



Elvo Calixto Burini Junior<sup>1</sup>; José Carlos M Melero<sup>1</sup>; Emerson Roberto Santos<sup>2</sup>; Hélio Tatizawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IEE-USP – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, CEP: 05508-010, São Paulo – SP, Brasil; elvo@iee.usp.br; jose.melero@usp.br; hedio@iee.usp.br; <sup>2</sup>GRAU TÉCNICO – Unidade da Lapa, CEP: 05042-001, São Paulo – SP, Brasil; emmowalker@gmail.com, Brasil

## INTRODUÇÃO

Quantificar fatores ambientais que afetam a atividade dos vegetais é importante, possibilita avanço aos controles de interesse. A intensidade luminosa, em base de fótons (unidade  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), em geral é lida em instrumento de acesso limitado, cuja resposta espectral é considerada ser uniforme na banda de (400 a 700) nm. Ao não dispor do detector quântico (não seletivo, ~US\$ 500, frete FOB) verificou-se barreira a ser superada. Esta foi a motivação central para a presente pesquisa. Na Fig.1 está apresentada distribuição espacial para o fluxo fotônico de 4 diferentes fontes de luz, ano 2014, quando o custo do fóton era menor para HPS.

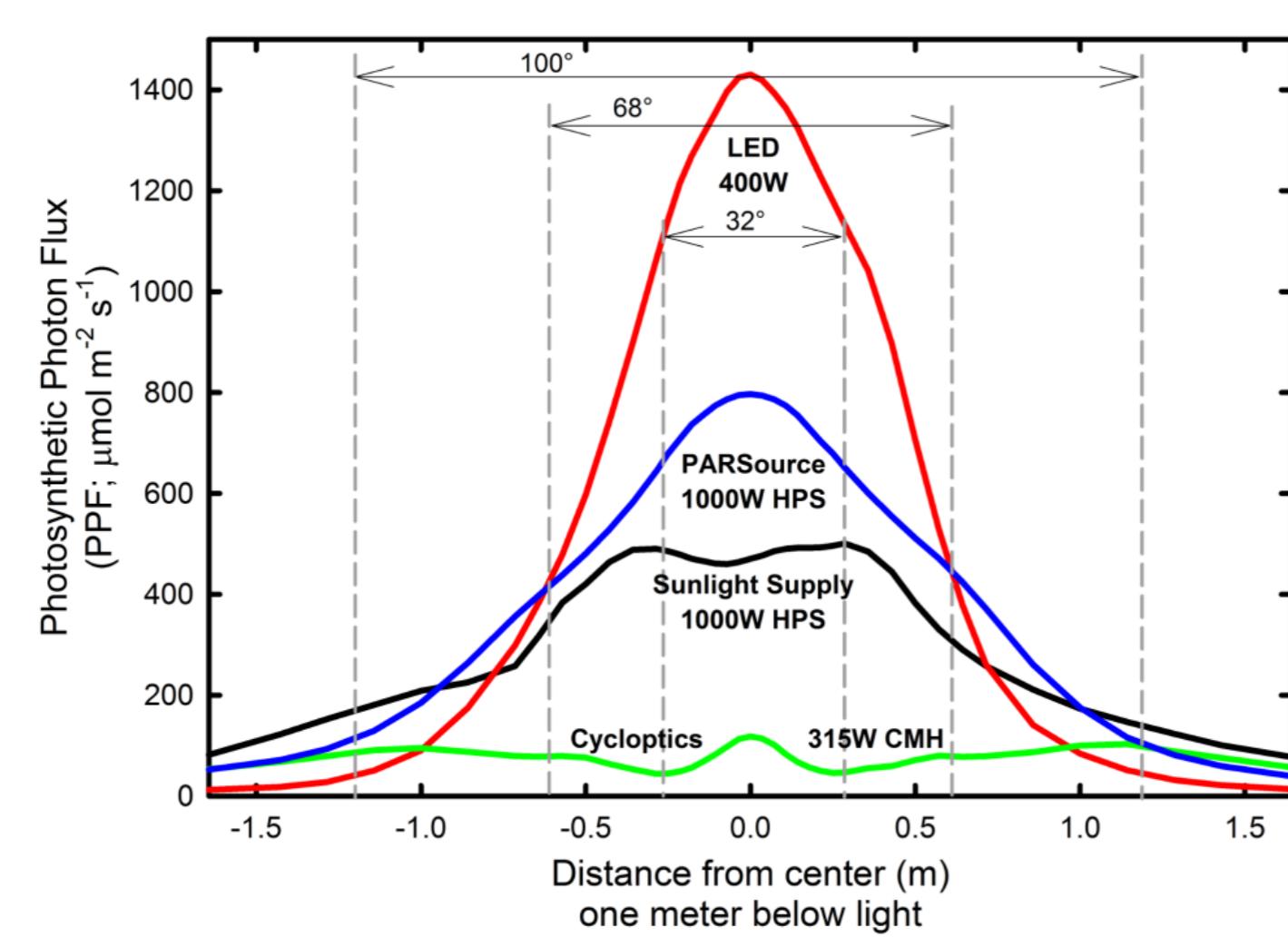


Fig. 1 – Distribuição do fluxo fotônico fotossintético típico para luminárias (LED, Sódio HID: High Pressure Sodium-HPS, Ceramic Metal Halide-CMH) com eficiência de fótons semelhante.

Fonte: Jacob A. Nelson, Bruce Bugbee, 2014.

A fonte tipo fluorescente possui utilização e iluminância recomendada por tipo cultivo (fonte: REA, M.S. IESNA Lighting Handbook 9<sup>th</sup> Ed., 2000).

PALAVRAS-CHAVE: PPFD, LED, SPD, espectro, fluorescente, hortaliça.

## METODOLOGIA

Investigar a utilização de fotômetro do mercado local (luxímetro), acessível e com custo reduzido. Na Fig.2 é apresentada resposta espectral relativa típica para sensores (fotocélulas) de fotômetros e medidor quântico (ideal, na cor vermelha, 400 a 700nm).

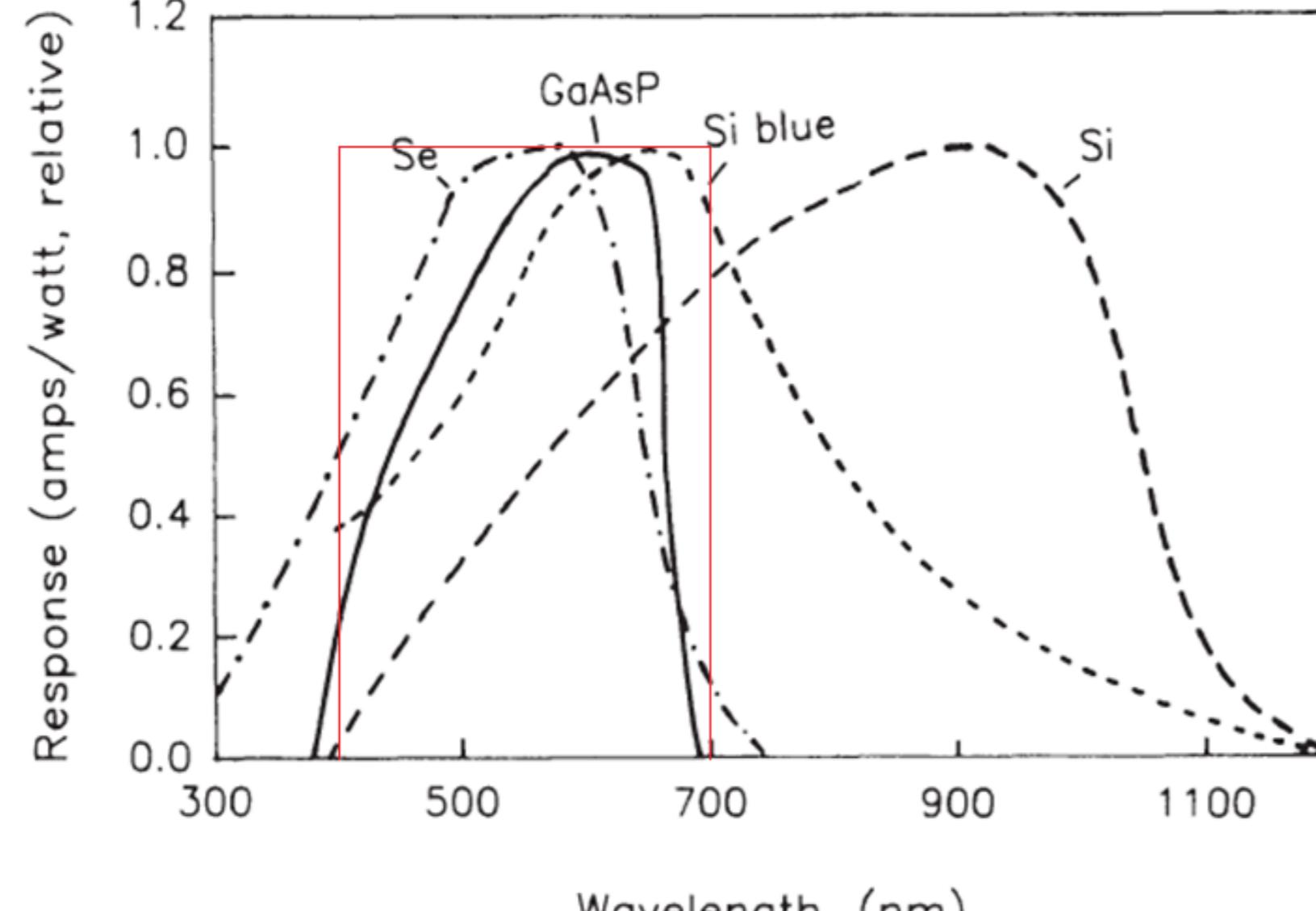


Fig. 2 – Resposta espectral relativa para alguns tipos de fotocélulas de fotômetros comuns e o tipo quântico ideal (para fótons, traço na cor vermelha, com resposta uniforme entre 400nm e 700nm). Fonte: adaptado de PEARCY, Robert W., 1989.

Para definir um fotômetro, além da sensibilidade espectral do fotoelemento deve ser considerada a facilidade de acesso, preço final. O horticultor com produção em interiores, que faz utilização da tecnologia *Solid State Lighting* - SSL (LED), ao dispor do luxímetro (fotômetro preconizado) necessitará corrigir a leitura do instrumento que geralmente possui sensibilidade e calibração para a condição fotônica (visão humana). Esta etapa deverá ser realizada a partir do levantamento laboratorial do espectro de fonte e cálculo na faixa de comprimento de onda (400 a 700) nm. O *Spectral Power Distribution* (SPD) da fonte é pretendido, igualmente, para dimensionar, o conteúdo de azul, conforme norma IEC 62471.

Nota: Devido possíveis diferenças na SPD entre fontes consideradas, a SPD necessita ser realizada individualmente e precede o cálculo do fator de correção para ser utilizado na leitura do fotômetro.

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Fig. 3 ilustra a diferença na resposta espectral entre um luxímetro (sensibilidade fotônica, Lumens) e a banda denominada radiação ativa fotossintética (*photosynthetic active radiation* – PAR).

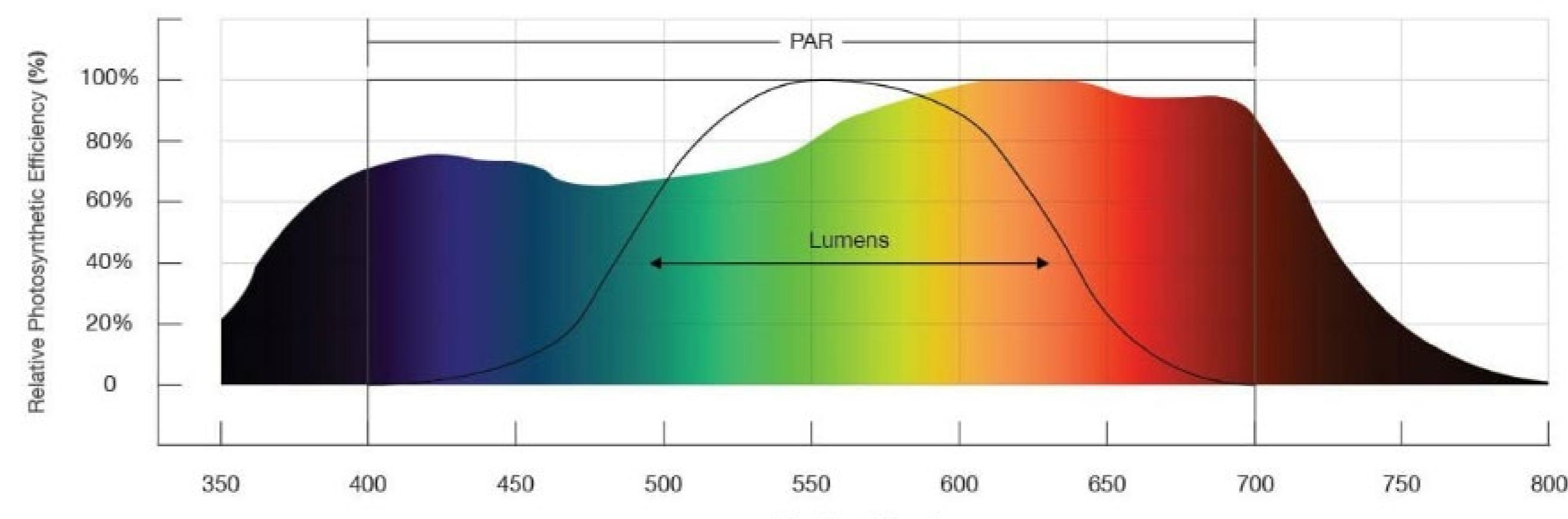


Fig. 3 – A SPD da fonte considerada (parte colorida) quando ponderada pela resposta espectral de fotômetros comuns propicia a iluminância no ponto e ao ser ponderada pelo sensor quântico ideal (resposta uniforme entre 400 e 700 nm) permitirá dimensionar a densidade de fluxo de fótons fotossintético (ou PPFD).

Fonte: <https://fluence-led.com/science-articles/horticulture-lighting-metrics/>.

Portanto, o parâmetro PPFD estima a quantidade de PAR (*photosynthetic active radiation*) que efetivamente chega à planta, ou “o número de fótons fotossinteticamente ativos que chegam em uma superfície determinada a cada segundo”.

Na literatura foi verificado para cultivo em estufas dose de radiação com base no conceito de iluminância (lux) e fator de correção para a leitura de fotômetros convencionais (supostamente calibrados), conforme o tipo de fonte de luz. Para a fonte fluorescente tubular tipo *cool white* (cor branca fria, utilizada na horticultura antes do LED e HID) o fator indicado para quantificar o fluxo de fótons, para cada 100 lx, é  $1,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (fonte: REA, M.S., 2000). Em outra fonte (AGi32) para LED numa faixa de  $T_{cp}$  entre (2700 e 5000) K, fabricante único, um fator de conversão foi estimado em faixa com média (e amplitude) de  $(16,2 \pm 1,9) \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ klux}^{-1}$ . Assim, o pequeno e/ou médio produtor agrícola que utiliza fonte tipo LED poderá realizar estimativa para quantificar a radiação luminosa e realizar correção devido a depreciação da fonte ao longo do tempo ou quando a fonte for substituída por tipo diferente. Quantificar corretamente a energia irradiada por diferentes fontes possibilita definir também qual fonte é mais eficiente na conversão de energia elétrica em luz.

Utilizando o valor de iluminância de 4,65 klx amostrado de protótipo em desenvolvimento e que está apresentado no trabalho # 135 do presente Congresso (BURINI JUNIOR, E. C., et al., 2024), é apresentado a título de ilustração estimativa cujo valor é  $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , na condição de distância fonte-sensor (17 cm). Ao comparar o valor obtido para o protótipo com o valor (média) do produto comercial da Goodxon (artigo # 135, acima indicado) foi verificada diferença da ordem 1 para 4. Isto revela a necessidade de realização do levantamento espectral discutir e validar procedimento ou a fonte.

Conclusão – Foi desenvolvido conhecimento para suporte ao pequeno e/ou médio produtor para quantificar luz, a partir de equipamento de baixo custo em período que ocorre a difusão do LED na horticultura abrigada. Produtos com classe de potência elétrica próxima pode apresentar saída de luz e eficiência diferente (a medição é importante).

## AGRADECIMENTOS

Ao IEE-USP, e a NICHIA.