Dinâmica diária da fotossíntese à intensidade luminosa no morangueiro cultivar San Andreas

Caio Ferreira Borges[1], Lucas Loram Lourenço[2], Fábia Barbosa da Silva[3], Rodolfo Caetano Almeida Martins Ferro[4], Fabiano Guimarães Silva[5], Márcio Rosa[6]

[1]Graduando do curso de Agronomia, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica - PIVIC
[2] Pesquisador do Centro de Excelência em Agricultura Exponencial – CEAGRE - IFGoiano, Campus Rio Verde
[3] Pós-doutoranda do Programa de Ciências Agrárias, IFGoiano, Campus Rio Verde
[4]Graduando do curso de Agronomia, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica - PIBIC
[5]Prof. Dr. Diretor do IFGoiano - Campus Rio Verde
[6]Orientador – Universidade de Rio Verde – GO, marciorosa@unirv.edu.br

.

Reitor:
Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

Resumo: O morango é uma das espécies mais apreciadas no mundo, com grande expressão econômica. Devido aos problemas climáticos cada vez mais frequentes, tem se despertado o interesse em ampliar a utilização do cultivo protegido. Nesses ambientes, uma série de fatores abióticos podem ser controlados, sobretudo a suplementação da luminosidade. Nesse contexto, objetiva-se com este estudo avaliar as respostas fotossintéticas de morangueiro cultivar San Andreas em função do horário do dia, bem como estabelecer o seu ponto de saturação luminoso. Foram avaliados parâmetros de fluorescência da clorofila a e realizadas curvas de taxa fotossintética em função da intensidade de luz e do horário (curva diária), no período compreendido entre 07:00 e 18:30, em plantas na fase de frutificação cultivadas em casa de vegetação. Verificou-se as maiores taxas fotossintéticas se situaram próximo às 11h00 com ponto de saturação em torno de 800 mol m^{-2} s^{-1}.

Palavras-Chave: Curva diária. Fragaria x ananassa. Ponto de saturação luminoso.

Daily dynamics of photosynthetic response to light intensity in strawberry cultivar San Andreas

Abstract: *Strawberry is one of the most widely appreciated species in the world, which gives it significant economic importance. Due to increasingly frequent climatic problems, there is growing interest in expanding the use of protected cultivation. In these environments, a range of abiotic factors can be controlled, particularly light. In this context, the objective of this study is to evaluate the photosynthetic responses of the San Andreas strawberry cultivar according to the time of day, as well as*

to establish its light saturation point. For this purpose, chlorophyll fluorescence parameters were evaluated, and photosynthetic rate curves were created in relation to light and time of day (daily curve) between 7:00 am and 6:30 pm in fruiting plants grown in a greenhouse. The highest photosynthetic rates were observed around 11:00 AM, with a saturation point of approximately 800 µmol m^{-2} s^{-1}.

Keywords: *Daily curve. Fragaria x ananassa. Light saturation point.*

Introdução

O morangueiro (Fragaria x ananassa Duch.) pertence à família Rosaceae é produzido e apreciado nas mais variadas regiões do Brasil e do mundo, sendo o grupo das pequenas frutas de maior expressão econômica (Oliveira et al., 2006).

A intensidade, o comprimento de onda (qualidade da luz) e o fotoperíodo da luz regulam processos como a morfogênese celular e o crescimento, influenciando diretamente a fotossíntese e a produção de frutos. Com a crescente competitividade no setor, os produtores têm adotado novas tecnologias de cultivo, como a produção em sistemas sem solo e em casas de vegetação, para aumentar a produtividade e antecipar a colheita. No entanto, durante o outono-inverno, fatores ambientais como baixa intensidade luminosa e temperaturas reduzidas podem limitar a atividade fotossintética e afetar o rendimento das plantas. O uso de luz suplementar tem mostrado efeitos positivos no crescimento e desenvolvimento do morangueiro, especialmente em casas de vegetação, onde a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos é de 30 a 40% menor que no ambiente externo.

Em dias nublados ou chuvosos, a luminosidade disponível pode ser ainda mais limitada, e o uso de telas de sombreamento pode agravar essa redução. O morango é uma planta de metabolismo fotossintético C3, com relatos de ponto de saturação luminoso (PSL) variando de 400 a 1400 µmol m^{-2} s^{-1} (Oda, 1997; Carlen et al., 2009; Hidaka et al., 2013). Assim, a oferta de luz insuficiente pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, enquanto o excesso de luminosidade pode causar fotoinibição (Adams et al., 2013).

O conhecimento das respostas fotossintéticas do morango, que pode variar ao longo do dia e entre cultivares, é crucial para estratégias de controle dinâmico da iluminação, especialmente em sistemas de agricultura vertical ou em ambientes protegidos. Este estudo visa avaliar as respostas fotossintéticas da cultivar San Andreas ao longo do dia, em função da variação da intensidade luminosa.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada do Complexo de Laboratórios de Biotecnologia Vegetal do IFGoiano – Campus Rio Verde utilizando-se a cultivar de morango San Andreas. As mudas foram adquiridas de viveiro comercial Agro Vivaz de Holambra - SP cultivadas em bolsões (Slab) contendo substrato Bioplant Plus e solo corrigido (1:1) em sistema de fertirrigação.

Para a definição do teto de luminosidade nesse sistema, no dia 31 de agosto de 2024 foram realizadas curvas respostas de trocas gasosas em função da luz a cada duas horas (curva-diária) no período compreendido entre 07:00 e 18:30. As plantas foram expostas a densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos decrescentes de 2000, 1500, 1200, 1000 800, 600, 400, 200, 50 e 0 µmol m^{-2} s^{-1}. Cada curva durou em média 10 a 12 minutos. As avaliações foram realizadas utilizando um analisador de gases por infravermelho (IRGA, LI-6800, Licor®, Nebraska, EUA), com a câmara de medição configurada com oferta constante de 400 µmol mol^{-1} de CO_2, temperatura de 25 ºC e umidade relativa de 50%. Foram utilizadas 05 repetições em cada horário.

A fluorescência transiente OJIP da clorofila a foi determinada com o uso de fluorômetro portátil FluorPen FP100 (Photon Systems Instruments; Czech Republic) nas mesmas folhas em que foram determinadas as trocas gasosas. Para tal, as folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons, sendo determinados o rendimento quântico potencial (ϕPo ou Fv/Fm), o índice de desempenho fotoquímico (PIABS), a absorção de energia luminosa por centro de reação (ABS/RC) e a dissipação de energia na forma de calor por centro de reação (Dio/RC), conforme Strasser et al. (2000). Adicionalmente, em cada horário de medição determinou-se a intensidade luminosa incidente na casa de vegetação por meio de espectrorradiômetro LI-180 (Licor®, NE, EUA).

As curvas de resposta da fotossíntese líquida à luz foram obtidas a partir do ajustamento dos dados originais ao modelo de hipérbole não retangular (Prioul; Chartier, 1977).

Resultados e Discussão

A radiação fotossinteticamente ativa mais alta foi encontrada próxima às 13h, com picos de 1100 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 1). Em função da cobertura plástica da casa de vegetação a atenuação da intensidade luminosa chega a 30 a 40% em relação aos ambientes externos. A integral de luz diária (DLI) foi de aproximadamente 23 mol m^{-2} d^{-1}.

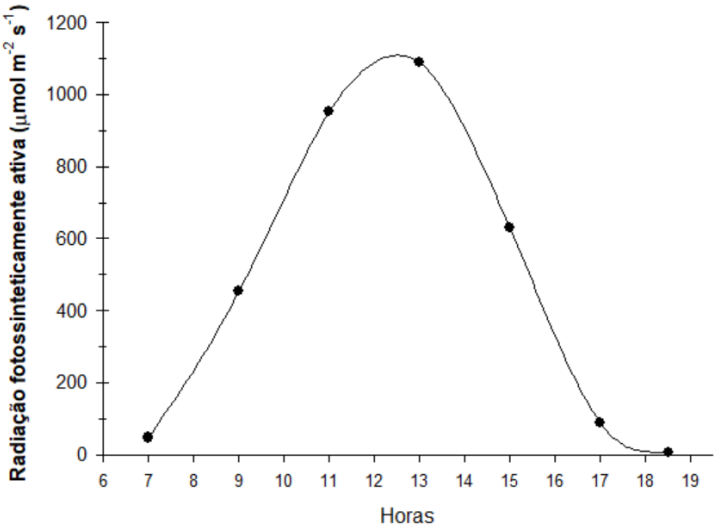

Figura 1 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente em casa de vegetação no dia 31/08/2024 em plantas de morango cv. San Andreas
Fonte: autoria própria

Em média o ponto de saturação luminoso (PSL) situou-se em 600 µmol m^{-2} s^{-1}, entretanto nos horários entre 11 e 15h o PSL chegou a 800 µmol m^{-2} s^{-1}, enquanto a partir das 17 caiu para 200 µmol m^{-2} s^{-1} (Figura 2).

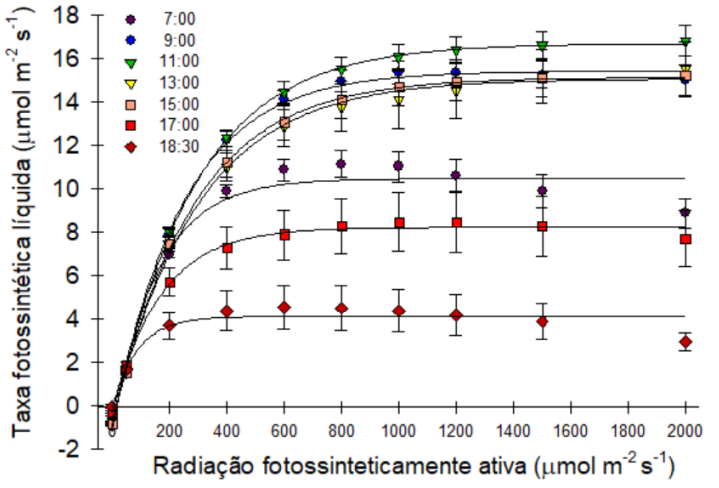

Figura 2 - Curva fotossintética de resposta a luz em plantas de morango cv. San Andreas em função da hora do dia
Fonte: autoria própria

Observou-se que os horários entre 9 e 15h promoveram as maiores taxa fotossintéticas (Figura 3A). Comportamento também observado para a taxa transpiratória (Figura 3B), reforçando o papel estomático como observado pelos resultados de condutância estomática (Figura 3C).

O fechamento estomático é considerado o principal fator do declínio da taxa fotossintética, sendo frequentemente acompanhado pela redução na concentração interna do CO_2 (Ci) (Farquhar; Sharkey, 1982), como evidenciado neste estudo (Figura 3D). A diminuição da condutância estomática a partir das 13h pode estar associado a um discreto aumento de temperatura (em torno de 1,2 ºC) que associado a baixa umidade relativa da estação seca pode ter contribuído com o aumento do déficit de pressão de vapor (DPV).

A condutância estomática atinge seus maiores valores quando a radiação solar é alta e o potencial hídrico da folha ainda não induziu o fechamento dos estômatos. Isso ocorre nas primeiras horas da manhã, quando o teor de água na folha é alto devido à menor perda por transpiração (Costa; Marenco, 2007). Isso justifica a queda acentuada dos parâmetros de trocas gasosas a partir das 15h em função também a maior acúmulo de carboidratos, reduzindo a capacidade fotossintética.

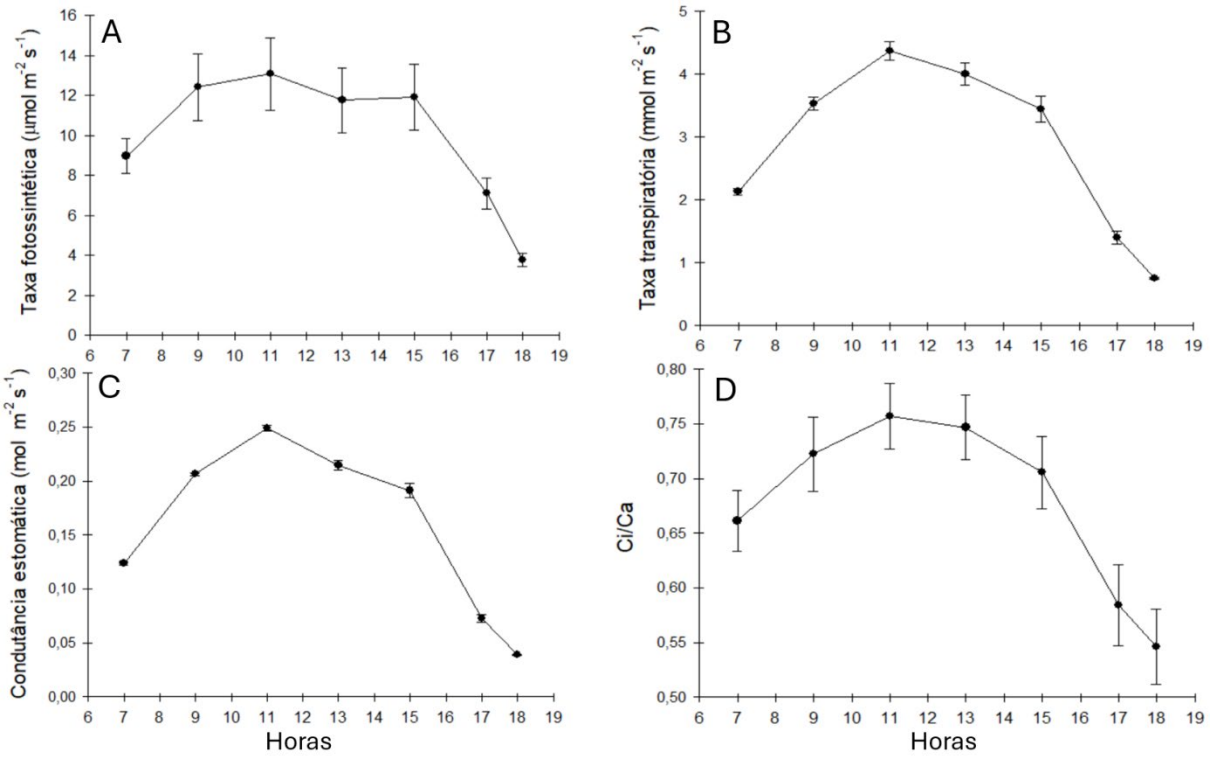

Figura 3 - Taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (B), condutância estomática (C) e razão entre concentração interna e externa de CO_2, Ci/Ca (D) em plantas de morango cv. San Andreas em função da hora do dia
Fonte: autoria própria

Com o aumento da intensidade luminosa a partir das 09h, houve a diminuição do rendimento quântico potencial do FSII (ϕPo ou Fv/Fm), seguido por uma retomada a partir das 15h (Figura 4A). Contudo, os valores acima de 0,80 indicam ausência de fotoinibição (Baker, 2008).

O índice de desempenho fotoquímico (PIABS) não apresentou uma recuperação tão pronunciada ao fim da tarde quanto ϕPo (Figura 4B). O PIABS é considerado um indicador mais sensível às variações ambientais do que ϕPo, pois consiste na combinação de três parâmetros independentes; densidade de centros de reação totalmente ativos (RCs), eficiência do movimento de elétrons por

éxciton capturado na cadeia de transporte de elétrons e a probabilidade de que um fóton absorvido seja preso por centro de reação (Ariyarathna et al., 2020).

Na Figura 4C observa-se maiores índices de ABS/RC entre 13 e 17h, o que pode ser explicada por uma diminuição no número de centros de reação ativos, indicando maior sobrecarga energética (Strasser et al., 2000).

Dessa forma, verifica-se que embora entre 11h e 15h ocorram maiores taxas fotossintéticas, boa fração da radiação incidente é dissipada na forma de calor. Isso ocorre porque, nesses horários, a energia luminosa está acima dos níveis de PSL para as plantas deste estudo, o que pode ser evidenciado por maiores médias do índice de dissipação de energia por centro de reação, Dio/RC (Figura 4D) minimizando, assim, os riscos decorrentes da atuação de espécies reativas de oxigênio.

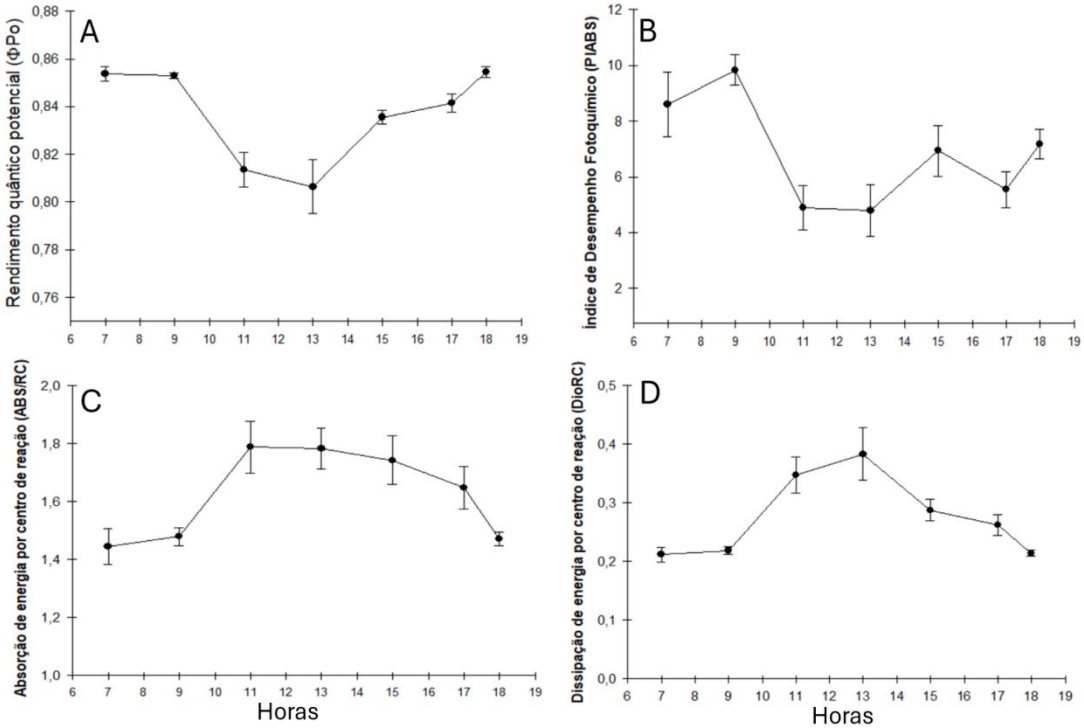

Figura 4 - Rendimento quântico fotoquímico potencial, ϕPo (A), índice de desempenho fotoquímico, PIABS (B), fluxo de absorção de energia por centro de reação, ABS/RC (C) e índice de dissipação de energia por centro de reação (D) em plantas de morango cv. San Andreas em função da hora do dia
Fonte: autoria própria

Conclusão

A partir deste estudo, conclui-se que o morangueiro cultivar San Andreas, cultivado em casa de vegetação, apresenta respostas fotossintéticas mais elevadas entre 9h e 15h, com ponto de saturação em torno de 800 mol m^{-2} s^{-1} entre 11h e 15h. Nestes períodos, também foram observados as maiores taxas transpiratórias e de condutância estomática, destacando o papel crucial dos estômatos no processo. Embora a radiação incidente entre 11h e 15h exceda o ponto de saturação luminoso para as plantas, parte dessa energia é dissipada como calor, protegendo o aparato fotossintético de danos por sobrecarga energética e minimizando o estresse oxidativo.

Agradecimentos

Ao Programa de Iniciação Científica da Universidade de Rio Verde pela oportunidade de realizar a pesquisa (PIBIC), ao Laboratório de Estudos Avançados em Agricultura Vertical (LEAV) do IF-Goiano-

Campus Rio Verde pelo apoio nas avaliações fisiológicas e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

Referências Bibliográficas

ADAMS, W. W.; MULLER, O.; COHU, C. M.; DEMMIG-ADAMS B. May photoinhibition be a consequence, rather than a cause, of limited plant productivity? **Photosynthesis research**, v. 117(1-3), p. 31-34, 2013.

ARIYARATHNA, R. A. I. S.; WEERASENA, S. L.; BENERAGAMA, C. Application of polyphasic OJIP chlorophyll fluorescent transient analysis as an indicator for testing of seedling vigour of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Tropical Agricultural Research**, v. 31, p.106-115, 2020.

BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: A probe a photosynthesis *in vivo*. **Annual Review of Plant Biology,** 59, p.89-113. 2008.

CARLEN, C.; POTEL, A.M.; ANCAY, A. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperatures. **Acta Horticulturae**, 838, 2009
73–76.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37(2), p. 229–234, 2007.

FARQUHAR, G.D., SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology 33**: 317-345, 1982.

HIDAKA, K.; DAN, K.; IMAMURA, H.; MIYOSHI, Y.; TAKAYAMA, T.; SAMESHIMA, K.; KITANO, M.; OKIMURA, M. Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. **Environ. Control Biol**., **v.** 51, p. 41–47, 2013.

ODA, Y. Effects of light intensity, CO_2 concentration and leaf temperature on gas exchange of strawberry plants—feasibility studies on CO_2 enrichment in japanese conditions. **Acta Hortic.** 1997, 439, 563–574, 1997.

OLIVEIRA, R.P.; NINO, A.F.P.; SCIVITTARO, W.B. Desempenho produtivo de mudas nacionais e importadas de morangueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.520-522, 2006.

PRIOUL, J. L.; CHARTIER, P. Partitioning of transfer and carboxylation components of intracellular resistance to photosynthetic CO_2 fixation: A critical analysis of the mtethods used. **Annals of Botany**, 41, p.789-800, 1977.

STRASSER, R.J., M. TSIMILLI-MICHAEL & A. SRIVASTAVA. 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. p. 445-483. In Yunus, M., U. Pather & P. Mohanly. (Eds.). **Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation**. London: Taylor and Francis. 578 p.