

DIMENSIONAMENTO DE DISPOSITIVO PARA CONTROLE DE VAZÃO DE GASES EM “FLOWBOARD” PARA MANUTENÇÃO DE ATMOSFERA CONTROLADA

VITOR C. **CREMONESI**¹; ALFREDO A. **VITALI**²; JOSÉ M. M. **SIGRIST**³

Nº 0901035

Resumo

O “flowboard” é um equipamento para controle de vazão constante de gases com o objetivo de manter atmosferas controladas dentro de mini-câmaras para estudos de respiração de vegetais e extensão de vida-de-prateleira. Entretanto o “flowboard” carece de artigos publicados e de estudos mais aprofundados, mesmo sendo um equipamento muito utilizado principalmente na área de fisiologia de pós-colheita de frutas e hortaliças. As dificuldades ao longo das pesquisas são diversas: o dimensionamento dos capilares usados no equipamento para o controle do fluxo dos gases é realizado de forma empírica (tentativa e erro), usando ar e geralmente à temperatura ambiente, porém o “flowboard” também é utilizado à temperaturas de refrigeração e com outros gases e/ou misturas (com propriedades diferentes das do ar); dificuldade de padronização de vários capilares com igual vazão; dificuldade de ajuste de vazão pois utiliza-se geralmente uma pressão fixa de 60 cm H₂O. Com a variação da pressão poderiam ser economizados cortes de capilares, uma vez que o fluxo altera com a mudança de pressão.

Este estudo vem ao encontro dessa necessidade, visando otimizar as pesquisas com “flowboards”.

Abstract

The “flowboard” is a device for controlling flow of gases in order to maintain controlled atmospheres in small chambers to study the respiration of horticultural products and their shelf-lives. However flowboard applications on post-harvest physiology of fruit and vegetables need further studies. There is lacking of studies relating capillaries size and their flows which are carried out on empirical basis and generally using air at ambient temperature. Capillaries are also used at low temperatures with gas mixtures different from air. These imply different air properties; hence, difficulty of standardization of capillaries with the same flow; difficulty of adjusting water pressure at levels different

1. Bolsista CNPq: Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas-SP, ✉
vccremonesi@gmail.com

2. Orientador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP

3. Orientador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP

from 60 cm H₂O column. Different water pressures can lead to different flow rates by using the same capillary size.

This study meets this need of optimizing the research with "flowboards".

Introdução

O presente estudo baseia-se em alguns conceitos de fenômenos de transporte, dentre eles destacam-se conceitos de fluidos, viscosidade, reologia, equação de Hagen-Poiseuille e Arrhenius.

Fluidos são substâncias que escoam sem desintegrar quando uma pressão é aplicada a eles. Essa definição de fluidos inclui gases, líquidos e alguns sólidos. Uma propriedade muito importante aplicada aos fluidos é a viscosidade. Esta é uma propriedade física que quantifica a resistência ao escoamento de fluidos simples. Apesar de haverem moléculas em movimento aleatório no fluido sua velocidade é zero, a menos que haja alguma força sendo aplicada a ele que cause seu escoamento. A magnitude da força necessária aplicada a um fluido para que este adquira certa velocidade é a viscosidade. O escoamento ocorre quando as moléculas estão organizadas movendo-se para uma determinada direção, entretanto há uma diferença na velocidade das moléculas, chamado de gradiente de velocidade. A tensão de cisalhamento (T) e taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) são medidas feitas para avaliar as deformações que o fluido sofre.

A equação de Hagen-Poiseuille demonstra que um fluido Newtoniano (aqueles que apresentam uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação) flui dentro de tubos em um perfil parabólico, as moléculas no centro do tubo adquirem velocidade máxima. Entretanto esse perfil só é adquirido quando o fluido adquire um perfil laminar de escoamento, que consiste em moléculas se movendo na mesma direção radial em que o fluido escoa ao longo do tubo. Esse deslocamento pode ser também turbulento quando a agitação das moléculas aumenta e o movimento passa a ser desorientado, não atendendo a equação de Hagen-Poiseuille. O tipo de escoamento (laminar ou turbulento) é determinado por um adimensional conhecido como número de Reynolds que relaciona o diâmetro do tubo em que o fluido escoa, a velocidade média de escoamento, a densidade do fluido e a viscosidade.

Qualquer teoria de taxa de reação deve ser explicada com a equação de Arrhenius, sendo que esta descreve com precisão a taxa de muitas reações químicas, além de ser uma relação simples. A equação foi proposta primeiramente pelo químico J. H. Van 't Hoff em 1884; cinco anos mais tarde em 1889, o químico sueco Svante Arrhenius forneceu uma justificativa e interpretação física para ela: a taxa de reação química aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura absoluta. Em suma, a equação de Arrhenius fornece "a dependência entre a taxa constante k nas reações químicas na temperatura T (temperatura absoluta, tais como Kelvin ou Rankine) e a energia de ativação E_a ".

Segundo Calbo (1989) O "flowboard" é uma unidade de controle de fluxo com saídas múltiplas. Este tipo de equipamento é atualmente utilizado em diversos laboratórios para medidas de respiração, produção endógena de etileno, preparo de atmosferas com diferentes teores de N_2 , O_2 , CO_2 e etileno e mais recentemente estudos com CO , N_2O , NO_2 e SO_2 para controle de doenças em vegetais.

Material e Métodos

Foi usado no presente estudo um "flowboard", como mostrado na Figura 1, com 12 saídas independentes.

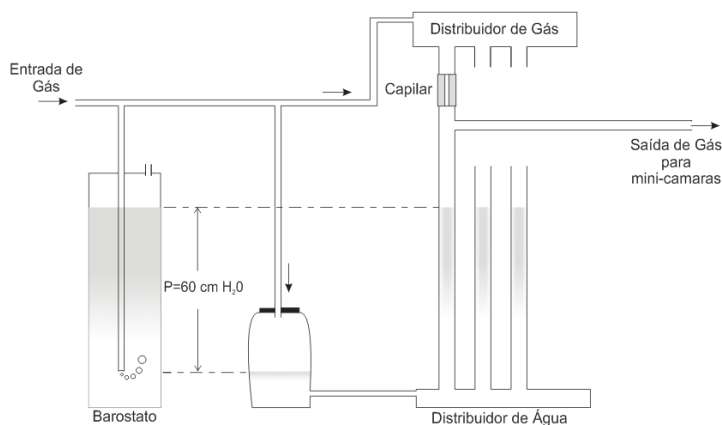


FIGURA 1. Representação de um "flowboard"

Foram utilizados capilares fornecidos pela Indústria de Termômetros INCOTERM com 4 diferentes diâmetros internos (0,14; 0,21; 0,26 e 0,4 mm), cortados exatamente com 5 cm de comprimento com o auxílio de uma lima agulha diamantada meia cana Steel Diamond. Os gases utilizados nos experimentos foram: gás carbônico, nitrogênio,

oxigênio, ar e uma mistura de 20% CO₂ com 80% O₂, todos fornecidos pela Air Liquide.

Seis experimentos foram realizados, cinco a temperatura ambiente (23°C) e outro em refrigeração (5°C). Os 4 capilares foram conectados ao “flowboard” e foram feitas 3 medidas de tempo (em segundos) de escoamento dos gases em cada um deles em 6 pressões diferentes (60; 50; 40; 30; 20; 10 cm de coluna de água). Tais medidas foram realizadas com o auxílio de um bolhometro graduado de vidro com 50 ml de capacidade e de um cronometro digital. A partir das médias dos tempos medidos as vazões (m³ s⁻¹) foram calculadas para cada diâmetro de capilar/pressão/temperatura. Com o valor das vazões e da área de escoamento da secção transversal de cada capilar a velocidade (m s⁻¹) de escoamento foi determinada para o cálculo de Reynolds. Após a determinação do tipo de escoamento (laminar ou turbulento) as tensões de cisalhamento e as taxas de deformação foram calculadas.

A relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação resulta na Equação de Hagen-Poiseuille que determina a viscosidade dos fluidos, no caso ar, oxigênio, gás carbônico, nitrogênio e a misturas de 20% CO₂ com 80% O₂.

Tendo as viscosidades calculadas os valores foram comparados com dados encontrados na bibliografia, e foi validado o modelo matemático aplicado no estudo. Com todos os resultados e o modelo matemático validado foi desenvolvido, no Excel 2003, uma rotina de cálculos para controle de vazão de gases em “flowboard” para manutenção de atmosfera controlada.

Resultados e Discussão

As medidas de tempo obtidas durante o Experimento 1, com ar atmosférico foram passadas para a Tabela 1 a seguir para o cálculo do fluxo, velocidade de escoamento e número de Reynolds:

TABELA 1. Dados do Experimento 1 a 23°C com ar e capilares com 5cm de comprimento

ø [mm]	ø [m]	pressão [cm c.a.]	média dos tempos [s]	volume [ml]	fluxo [L/h]	fluxo [m³/h]	v [m/s]	Re	ρ (Kg/m³)	μ (kg/m²s)
0,14	0,00014	60	170,56	10	0,211	0,00021	3,81	34	1,1862	0,0000185
0,21	0,00021	60	30,43	10	1,183	0,00118	9,49	128		
0,26	0,00026	60	47,60	50	3,781	0,00378	19,78	330		
0,40	0,00040	60	11,77	50	15,289	0,01529	33,80	867		
0,14	0,00014	50	213,26	10	0,169	0,00017	3,05	27		
0,21	0,00021	50	37,15	10	0,969	0,00097	7,77	105		
0,26	0,00026	50	11,49	10	3,133	0,00313	16,39	273		
0,40	0,00040	50	14,04	50	12,817	0,01282	28,33	727		
0,14	0,00014	40	265,44	10	0,136	0,00014	2,45	22		
0,21	0,00021	40	46,48	10	0,775	0,00077	6,21	84		
0,26	0,00026	40	14,44	10	2,493	0,00249	13,04	217		
0,40	0,00040	40	17,07	50	10,543	0,01054	23,30	598		
0,14	0,00014	30	364,62	10	0,099	0,00010	1,78	16		
0,21	0,00021	30	61,60	10	0,584	0,00058	4,69	63		
0,26	0,00026	30	18,41	10	1,956	0,00196	10,23	171		
0,40	0,00040	30	21,49	50	8,376	0,00838	18,52	475		
0,14	0,00014	20	543,32	10	0,066	0,00007	1,20	11		
0,21	0,00021	20	92,16	10	0,391	0,00039	3,13	42		
0,26	0,00026	20	27,75	10	1,297	0,00130	6,79	113		
0,40	0,00040	20	31,50	50	5,714	0,00571	12,63	324		
0,14	0,00014	10	1059,34	10	0,034	0,00003	0,61	6		
0,21	0,00021	10	177,16	10	0,203	0,00020	1,63	22		
0,26	0,00026	10	55,08	10	0,654	0,00065	3,42	57		
0,40	0,00040	10	59,68	50	3,016	0,00302	6,67	171		

A Tabela 2 foi construída para calcular os valores de TAU, GAMA e viscosidade relacionando-se os valores de fluxo calculados da Tabela 1.

TABELA 2. Dados de Tau e Gama para o Experimento 1 a 23°C com ar e capilares com 5cm de comprimento

ø [mm]	pressão [cm.água]	fluxo [L/h]	Diametro m	Delta P Pa	Vazão m³/s	Tau Pa	Gama s^-1	Area m²	Velocidade m/s	Viscosidade Pa.s	Re (-)
0,14	60,5	0,211	0,00014	5933,02	5,8630E-08	4,153	217640,047	1,53938E-08	3,809	1,90825E-05	28
	50,5	0,169	0,00014	4952,36	4,6892E-08	3,467	174067,133	1,53938E-08	3,046	1,99156E-05	21
	40,5	0,136	0,00014	3971,69	3,7673E-08	2,780	139845,865	1,53938E-08	2,447	1,98804E-05	17
	30,5	0,099	0,00014	2991,03	2,7426E-08	2,094	101806,501	1,53938E-08	1,782	2,05657E-05	12
	20,5	0,066	0,00014	2010,36	1,8405E-08	1,407	68321,958	1,53938E-08	1,196	2,05974E-05	8
	10,5	0,034	0,00014	1029,70	9,4398E-09	0,721	35041,334	1,53938E-08	0,613	2,05697E-05	4
Média 2,01019E-05											
0,21	60,5	1,183	0,00021	5933,02	3,2862E-07	6,230	361443,375	3,46361E-08	9,488	1,72355E-05	116
	50,5	0,969	0,00021	4952,36	2,6920E-07	5,200	296089,068	3,46361E-08	7,772	1,75622E-05	93
	40,5	0,775	0,00021	3971,69	2,1515E-07	4,170	236633,432	3,46361E-08	6,212	1,76234E-05	74
	30,5	0,584	0,00021	2991,03	1,6233E-07	3,141	178541,019	3,46361E-08	4,687	1,75902E-05	56
	20,5	0,391	0,00021	2010,36	1,0850E-07	2,111	119339,454	3,46361E-08	3,133	1,7688E-05	37
	10,5	0,203	0,00021	1029,70	5,6446E-08	1,081	62083,551	3,46361E-08	1,630	1,7415E-05	20
Média 1,75191E-05											
0,26	60,5	3,781	0,00026	5933,02	1,0503E-06	7,713	608713,175	5,30929E-08	19,783	1,26709E-05	406
	50,5	3,133	0,00026	4952,36	8,7032E-07	6,438	504382,527	5,30929E-08	16,392	1,27643E-05	334
	40,5	2,493	0,00026	3971,69	6,9252E-07	5,163	401340,390	5,30929E-08	13,044	1,28649E-05	264
	30,5	1,956	0,00026	2991,03	5,4328E-07	3,888	314850,882	5,30929E-08	10,233	1,23498E-05	215
	20,5	1,297	0,00026	2010,36	3,6036E-07	2,613	208841,630	5,30929E-08	6,787	1,25141E-05	141
	10,5	0,654	0,00026	1029,70	1,8154E-07	1,339	105210,685	5,30929E-08	3,419	1,27231E-05	70
Média 1,26478E-05											
0,4	60,5	15,289	0,0004	5933,02	4,2469E-06	11,866	675912,839	1,25664E-07	33,796	1,75556E-05	770
	50,5	12,817	0,0004	4952,36	3,5604E-06	9,905	566656,574	1,25664E-07	28,333	1,74792E-05	648
	40,5	10,543	0,0004	3971,69	2,9285E-06	7,943	466092,180	1,25664E-07	23,305	1,70425E-05	547
	30,5	8,376	0,0004	2991,03	2,3267E-06	5,982	370300,007	1,25664E-07	18,515	1,61546E-05	458
	20,5	5,714	0,0004	2010,36	1,5873E-06	4,021	252626,894	1,25664E-07	12,631	1,59157E-05	317
	10,5	3,016	0,0004	1029,70	8,3780E-07	2,059	133340,267	1,25664E-07	6,667	1,54447E-05	173
Média 1,58383E-05											
Média Total										1,67169E-05	Pa.s

Para todos os experimentos foram construídas tabelas como as do experimento 1 e em seguida os valores de TAU e GAMA, de cada experimento foram correlacionados em gráficos para observar a relação entre eles.

O gráfico que sintetiza todo o estudo é o apresentado a seguir, que correlaciona as viscosidades tabeladas com as viscosidades calculadas.

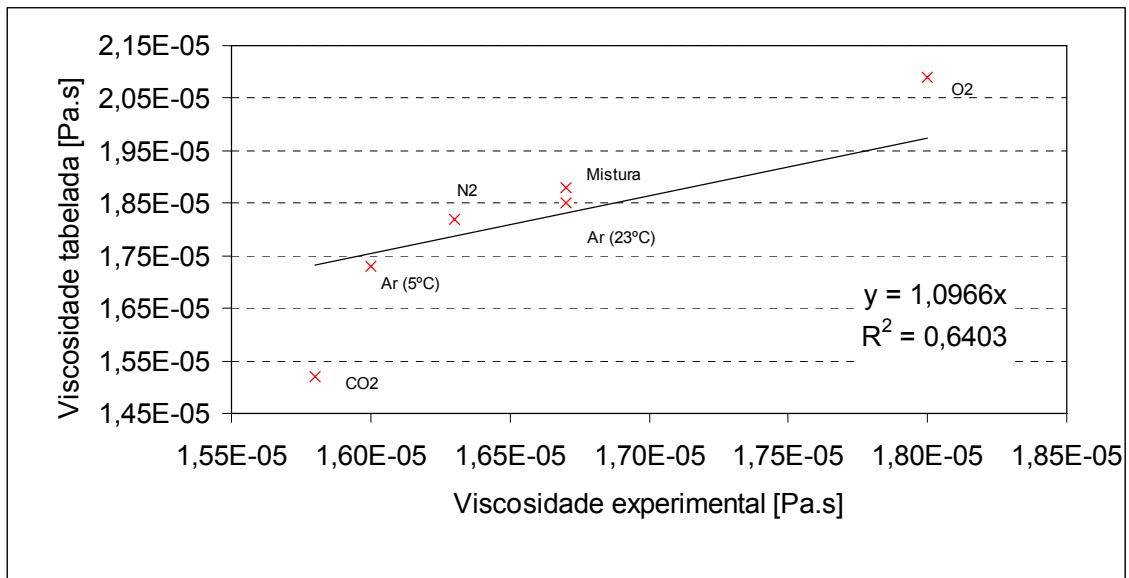


FIGURA 3. Relação entre as viscosidades tabeladas em referencias bibliográficas e as calculadas experimentalmente

Conclusão

Os modelos matemáticos de Hagen-Poiseuille, de Arrhenius e de Sutherland adequaram-se ao presente estudo.

O dispositivo para controle de vazão de gases foi desenvolvido e está funcionando muito bem, atendendo as expectativas iniciais.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica;

Ao Dr. Alfredo Vitali e ao Dr. José Maria Sigrist, pela essencial colaboração e suporte para este trabalho;

À todos os amigos do GEPC/ITAL

Referências Bibliográficas

CALBO. A.G. Adaptação de um fluxcentro para estudos de trocas gasosas e um método de aferição de capilares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.24, n. 6, p.733-739, 1989