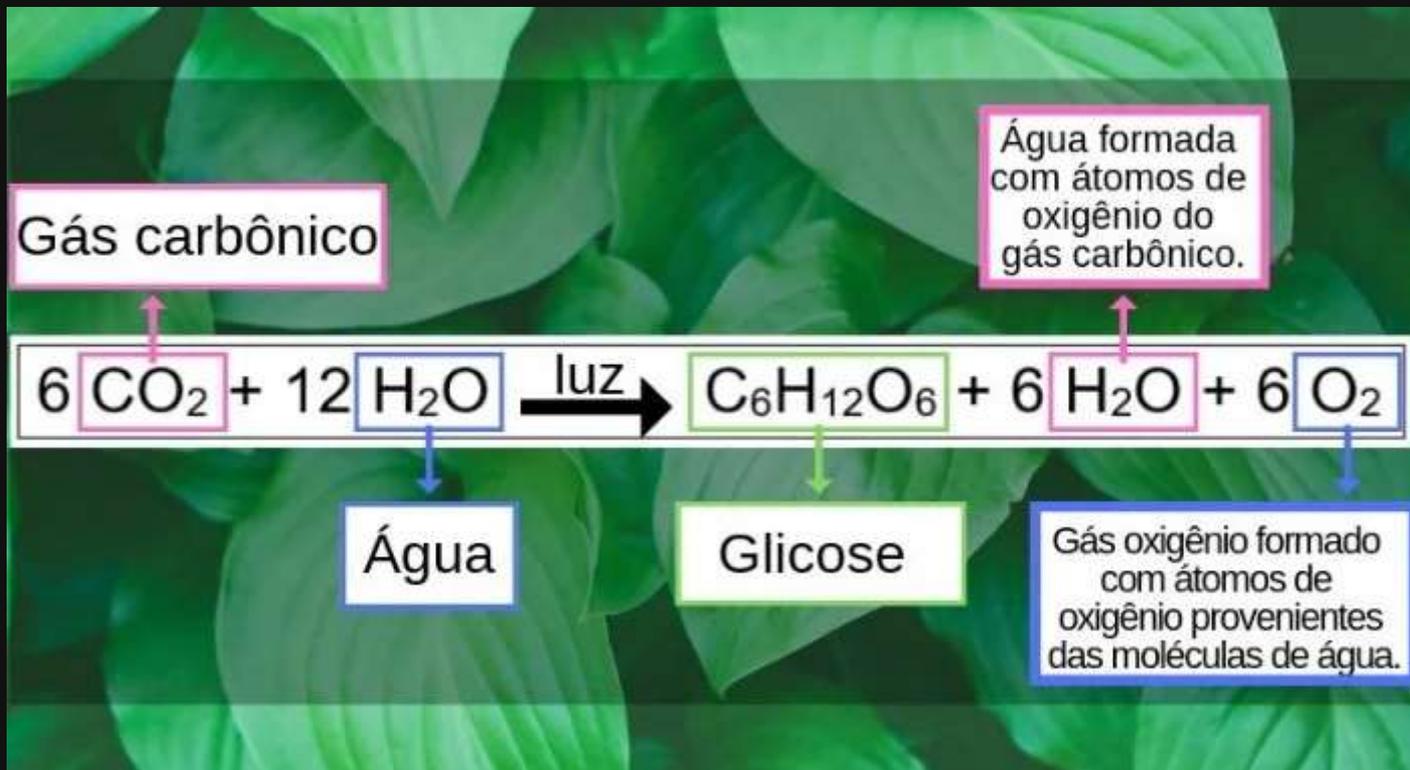


Fotossíntese



- A capacidade de uma planta produzir matéria seca é governada em grande parte por sua capacidade para perder água, sob condições adequadas de luz e nutrição!
- A arte de produzir café é, também, em larga escala, associada com a manutenção das folhas na planta: *fábrica (fotossíntese = carboidratos)*





Apenas cerca de 1% da biomassa deriva-se da água; os 99% restantes são perdidos pela transpiração (efeito indireto sobre a fotossíntese)



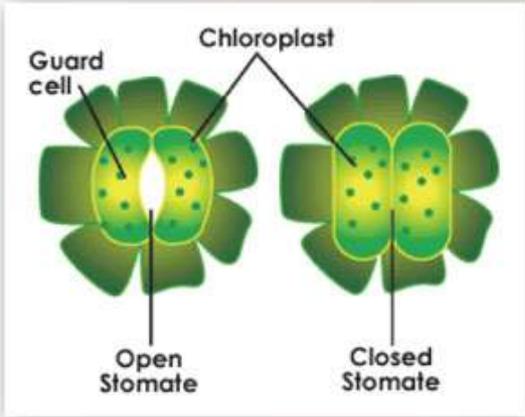


Figure 2: A schematic drawing of a plant's stomata showing an open and closed stomata.

Bird damage on ripe wheat ears.

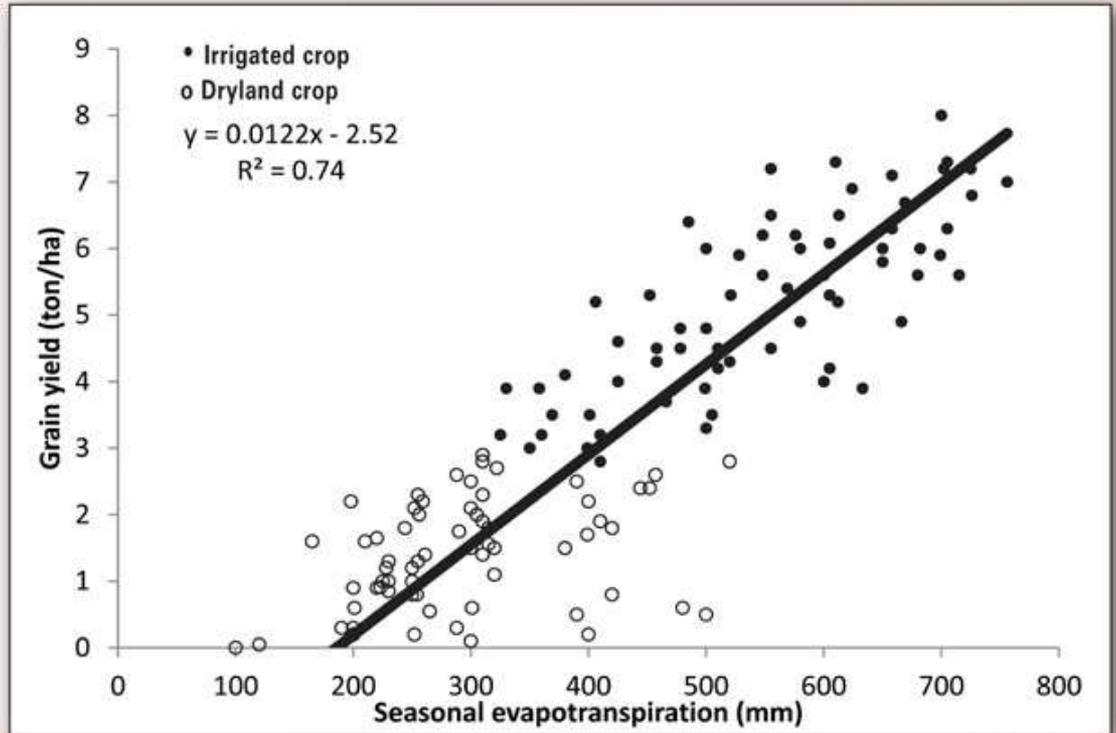
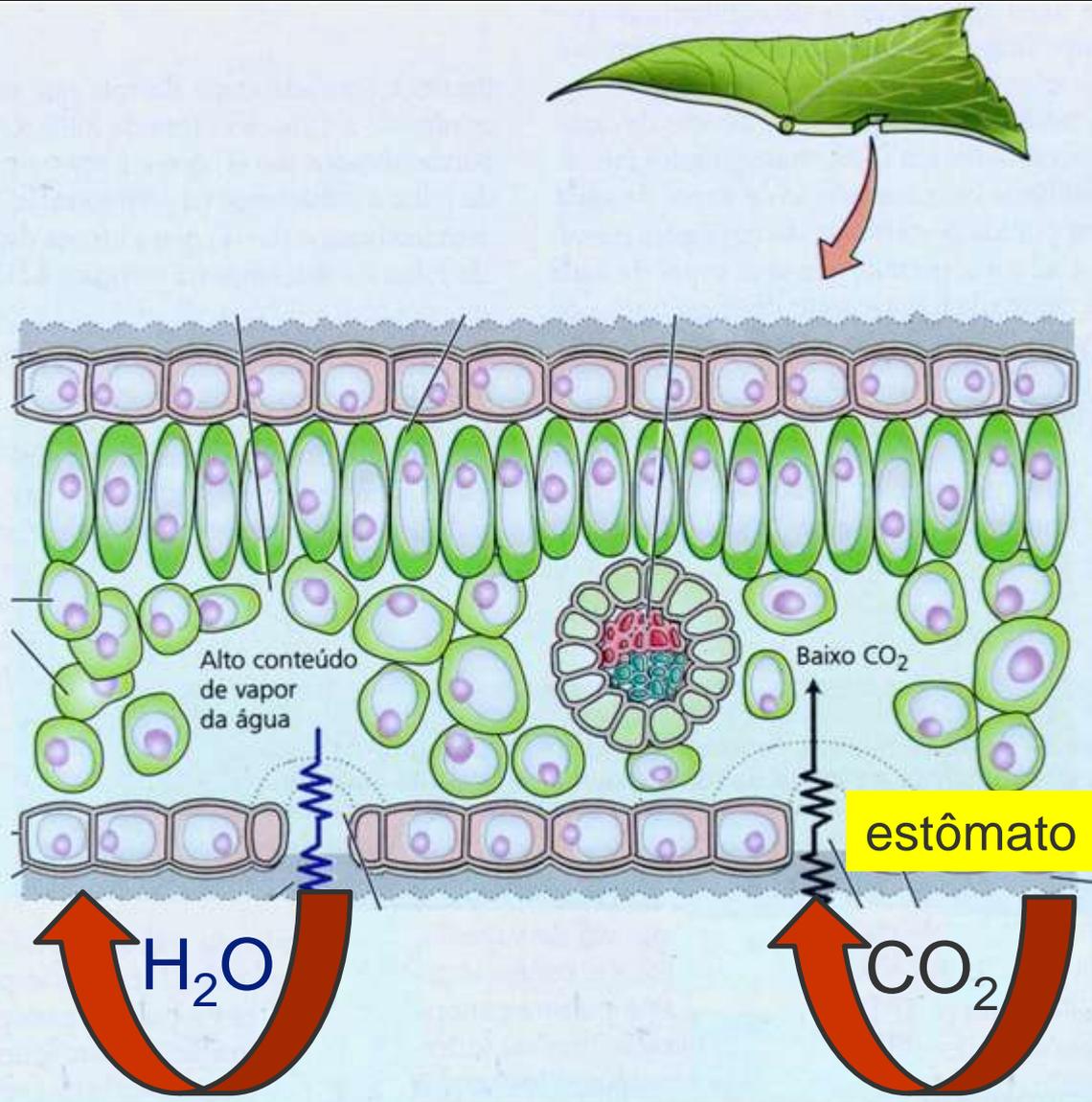


Figure 3: Relationship between grain yield and seasonal evapotranspiration from a 178 year old crop database in the USA.





Por que é fundamental manter, tanto quanto possível, a abertura estomática?

- \uparrow influxo de $\text{CO}_2 \rightarrow \uparrow$ taxa fotossintética
- \uparrow transpiração $\rightarrow \downarrow$ temperatura
- \downarrow temperatura $\rightarrow \downarrow$ taxa de fotorrespiração e \downarrow taxa de respiração de manutenção
- \downarrow extensão da escaldadura

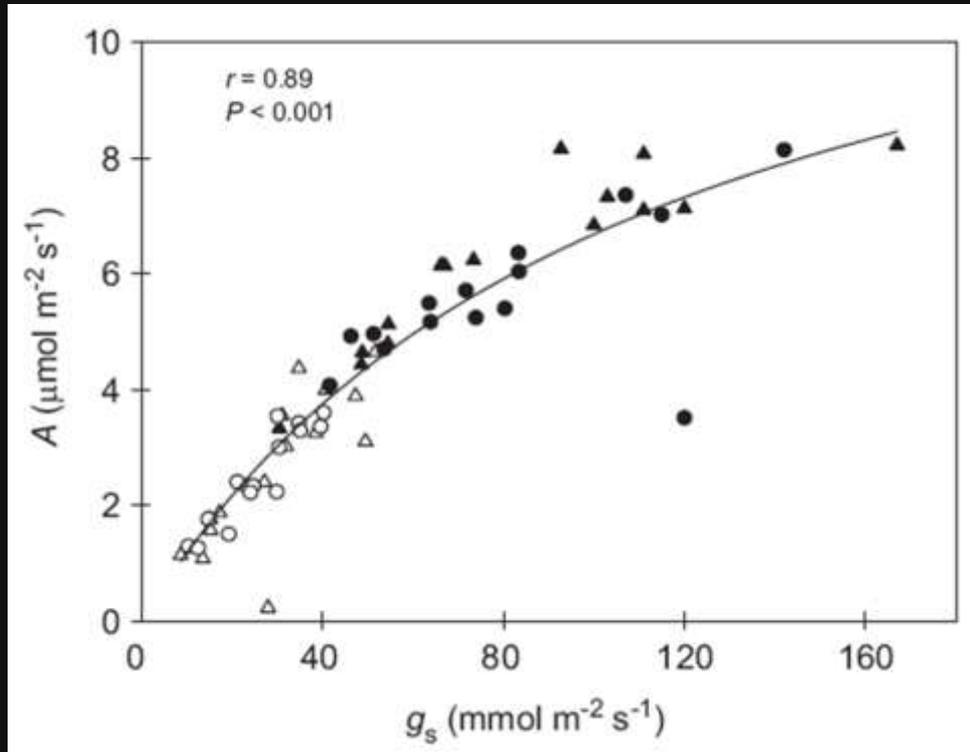


Efeitos gerais do calor e da seca sobre a fisiologia e a produção do cafeeiro

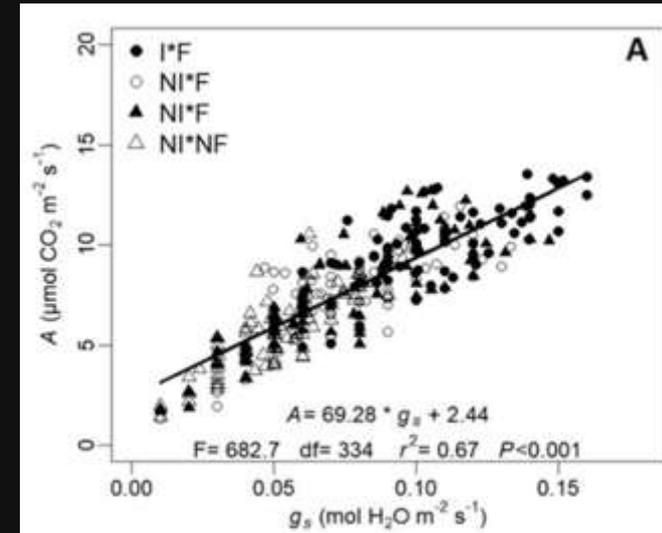


1. Fechamento estomático e queda na taxa de fotossíntese

Taxa de fotossíntese



Condutância estomática



Temperatura

- Kumar e Tieszen (1976): taxas de fotossíntese maiores a 10°C que a 35°C
- Cannell (1976): taxas máximas de fotossíntese a 20°C
- Nunes et al. (1968): acima de 24°C, a fotossíntese decresceria em 10%, para cada incremento de 1°C na temperatura. Portanto, a 34°C, a fotossíntese seria zero

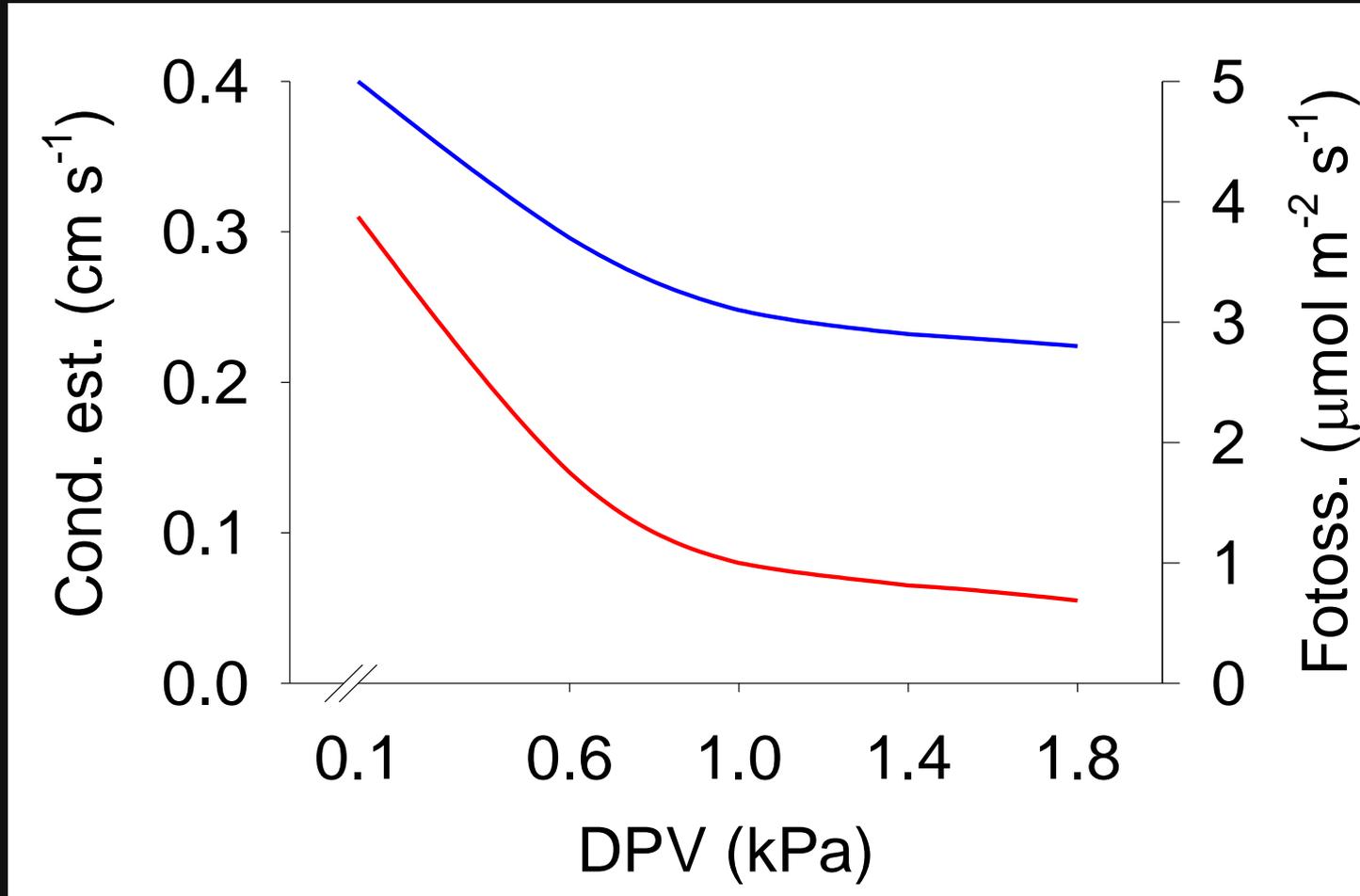


Fotossíntese do cafeeiro & temperatura

Carelli et al. (1999)	Fotoss. máxima a 34°C
DaMatta et al. (2003)	$8 \leq \text{Fotoss.} \leq 11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $25 \leq \text{Temp.} \leq 35,8 \text{ }^\circ\text{C}$
Silva et al. (2004)	$9 \leq \text{Fotoss.} \leq 12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $24,5 \leq \text{Temp.} \leq 34,8 \text{ }^\circ\text{C}$

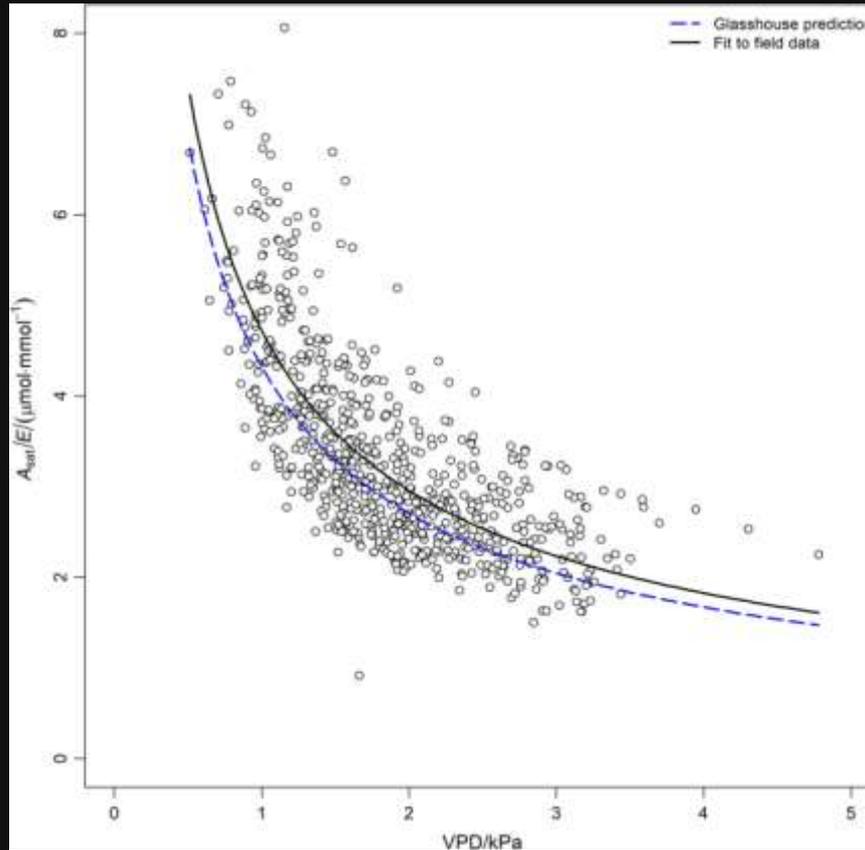


Umidade relativa e déficit de pressão de vapor (DPV)



Umidade relativa e déficit de pressão de vapor (DPV)

Fotossíntese/Transp.



DPV



2. Redução do crescimento, morte de raízes, desfolha e seca de ramos



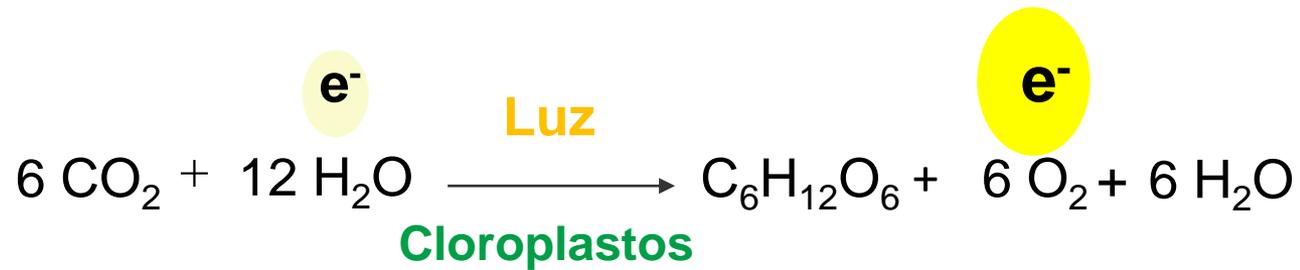
Além da seca e do calor, alta carga de frutos e nutrição inadequada exacerbam esses sintomas... Conseqüências na bienalidade de produção



3. Escaldadura em folhas e frutos de café



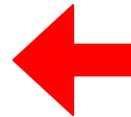
Formação de espécies reativas de oxigênio



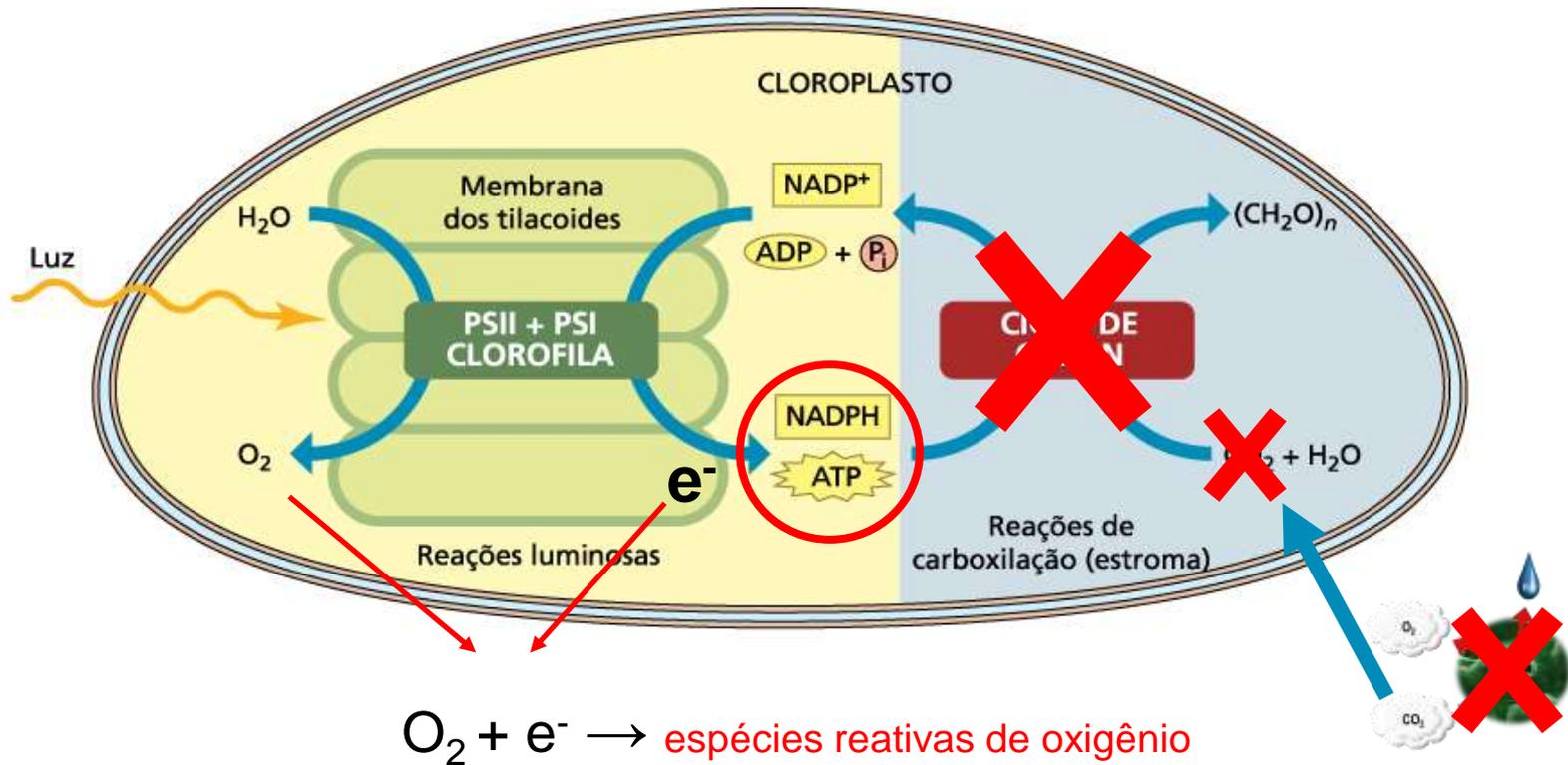
Ânion superóxido: O_2^-

Peróxido: H_2O_2

Radical hidroxila: OH^-



Geração de espécies reativas de oxigênio & escaldadura



4. Abortamento e vingamento de flores, flores anormais



Foto: Eduardo Mosca



5. Chochamento de frutos, “menor peneira” e perda de qualidade



À esquerda pode-se ver um fruto com grãos mal granados e à direita uma semente é normal e a do chocha.

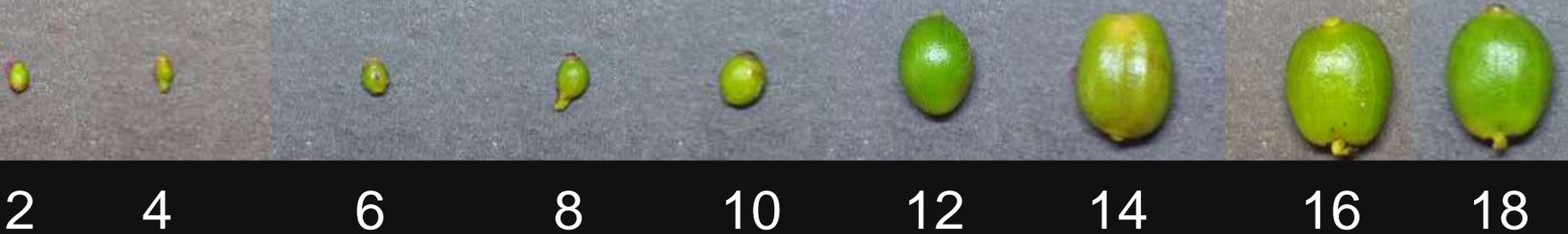


Chochamento total dos frutos, conhecido como curaço negro, provocado por falta de água.

Frutos pequenos e mal formados devido à falta de água: reflexos na produção e na qualidade



Crescimento do fruto

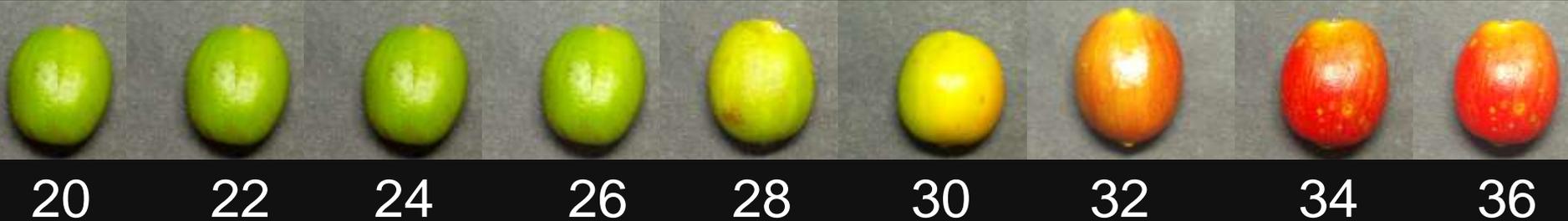


“palito fósforo”

expansão rápida

granação

maturação



Semanas após a floração

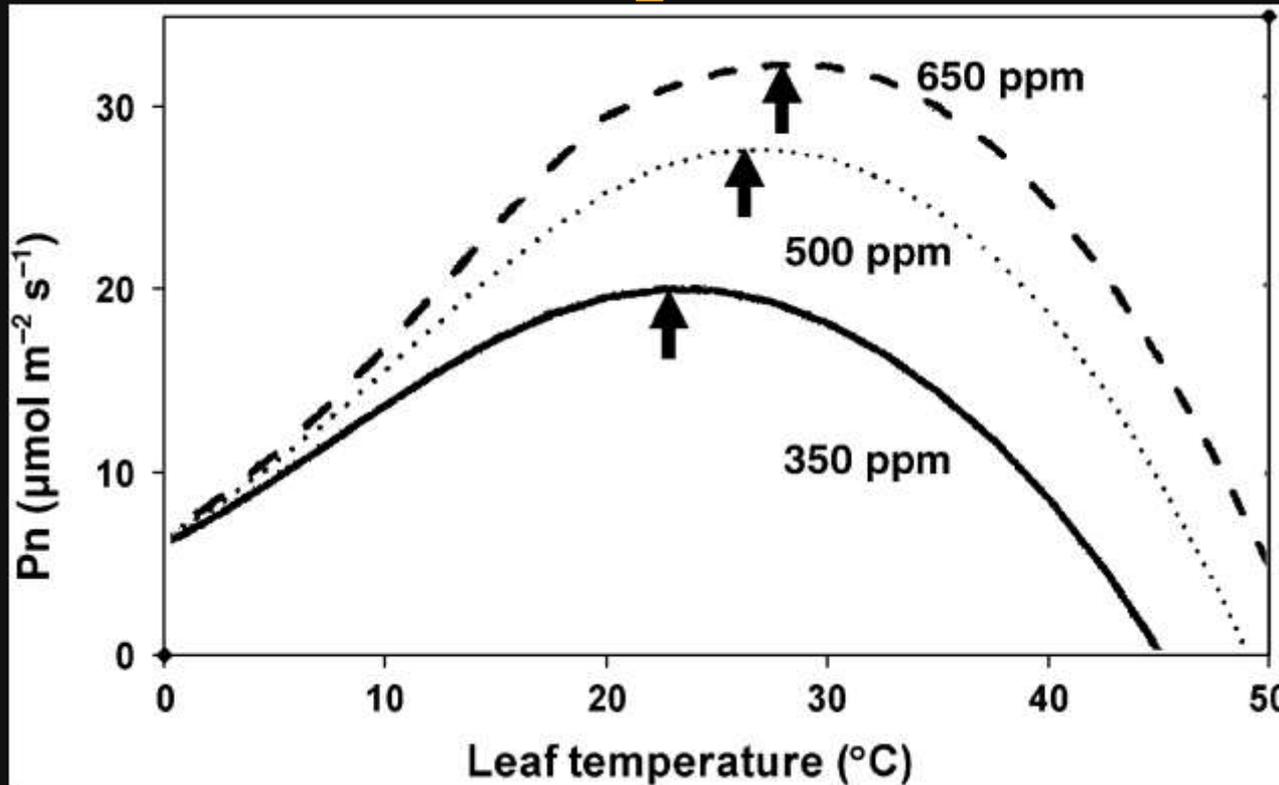


Incremento de $[\text{CO}_2]$



Relação entre fotossíntese, temperatura & CO₂

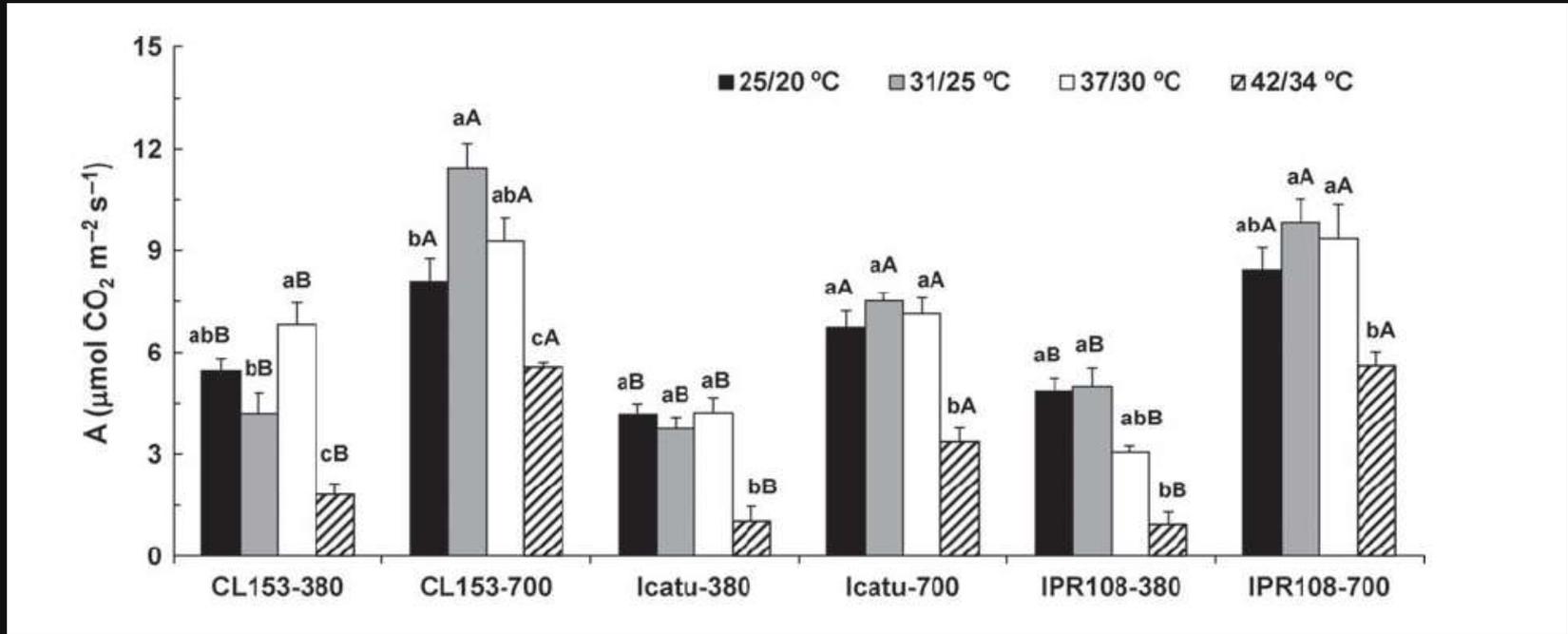
Taxa de fotossíntese



Temperatura foliar



Taxa de fotossíntese



[CO₂] = 380 ou 700 ppm

 Global Change Biology

Global Change Biology (2016) 22, 415–431, doi: 10.1111/gcb.13088





- **A: irrigado + [CO₂] = 400 ppm**
- **B: seca + [CO₂] = 400 ppm**
- **C: irrigado + [CO₂] = 720 ppm**
- **D: seca + [CO₂] = 720 ppm**



FACE = “free-air CO₂ enrichment”



- Plantas crescem sob alta [CO₂] em condições normais de campo



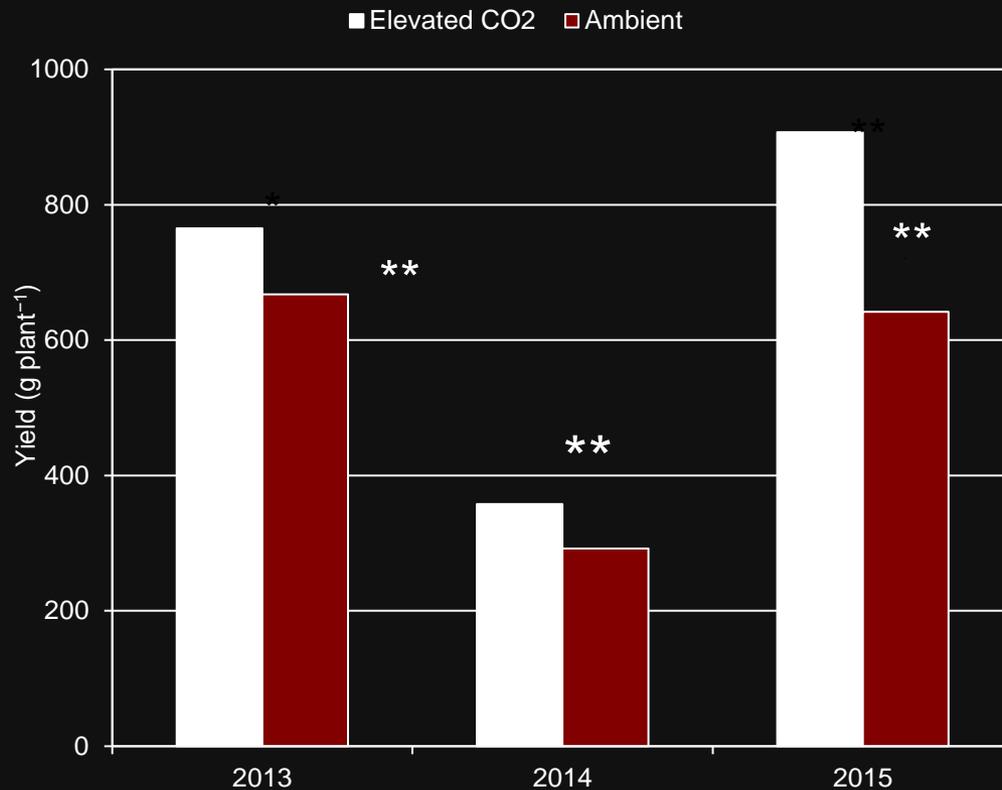
FACE = plantas com 18 meses

Dentro do FACE



Fora do FACE





Efeito da [CO₂] (alta (550 ppm) ou ambiente (390 ppm)) sobre a produção de café

↑28% produtividade



As atuais mudanças climáticas já estão impactando a performance da cafeicultura?!

1964-2024: 106 ppm [CO₂]

1964-2000: 51 ppm [CO₂]

2001-2024: 54 ppm [CO₂]

FACE: ↑28% produtividade (↑ 160 ppm [CO₂])

→→

↑19% produtividade →→ **↑27,5%**

↑ taxa fotossintética, ↑ desenvolvimento inicial, ↓ taxa de fotorrespiração e ↓ escaldadura, melhor granação



Estratégias preventivas de mitigação

- Arborização (sistemas agroflorestais);
- Irrigação (cultivares menos sensíveis ao DPV)
- Cultivares mais tolerantes ao estresse térmico e hídrico;
- Consórcios, quebra-ventos e adensamento;
- Enxertia e transgenia: a importância de *Coffea canephora* e outras espécies de *Coffea*;



Estratégias de mitigação

- Manejo adequado: formação de um bom sistema radicular, proteção do solo (cobertura do solo), nutrição balanceada;
- Implantação criteriosa das lavouras (orientação da linha de plantio);
- Uso de antitranspirantes, fotoprotetores e estimuladores do sistema antioxidativo.



Arborização: principais vantagens

ASPECTOS CLIMÁTICOS

- Redução dos extremos de temperatura (ar e solo)
- Redução da velocidade dos ventos
- Manutenção, ainda que parcial, da umidade relativa



Arborização: principais vantagens

ASPECTOS EDÁFICOS

- Melhoria ou manutenção da fertilidade
- Menor perda de nutrientes por volatilização
- Maior capacidade de absorção e infiltração da água
- Menor utilização (ou resposta a) de nutrientes



Arborização: principais vantagens

ASPECTOS ENDÓGENOS

- Menor ocorrência da escaldadura e seca-de-ponteiros
- Atenuação do ciclo bienal de produção
- Maior longevidade da lavoura
- Frutos com maior peneira
- Alongamento do período de maturação dos frutos → melhor qualidade de bebida (?) e maior flexibilização das operações de colheita (*problemático em locais mais frios*)



Arborização: principais vantagens

ASPECTOS BIÓTICOS

- Menor incidência de cercosporiose
- Menor incidência de bicho-mineiro
- Menor incidência de gramíneas
- Maior ocorrência de micorrizas
- Ampliação da biodiversidade



Arborização: principais vantagens

ASPECTOS ECONÔMICOS

- Obtenção de produtos adicionais (e.g., madeira, frutos, palmito etc.): equilíbrio econômico da propriedade
- Redução do uso de insumos, como herbicidas e fertilizantes



Arborização: principais vantagens

ASPECTOS ECONÔMICOS

- Vantagens a longo prazo: o cafeicultor normalmente avalia a produção do cafezal, mas se esquece da “poupança verde” e do sequestro de carbono
- Vantagens em termos de *marketing*



Arborização: principais desvantagens

- Uso de espécies inadequadas → competição
- Sombreamento excessivo
- Custos associados a podas e desbastes
- Dificuldades de mecanização
- Danos mecânicos
- Maior incidência da broca e da ferrugem
- Menor potencial de produção
- Problemas na colheita: café “*molhado*”



Arborização e produção

Por que a arborização, dentre certos limites, reduz a produção?

- Menor taxa de fotossíntese
- Maior estímulo à iniciação de gemas vegetativas em detrimento de gemas florais
- Menor n° de nós formados e menor n° de gemas florais em cada nó existente



Quando se devem usar árvores para sombreamento?

- Objetivos da produção
- Fatores ambientais
- Nível e qualidade dos insumos disponíveis



Objetivos da produção

S
O
L

CONSERVAÇÃO
RECURSOS

DE



ESTABILIDADE



BIODIVERSIDADE



CAFÉ ORGÂNICO



PRODUTOS
ADICIONAIS



S
O
M
B
R
A



Características do ambiente

	← fértil	SOLO	pobre →	S
S	← alta	UMIDADE	baixa →	O
O	← fracos	VENTOS	fortes →	M
L	← “ideal”	ALTITUDE	extrema →	B
	← suave ?	TOPOGRAFIA	acid. →	R
				A



Recursos disponíveis



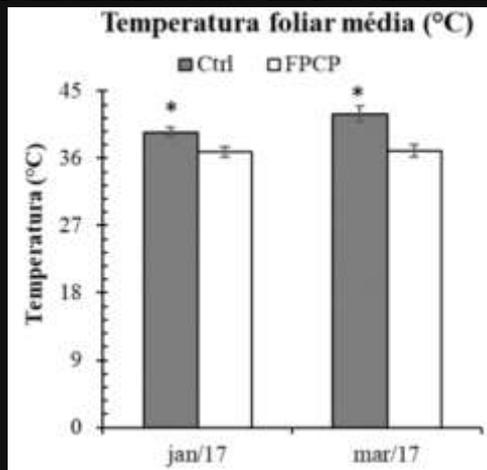
Consórcio café x cedro australiano x mamão



- Nível “*ótimo*” de sombra: resultado mais recente (metanálise; Koutouleas et al. (2022), Front. Sustain. Food Syst. 6:877476) ... **39%**
- Magnitude do grau de sombreamento tem de ser visto com extrema cautela (**20-30%??**)
- Com o aumento da [CO₂], o cafeeiro exigirá mais luz para maximizar a fotossíntese → vantagem relativa do sombreamento poderá ser reduzida

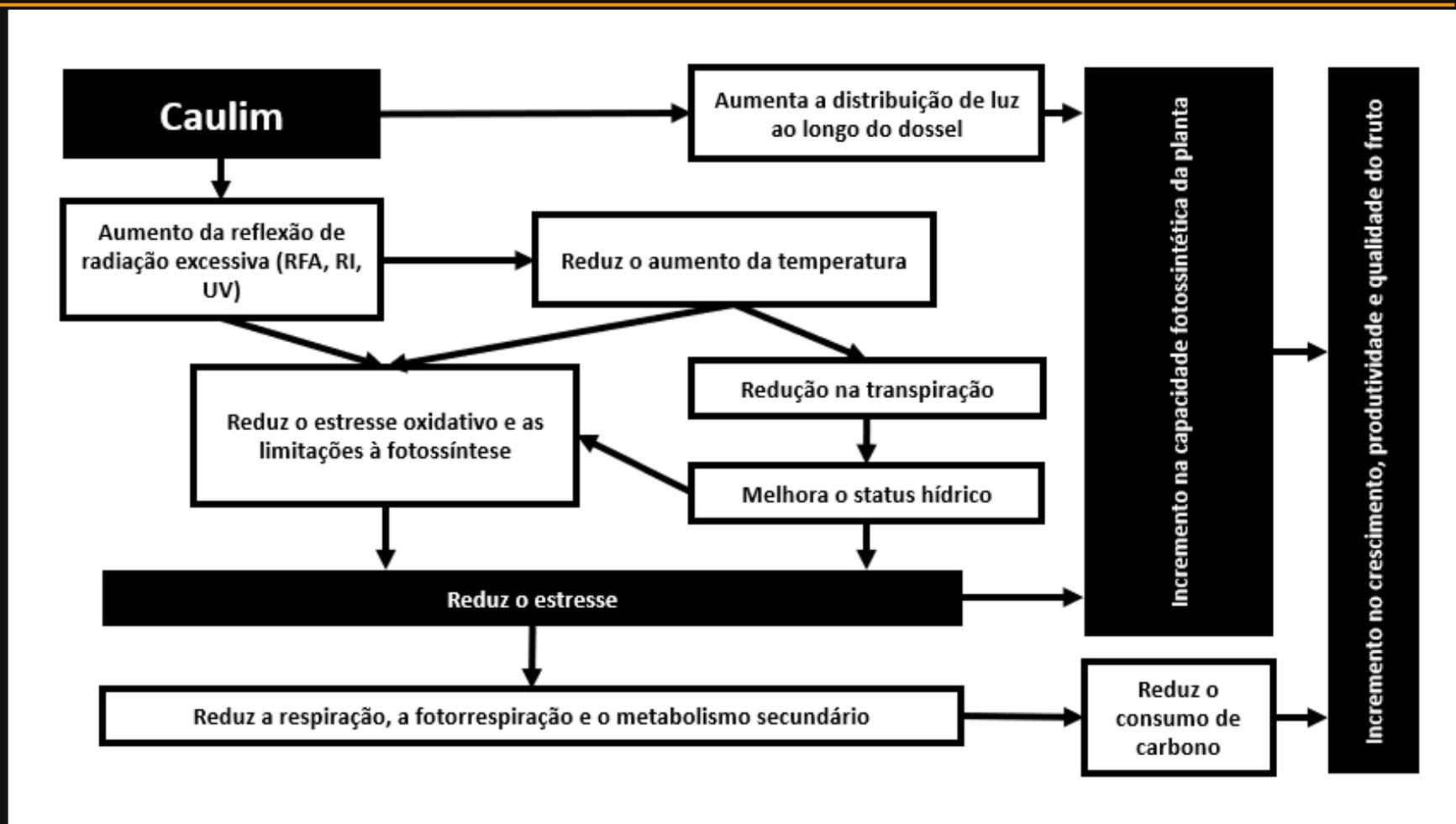


Aplicação de produto à base de caulim



- Jan: ↓ 2,6°C
- Mar: ↓ 4,9°C





Adaptado de Brito et al. (Sci. Hort. 250:310-316, 2019)





Convencional



Bioestimulante

**Bioestimulante:
ácidos húmicos e
fúlvicos**



Em síntese...



- Os desafios são grandes, mas há tecnologia para se enfrentar as mudanças climáticas;
- O aumento da [CO₂], ao mesmo tempo que indiretamente contribui para o aumento da temperatura e ocorrência de secas, pode grandemente minimizar os efeitos negativos desses estresses;
- A grande maioria das previsões sinistras sobre o futuro da cafeicultura não têm considerado o efeito mitigador do aumento da [CO₂]... E há muitos “achismos”!



Obrigado pela atenção!...

fdamatta@ufv.br

