

ELIEMAR CAMPOSTRINI

POTENCIALIDADE FOTOSSINTÉTICA DE
CINCO GENÓTIPOS DE *Coffea canephora* PIERRE

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Fisiologia
Vegetal, para Obtenção do Título de
Magister Scientiae

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JULHO DE 1994

h Minha mamãe, D. Azilmar, divina e maravilhosa!
Ao papai Abdalter, pela força e compreensão!
h Elianinha, irmã e grande figurinha!
Ao Tom e Tim, pela irmandade fantástica!

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade da realização desse curso.

A Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA), pelo material fornecido e pelo apoio à pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

Ao professor Moacyr Maestri, pela orientação segura e objetiva.

Aos fantásticos Dadinho, Menô, Juninho e Helinho, pelo convívio e pela irmandade eterna.

As maravilhosas Fafás, pelo enorme amor e pelo imortal carinho.

Aos grandiosos colegas de curso Kadun, Gilmaro, Luciano, Zé Mauro, Ronaldão, Carla, Solange, Carlos, Eugênio e Nátia, pelo relacionamento amigável e altamente feliz.

Ao amigo Antônio Cordeiro, pelas valiosas informações e pela amizade forte.

Aos funcionários, Zé Maria e Oswaldo, pela colaboração nos trabalhos experimentais.

As pessoas não-citadas, que de uma maneira importante, colaboram neste trabalho, são peças fundamentais e inesquecíveis.

BIOGRAFIA

Eliemar Campostrini é natural de **São** Domingos do Norte (ES), nascido em 02/03/1967, filho de Abdalter Campostrini e Maria Azilmar Juliati Campostrini.

Cursou parte do primeiro grau em **São** Domingos do Norte (ES), concluindo-o em **São** Gabriel da Palha (ES). O segundo grau foi cursado na Escola Técnica Federal do Espírito Santo (ETFES).

É Engenheiro-Agrônomo graduado pela Universidade Federal de Viçosa, em janeiro de 1991. Em março desse mesmo ano iniciou o curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal na UFV,

CONTEÚDO

	Página
EXTRATO	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1. Material Vegetal e Condições de Cultivo	5
2.2. Determinação de pigmentos foliares	8
2.3. Determinação da Area Foliar Específica e Espaço Poroso Foliar	9
2.4. Medição da Fluorescência	10
2.5. Determinação da Evolução de Oxigênio Fotossintético	11
2.6. Delineamento Experimental	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1. Fotossíntese Potencial Líquida em Discos Foliares de Café em Relação à Irradiância	15
3.2. Morfologia Foliar	22
3.3. Pigmentos Fotossintéticos	25

3.4. Emissão de Fluorescência e Fotossíntese	
Potencial	29
4. RESUMO E CONCLUSÕES	36
5. BIBLIOGRAFIA	31

EXTRATO

CAMPOSTRINI, Eliemar, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 1994. Potencialidade Fotossintética de Cinco Genótipos de *Coffea canephora* Pierre. Professor Orientador: Moacyr Maestri. Professores Conselheiros: Paulo Roberto Mosquim e Raimundo Santos Barros.

Empregaram-se plantas de *Coffea canephora* Pierre de 12 meses de idade crescidas em condições de campo. Utilizaram-se cinco genótipos, escolhidos de matrizes com baixa (clones 12 e 25), média (clones 49 e 123) e alta produtividade (clone 128). Verificou-se que os cinco clones apresentaram o mesmo comportamento quanto ao rendimento quântico. Houve uma tendência de os clones 49 e 123 apresentarem maiores valores para a fotossíntese líquida potencial máxima (P_{nmax}), mas sem relação direta com a produtividade. Não foi encontrada nenhuma relação entre as características morfológicas da folha com as produtividades. Todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético, avaliada pela emissão de fluorescência.

1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos que se busca em programas de melhoramento de café é a produtividade final. A variação de produção entre genótipos pode estar associada com as características morfológicas da planta (arquitetura), padrão de crescimento (taxas e partição de assimilados), eficiência fotossintética e atividade reprodutiva. Conhecer as causas dessas diferenças constitui um passo necessário para estabelecerem-se índices e critérios úteis na previsão da potencialidade produtiva de novos genótipos.

Tentando estabelecer correlações entre produtividade e taxa de fotossíntese, EVANS (1975) e ELMORE (1980) demonstraram **não** estarem relacionadas, e que nem seleção para taxa de fotossíntese tenha resultado em maior produtividade. PEREIRA (1989) explica que a não-correlação entre produtividade e taxa de fotossíntese pode ser explicada através da análise quantitativa do crescimento (índice de colheita) e pela eficiência de conversão, que é a relação entre o incremento de fitomassa e a quantidade de substrato disponível para o crescimento. Todavia, a produção e seus

componentes foram todos positivamente correlacionados com taxas fotossintéticas de folhas de tomateiro. A taxa fotossintética estimou em mais de **60%** a variação da produção, evidenciando o papel da luz no florescimento e frutificação das plantas. Mostrou-se ser possível utilizar a taxa fotossintética como um fator para predizer o potencial de produção de genótipos, nos estádios iniciais (RODRIGUEZ e LAMETH, 1976). No entanto, em plantas de café não se têm informações sobre a relação entre fotossíntese e produtividade.

Sobre os teores de clorofilas relacionados com a fotossíntese, há relatos sugerindo que quedas nas taxas fotossintéticas sejam devidas à redução da concentração de clorofila (HEATH, 1969), mas em comunidades naturais, o conteúdo de clorofila nas folhas é adequado para absorver o fluxo de fótons disponível (GABRIELSEN, 1948). HESKETH (1963) mostrou que as espécies podem variar grandemente nas taxas de fotossíntese, e que esta variação não se relacionou com o conteúdo de clorofila. BUTTERY e BUZZEL (1977) no entanto sugeriram que, em soja, uma separação inicial das progênes, para um programa de melhoramento para altas taxas fotossintéticas, poderá ser feita pela medida do conteúdo de clorofila.

A razão entre a matéria seca e a área da folha, ou seja, o peso foliar específico, que foi significativamente diferente entre as variedades de soja. A fotossíntese líquida correlacionou-se positivamente com essa característica morfológica. O incremento da fotossíntese líquida foi postulado como resultado de um decréscimo na resistência

difusiva do CO₂ dentro da folha, ou do aumento da demanda de fotoassimilados na formação das sementes (DORNHOFF e SHIBLES, 1970). Esses autores sugeriram que o peso foliar específico pode ser aceitável como índice de seleção para melhoria das taxas fotossintéticas em folhas de soja. Já em café, pouco se sabe sobre esta característica de crescimento e sua relação com a produtividade.

O estudo da emissão da fluorescência em folhas tem-se incrementado como um método de monitoramento dos eventos fotossintéticos para avaliar o estado fisiológico da planta (KRAUSE e WEIS, 1991). Em *C. canephora*, apesar de ter sido verificada uma correlação significativa entre a fluorescência variável e o potencial hídrico foliar durante o período seco, a fluorescência emitida **não** foi um bom indicador do estado hídrico. Dessa maneira, a medida da fluorescência **não** permitiu uma exata avaliação da condição hídrica de *C. canephora* (GOLBERG et al., 1988). Os baixos valores da relação entre a fluorescência variável e a fluorescência inicial (Fv/Fo), observados nas folhas velhas, durante o período de restabelecimento ao estado normal (alto potencial hídrico), foi atribuído ao seu baixo conteúdo de clorofila (GOLBERG et al., 1988). Em plantas de feijão, **não** foi verificada relação entre os parâmetros da fluorescência emitida de diversos genótipos, com os parâmetros do cultivar Carioca de superior produtividade (PORTES e MAGALHÃES, 1993). No entanto, em *Coffea* sp., **não** se têm relatos sobre a utilização da emissão da fluorescência na caracterização de genótipos.

Por ser o cafeeiro cultura perene, os trabalhos de melhoramento genético envolvendo métodos tradicionais de

seleção demandam tempo e nem sempre alcançam resultados satisfatórios. Portanto, torna-se imperativa a obtenção de metodologia confiável de predição do comportamento produtivo de genótipos de café, ainda nos estádios iniciais de seu desenvolvimento. Tal trabalho resultaria em substancial economia de tempo, espaço e recursos, possibilitando o descarte precoce de materiais inferiores, em oposição ao intervalo de 10 a 12 anos, compreendido pelos processos tradicionais (ANTUNES e CARVALHO, 1957; CARVALHO et al., 1984). Nesse sentido, o conhecimento das causas do comportamento diferencial entre os genótipos é indispensável quando se deseja prever a potencialidade produtiva, ou adaptação ecológica de *Coffea* spp. Para plantas de café é escasso ou inexistente o estudo relacionando produtividade com alguma característica morfológica, bioquímica ou fotossintética de folhas.

Assim, este trabalho teve como objetivo determinar relações entre a produtividade obtida de cinco matrizes de *C. canephora* e algumas características morfofisiológicas associadas com a capacidade fotossintética de plantas jovens propagadas vegetativamente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal e Condições de Cultivo

Neste trabalho, utilizaram-se cinco genótipos de café (*Coffea canephora* Pierre), clones **12** e **25** de baixa (**-2272** kg/ha), **49** e **123** de média (**-3300** kg/ha) e **128** de alta (**-4159** kg/ha) produtividades, provenientes da Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA), em ensaios de competição, médias de quatro anos, no município de Marilândia-ES.

As mudas, de aproximadamente **12** meses, foram obtidas por propagação vegetativa, cultivadas em bolsas de polietileno pretas (**0,32 x 0,60** m), com quinze litros de substrato, sob condições de campo. O substrato foi composto de uma mistura de solo (Latosolo Vermelho Amarelo Distrófico) e esterco de curral curado, na proporção respectivamente de **70%** e **30%**. A composição química do solo foi determinada pelo Laboratório de Análises de Solos do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (QUADRO 1). O solo foi corrigido e adubado segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO

QUADRO 1 - Composição do Solo utilizado no experimento

Carb.	pH água	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC Efet.	CTC total	v	m
(%)	ppm....	meq/100cm ³				(%)..	
2,34	5,7	0,0	91	0,0	0,7	0,2	4,8	1,18	1,18	5,98	19,7	0,0

P e K: Extrator Mehlich 1

Al, Ca e Mg: Extrator KCl 1N

H⁺ Al: Extrator CaOAc 1N pH 7,8

DE MINAS GERAIS (1989).

As adubações complementares, nitrogênio em cobertura e pulverização foliar, foram feitas a cada 45 dias, durante todo o experimento. Utilizou-se como fonte nitrogenada, uréia e sulfato de amônio alternados. Uma mistura de sulfato de zinco 0,2%, cloreto de potássio 0,2%, ácido bórico 0,2%, oxiclreto de cobre 0,2% e Agril-320 0,02% (espalhante adesivo) foi utilizada para o fornecimento de micronutrientes, por via foliar.

Os dados meteorológicos (FIGURA 1), durante a condução do experimento, como temperatura mínima, media e maxima do ar, temperatura do solo e radiação solar total diários foram obtidos por meio de um sistema automático de coleta de dados, LICOR-modelo 1200.

A umidade do solo foi mantida com irrigações periódicas, quando não se verificava precipitação pluvial.

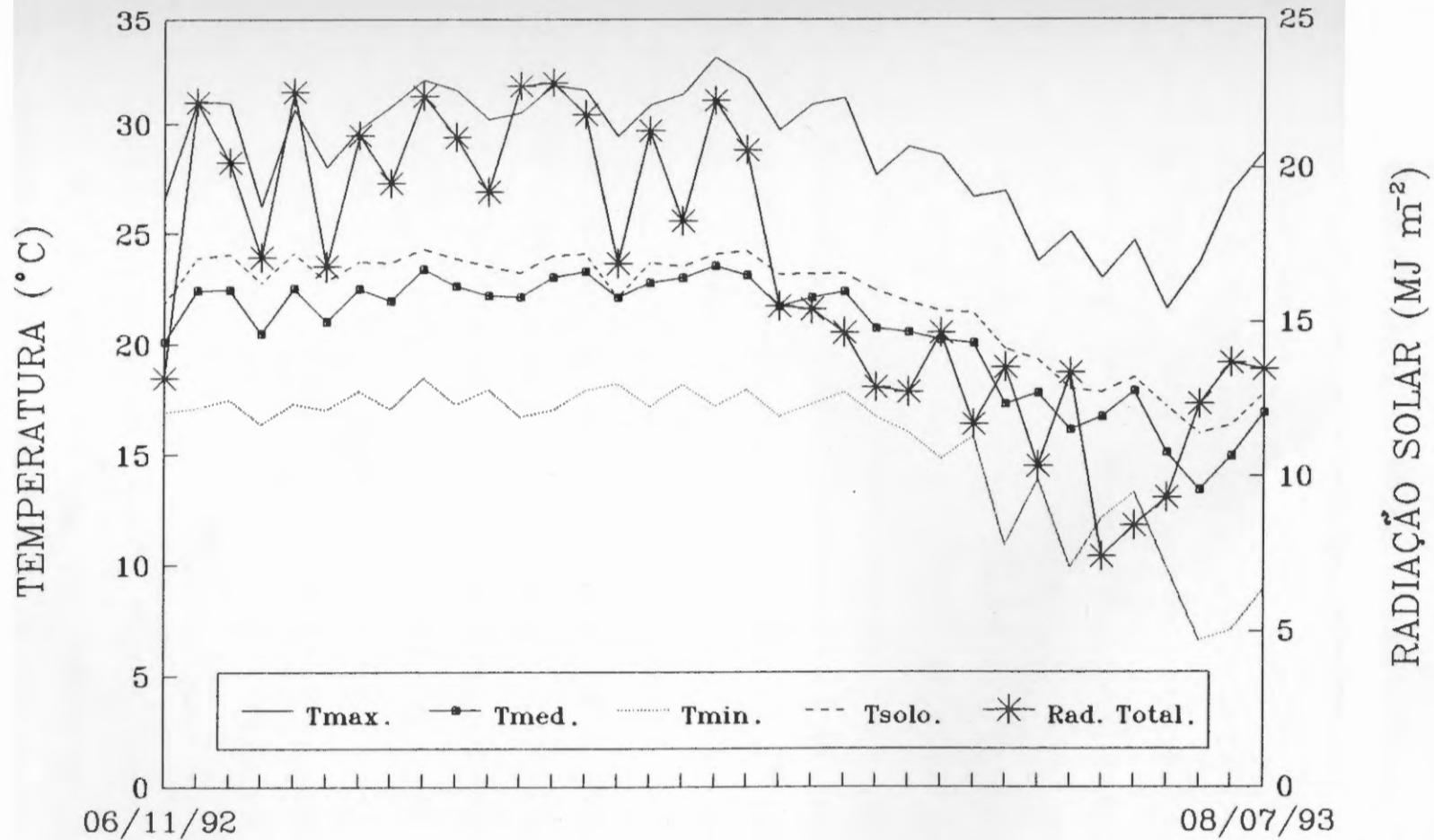


FIGURA 1 - Temperaturas Mínima, Média e Máxima do ar, Temperatura do Solo e Radiação Solar, No Período de 06/11/92 a 08/07/1993. Médias Semanais. Viçosa-MG.

2.2. Determinação dos pigmentos foliares

Para as análises, coletou-se uma folha do terceiro par de folhas, completamente expandido, contado a partir do ápice do ramo plagiotrópico.

A determinação dos teores de clorofilas foi feita de acordo com HARBORNE (1991), em que as extrações no almofariz de porcelana, utilizando três discos foliares de 172 mm^{-2} cada, foram feitas com acetona 80%, à qual adicionou-se carbonato de cálcio. Para separação do extrato, o mesmo foi filtrado, e o volume final completado para 100 ml. Obtido o extrato cetônico, procedeu-se a determinação espectrofotométrica da absorvância a 646 e 663 nm, e a partir destes dados estimaram-se os teores de clorofila total, clorofila a, clorofila b. Os carotenóides foram extraídos e quantificados, segundo método descrito por DUKE e KANYON (1986) e modificado por ARGENTA (1990). Dois discos foliares de 172 mm^{-2} cada, foram homogeneizados com 12 ml de hidróxido de potássio em metanol (6% peso/volume). O homogenato foi centrifugado a 5000 x g, por cinco minutos, com duas ressuspensões, e o sobrenadante depositado em tubo de ensaio. Para extração desses pigmentos, o extrato foi particionado com 14 ml de éter de petróleo, após agitação vigorosa. A epifase foi coletada com auxílio de pipeta automática e o extrato particionado por mais duas vezes. Depois de se completar o volume final da fase etérea, procedeu-se a determinação espectrofotométrica da absorvância a 450 nm. Os teores de carotenóides foram quantificados, utilizando-se os coeficientes de absorvidade molar, de acordo com GOODWIN

(1976). As determinações dos teores de nitrogênio e proteína totais das folhas foram feitas segundo método descrito por UMBREIT et al. (1972), em que se utilizou uma digestão ácida com água oxigenada. Ao extrato foi adicionado o reativo de Nessler, efetuando-se a determinação espectrofotométrica da absorvância a 420 nm. A curva padrão foi quantificada utilizando sulfato de amônio, numa variação de 10 a 50 µg de nitrogênio. Os teores de proteínas totais foram determinados multiplicando os valores de nitrogênio por 6,25.

2.3. Determinação da Area Foliar Específica e Espaço Poroso Foliar

Para a determinação da área foliar foi utilizado o medidor de Area Delta-T. A área foliar específica foi obtida pela divisão da área foliar pela sua respectiva matéria seca.

O espaço poroso foliar foi determinado utilizando-se o terceiro par foliar, completamente expandido, a partir do ápice de ramo plagiotrópico. As folhas foram colocadas em um dessecador, com seu pecíolo imerso em água, submetendo-se o sistema a vácuo por quinze minutos. Logo após, liberou-se o vácuo e as folhas permaneceram por uma hora no sistema. Após a reidratação, enxugou-se uma das folhas, tomando-se imediatamente o peso da matéria fresca de cinco discos foliares com 172 mm² de Area, cada. Em seguida, fez-se infiltração a vácuo em um copo contendo 40 ml de água destilada e uma gota de detergente líquido neutro. Aplicou-se vacuo por um período de 15 minutos, após o que os discos

permaneceram na solução, por um período de cinco minutos. Os discos foram então enxugados e novamente pesados. A diferença de peso dos discos antes e após a infiltração representa a quantidade de água que penetrou no espaço poroso da folha (volume dos poros intercelulares). Dividindo-se o volume de água infiltrado pela Área total dos discos, estimou-se o volume dos poros por unidade de Área.

A outra folha do par, mantida no dessecador, foi enxugada, determinando-se o seu volume total segundo HUXLEY (1971). Imediatamente foi determinada a Área desta folha. Dividindo-se o volume total pela Área, obteve-se o volume da folha por unidade de Área foliar. Por regra de três simples, determinou-se a porcentagem de espaço poroso em relação ao volume da folha.

2.4. Medição da Fluorescência

A emissão de fluorescência da clorofila a foi acompanhada com o uso de um fluorômetro Hansatech, acoplado a uma câmara foliar LD2, com fonte de luz de densidade de fluxo de fótons de $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, pico de emissão em 660 nm e faixa do espectro entre 640 - 680 nm. Entre o disco foliar e o detector de fluorescência, colocou-se um filtro de interferência com banda de corte centrada em 740 ± 10 nm, permitindo a passagem de parte do sinal da fluorescência, excluindo a luz actínica. Folhas do terceiro par foliar, completamente expandidas, contadas a partir do ápice de ramo plagiotrópico, foram destacadas e colocadas em bolsas

plásticas pretas e mantidas nesta obscuridade, por **30** minutos, para que todos **os** centros de reação adquirissem a condição de "abertos" (extintor não-reduzido). Para a detecção do sinal, retirou-se da folha, no escuro, um disco foliar de 1000 mm^2 , que foi colocado na câmara porta amostra, à temperatura de **35** °C. Após, forneceu-se luz actínica de excitação e o sinal foi enviado para um registrador potenciométrico, na velocidade de 100 mm min^{-1} , para caracterizar **os** pontos de fluorescência lenta. Nesta velocidade foi possível detectar a fluorescência máxima (F_p) e a fluorescência terminal (F_t). Obtidos **os** valores de F_p e F_t , foram calculados a razão F_p/F_t (SIFFEL et al., 1988), o tempo necessário para atingir o nível $(F_p - F_t)/2$ ($t_{1/2}$), a razão de decréscimo da fluorescência ($R_{fd} = (F_p - F_t)/F_t$) (EPRON e DREYER, 1990), a capacidade de extinção ($F_q = (F_p - F_t)$) e as taxas máximas de decréscimo da fluorescência após **os** picos **P** (r_2) e **M** (r_3) (HETHERINGTON e SMILLIE, 1982) (FIGURA 2).

2.5. Determinação da Evolução de Oxigênio Fotossintético

A evolução do oxigênio fotossintético (fotossíntese potencial) de cada disco foliar foi determinada com o uso de um eletrodo de Clark de fase gasosa (Hansatech), conectado à mesma câmara porta amostra usada para medir a fluorescência. **As** determinações foram realizadas à temperatura de **35** °C, **sob** uma iluminação provida por lâmpada de halogênio de **250** W, dando uma densidade de fluxo de fótons de $1100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,

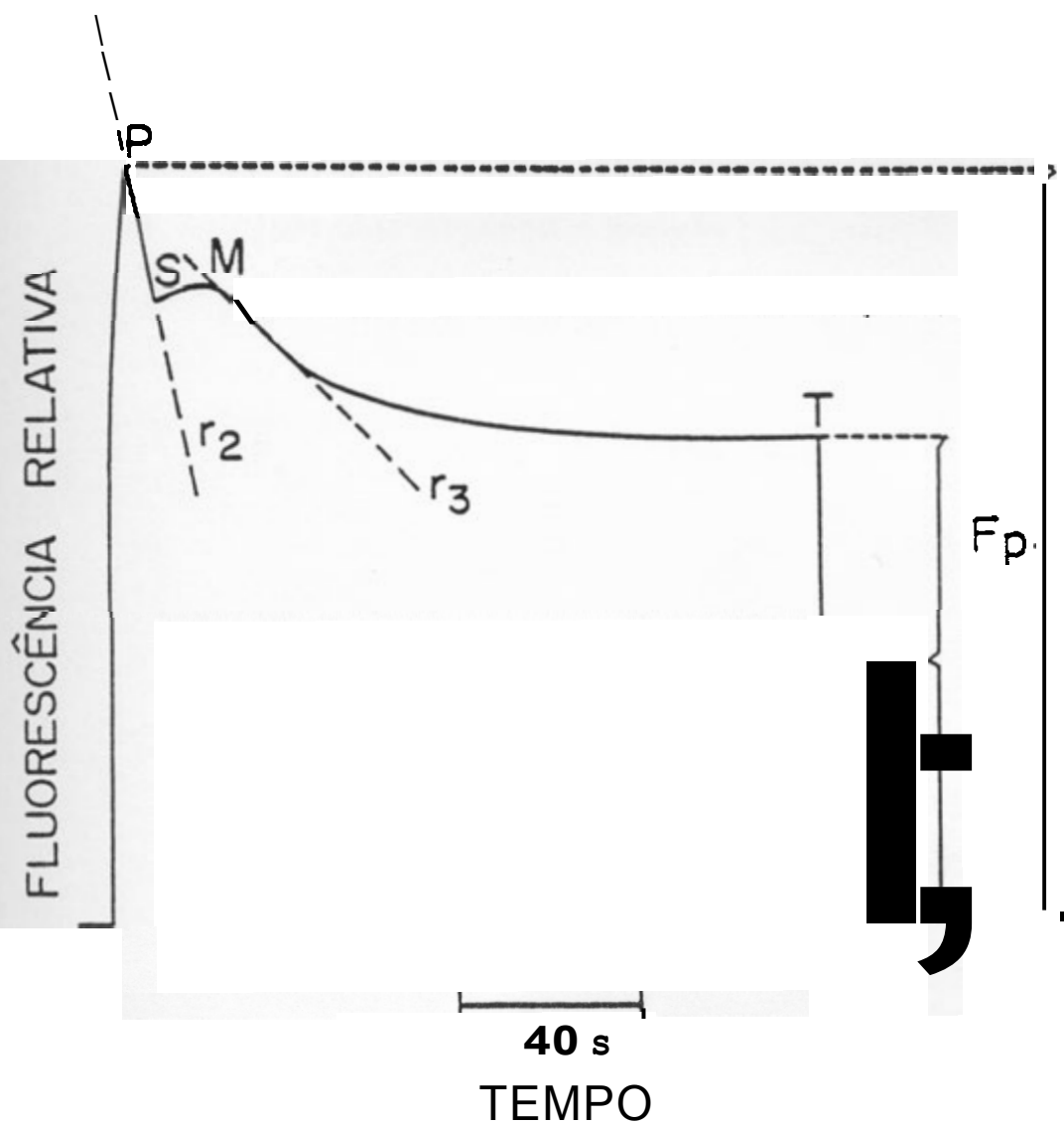


FIGURA 2 - Esquema da Cinética de Indução de Fluorecência Lenta da Clorofila, Sendo P e T as Fluorecências Máxima (F_p) e Terminal (F_t), Respectivamente; r₂ a Taxa Máxima de Decréscimo da Fluorecência Após o Pico M e S e M as Transições entre P e T.

medida com um fotômetro **LICOR**, ao nível do disco foliar. **As** taxas de evolução do oxigênio foram obtidas segundo metodologia descrita por **DELIEU** e **WALKER** (1983).

As curvas de resposta da fotossíntese potencial à densidade do fluxo de fótons foram obtidas distanciando-se o sistema de medição de evolução do oxigênio da fonte de luz e medindo-se a radiação fotossinteticamente ativa com o mesmo fotômetro mencionado, obtendo-se assim uma variação de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, quando o sistema se encontrava completamente no escuro (taxa respiratória), até valores de $1130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ao nível do disco foliar. **Os** valores da taxa fotossintética potencial líquida foram ajustados segundo o modelo

$$P_n = P_{b\max} [1 - e^{-(\alpha I / P_{b\max})}] - R_d$$

em que P_n é a taxa fotossintética potencial líquida; I é a densidade de fluxo luminoso; α é a declividade inicial da curva $P_n \times I$, $P_{b\max}$ é o valor assintótico de P_g (fotossíntese potencial bruta), quando I tende ao infinito, e R_d é a taxa de respiração escura (**THORNLEY**, 1976).

2.6 Delineamento Experimental

Foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições, sendo que a unidade experimental era composta de uma planta. Fez-se a análise de variância, e utilizou-se para comparações entre grupos contrastes ortogonais a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste F, em que os grupos utilizados foram: muito produtivo (clone 128), grupo medianamente produtivo (clone 49 e clone 123) e grupo pouco produtivo (clones 25 e 12).

Para obtenção dos valores do rendimento quântico e fotossíntese potencial bruta máxima (P_{bmax}), ajustou-se uma curva ($P_g \times I$) média. Como não se conseguiram pontos uniformes para densidade do fluxo luminoso, em todas as repetições, o traçado das curvas finais foi obtido, utilizando-se medias das repetições de cada irradiância e fotossíntese líquida. O coeficiente da equação a (rendimento quântico) foi comparado pelo teste "t" específico, para o modelo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fotossíntese Potencial Líquida em Discos Foliares de Cafe em Relação à Irradiância

Análises das curvas de fotossíntese potencial líquida (P_n) em função da densidade do fluxo de fótons (FIGURAS 3 a 7) sumarizados os parâmetros relevantes no QUADRO 2, revelaram que não houve diferença entre os genótipos estudados. Para a fotossíntese potencial líquida máxima (P_{nmax}), houve uma tendência de os clones 49 e 123 apresentarem maiores valores em relação aos demais, sendo que o menor valor de P_{nmax} ocorreu no clone 25. Com relação à irradiância de compensação e respiração escura, os clones 12 e 123 tiveram uma tendência a ter valores mais altos, enquanto o clone 25 apresentou tendência a menor valor.

O rendimento quântico da fotossíntese (ϕ) pode ser definido como a quantidade molar de O_2 evoluído, ou CO_2 fixado, por mol de fótons absorvido pelo aparato fotossintético. Em baixa densidade do fluxo de fótons,

clone 25

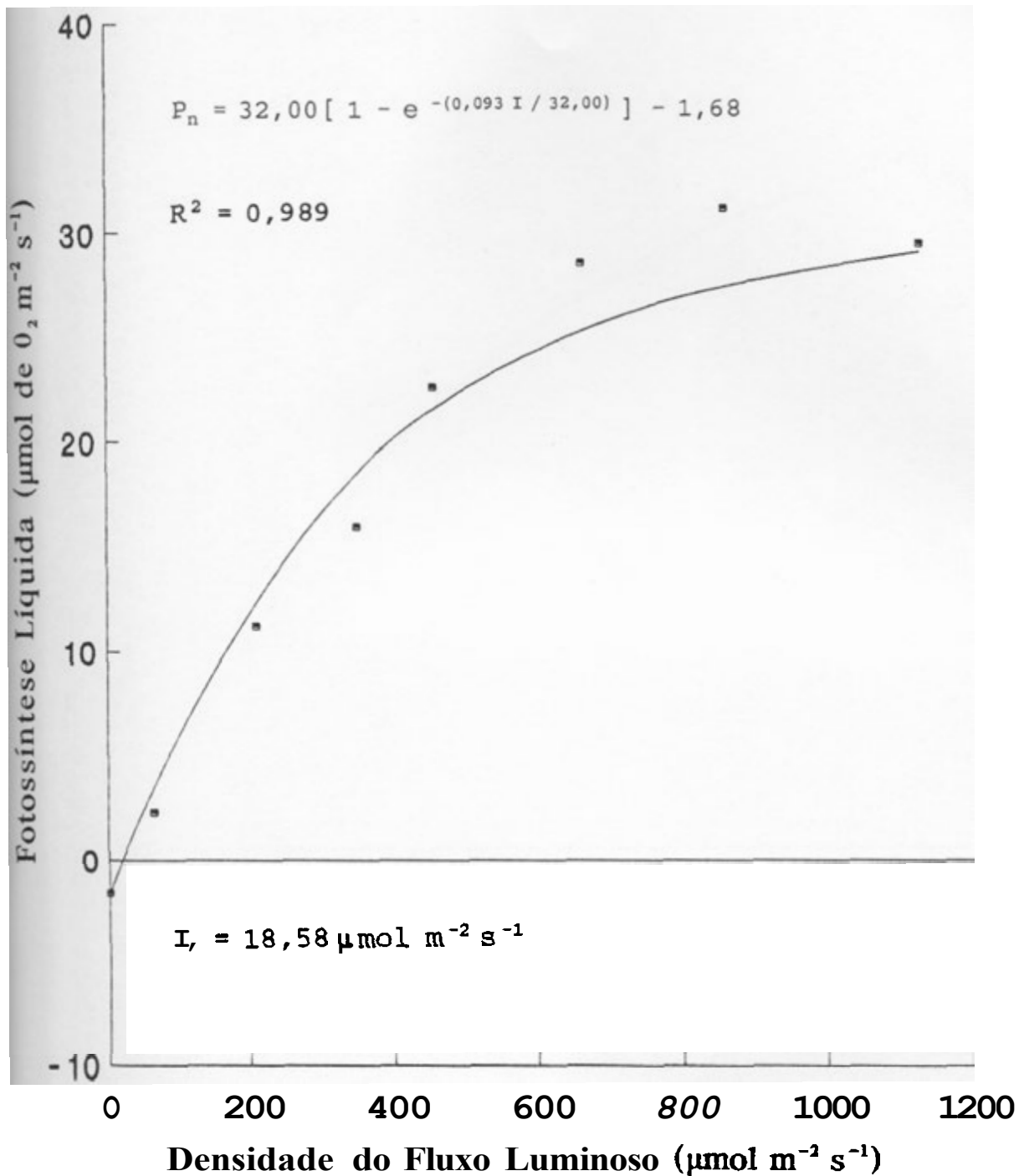


FIGURA 3 - Resposta da Fotossíntese à Radiação Fotossinteticamente Ativa em Café. Os Pontos Representam o Valor Médio de Quatro a Seis Repetições. I_c Representa a Irradiância de Compensação.

clone 12

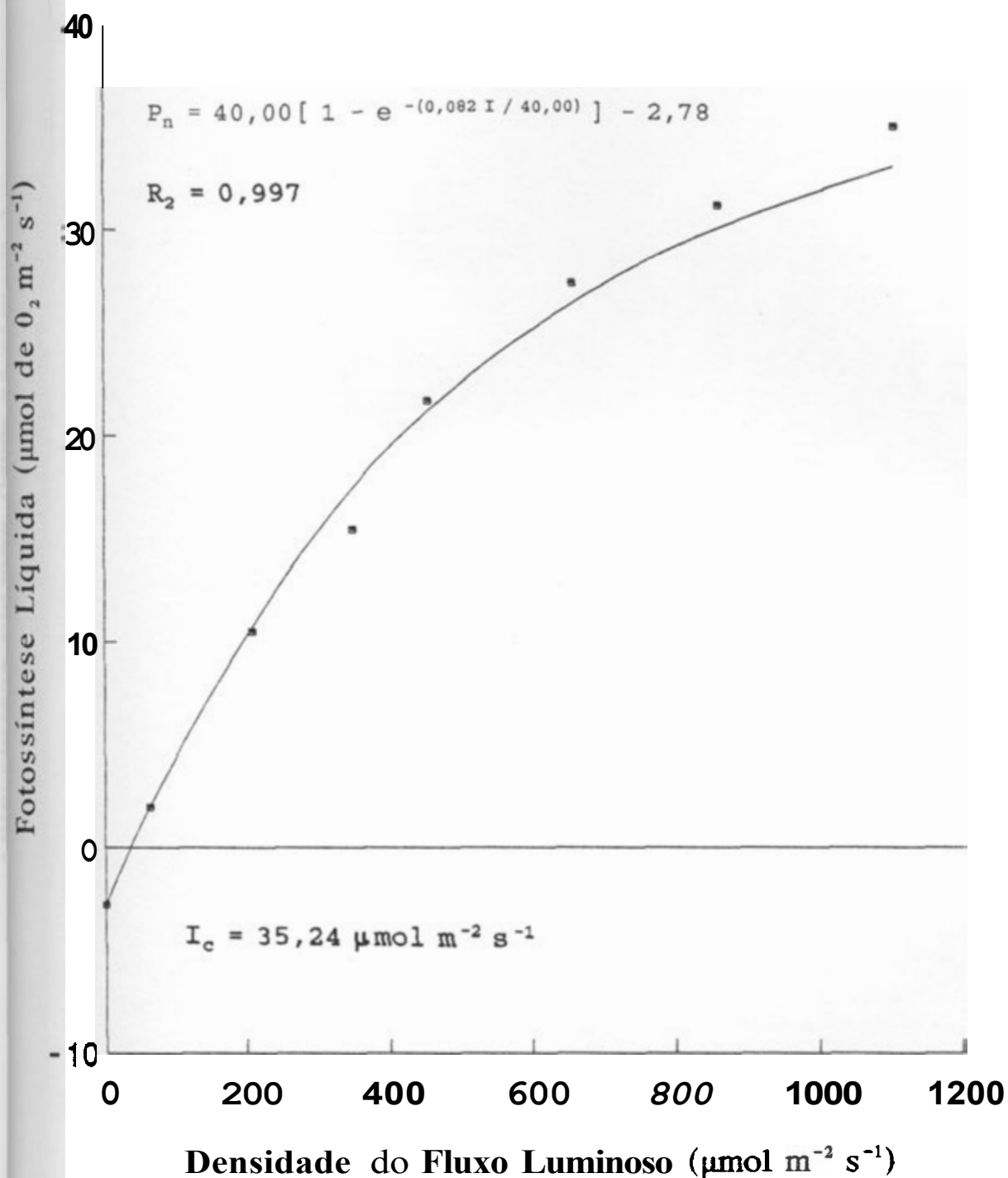


FIGURA 4 - Resposta da Fotossíntese A Radiação Fotossinteticamente Ativa em Café. Os Pontos Representam o Valor Médio de Quatro a Seis Repetições. I_c Representa a Irradiância de Compensação.

clone 123

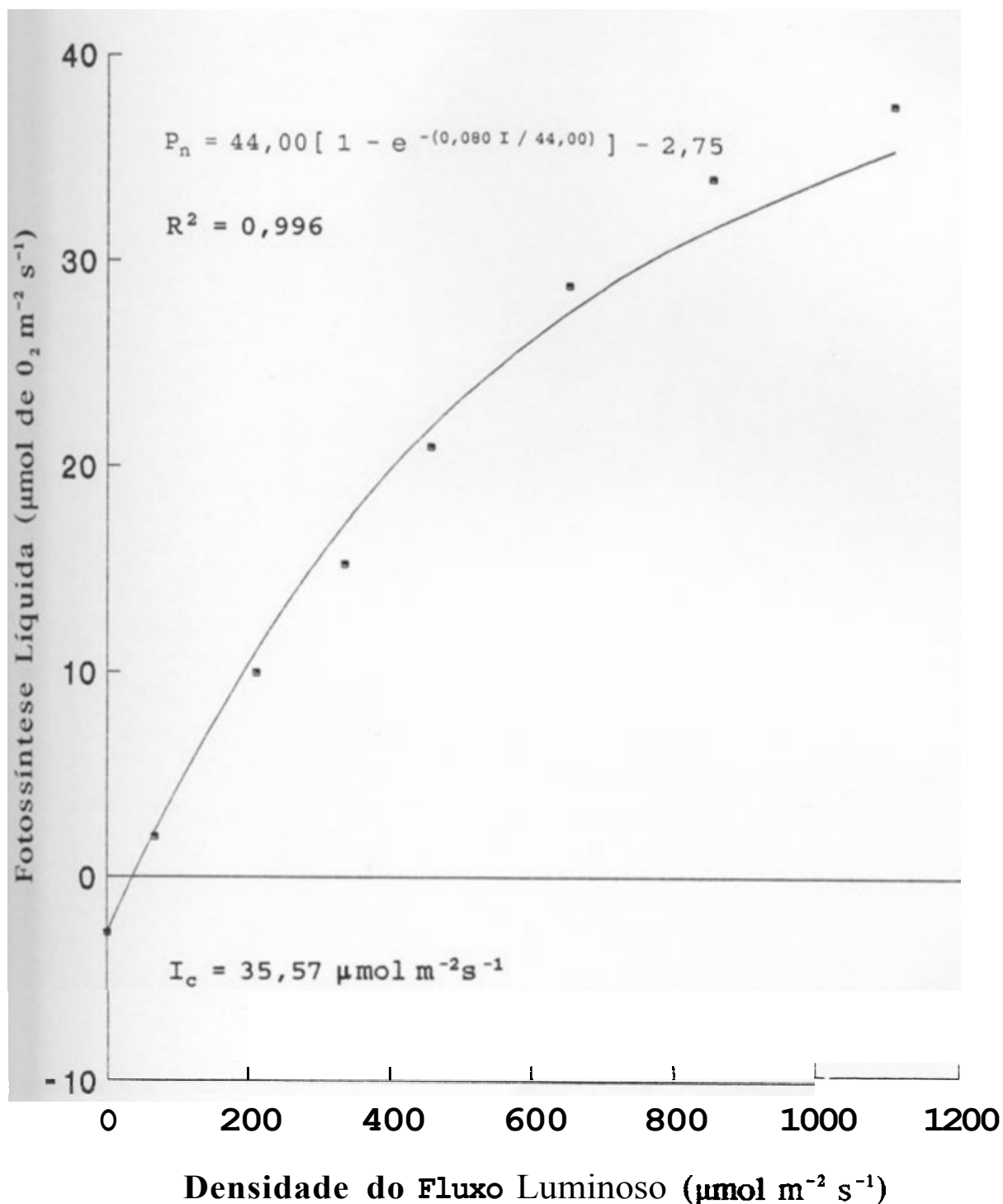


FIGURA 5 - Resposta da Fotossíntese à Radiação Fotossinteticamente Ativa em Café. Os Pontos Representam o Valor Médio de Quatro a Seis Repetições. I_c Representa a Irradiância de Compensação.

clone 49

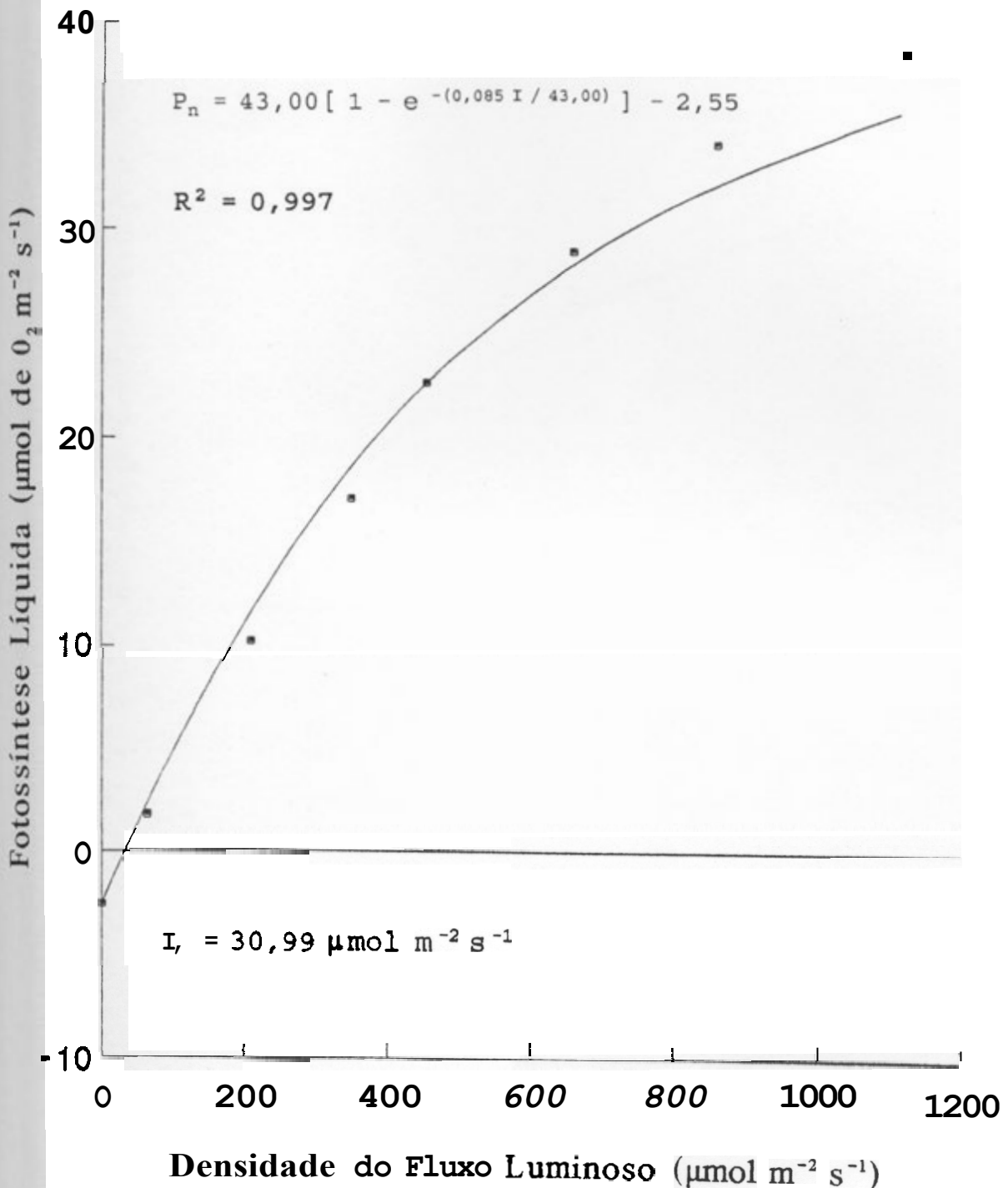


FIGURA 6 - Resposta da Fotossíntese à Radiação Fotossinteticamente Ativa em Cafe. Os Pontos Representam o Valor Médio de Quatro a Seis Repetições. I_c Representa a Irradiância de Compensação.

clone 128

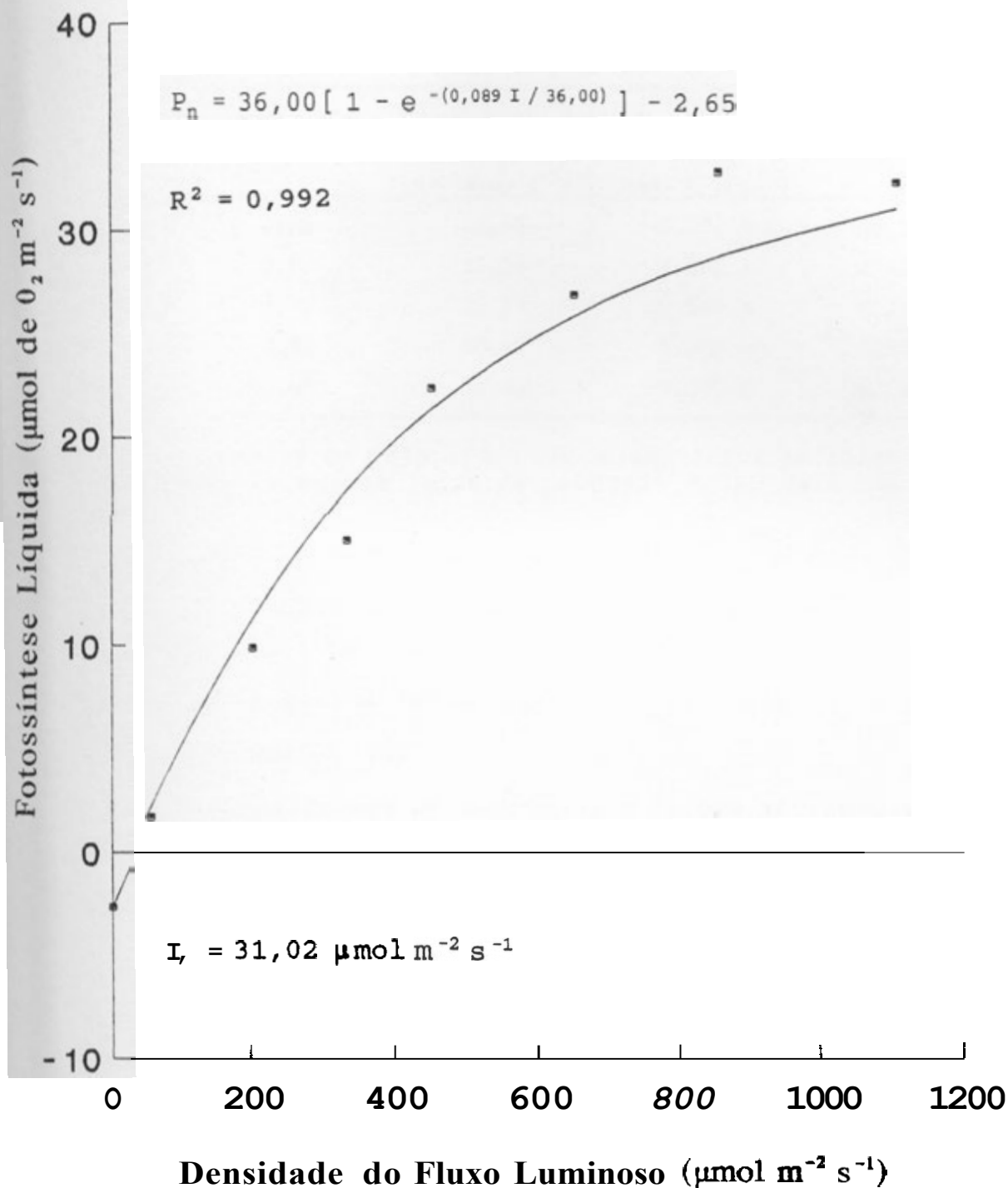


FIGURA 7 - Resposta da Fotossíntese à Radiação Fotossinteticamente Ativa em Café. Os Pontos Representam o Valor Médio de Quatro a Seis Repetições. I_c Representa a Irradiância de Compensação.

QUADRO 2 - Respiração Escura, Irradiância de Compensação, Rendimento Quântico e Valor Assintótico de Evolução de Oxigênio Fotossintético, Quando a Densidade de Fluxo Luminoso Tende ao Infinito (P_{nmax}), de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Tratamentos	Respiração ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Irradiância de Compensação ($\mu\text{mol fótons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Rendimento Quântico (ϕ) ($\mu\text{mol O}_2 \text{ fóton}^{-1}$)	P_{nmax} ($\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Clone 25	1,68	18,58	0,093 A	30,32
Clone 12	2,77	35,24	0,082 A	37,22
Clone 123	2,75	35,57	0,080 A	41,25
Clone 49	2,55	30,99	0,085 A	40,45
Clone 128	2,65	31,02	0,089 A	33,35

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna **não** diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste t.

o rendimento quântico é constante e máximo, e é uma medida da eficiência pela qual a luz é convertida em produtos estáveis (BJÖRKMAN e DEMMIG, 1987).

Considerando que **no** mínimo oito fótons **são** requeridos para a produção de uma molécula de oxigênio, então, o valor máximo do rendimento quântico teórico é de 0,125. Os valores encontrados neste experimento foram de 74, **66**, 64, 68 e 71% do valor teórico respectivamente para os clones 25, 12, 123, **49**, 128. Esses resultados estão de acordo com BJÖRKMAN e DEMMIG (1987), pois em 37 espécies C, estudadas a media do rendimento quântico foi de 0,0891. Os resultados aqui apresentados evidenciam que possivelmente todos os genótipos apresentaram a mesma capacidade de conversão da luz em produtos estáveis.

As irradiâncias de compensação encontradas neste trabalho foram de 19, 35, 36, 31 e 31 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os clones 25, 12, 123, 49 e 128, respectivamente (QUADRO 2). KUMAR e TIESZEN (1980), trabalhando com fotoss\u00edntese real via absor\u00e7\u00e3o de CO_2 , em caf\u00e9, estimou a irradi\u00e2ncia de compensa\u00e7\u00e3o para folhas de sombra e sol, como sendo 20 e 15 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valores relativamente pr\u00f3ximos aos obtidos neste experimento.

Com rela\u00e7\u00e3o a fotoss\u00edntese potencial bruta m\u00e1xima ($P_{b\text{max}}$), os valores variaram entre 32 a 44 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os clones estudados. Esses valores est\u00e3o mais elevados do que os encontrados por ALMEIDA (1993), que trabalhou com caf\u00e9 Ar\u00e1bica, obtendo valores entre 21 a 35 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Para os diversos gen\u00f3tipos estudados neste experimento, a respira\u00e7\u00e3o escura variou entre 5,5 a 8,0% da fotoss\u00edntese potencial m\u00e1xima. Segundo CEULEMANS e SAUGIER (1991), a respira\u00e7\u00e3o escura sempre corresponde de 7 a 10% da fotoss\u00edntese real m\u00e1xima. Em plantas de caf\u00e9 foram obtidas taxas de respira\u00e7\u00e3o escura, que representaram em torno de 40% aos 16-19 dias, 15% aos 40 dias e 10% da fotoss\u00edntese real m\u00e1xima aos 55-60 dias ap\u00f3s a emerg\u00eancia (FRISCHKNECHT et al., 1982). Portanto, os valores est\u00e3o consistentes com a literatura.

3.2 Morfologia Foliar

Analisando-se os QUADROS 3 e 4, verifica-se que o clone mais produtivo (128) apresentou \u00e1rea foliar espec\u00edfica

mais baixa que os demais. O grupo de média produtividade (49 e 123) foi o que apresentou maiores valores, diferindo significativamente dos clones menos produtivos (12 e 25).

HOLMGREN (1968) obteve uma alta correlação entre condutância mesofílica e peso foliar específico, sugerindo que a condutância mesofílica aumenta com o incremento da área transversal. O clone 128 apresentou maior espessura foliar, mas as variações encontradas são inconsistentes.

O espaço poroso foliar representa a porcentagem de espaço vazio da folha. Analisando os QUADROS 3 e 4, verifica-se que houve diferenças significativas apenas entre os clones do grupo de baixa produtividade. TURREL (1936), trabalhando com várias espécies, verificou que a área da superfície interna foliar esteve positivamente correlacionada com o volume dos espaços intercelulares. O mesmo autor sugeriu que, se a absorção do CO_2 for proporcional a área da parede celular nos espaços intercelulares, uma alta taxa fotossintética poderá ser esperada em folhas de maior área na superfície interna e de maior espaço poroso. Portanto, possivelmente, o clone 12 apresente maior fotossíntese real, caso seja desconsiderada a resistência estomática.

Os teores de nitrogênio e proteína totais da folha não diferiram significativamente entre os genótipos estudados (QUADROS 3 e 4).

QUADRO 3 - Area Foliar Especifica, Nitrogênio Total, Proteína Total e Espaço Poroso Foliar de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades. Medias de Seis Determinações

Tratamentos	Area Foliar Específica (mm ² /mg)	Nitrogênio (%)	Proteína (%)	Espaço Poroso Foliar (%)
Clone 25	10,24	2,15	12,91	24,35
Clone 12	10,51	2,18	13,63	39,04
Clone 123	11,41	2,33	14,59	28,38
Clone 49	10,56	2,17	13,56	26,67
Clone 128	10,17	2,13	13,30	24,47

QUADRO 4 - Análise de Variância da Area Foliar Específica, do Nitrogênio Total, Proteína Total e Espaço Poroso Foliar, de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Area Foliar Específica	Nitrogênio	Proteína	Espaço Poroso Foliar
128 vs resto	1	1,2464408**	0,0300833	0,6603	126,73144
123+49 vs 25+12	1	2,2143375***	0,0486000	3,96902	104,25002
123 vs 49	1	2,2016333***	0,0816730	3,17242	8,7550373
25 vs 12	1	0,2268750	0,0036750	1,54800	646,94914***
Resíduo	20	0,1395352	0,0298682	1,23177	59,285660
CV (%)		3,53	7,89	8,16	26,94

(*), (**), (***) - Significativos a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

3.3. Pigmentos fotossintéticos

Os teores de pigmentos nas folhas, conforme registrados nos QUADROS 5 a 10, de maneira geral decresceram no sentido dos clones menos produtivos, para os de maior produtividade.

Para os genótipos de café estudados, os teores de carotenóides aumentaram com o aumento dos teores de clorofilas (QUADROS 5 e 6). Resultados semelhantes foram obtidos por GABRIELSEN (1948). Segundo esse autor, o efeito do teor de clorofila alcança um ótimo numa concentração em torno de 0,4 a 0,5 $\mu\text{g mm}^{-2}$, e um incremento na concentração, além deste limite, não afeta a taxa de fotossíntese. Portanto, é bem provável que para as espécies em estudo, os teores de clorofila total não sejam limitantes (QUADROS 5 e 6).

Analisando a resposta da fotossíntese à densidade do fluxo de fótons (FIGURAS 3 a 7) em comparação com os teores de pigmentos foliares (QUADRO 5), verifica-se que o clone 123 foi o que apresentou maior fotossíntese potencial bruta máxima ($P_{b\text{max}}$) e maior teor de pigmentos por peso seco. É bem provável que este genótipo apresente melhor desempenho em condições de altas irradiâncias que os demais, possivelmente pelos valores elevados de pigmentos por peso seco.

Em *Hedera canarienses*, um incremento no conteúdo de clorofila total de 0,17 para 0,7 $\mu\text{g mm}^{-2}$ causou um aumento de 28% no valor do rendimento quântico incidente e no coeficiente de absortividade da folha. Variações em altos conteúdos de clorofila, de 0,5 para 0,7 $\mu\text{g mm}^{-2}$, para esta mesma espécie, não afetaram nos valores do rendimento quântico incidente e

QUADRO 5 - Teor de Carotenóides e Clorofila Total em Folhas de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades. Média de Seis Determinações

Tratamentos	Carotenóides ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$)	Carotenóides ($\mu\text{g}/\text{g}$ de P.S.)	Clorofila Total ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$)	Clorofila Total ($\mu\text{g}/\text{g}$ de P.S.)
Clone 25	0,032	354,58	0,74	8,26
Clone 12	0,035	390,74	0,78	8,79
Clone 123	0,028	407,11	0,71	10,27
Clone 49	0,024	293,47	0,65	7,82
Clone 128	0,027	299,26	0,68	7,54

QUADRO 6 - Análise de Variância do Peso dos Carotenóides e Clorofila Total em Folhas de Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Carotenóides (por área)	Carotenóides (por peso seco)	Clorofila Total (por área)	Clorofila Total (por peso)
128 vs resto	1	0,00004680	18582,5510'	0,0081676	7,4451'
123+49 vs 25+12	1	0,00031530'''	3002,7475	0,0392040 ^{***}	1,6276
123 vs 49	1	0,00004030	38737,6030 ^{***}	0,0126750'	17,9829
25 vs 12	1	0,00003000	3922,3114	0,0056330	0,8426
Resíduo	20	0,00001560	3728,5630	0,0024539	1,2892
CV (%)		13,30	17,50	6,93	13,30

(*), (**), (***) - Significativos a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente,

QUADRO 7 - Clorofila **b** e Clorofila **a**, por Unidade de Area e por Peso Seco das Folhas, de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades. Medias de Seis Repetições

Tratamentos	Clorofila b ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$)	Clorofila b ($\mu\text{g}/\text{g}$ de P.S.)	Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$)	Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{g}$ de P.S.)
Clone 25	0,22	2,56	0,52	5,70
Clone 12	0,23	2,63	0,55	6,15
Clone 123	0,21	3,07	0,50	7,19
Clone 49	0,18	2,23	0,46	5,59
Clone 128	0,19	2,18	0,49	5,36

QUADRO 8 - Analise de Variância do Peso da Clorofila **b** e Clorofila **a** em Folhas de Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Clorofila b (por área)	Clorofila b (por peso seco)	Clorofila a (por área)	Clorofila a (por peso Beco)
128 vs resto	1	0,00168750'	0,9363315'	0,0024300	3,10086'
123+49 vs 25+12	1	0,00510410'''	0,0181494	0,0160166'''	1,30199
123 vs 49	1	0,00240830	2,1420660'''	0,0040332'	7,71203
25 vs 12	1	0,00013333	0,0168750	0,0040330	0,62108
Resíduo	20	0,00038133	0,1141160	0,0010503	0,67289
CV (%)		9,30	13,33	6,42	13,67

('), (**), (***) - Significativos a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

QUADRO 9 - Relação Clorofila a/b, em Folhas, de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades. Médias de Seis Determinações

Tratamentos	Relação Clorofila a/b (por área)	Relação Clorofila a/b (por peso seco)
Clone 25	2,32	2,26
Clone 12	2,49	2,36
Clone 123	2,36	2,33
Clone 49	2,58	2,51
Clone 128	2,50	2,46

QUADRO 10 - Análise de Variância da Relação Clorofila a/b, em Folhas, de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Relação Clor. a/b (por Area)	Relação Clor. a/b (por peso seco)
128 vs resto	1	0,03605330	0,0464133
123+49 vs 25+12	1	0,07481660*	0,0682660
123 vs 49	1	0,14300830**	0,1008330'
25 vs 12	1	0,01687500***	0,0300000
Resíduo	20	0,01436023	0,0176302
CV (%)		4,93	5,57

(*), (**), (***) - Significativos a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

do coeficiente de absorvidade (**BJÖRKMAN** e **DEMMIG**, 1987). Para os clones estudados, que possuem teores de clorofila acima de $0,6 \mu\text{g mm}^{-2}$, possivelmente a influência do teor de clorofila nas propriedades ópticas das folhas seriam mínimas, tendo pouca implicação no valor do rendimento quântico, e que a ausência de variação nesta característica (ϕ) (**QUADRO 2**) seja puramente uma semelhança na maquinaria fotossintética dos clones em estudo.

Os teores de clorofila total, expressos por unidade de área, estão relativamente elevados, quando comparados com teores encontrados por **GOLBERG** et al. (1988), que obtiveram um valor máximo de $0,073 \mu\text{g mm}^{-2}$, para folhas jovens. Segundo **TROUGHTON** (1975), a variação no conteúdo de clorofila pode ocorrer como resultado do genótipo, desordem nutricional ou por doença e injúria por temperatura. Desta maneira, é bem provável que a diferença entre os resultados seja devida às condições de cultivo ou diferenças genotípicas.

3.4. Emissão de Fluorescência e Fotossíntese Potencial

Com relação aos parâmetros da cinética de indução da fluorescência, entre os genótipos estudados (**QUADROS 11 a 15**), verificaram-se apenas diferenças para a fluorescência máxima (F_p). Em contrapartida diferenças significativas foram observadas para a fotossíntese potencial.

O clone mais produtivo (128) apresentou maior fotossíntese potencial que os demais clones testados, porém, o grupo de media produtividade (49 e 123), não diferiu do

grupo menos produtivo (**12 e 25**) (QUADROS 11 e 12). Apesar de o clone mais produtivo possuir maior fotossíntese potencial, não houve relação entre esta característica e a produtividade.

Com referência aos valores da fluorescência máxima (Fp), houve diferença significativa entre o clone mais produtivo e os demais (QUADROS 13 e 14). Segundo SIFFEL et al. (1988),

QUADRO 11 - Fotossíntese Potencial, Fluorescência Potencial, Fluorescência Terminal e da Razão Entre Fluorescência Máxima e Terminal, de Cinco clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Tratamentos	Fotossíntese Potencial ($\mu\text{mol O}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Fluorescência Máxima (milivolts)	Fluorescência Terminal (milivolts)	Razão Entre Fluorescência Máxima e Terminal
Clone 25	30,70	1749,17	649,17	2,71
Clone 12	30,01	1745,00	588,33	2,97
Clone 123	27,75	1759,17	623,33	2,84
Clone 49	34,27	1732,50	625,83	2,79
Clone 128	35,52	1636,67	607,50	2,75

QUADRO 12 - Análise de Variância da Fotossíntese Potencial, Fluorescência Máxima, Fluorescência Terminal e da Razão Entre Fluorescências Máxima e Terminal, de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Fotossíntese Potencial	Fluorescência Máxima (Fp)	Fluorescência Terminal (Ft)	Razão Entre Fluorescência Máxima e Terminal (Fp/Ft)
128 vs resto	1	112,230210**	57860,2800'	963,330	0,0339986
123+49 vs 25+12	1	2,593770	9,3750	204,167	0,0024002
123 vs 49	1	127,660980***	2133,3330	18,750	0,0102036
25 vs 12	1	1,449075	52,0830	11102,083	0,2160083
Resíduo	20	11,333690	10832,2600	4401,551	0,0682300
CV (%)		10,64	6,04	10,72	9,28

('), (**), (***) - Significativos a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

QUADRO 13 - Razão de Decréscimo da Fluorescência (Rfd), Capacidade de Extinção (Fq), Taxa de decréscimo da Fluorescência Após o Pico M (r_2) e Tempo Necessário Para Atingir a Metade da Diferença entre Fp e Ft de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades. Medias de Seis Determinações

Tratamentos	Rfd	Fq (milivolts)	(r_2) (milivolts/s)	(r_3) (milivolts/s)	($t_{1/2}$) (s)
Clone 25	1,67	1100,00	169,44	48,19	11,20
Clone 12	1,97	1156,67	215,00	47,36	12,85
Clone 123	1,85	1135,83	160,14	57,22	12,45
Clone 49	1,79	1106,67	169,72	55,28	10,65
Clone 128	1,75	1029,17	160,14	50,83	10,25

QUADRO 14 - Análise de Variância da Taxa Máxima de Decréscimo da Fluorescência Após o Pico M (r_3), de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	
		r_2	r_3
128 vs resto	1	1631,4931	6,68819
123+49 vs 25+12	1	4468,7375	430,69530
123 vs 49	1	275,6090	11,36834
25 vs 12	1	6226,2752	2,09167
Resíduo	20	2035,2290	170,42850
CV (%)		25,80	9,28

(*), (**), (***) - Significativos a 5, 1 e 0,5% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

QUADRO 15 - Análise de Variância da Razão do Decréscimo da Fluorescência (Rfd), Capacidade de Extinção (Fq) e do Tempo Necessário Para Atingir Metade da Diferença entre F_p e F_t , de Cinco Clones de *Coffea canephora* de Diferentes Produtividades

Fontes de Resíduo	GL	Quadrado Médio		
		Rfd	Fq	$t_{1/2}$
128 vs resto	1	0,02760330	3891,8750'	11,346700
123+49 vs 25+12	1	0,00006666	301,0416	1,353700
123 vs 49	1	0,01020830	2558,0833	9,720000
25 vs 12	1	0,27300830	9633,3330	8,167510
Resíduo	20	0,07772100	8841,5630	12,695930
CV (%)		14,37	8,50	31,04

(*), (**), (***) - Significativo a 5, 1 e 0,5% de probabilidades, pelo teste de F, respectivamente.

o nível F_p da curva de indução da fluorescência mostra que o acceptor primário de elétrons do PSII (Q_a) está totalmente reduzido, revelando um consumo mínimo, na fotossíntese, da energia radiante absorvida. O nível F_p é o resultado da mais rápida redução de Q_a , do que sua reoxidação (BAKER e BRADBURY, 1981). Mudanças no nível de F_p podem ser ocasionadas pelo decréscimo de reoxidação de Q_a (aumento de F_p) ou baixa taxa de oxidação da molécula de água (decréscimo de F_p) (TOIVONEN e VIDAVER, 1988). O clone 128 teria assim certa deficiência em relação aos outros clones, quanto à taxa de oxidação da molécula de água, caracterizada pelo baixo valor de F_p , fato não explicado pela sua alta fotossíntese potencial (QUADRO 11). Possivelmente, o fato de apresentar menor valor de F_p deva-se à sua alta taxa de reoxidação de Q_a , com eficiência na atividade de **PSI**, geração de ATP (fotofosforilação) e $NADPH'$ e ou, reações de assimilação do CO_2 , fatores estes que regulam o estado de reoxidação de Q_a (STITT, 1986; von CAEMMERER e FARQUHAR, 1981; WALKER, 1981). Outro fator que pode reduzir o valor de F_p é o período de escuro antes da determinação da fluorescência (IRELAND et al., 1984), porém esta situação é descartada para o experimento, uma vez que todos os genótipos foram mantidos no escuro por tempos relativamente iguais. Segundo MIRANDA et al. (1981), F_p é proporcional à quantidade de moléculas de clorofila existentes no tecido foliar. Os QUADROS 5 e 6, com relação ao teor de clorofila total expresso por unidade de peso seco, apresentam dados coerentes com esta afirmação.

A razão F_p/F_t entre os genótipos estudados não diferiu significativamente, e todos possuíram valores

relativamente elevados (QUADROS 11 e 12), semelhantes aos resultados de ALMEIDA (1993), que trabalhou com genótipos de alta produção de *Coffea arabica*, em potencial hídrico próximo de zero. Como a razão F_p/F_t é considerada como a medida da utilização da energia radiante absorvida na fotossíntese e valores elevados desta razão, em folhas maduras, implicam melhoria na utilização de energia radiante absorvida e elevação das reações do ciclo de Calvin (SIPPEL et al., 1988), possivelmente os genótipos não apresentem limitações com relação a estes processos.

As taxas r_2 e r_3 estão associadas com a transferência de elétrons que ocorre entre o fotossistema II e I (HETHERINGTON e SMILLIE, 1982). Uma diminuição no fluxo de elétrons, através de PSI, devida à redução do sistema de transferência ou fixação de CO_2 , pode provocar uma queda na taxa de reoxidação dos aceptores de PSII, manifestada pelo decrescimento de r_2 e r_3 e pelo aumento no rendimento da fluorescência variável em nível de estado estacionário (HETHERINGTON e SMILLIE, 1982). Como não houve diferença significativa entre os clones para r_2 e r_3 (QUADROS 13 e 14), e as taxas foram relativamente altas e semelhantes aos encontrados por ALMEIDA (1993), é bem provável que o fluxo de elétrons através do PSI, a transferência para o CO_2 e a reoxidação dos receptores estejam em condições não-limitantes.

Analisando-se os QUADROS 13 e 14, verifica-se que não houve diferenças significativas entre os clones, para as características Rfd e $t_{1/2}$, revelando uma estabilidade nos mecanismos de extinção, mostrando haver uma estabilidade no fluxo de elétrons para os aceptores primários e na formação

do gradiente eletroquímico transtilacoidal. Para os valores da capacidade de extinção da fluorescência F_q , o clone 128 diferiu dos demais, apresentando um valor mais baixo. Como $F_q = F_p - F_t$, e as taxas r_1 e r_3 , permaneceram constantes, é bem provável que este valor baixo de F_q tenha sido devido ao menor valor de F_p , que, segundo **MIRANDA** et al. (1981), reflete a quantidade de clorofila do tecido, e o clone 128 foi o que apresentou menor conteúdo de clorofila por unidade de peso seco (QUADROS 5 e 6).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Os cinco clones de *C. canephora*, diferentes em produtividade, apresentaram o mesmo comportamento quanto ao rendimento quântico. Houve uma tendência de os clones 49 e 123 apresentarem maiores valores para a fotossíntese líquida potencial máxima (P_{nmax}), mas sem relação direta com a produtividade. Não foi verificada nenhuma relação entre as características morfológicas das folhas com a produtividade. Todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético, quando relacionados com a emissão da fluorescência. A diferença de produtividade dos clones em estudo não se mostrou associada à capacidade fotossintética potencial, teores de pigmentos ou características morfológicas foliares.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, A.A.F. de. **Emissão de fluorescência e evolução de oxigênio fotossintético em *Coffea arabica* L. durante um ciclo de desidratação/reidratação.** Viçosa, UFV, Impr.Univ., 1993. 107p. (Tese D.S.).
- ANTUNES, H.P. & CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro. XI - Análise de produção de progênie e híbridos de Bourbon Vermelho. **Bragantia**, 16: 175-195, 1957.
- ARGENTA, L.C. **Efeito do clomazone sobre alguns aspectos bioquímicos e fisiológicos em plantas.** Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1990. 87p. (Tese M.S.).
- BAKER, N.R. & BRADBURY, M. Analysis of the slow phases of the **in vivo** chlorophyll fluorescence induction curve. Changes in the redox state of photosystem II electron acceptors and fluorescence emission from photosystems I and II. **Biochim. Biophys. Acta**, 653: 542-551, 1981.
- BJÖRKMAN, O. & DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, 170: 489-504, 1987.
- BUTTERY, B.R. & BUZZEL, R.I. The relationship between chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans. **Can. J. Plant Sci.**, 57: 1-5, 1977.
- CARVALHO, A.; MONACO, L.C.; COSTA, W.M. de; MEDINA FILHO, H.P. Variabilidade na produção em progênie do cafeeiro "Mundo Novo". **Bragantia**, 43: 509-517, 1984.
- CEULEMANS, R.J. & SAUGIER, B. Photosynthesis. In: RAGHAVENDRA, A.S. (e.d.), **Physiology of trees.** New York, John Wiley, 1991. p.21-50.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.
Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 4ª aproximação, Lavras, 1989. 159p.
- DELIEU, T.J. & WALKER, D.A. Simultaneous measurement of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence from leaf pieces. *Plant Physiol.*, **73**: 534-541, 1983.
- DORNHOFF, G.M. & SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.*, **10**: 42-45, 1970.
- DUKE, S.O. & KANYON, W.H. Effects of dimethazone (FMC 57020) on chloroplast development. II. Pigment synthesis and photosynthetic functions of cowpea (*Vigna Unguiculata* C.) primary leaves. *Pestic. Biochem. Physiol.*, **1**: 11-16, 1986.
- ELMORE, C.D. The paradox of no correlation between leaf photosynthetic rates and crop yield. In: HESKETH, J.D. & JONES, J.W. (eds), Predicting photosynthesis for ecosystem models. Boca Raton, CRC Press, 1980. p.155-167.
- EPRON, D. & DREYER, E. Stomatal and non stomatal limitation of photosynthesis by leaf water deficits in three oak species: A comparison of gas exchange and chlorophyll a fluorescence data. *Ann. Sci. For.*, **47**: 435-450, 1990.
- EVANS, L.T. The physiological basis of crop yield. In: EVANS, L.T. (ed), Crop physiology. London, Cambridge University Press, 1975. p. 327-355.
- FRISCHKNECHT, P.M.; ELLER, B.M.; BAUMANN, T.W. Purine alkaloid formation and CO₂ gas exchange in dependence of development and environmental factors in leaves of *Coffea arabica*. *L. Planta*, **156**: 295-231, 1982.
- GABRIELSEN, E.K. Effects of different chlorophyll concentrations on photosynthesis in foliage leaves. *Physiol. Plant.*, **1**: 5-37, 1948.
- GOODWIN, T.W. Chemistry and biochemistry of plant pigments. London, Academic Press. 1976. 373p.
- GOLBERG, A.D.; RENARD, C.; LANNOYE, R.; LEDENT, J.F. Effects and after-effects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabusta* Capot and Aké Assi. *Café Cacao Thé*, **32**: 11-16, 1988.
- HARBORNE, J.B. Phytochemical methods - A guide to modern techniques of plant analysis. London, Chapman & Hall. 1991. 288p.
- HEATH, O.V.S. The physiological aspects of photosynthesis. London, Heinemann. 1969. 310p.

- HESKETH, J.D. Limitations to photosynthesis responsible for differences among species. *Crop Sci.*, **3**: 493-496, 1963.
- HETHERINGTON, S.E. & SMILLIE, R.M. Humidity-sensitive degreening and regreening of leaves of *Borya nitida* Labill as followed by changes in chlorophyll fluorescence. *Aust. J. Plant Physiol.*, **9**: 587-599, 1982.
- HOLMGREN, P. Leaf factors affecting light - saturated photosynthesis in ecotypes of *Solidago virgaurea* from exposed and shaded habitats. *Physiol. Plant.*, **21**: 676-698, 1968.
- HUXLEY, P.A. Leaf volume: a simple method for measurement and some notes on its use in studies of leaf growth. *J. Appl. Ecol.*, **8**: 147-153, 1971.
- IRELAND, C.R.; LONG, S.P.; BAKER, N.R. The relationship between carbon dioxide fixation and chlorophyll a fluorescence during induction of photosynthesis in maize leaves at different temperatures and carbon dioxide concentrations. *Planta*, **160**: 550-558, 1984.
- KRAUSE, G.H.; VERNOTTE, C.; BRIANTAIS, J.M. Photoinduced quenching of chlorophyll fluorescence in intact chloroplasts and algae. Resolution in two components. *Biochem. Biophys. Acta*, **679**: 116-124, 1982.
- KRAUSE, G.H. & WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.*, **42**: 313-349, 1991.
- KUMAR, D. & TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Expl. Agric.* **16**: 13-19, 1980.
- MIRANDA, V.; BAKER, N.R.; LONG, S.P. Limitations of photosynthesis in different regions of the *Zea mays* leaf. *New Phytologist.*, **89**: 179-190, 1981.
- PEREIRA, A.R. Aspectos fisiológicos da produtividade vegetal. *Rev. Bras. Fisiol. Vegetal*, **1**: 139-142, 1989.
- PORTES, T.A. & MAGALHÃES, A.C. Análise comparativa de diferentes genótipos de feijão através da medição da fluorescência da clorofila a e do balanço de O₂. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, **5**(1): 17-23, 1993.
- RODRIGUEZ, B.P. & LAMBETH, V.N. Photosynthetic rate - yield component relationships in winter greenhouse tomatoes. *Hort. Sci.*, **11**: 430-431, 1976.
- SIFFEL, P.; DURCHAN, M.; KUETON, J.; ONDREJ, M.; SESTAK, Z. Photosynthesis in regenerants of tobacco transformed by plasmids of *Agrobacterium*. 11. Fluorescence emission spectra and age induced changes in slow fluorescence induction. *Photosynthetica*, **22**: 214-220, 1988.

- STITT, M. Limitation of photosynthesis by carbon metabolism. I. Evidence for excess electron transport capacity in leaves carrying out photosynthesis **in** saturating light and CO₂. *Plant Physiol.*, **81**: 1115-1122, 1986.
- THORNLEY, J.H.M. *Mathematical models in plant physiology*. London, Academic Press, 1976. 318p.
- TOIVONEN, P. & VIDAVER, W. Variable chlorophyll **a** fluorescence and CO₂ uptake in water-stressed white spruce seedlings. *Plant Physiol.*, **86**: 744-748, 1988.
- TROUGHTON, J.H. Photosynthetic mechanisms in higher plants. **In**: COOPER, J.P. (ed), *Photosynthesis and productivity in different environments*. London, Cambridge University Press, 1975. p.459-480.
- TURREL, F.M. The area of the internal exposed surface of dicotyledon leaves. *Amer. J. Bot.*, **23**: 255-264, 1936.
- UMBREIT, W.W.; BURRIS, R.H.; STAUFFER, J.F. *Manometric and biochemical techniques.*, Burgess Publishing Company, Minnesota, 1972. 387p.
- VON CAEMMERER, S. & FARQUHAR, G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the biochemistry of leaves. *Planta*, **153**: 376-378, 1981.
- WALKER, D.A. Secondary fluorescence kinetics of spinach leaves in relation to the onset of photosynthetic carbon assimilation. *Planta*, **153**: 273-278, 1981.