

Foto: Gilmar P. Henz



Uso do porômetro em estudos de pós-colheita de frutas e hortaliças

Adonai Gimenez Calbo¹
Celso Luiz Moretti²
Gilmar Paulo Henz³

O que é um porômetro de pós-colheita?

É um instrumento desenvolvido na Embrapa (CALBO, 2001, 2005) com o qual se mede a condutância (inverso da resistência) do vapor de água em hortaliças e frutas volumosas como a cenoura, a batata e a maçã (Figura 1). Adicionalmente, este instrumento possibilita determinar a taxa de transpiração dividida pelo déficit de pressão de vapor (dpv) e pela massa do produto. Com o porômetro de pós-colheita também é possível estimar a espessura da camada de ar estagnada (δ) sobre frutas e hortaliças sob algumas condições experimentais. A aferição técnica do porômetro de pós-colheita é feita simplesmente utilizando-

o para estimar a pressão barométrica local. Caso a estimativa esteja correta, então o instrumento está funcionando corretamente.

O porômetro de pós-colheita ilustrado na Figura 1, assim como outros porômetros difusivos, fundamenta-se no fato de que a taxa de transpiração pode ser representada por:

$$Tr = dpv \ C_D \quad \text{eq. 1}$$

Onde,

C_D é a condutância difusiva do órgão;

Tr é a taxa de transpiração;

dpv é o déficit de pressão de vapor.

¹ Eng. Agr., PhD., Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP. E-mail: adonai@cnpdia.embrapa.br

² Eng. Agr., DSc., Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. E-mail: moretti@cnph.embrapa.br

³ Eng. Agr., DSc., Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. E-mail: gilmar@cnph.embrapa.br.

No método mais prático de uso do porômetro de pós-colheita segue-se a variação do déficit de pressão de vapor causada pela transpiração. Para acompanhar esta variação de pressão usa-se um transdutor de pressão, que pode ser eletrônico, ou uma simples pipeta, em aplicações demonstrativas. Da curva entre dpv e tempo se calcula a condutância difusiva C_D do órgão (Fig. 1).

Para pós-colheita a apresentação dos resultados de condutância difusiva é normalizada para facilitar as comparações entre tratamentos. Para apresentar os resultados por por quilo de produto (g_{MP}) usa-se a expressão:

$$g_{MP} = C_D / M \quad \text{eq. 2}$$

e para expressar o resultado por metro quadrado da superfície do produto (g_{AP}) usa-se a expressão:

$$g_{AP} = C_D / A \quad \text{eq. 3}$$

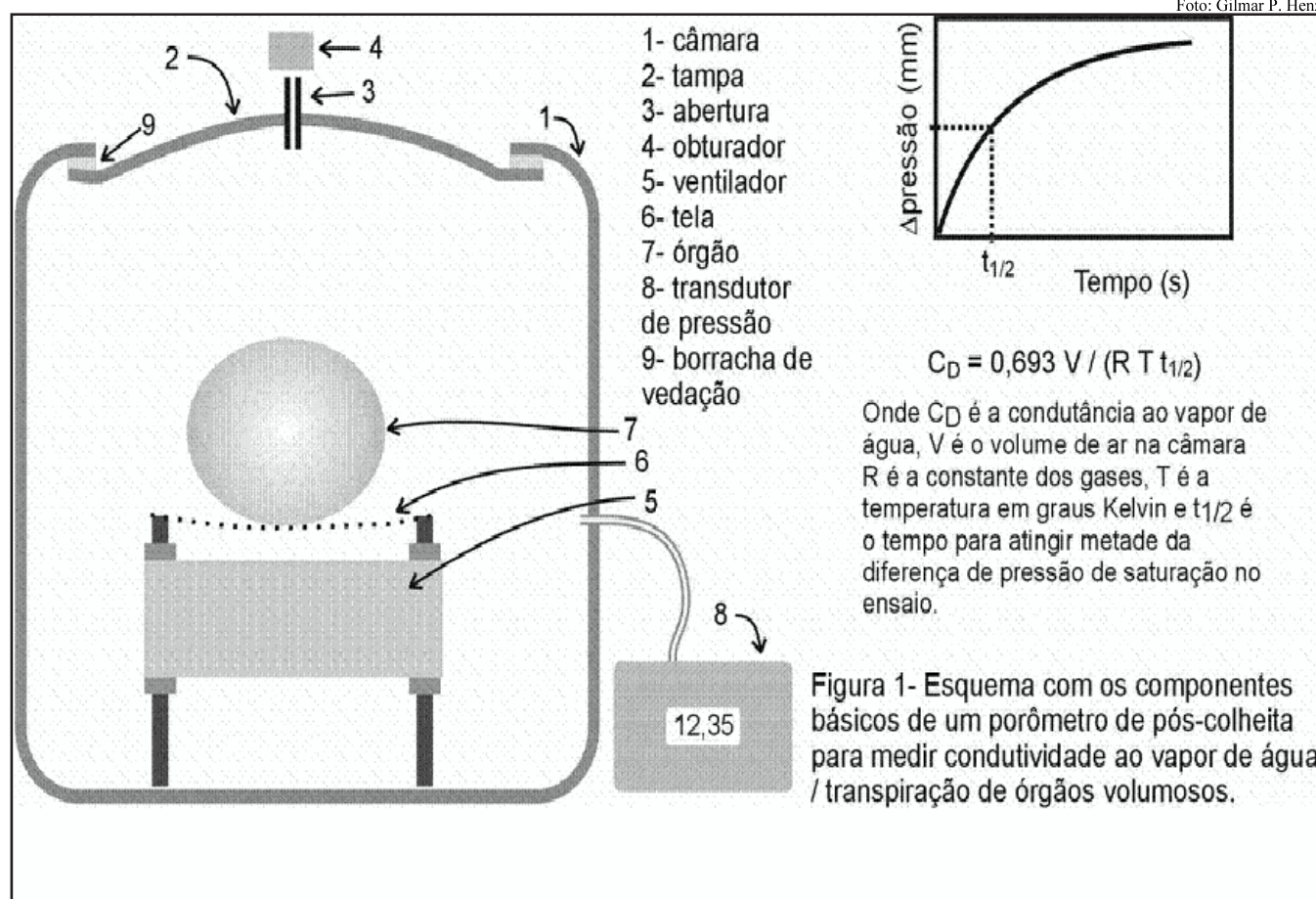
Os resultados normalizados pela massa (eq. 2) ou pela área da superfície do produto (eq. 3), possibilitam resultados similares aos sumariados por Burton (1982), porém fazendo uso de um método muito mais simples e seguro de medição. Outras formas de apresentação são g_{MC} que é a condutividade ao vapor de água por unidade de concentração de vapor de água, com a expressão:

$$g_{MC} = g_{MP} R T \quad \text{eq. 4}$$

ou g_{MN} que é condutividade por unidade de fração molar de vapor de água, com a expressão:

$$g_{MN} = g_{MP} P_b \quad \text{eq. 5}$$

Na equação 4 o fator ($R T$) converte o gradiente de pressão de vapor, considerado



para calcular g_{MP} , em gradiente de concentração de vapor de água, enquanto que na equação 5 a multiplicação pela pressão barométrica (P_b) converte o gradiente de pressão de vapor, considerado para calcular g_{MP} , em gradiente de fração molar de vapor de água, usado na condutividade g_{MN} .

Conversões idênticas às anteriores por multiplicação por RT para converter a condutividade ao vapor de água por unidade de área e de pressão de vapor (g_{AP}) em condutividade ao vapor de água por unidade de área e concentração nas respectivas condutividades por unidade de concentração de vapor de água (g_{AC}) ou multiplicando-se pela pressão barométrica (P_b) para calcular a condutividade ao vapor de água por unidade de área e de fração molar de vapor de água (g_{AN}). A condutividade de vapor de água por unidade de área é fisicamente mais significativa, porém é mais difícil de se aplicar em pós-colheita, pois em geral a área da superfície dos produtos não costuma ser medida.

Atualmente, a condutividade ao vapor de água vem sendo expressa principalmente de acordo com o gradiente de fração molar de vapor de água (g_{MN} e g_{NA}) (eq. 8) (NOBEL, 1991). A vantagem desta forma de expressão é que o resultado se torna independente da pressão barométrica e também é um pouco menos sensível à temperatura na qual o ensaio foi realizado.

Os resultados por unidade de concentração de vapor (eq. 7) são ainda populares entre os ecofisiologistas e facilitam o cálculo da espessura da camada de ar estagnada (δ) (CALBO, 2005) (eq. 9).

$$\delta = D / g_{AC} \quad \text{eq. 9}$$

Onde D é o coeficiente de difusão do vapor de água em ar ($2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a 20°C) e δ é a espessura da camada laminar expressa em metros e g_{AC} é a condutividade ao vapor de água por unidade de área (m^2) e por unidade de déficit de fração molar de vapor de água, que é adimensional.

Em resumo, o porômetro de pós-colheita possibilita que métodos utilizados ecofisiologia vegetal sejam também utilizados em pós-colheita. Esta forma de apresentação de resultados de transpiração é muito superior a apresentar simplesmente perdas de peso de água, juntamente com dados de temperatura e umidade relativa. A vantagem consiste em possibilitar comparações consistentes de resultados, não somente dentro, mas também entre experimentos, por exemplo, que envolvam estudos de aplicações de ceras ou comparações de genótipos.

Aplicações para o porômetro de pós-colheita

O porômetro de pós-colheita é para a determinação dos fatores físicos e fisiológicos que governam a difusão do vapor da água em frutas e hortaliças. Deste modo, se presta para medir a taxa de transpiração (Tr), o déficit de pressão de vapor (dpv) e a espessura da camada laminar (δ).

As medições com o porômetro de pós-colheita possibilitam apresentações convenientes e modernas dos parâmetros que regem a perda de água de produtos hortícolas, que são em tudo similares aos utilizados nas aplicações de porômetros de difusão em ecofisiologia vegetal. Por oferecer medições controladas, os dados do porômetro de pós-colheita são úteis para a seleção de genótipos, para estudos

de produtos embalados individualmente e para os estudos de ceras e filmes comestíveis. Os resultados obtidos com o porômetro de pós-colheita em diferentes estudos podem ser adequadamente comparados.

Aplicações para o porômetro de fluxo viscoso

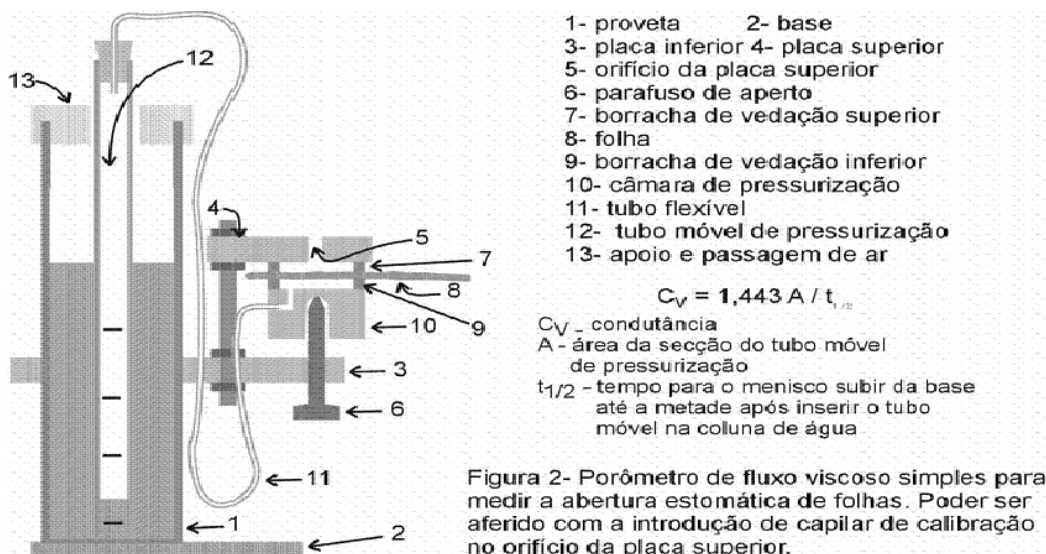
O porômetro de fluxo viscoso (Fig. 2), por outro lado, é designado para determinar o grau de abertura dos estômatos em folhas. Neste instrumento, a abertura estomática é estimada de acordo com o fluxo de ar que é forçado através de uma área de folha, que é submetida a um gradiente de pressão. O porômetro da figura 1 tem funcionamento muito parecido e é equivalente ao porômetro de Alvin (ALVIN, 1965) e se presta para folhas anfiestomáticas, isto é com estômatos nas duas faces da folha. O porômetro de fluxo viscoso trata-se de um instrumento simples e robusto cujo uso é descrito por Calbo (2000). Este tipo de porômetro para folhas em geral produz resultados com menor variabilidade do que outros porômetros modernos como o porômetro difusivo de estado estacionário (ECKLES, 1982). Aplicações do porômetro de fluxo viscoso podem envolver, por exemplo, o uso do fechamento estomático como uma medida biológica para aferir outros métodos físicos ou meteorológicos de determinar o momento da irrigação, manejo de irrigação.

O porômetro de fluxo viscoso (Fig. 2) não se presta para determinações de parâmetros relacionados à difusão do

vapor de água, o que se obtém com porômetros difusivos, como o porômetro difusivo de estado estacionário de Eckles (1982). Adicionalmente, em pós-colheita, mesmo de folhosas, o porômetro de fluxo viscoso (Fig. 2), em geral, tem utilidade limitada porque os estômatos costumam se fechar algumas horas após as folhas serem destacadas da planta.

Estimativa do coeficiente de permeabilidade com porômetros
A estimativa da condutividade ao vapor de água com estômatos e lenticelas obstruídos pode ser uma estimativa da permeabilidade ao vapor de água. Fazendo uso de porômetros de difusão, Kertiens (1996) relata estimativas feitas para folhas de diversas espécies em situação na qual estas estão com os estômatos fechados, como é o caso comum que ocorre durante o armazenamento de folhosas no escuro. O erro deste método decorre do fato de que os estômatos podem não fechar completamente. Adicionalmente, a cutícula das folhas podem possuir poros. Outra alternativa é fazer medições em isolados de cutícula.

Em pós-colheita, a estimativa de permeabilidade da cutícula com porômetro de pós-colheita é particularmente fácil de ser estimada em frutos como jaboticaba (*Myrcia cauliflora*), uva (*Vitis vinifera*) e tomate (*Lycopersicon esculentum*), visto que nestes produtos praticamente não há estômatos e outras aberturas além da inserção do pedúnculo, que é fechada com auxílio de uma massa selante plástica.



Referências

ALVIN, P.T. A new type of porometer for measuring stomatal opening and its use in the field. **UNESCO** and Zone Research, v.25, p.325-329, 1965.

CALBO, A.G. **Porômetro de pós-colheita para observar transpiração e calcular resistência difusiva**. PI BR 0104475-3. 2001.

CALBO, A. G. Porômetro de pós-colheita, novo uso para a manometria ou volumetria. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLÓGIA VEGETAL, 2001, Ilhéus. **Anais...** / VIII Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal, 2001.

CALBO, A.G. **Postharvest porometer to study transpiration and to measure vapor pressure deficit**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. 20p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

ECKLES, R.D. **Porometer and method for stomatal measurements**. United States patent, US 4312218, 1982.

KERTIENS, G. Cuticular water permeability and its physiological significance. **Journal of Experimental Botany**, v.47, n.305, p.1813-1832, 1996.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1991.



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comunicado Técnico, 51 Exemplos desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Hortaliças
BR 060 km 9 Rod. Brasília-Anápolis
C. Postal 218, 70359-970 - Brasília-DF

www.cnph.embrapa.br
Telefone: (61) 3385-9009
Fax: (61) 3385-9042
E-mail: sac.hortaliças@embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2006): 500 exemplares

Comitê de Publicações: Presidente: Gilmar P. Henz
Secretária-Executiva: Fabiana S. Spada
Editor Técnico: Flávia A. de Alcântara
Supervisor Editorial: Sieglinde Brune
Membros: Alice Maria Quezado Duval
Edson Guiducci Filho
Milza M. Lana

Expediente Normatização Bibliográfica: Rosane M. Parmagnani
Fotos: Gilmar P. Henz
Editoração eletrônica: José Miguel dos Santos