

GRADIENTE DE PRESSÃO ESTÁTICA DO AR FORÇADO EM CAMADAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS MISTURADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE CAMA DE FRANGO

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p309-317/2016>

DENIS L. TEIXEIRA¹, ANTONIO T. MATOS², EVANDRO DE C. MELO³

RESUMO: Neste trabalho, teve-se como objetivo o ajuste de equações que possibilitassem a estimativa do gradiente de pressão estática do ar, quando insuflado em camadas de resíduos orgânicos misturados com diferentes proporções de cama de frango. As medições do gradiente de pressão estática do ar foram realizadas em um protótipo, submetido a vazões específicas, que variaram de 0,02 a 0,13 m³ s⁻¹ m⁻², em camadas de bagaço de cana-de-açúcar, palha de café e serragem de madeira, misturadas com cama de frango, nas proporções de 0; 10; 20; 30 e 40% (base volumétrica). Os dados de gradiente de pressão estática do ar e vazão específica ajustaram-se bem aos modelos de Shedd, Hukill & Ives e Hunter, podendo ser utilizados para prever o gradiente de pressão estática do ar ao ser insuflado em camadas de resíduos orgânicos. Menores valores de gradientes de pressão estática do ar foram obtidos em camadas sem adição de cama de frango e os maiores gradientes obtidos nas camadas constituídas pela mistura com cama de frango, na proporção de 40%.

PALAVRAS-CHAVE: compostagem, leiras estáticas aeradas, queda de pressão estática do ar.

STATIC PRESSURE GRADIENT OF THE FORCED AIR FLOW WITHIN LAYERS OF ORGANIC WASTE MIXED WITH DIFFERENT PROPORTIONS OF POULTRY LITTER

ABSTRACT: This study aimed at fitting equations for estimation of the static pressure gradient of the air flow applied through layers of organic waste mixed with different proportions of poultry litter. Pressure gradient was measured by a specific prototype submitted to discharges between 0.02 to 0.13 m³ s⁻¹ m⁻². The measures were taken in layers of sugarcane bagasse, coffee straw and sawdust mixed with poultry litter in ratios of 0, 10, 20, 30 and 40% (at a volume basis). The three models Shedd, Hukill & Ives and Hunter were fitted to the experimental data for prediction of the pressure gradient and the airflow rate. Lower static pressure gradient was observed in layers without poultry litter addition and higher ones were seen in layers with 40% poultry litter.

KEYWORDS: composting, aerated static pile, air pressure drop.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a compostagem vem sendo muito utilizada como forma de tratamento dos resíduos agrícolas e de agroindústrias. Determinados resíduos, como serragem de madeira, cascas de grãos e bagaços de frutas são, frequentemente, utilizados como agentes estruturantes e fonte de carbono, tendo como finalidade a correção do conteúdo de água na mistura, o ajuste na relação carbono/nitrogênio (C/N) e a formação de espaços porosos na massa em compostagem, o que proporciona aumento na disponibilidade de oxigênio no meio (YANG et al., 2013).

Dentre os métodos utilizados para compostagem, o sistema em leiras estáticas aeradas é recomendado para processamento em grande escala, sendo o adequado dimensionamento do

¹ Eng^o Agrícola e Ambiental, Estudante de Doutorado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-1871, denis.teixeira@ufv.br

² Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, atmatos@ufv.br

³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, evandro@ufv.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 16-4-2014

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 23-4-2015

sistema de aeração indispensável para que se obtenham eficiência do processo e baixo consumo de energia (ALMEIDA et al., 2012). O cálculo da potência elétrica absorvida pelo ventilador em projetos de sistemas de compostagem em leiras estáticas aeradas é realizado a partir do conhecimento do gradiente de pressão estática do ar observado para determinada vazão específica (SILVA et al., 2008; MATOS, 2014).

O gradiente de pressão estática do ar, ao atravessar uma camada de material, é estimado, convencionalmente, com a utilização de equações ou gráficos que relacionem a queda na pressão estática do ar por unidade de espessura da camada de material (gradiente de pressão) com a vazão de ar por unidade de área (vazão específica), sendo representado por modelos potenciais (Equação de Shedd), logarítmicos (Equação de Hukill & Ives) e quadráticos (Equação de Hunter) (McGUCKIN et al., 1999; SILVA et al., 2008; MATOS et al., 2012).

Na literatura científica, encontram-se disponíveis equações para a estimativa do gradiente de pressão estática do ar quando forçado em camadas de grãos e sementes (ASABE, 2007), porém são poucos os trabalhos realizados, utilizando-se de material orgânico em compostagem; além disso, nos existentes, não foram citadas as proporções de cada material na mistura, o que dificulta sobremaneira a comparação e a extrapolação dos resultados. Portanto, objetivou-se com a realização deste trabalho utilizar os modelos de Shedd, Hukill & Ives e Hunter para descrever, matematicamente, o gradiente de pressão estática em função da vazão específica do ar, quando insuflado em camadas com diferentes proporções de cama de frango misturada à serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar picado e casca de frutos do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Os resíduos utilizados foram a cama de frango (CF), importante resíduo da agropecuária regional, e, como agentes estruturantes e fontes de carbono, o bagaço de cana-de-açúcar picado (BC), a serragem de madeira (SM) e a casca de frutos do cafeeiro ou palha de café (PC).

As medições do gradiente de pressão estática do ar foram realizadas em misturas constituídas por um agente estruturante e fonte de carbono, com cama de frango nas proporções de 0; 10; 20; 30 e 40% (base volumétrica). Após os resíduos serem misturados, realizou-se a correção no conteúdo de água do material para 60 dag kg^{-1} (base úmida), permanecendo a mistura em repouso por 24 h para a absorção da água pelos resíduos. Em seguida, as misturas foram acondicionadas em um protótipo especialmente dimensionado e construído para a pesquisa, conforme apresentado na Figura 1, onde eram efetuadas as medições do gradiente de pressão estática do ar ao ser forçado a atravessar a camada de material, sendo, neste caso, adotada a mesma metodologia utilizada por MATOS et al. (2012) e PAIVA et al. (2012).

O protótipo foi construído em chapa de aço e estrutura metálica, sendo constituído pelos seguintes componentes: (1) coluna de chapa galvanizada, medindo 1,2 m de altura, com 0,80 m de diâmetro; (2) tomada para medição do gradiente de pressão estática do ar; (3) piso perfurado, constituído por chapa inox com furos circulares de 24 mm de diâmetro e 80% de perfuração; (4) câmara *plenum*, com dimensões de: 1,50 m de comprimento, 1,2 m de largura e 0,40 m de altura; (5) tubo de PVC, medindo 2,0 m de comprimento e diâmetro de 0,20 m; (6) homogeneizador, para a uniformização da vazão específica de ar; (7) tomada para a medição da velocidade do ar; (8) ventilador centrífugo de pás retas, acionado por motor elétrico com potência de $\frac{3}{4}$ de cv a 3.410 rpm; e (9) diafragma fixo à entrada de ar, o qual possibilitou a variação na vazão.

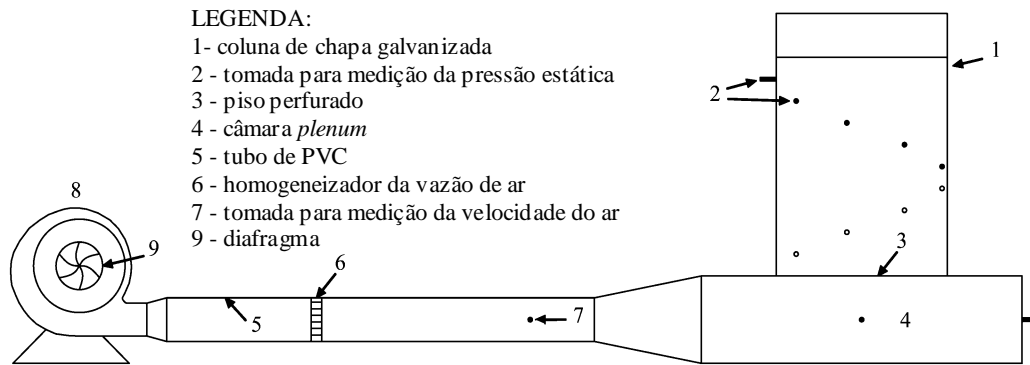


FIGURA 1. Esquema do protótipo utilizado na medição do gradiente de pressão estática do ar insuflado na camada de diferentes misturas de resíduos orgânicos. **Layout of the prototype used to measure the static pressure gradient of airflow applied within layers of different organic waste mixtures.**

O acondicionamento do material na coluna foi realizado de forma gradual, em camadas de 10 cm de espessura, com altura de queda do material fixada em 1 m, até se obter uma camada com 1 m de altura. A massa específica úmida das diferentes misturas foi obtida dividindo-se a massa necessária para completar uma coluna circular com diâmetro de 0,8 m e altura de 1 m, pelo respectivo volume da coluna.

O gradiente de pressão estática do ar foi quantificado para cada mistura de materiais, separadamente, variando-se a vazão específica do ar fornecida pelo ventilador por meio do ajuste no diafragma posicionado na entrada de ar do ventilador. Os valores de vazão específica variaram entre 0,02 e 0,13 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$, sendo aferidos com base nos valores da velocidade do ar no duto, localizado entre o ventilador e o *plenum*, os quais foram medidos, utilizando-se de um anemômetro térmico marca – TESTO, modelo – testo 425, com resolução de 0,01 m s^{-1} e faixa de medição de 0 a 20 m s^{-1} . Todas as medições de pressão foram realizadas, utilizando-se de um micromanômetro digital marca – KIMO, modelo – MP 120, com resolução de 0,1 mmca e faixa de medição de 0 a 100 mmca. As medições do gradiente de pressão foram realizadas em três laterais da câmara *plenum*, realizando-se 3 repetições para cada material. As repetições consistiram em encher a coluna, realizar as medições, esvaziá-la, misturar o resíduo e enchê-la novamente.

Com o intuito de verificar possível queda na pressão estática do ar ao atravessar a chapa perfurada, efetuaram-se medições de pressão na câmara *plenum*, estando a coluna cilíndrica do protótipo vazia, o que comprovou sua insignificância, tanto quando aplicadas as menores como as maiores vazões específicas de ar.

Depois de realizados os ensaios, os dados de gradiente de pressão e vazão específica do ar foram utilizados para o ajuste dos modelos de Shedd (1), Hukill & Ives (2) e Hunter (3), por meio de análise de regressão.

$$\Delta P = A_1 \dot{Q}_a^{B_1} \quad (1)$$

$$\Delta P = \frac{A_2 \dot{Q}_a^2}{\ln(1 + B_2 \dot{Q}_a)} \quad (2)$$

$$\Delta P = A_3 \dot{Q}_a + B_3 \dot{Q}_a^2 \quad (3)$$

em que,

ΔP – gradiente de pressão estática do ar ($\text{M T}^{-2} \text{L}^{-2}$);

\dot{Q}_a – vazão específica do ar ($\text{L}^3 \text{T}^{-1} \text{L}^{-2}$);

$A_1, B_1; A_2, B_2; A_3, B_3$ – parâmetros obtidos no ajuste dos dados experimentais ao modelo.

Para o ajuste dos modelos, foi utilizado o programa *STATISTICA 7.0*. A escolha do melhor modelo baseou-se nos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), erro médio relativo (P), e desvio-padrão da estimativa (S_y). O erro médio relativo e o desvio-padrão da estimativa foram calculados, respectivamente, utilizando-se das eqs (4) e (5).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y - \hat{Y}}{Y} \right| \quad (4)$$

$$S_y = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(Y - \hat{Y})^2}{(n-2)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

em que,

P – erro médio relativo (%);

S_y – desvio-padrão da estimativa (Pa m^{-1});

n – número de observações experimentais;

Y – valor observado experimentalmente (Pa m^{-1});

\hat{Y} – valor estimado pelo modelo (Pa m^{-1});

$(n - 2)$ – graus de liberdade, idêntico para os três modelos avaliados.

Depois de selecionado o melhor modelo para cada agente estruturante e fonte de carbono, os parâmetros obtidos de cada equação, para as diferentes proporções de cama de frango, foram considerados variáveis dependentes e submetidos à análise de agrupamento por otimização de Tocher, para determinar quais proporções possuíam curvas similares. As análises de agrupamento foram realizadas utilizando o programa estatístico *SAEG 9.1*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa específica e o conteúdo de água do material, obtidos com as misturas de cama de frango com bagaço de cana-de-açúcar, palha de café e serragem de madeira, estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Massa específica e conteúdo de água (base úmida) do material proveniente das misturas de cama de frango com bagaço de cana-de-açúcar, palha de café e serragem de madeira. **Specific mass and water content (wet basis) of the mixtures of poultry litter and sugar cane bagasse, coffee straw and sawdust.**

Material	Proporção de Cama de Frango (%)	Massa Específica (kg m^{-3})		Conteúdo de Água (dag kg^{-1})
		Úmida*	Seca**	
BC + CF	0	175	62	64,3
	10	245	88	64,0
	20	311	120	61,6
	30	372	147	60,6
	40	423	171	59,6
PC + CF	0	317	112	64,7
	10	328	129	60,6
	20	368	155	58,0
	30	371	158	57,6
	40	451	191	57,7
SM + CF	0	235	97	58,7
	10	304	117	61,6
	20	359	159	55,9
	30	413	181	56,2
	40	444	196	55,9

Em que, * obtida com o produto úmido; ** obtida com o produto seco; (BC + CF) bagaço de cana-de-açúcar e cama de frango; (PC + CF) palha de café e cama de frango; (SM + CF) serragem de madeira e cama de frango.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 1, verifica-se que o acréscimo de cama de frango aos agentes estruturantes e à fonte de carbono proporcionou aumento na massa específica da mistura, principalmente quando se analisa a massa específica obtida com o produto seco, condição em que não há influência do conteúdo de água no material. O aumento na massa específica com a adição da cama de frango é decorrente do fato de ser sua massa específica maior que a do bagaço de cana-de-açúcar, da palha de café e da serragem de madeira; logo, ao ser misturada a esses materiais, proporciona aumento na massa específica da mistura. MATOS et al. (2012) encontraram massa específica de 142 kg m^{-3} (base seca) em palha de café misturada com cama de frango, na razão entre massas de 2,5:1 (proporção de 28,6% de cama de frango), enquanto SILVA et al. (2008) obtiveram massa específica seca de 56 kg m^{-3} em bagaço de cana-de-açúcar, corroborando os valores obtidos neste trabalho. O conteúdo de água manteve-se na faixa de 55 a 64 dag kg^{-1} , considerada ideal, segundo PAIVA et al. (2012), para o processo de compostagem em leiras estáticas aeradas.

O gradiente de pressão estática em função da vazão específica do ar, para as proporções de 0; 10; 20; 30 e 40% (base volumétrica) de cama de frango com bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e palha de café, está apresentado na Figura 2.

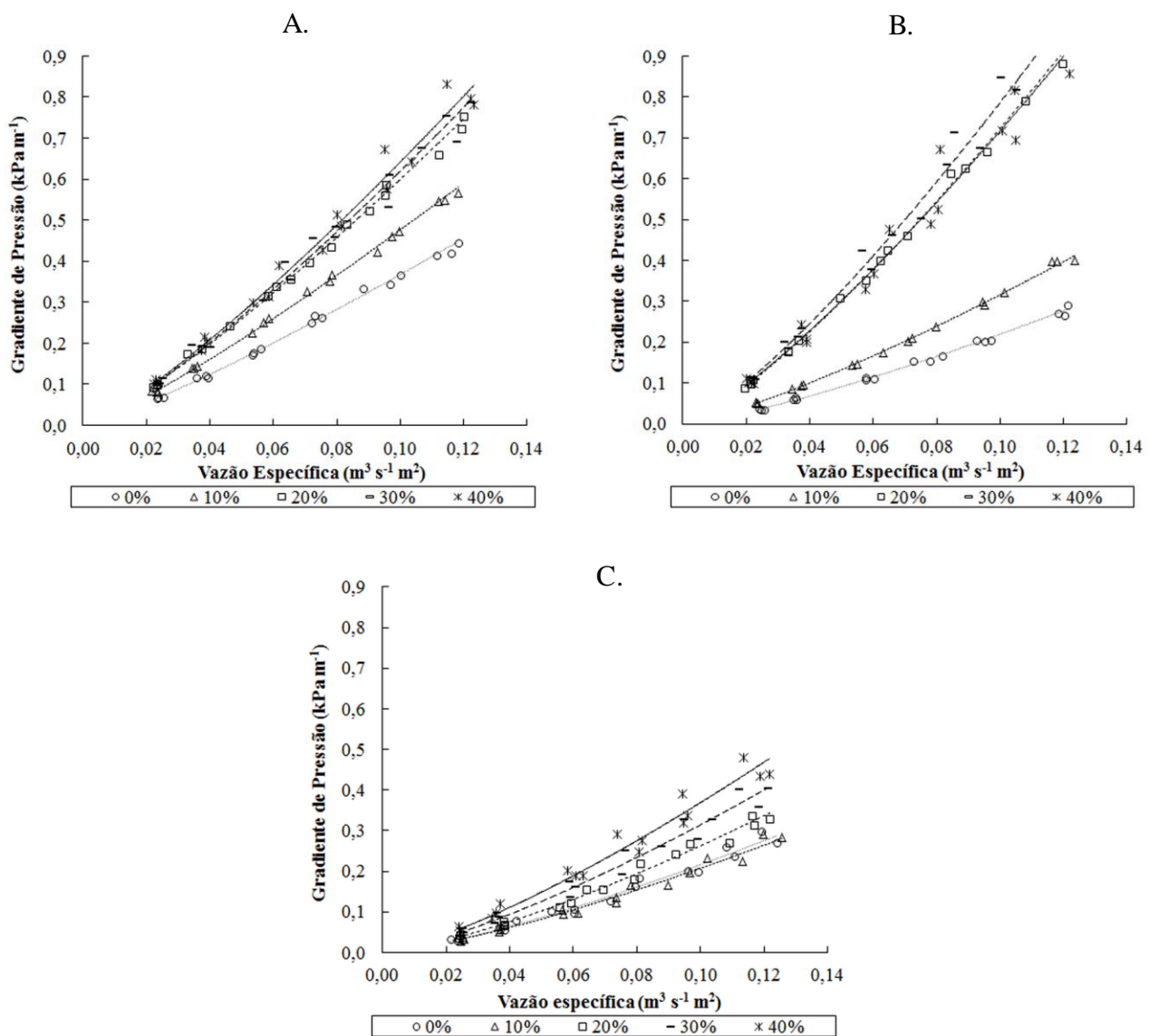


FIGURA 2. Gradiente de pressão estática do ar em camadas de cama de frango, em diferentes proporções, com: (A) bagaço de cana-de-açúcar; (B) serragem de madeira; e (C) palha de café, em função da vazão específica de ar. **Air static pressure gradient in the layers of poultry litter at different ratios with: (A) sugar cane bagasse, (B) sawdust, and (C) coffee straw, as function of airflow rate.**

Os menores gradientes de pressão estática do ar foram obtidos em camadas de agentes estruturantes sem adição de cama de frango (0% proporção); e os maiores, obtidos nas camadas formadas pela mistura com cama de frango na proporção de 40%. Inicialmente, esperava-se acréscimo gradual no gradiente de pressão estática do ar com o aumento na quantidade de cama de frango adicionada; no entanto, apesar de ter sido observado maior decréscimo na pressão estática do ar em camadas contendo maiores proporções de cama de frango, o gradiente de pressão não aumentou de forma linear a proporção de cama de frango na mistura.

O gradiente de pressão estática do ar, observado na camada de bagaço de cana-de-açúcar sem adição de cama de frango, variou de 66 a 444 Pa m⁻¹, para vazões específicas de 0,023 a 0,118 m³ s⁻¹ m⁻². SILVA et al. (2008) obtiveram, em camadas constituídas apenas por bagaço de cana-de-açúcar, gradiente de pressão variando de 3,8 a 65 Pa m⁻¹, para vazões específicas de 0,59 a 2,78 m³ s⁻¹ m⁻². Apesar dos menores valores de vazão específica utilizados neste trabalho, verifica-se que os valores de gradiente de pressão estática do ar foram superiores aos obtidos por outros autores, provavelmente devido às diferenças na granulometria e no conteúdo de água nos materiais. O conteúdo de água no bagaço de cana-de-açúcar utilizado por SILVA et al. (2008) e neste trabalho foram, respectivamente, de 7,4 e 64 dag kg⁻¹ (base úmida), ou seja, muito diferentes, e isso certamente influenciou nos resultados obtidos.

Camadas constituídas exclusivamente por serragem de madeira apresentaram gradiente de pressão estática do ar variando de 34 a 291 Pa m⁻¹, para vazões específicas de 0,025 a 0,121 m³ s⁻¹ m⁻². YAZDANPANAHI et al. (2011), estudando o escoamento do ar ao atravessar uma camada de *pellets* de madeira com dimensões de 6 mm de diâmetro e comprimento variando entre 4 e 6,7 mm, encontraram, para vazões específicas de 0,02 a 0,12 m³ s⁻¹ m⁻², gradientes de pressão estática de 16 a 143 Pa m⁻¹. Os menores valores de gradiente de pressão estática do ar, obtidos por esses autores, quando comparados aos obtidos neste trabalho, em camadas constituídas exclusivamente por serragem de madeira, podem ter sido provenientes da estrutura física dos *pellets*, que não se compactam na mesma magnitude que a serragem de madeira quando empilhada, e à maior quantidade de finos presentes na serragem.

YAZDANPANAHI et al. (2010) verificaram aumento no gradiente de pressão estática do ar com o aumento na proporção de finos em camadas de *pellets*. Os autores trabalharam com vazões específicas de ar variando de 0,004 a 0,357 m³ s⁻¹ m⁻² e encontraram gradientes de pressão estática do ar de 2 a 271 Pa m⁻¹, para 0% de finos; 4 a 400 Pa m⁻¹, para 5%; 5 a 1.100 Pa m⁻¹, para 10%; e 8 a 1.800 Pa m⁻¹, para 20% de finos. O aumento no gradiente de pressão estática do ar com o aumento na quantidade de finos foi atribuído à redução na porosidade do material e, conseqüentemente, na redução em sua permeabilidade.

Os dados de gradiente de pressão e vazão específica do ar, para as diferentes proporções de cama de frango adicionadas aos agentes estruturantes, foram ajustados aos modelos de Shedd, Hukill & Ives e Hunter, para os quais foram calculados os respectivos coeficientes de determinação (R²), erro médio relativo (P) e desvio-padrão da estimativa (S_y). Os valores de R², P e S_y obtidos para o modelo de Shedd variaram de 0,97 a 0,99; 1,73 a 9,78% e 5,4 a 50 Pa m⁻¹, respectivamente, para as diversas proporções. Para o modelo de Hukill & Ives, esses valores variaram de 0,97 a 0,99; 2,19 a 10,76% e 5,8 a 51 Pa m⁻¹, enquanto para o modelo de Hunter os valores variaram de 0,97 a 0,99; 2,59 a 11,17% e 6 a 51 Pa m⁻¹, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que, embora todos os três modelos possam ser utilizados para descrever o gradiente de pressão estática do ar ao ser insuflado em camadas de resíduos orgânicos, o modelo de Shedd foi o que apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação e menores valores para o erro médio relativo e desvio padrão da estimativa. Assim, pode ser considerado o melhor modelo para a estimativa do gradiente de pressão estática do ar quando insuflado em camadas de resíduos orgânicos, para todas as proporções de cama de frango utilizadas.

Na Tabela 2, estão apresentados os parâmetros do modelo de Shedd, obtidos com dados de gradientes de pressão estática e vazão específica do ar, bem como os grupos formados pela análise de agrupamento por otimização de Tocher para os parâmetros médios estimados.

TABELA 2. Grupos formados pela análise de agrupamento por otimização de Tocher e parâmetros médios estimados (A, B) para o modelo de Shedd, ajustado aos dados de gradiente de pressão estática (kPa m^{-1}) em função da vazão específica de ar ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$). **Groups formed by cluster analysis through Tocher optimization procedure and estimated average parameters (A, B) of the Shedd model, fitted to the data of static pressure gradient (kPa m^{-1}) as function of airflow rate ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$).**

Material	Grupo	Proporção de Cama de Frango (%)	A	B	R ²
BC + CF	1	0	5,136	1,149	0,997
		10	6,753	1,155	0,999
		Modelo comum	6,022	1,157	0,931
	2	20	8,983	1,179	0,998
		30	9,096	1,172	0,987
		Modelo comum	9,083	1,177	0,991
3	40	10,317	1,207	0,983	
PC + CF	1	0	4,698	1,335	0,979
		10	5,007	1,379	0,979
		Modelo Comum	4,858	1,357	0,978
	2	20	5,513	1,324	0,988
		30	6,157	1,293	0,972
	3	40	6,621	1,257	0,968
Modelo Comum		6,307	1,269	0,948	
SM + CF	1	0	4,007	1,263	0,995
		10	5,838	1,266	0,998
		Modelo Comum	4,938	1,267	0,883
	2	20	12,523	1,241	0,998
		30	13,429	1,235	0,986
	3	40	12,839	1,233	0,986
		Modelo Comum	11,841	1,218	0,973

Em que, (BC + CF) bagaço de cana-de-açúcar e cama de frango; (PC + CF) palha de café e cama de frango; (SM + CF) serragem de madeira e cama de frango.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, verifica-se que as diferentes proporções de cama de frango na mistura com bagaço de cana-de-açúcar resultaram em três diferentes grupos de equações ajustadas para a estimativa do gradiente de pressão estática do ar. O grupo 1 foi constituído pela união das equações obtidas para a estimativa do gradiente de pressão estática do ar forçado em camadas constituídas por bagaço de cana-de-açúcar, contendo as proporções de 0% e 10% de cama de frango. Já o grupo 2 foi formado pelas equações de estimativa do gradiente de pressão estática do ar insuflado em camadas de misturas de bagaço de cana-de-açúcar contendo proporções de 20 e 30% de cama de frango, enquanto o grupo 3 foi formado pela equação obtida quando a proporção de cama de frango na mistura foi de 40%.

No que se refere à palha de café como material estruturante, a formação dos grupos diferiu em relação ao que foi verificado para os outros resíduos, sendo o grupo 1 formado pelo agrupamento das equações de estimativa do gradiente de pressão estática do ar quando insuflado em camadas constituídas por misturas, nas proporções de 0 e 10% de cama de frango; o grupo 2 formado somente pela equação de mistura de cama de frango na proporção de 20%; e o grupo 3 formado pelo agrupamento das equações ajustadas para misturas de 30 e 40% de cama de frango.

Os grupos para a serragem de madeira como material estruturante foram semelhantes aos formados para o bagaço de cana-de-açúcar, tendo sido ajustado um modelo comum para as

proporções de 0% e 10% de cama de frango, outro modelo comum para as proporções de 20% e 30%, permanecendo o grupo 3 constituído apenas pela equação ajustada para a proporção de 40% de cama de frango na mistura.

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que, à medida que são aumentadas as proporções de agente estruturante em uma massa em compostagem, menor a queda na pressão estática do ar ao atravessar a camada de material, em decorrência do aumento na porosidade e na permeabilidade do material à passagem do ar, corroborando LI et al. (2013) e McGUICKIN et al. (1999).

Observou-se uma variação considerável no gradiente de pressão estática do ar em relação ao tipo de resíduo utilizado como agente estruturante e fonte de carbono, principalmente quando se analisou a palha de café em relação ao bagaço de cana-de-açúcar e à serragem de madeira. O menor gradiente de pressão estática do ar, verificado quando utilizada a palha de café como agente estruturante, pode estar relacionado à forma esférica do resíduo, o que proporciona grandes espaços porosos entre as partículas do material, quando empilhado. Outro fator importante é o aspecto de concha do material, decorrente de sua condição de fruto aproximadamente esférico ou elipsoidal. As cavidades convexas, presentes na maioria das cascas, podem ser preenchidas com materiais finos, como a cama de frango, sem, contudo, obstruir, significativamente, os espaços porosos do material e, conseqüentemente, proporcionar resistência à passagem do ar.

RAICHURA & MACCARTNEY (2006), citados por LI et al. (2013), recomendaram a utilização de agentes estruturantes com variados tamanhos de partícula para facilitar a aeração de pilhas de material. Segundo os autores, partículas de menor dimensão podem aglomerar-se e formar estruturas de grande espaço poroso, além de homogeneidade em relação ao tamanho de poros, melhorando a distribuição do ar e a eficiência do processo. Em relação aos agentes estruturantes utilizados neste trabalho, o bagaço de cana-de-açúcar foi o que apresentou maior gradiente de pressão estática do ar e maior uniformidade no tamanho de partículas, por apresentar variação unidimensional em seu tamanho, devido à forma geométrica das fibras. No que se refere à serragem de madeira, verifica-se variação bidimensional na geometria das partículas, por se tratar de raspas que possuem aproximadamente a mesma espessura, havendo variação apenas nas dimensões comprimento e largura. Em relação à palha de café, observa-se variação tridimensional, devido à forma esférica e elipsoidal das partículas, sendo, esse, o agente estruturante que apresentou menor gradiente de pressão estática do ar. Com isso, considera-se coerente associar desuniformidade nas três dimensões das partículas como característica diretamente associada à permeabilidade e, conseqüentemente, menor queda na pressão estática do ar em escoamento através de camada do material.

Algumas pesquisas realizadas com diferentes resíduos orgânicos proporcionaram resultados distintos no que se refere ao gradiente de pressão estática do ar. McGUICKIN et al. (1999), trabalhando com resíduos de folhas de alface, bulbos de cebola, cama de frango e serragem de madeira nas proporções, em termos de massa fresca, de (101:130:52:1), encontraram, para vazões específicas de ar entre 0,007 e 0,04 m³ s⁻¹ m⁻², gradientes de pressão estática do ar variando entre 3 e 120 Pa m⁻¹. PAIVA (2011), monitorando o gradiente de pressão estática do ar, após 42 dias de compostagem de carcaças de frango em sistemas de leiras estáticas aeradas, encontrou, para as vazões específicas de ar de 0,06; 0,10 e 0,15 m³ s⁻¹ m⁻², gradientes de pressão estática de 299; 326 e 370 Pa m⁻¹, respectivamente.

CONCLUSÕES

O gradiente de pressão estática do ar aumentou com o acréscimo de cama de frango aos agentes estruturantes e fonte de carbono.

Todos os modelos matemáticos analisados podem ser utilizados para descrever o gradiente de pressão estática do ar, ao ser insuflado em camadas de resíduos orgânicos; no entanto, o de Shedd pode ser considerado, em termos estatísticos, o melhor para representar o fenômeno estudado.

Equações obtidas para a estimativa do gradiente de pressão estática do ar para diferentes proporções de cama de frango podem ser agrupadas, originando modelos capazes de prever a variação no gradiente de pressão para cada agente estruturante e fonte de carbono.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P.; SILVEIRA, A.; MIGUEL, A.F. Applicability of the Forchheimer equation for forced-aeration windrow composting: variation of airflow characteristics with humidity and volatile solids. **Fluid Mechanics Research**, New York, v.39, p.149-159, 2012.
- ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASAE Standards (ASAE D272.3)**. Resistance to airflow of grains, seeds, other agricultural products, and perforated metal sheets. St. Joseph, 2007. 8p.
- LI, Z.; LU, H.; REN, L.; HE, L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. **Chemosphere**, Oxford, v.93, p.1247-1257, 2013.
- MATOS, A.T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: Editora UFV, 2014. 241p.
- MATOS, A.T.; TEIXEIRA, D.L.; RIBEIRO, I.C.; PAIVA, E.C.R.; LACERDA FILHO, A.F. Demanda de potência do ventilador para aeração de material em compostagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.542-551, 2012.
- McGUCKIN, R.L.; EITEMAN, M.A.; DAS, K. Pressure drop through raw food waste compost containing synthetic bulking agents. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v.72, n.4, p.375-384, 1999.
- PAIVA, E.C.R. **Variáveis de projeto, operação de sistemas de leiras estáticas aeradas e qualidade do composto produzido com carcaças de aves mortas**. 2011. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- PAIVA, E.C.R.; MATOS, A.T.; AZEVEDO, M.A.; BARROS, R.T.P.; COSTA, T.D.R. Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.961-970, 2012.
- SILVA, N.C.L.; MATOS, A.T.; SARTORI, M.A.; MOREIRA, D.A.; BARROS, R.T.P.; LUIZ, F.A.R. Variação na pressão estática de ar insuflado em diferentes vazões específicas em colunas de material orgânico com diferentes estádios de degradação bioquímica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p.165-170, 2008.
- YANG, F.; LI, G.X.; YANG, Q.Y.; LUO, W.H. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Chemosphere**, Oxford, v.93, p.1393-1399, 2013.
- YAZDANPANA, F.; SOKHANSANJ, S.; LAU, A.K.; LIM, C.J.; BI, X.; MELIN, S. Airflow versus pressure drop for bulk wood pellets. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.35, p.1960-1966, 2011.
- YAZDANPANA, F.; SOKHANSANJ, S.; LAU, A.K.; LIM, C.J.; BI, X.; MELIN, S.; AFZAL, M. Permeability of wood pellets in the presence of fines. **Bioresource Technology**, New York, v.101, p.5565-5570, 2010.