
CONTROLE DA TEMPERATURA DO AR AMBIENTE AQUECIDO POR UM CONJUNTO GASEIFICADOR-COMBUSTOR DE BIOMASSA DE FLUXO CONCORRENTE, VISANDO AQUECIMENTO DE AVIÁRIOS

William Rosário dos Santos¹, Jadir Nogueira da Silva², Delly Oliveira Filho³, Marcio Arêdes Martins⁴

RESUMO

Um dos problemas para o uso do gaseificador para o aquecimento do ar em aviários é o desperdício de energia no período diurno, os equipamentos normalmente usados pelos avicultores, não dispõe de sistema de controle de potência térmica gerada. Nesse período, a diferença de temperatura entre o ar ambiente e a necessária para o conforto térmico das aves no interior dos galpões é menor quando comparada com o período noturno. Durante o dia, a temperatura dentro do aviário é controlada por meio de cortinas do galpão, sem que ocorra uma diminuição na queima de biomassa, o que caracteriza um desperdício de energia. Outra forma de controle da temperatura é o desligamento do sistema, o que acarreta uma constante atenção por parte do operador. Desse modo, há um potencial de economia de energia, caso venha a ser controlada a potência térmica em função da demanda, que pode ser representada pelo gradiente de temperatura. Objetivou-se com este trabalho controlar a temperatura do ar de exaustão de um conjunto gaseificador-combustor de fluxo concorrente, por meio do controle da velocidade do motor do ventilador e das entradas de ar primário e secundário no misturador. O experimento foi realizado nos laboratórios da Área de Pré-processamento de Produtos Agrícolas e de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. O sistema de aquecimento de ar foi constituído por um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente conectado a um misturador, baseado no modelo desenvolvido por Martin et al. (2006), onde foi queimado o gás produzido.

Palavras-chaves: controle, gaseificador e biomassa.

ABSTRACT

TEMPERATURE CONTROL OF AIR HEATED BY A SET BIOMASS GASIFIER- BURNER IN A CONCURRENT FLOW FOR POULTRY SHED HEATING

One of the problems of using biomass gasifier for air heating in poultry sheds is the day-time energy waste due to lack of heat generation control. The diurnal temperature differential between the air and the requirement of birds is lower than the nocturnal period. During the day, the temperature in the poultry shed is controlled by curtains, but without reducing the biomass burning. The temperature can be controlled by shutting down the system, but requires constant attention of the operator. Thus, there is a potential for energy saving if the heat generation could be controlled according to the demand, represented by the temperature gradient. This study was done to control the temperature of air exhausted from a set of gasifier-burner of concurrent flow, by controlling fan velocity and by controlling entrance of primary and secondary air into the mixer. The experiment was carried out in the Energy and Pre-processing area of Agricultural Products at the Department of Agricultural Engineering, Federal University of Viçosa. The air heating system consisted of a biomass gasifier with concurrent air flow connected to a gas burner, based on the model developed by Martin et al. (2006).

Keywords: control, gasifier and biomass.

Recebido para publicação em 31/01/2007. Aprovado em 19/11/2009

1- William Rosário dos Santos, físico, estudante de mestrado – DEA-UFV – wrsbilly@yahoo.com.br

2- Jadir Nogueira da Silva, Ph.D., Prof. Titular – DEA/UFV (Orientador) - jadir@ufv.br

3- Delly Oliveira Filho, Ph.D., Prof. Adjunto II – DEA/UFV (Co-Orientador) - delly@ufv.br

4- Marcio Arêdes Martins, D.S., Prof. Adjunto II – DEA/UFV (Co-Orientador) - aredes@ufv.br

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, há uma preocupação com questões ecológicas associadas à preservação dos recursos naturais visando à qualidade de vida atual e futura (FERREIRA et. al, 2004). Por isso, tem-se procurado desenvolver novas tecnologias que, de forma sustentável, auxiliem o desenvolvimento sócio-econômico das populações atuais e futuras, sem o esgotamento dos recursos naturais (VIEIRA, 2005).

Nesse contexto, a gaseificação de biomassa coloca-se como uma tecnologia sustentável para a geração de energia, tais como: térmicos (secadores ou aquecedores), geração de eletricidade ou substituição de combustíveis derivados do petróleo, com baixa emissão de gases poluentes (MARTIN, 2005).

A gaseificação é definida como o processo de conversão da biomassa, ou de qualquer combustível sólido em um gás energético, por meio da oxidação parcial em temperaturas elevadas. Utiliza-se para gaseificação valores de 20 e 40% da quantidade teórica de ar, de tal modo que ocorram, além de reações de oxidação (completa e parcial), principalmente reações de redução, promovendo a formação de gás combustível (MARTIN, 2006).

O processo de gaseificação de biomassa ocorre em duas etapas. Na primeira, a biomassa sofre uma pirólise, produzindo coque (com teor de carbono de até 90%), produtos solúveis (ácidos pirolenhosos), produtos insolúveis (alcatrões) e gases (hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono e nitrogênio). A etapa seguinte é a gaseificação, na qual ocorre a oxidação do carbono (coque) em monóxido de carbono, ao mesmo tempo em que ocorre o craqueamento térmico dos produtos solúveis e insolúveis (VELÁZQUEZ, 2006).

Um gaseificador ideal deverá: produzir um gás combustível limpo e de alta qualidade a partir de uma grande variedade de biomassa; trabalhar eficientemente sem exigir atenção constante de um operador; responder rapidamente às alterações de carga; ter um baixo custo e ser durável (SÁNCHEZ, 2007).

Segundo Sánchez (2007), os gaseificadores são classificados quanto aos seguintes parâmetros: poder calorífico do gás produzido, tipo de agente gaseificador, direção do movimento relativo da biomassa e do ar, pressão de trabalho e tipo e forma da biomassa.

A direção do movimento da biomassa e do agente de gaseificação define quatro tipos de gaseificadores, que são: contra-corrente, concorrente, fluxo cruzado e leito fluidizado. As espessuras das zonas de: secagem, pirólise, redução e combustão, são variáveis para cada caso.

Segundo Silva et al. (2000), a gaseificação proporciona as seguintes vantagens: alta eficiência térmica, variando de 60% a 90%, a energia produzida é menos poluente, a demanda de energia pode ser controlada e, conseqüentemente, a taxa de gaseificação pode ser monitorada e o uso da biomassa trás um impacto nulo ao meio ambiente. Entretanto, Silva et al. (2000), citam as seguintes desvantagens: a biomassa deverá ser limpa, sem a presença de elementos que possam comprometer o processo de gaseificação, o tamanho da biomassa deverá ser adequado ao gaseificador, o risco de fusão de cinzas que poderá alterar o desempenho do gaseificador e se não completamente queimados o alcatrão formado durante o processo de gaseificação, poderá gerar monóxido de carbono (CO).

Segundo Lopes (2000), a produção de calor a fogo indireto feita na maioria das fornalhas a lenha não dispõem de mecanismo de controle do processo de combustão. Essas fornalhas requerem supervisão constante do operador e, na maioria das vezes, são operadas inadequadamente, e tendo como conseqüência combustão incompleta, contaminando o ar de secagem por resíduos da combustão, prejudicando a manutenção constante da temperatura do ar durante a secagem.

O acoplamento do reator de gaseificação de biomassa a uma câmara de combustão dos gases produzidos mostrou-se uma alternativa tecnicamente viável para aquecimento direto de ar, obtendo-se ar quente e limpo para várias aplicações (VIEIRA, 2005).

Zanatta(2007), em testes usando gaseificador-combustor para o aquecimento do ar em aviários, com fogo direto, durante um período de 25 dias e funcionando 24 horas por dia, obteve uma economia de 26% de lenha em relação à fornalha, a fogo indireto. As concentrações de CO e CO₂ estiveram dentro dos limites de segurança.

Um dos problemas detectado por Zanatta (2007) foi o desperdício de energia no período diurno, tendo em vista que o equipamento utilizado por ele não dispunha de sistema de controle de potência térmica gerada. Nesse período, o gradiente de temperatura entre o ar ambiente e a necessária

para as aves no interior dos galpões foi menor quando comparada com o período noturno. Durante o dia, a temperatura dentro do aviário foi controlada por meio de cortinas do galpão, sem que houvesse uma diminuição na queima de biomassa, o que caracterizou o desperdício de energia. Desse modo, há um potencial de maior economia de energia, caso venha a ser controlada a potência térmica em função da demanda, que pode ser representada pelo gradiente de temperatura.

Neste contexto, há de se determinar os limites máximos e mínimos de potência térmica, de modo que se possa encontrar a flexibilidade de operação do gaseificador-combustor. Essa flexibilidade de operação trará melhor controle e uso racional de energia elétrica e da biomassa na produção de ar quente. Isto permitirá adequar a produção de energia de acordo com a demanda.

Tendo em vista o exposto, objetivou-se com este trabalho controlar a temperatura do ar aquecido por um conjunto gaseificador-combustor de fluxo concorrente, utilizando como combustível a biomassa de lenha de eucalipto, controlar a vazão do ar aquecido, utilizando um inversor de frequência, visando economia de energia elétrica e controlar a vazão do ar aquecido, por meio das entradas de ar primário e secundário no combustor.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos Laboratórios da Área Pré-processamento de Produtos Agrícolas e de Energia do Departamento de Engenharia

Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. O sistema de aquecimento de ar foi constituído por: reator de fluxo concorrente; combustor para queima dos gases produzidos; misturador (ar quente + ar ambiente); sistema de ventilação composto por ventilador (com capacidade para 20 m³ mim⁻¹) e motor (de potência 552 W, 220 volts trifásico da marca WEG); sistema de aquisição de dados e controle de vazão de ar.

Na Figura 1 é mostrado um croqui do sistema gaseificador combustor para efeito de melhor entendimento.

Na Figura 2 é mostrado o conjunto motor-ventilador, que teve a função de succionar o ar através da entrada de ar do reator e misturador.



Figura 2: Vista do conjunto ventilador-motor.

A determinação da umidade da lenha foi feita, conforme a norma ASTM D-3173, utilizando-se uma estufa, com circulação forçada de ar, e uma balança eletrônica com capacidade de 2,2 kg e sensibilidade de 0,01 g. Foram coletadas 12 amostras

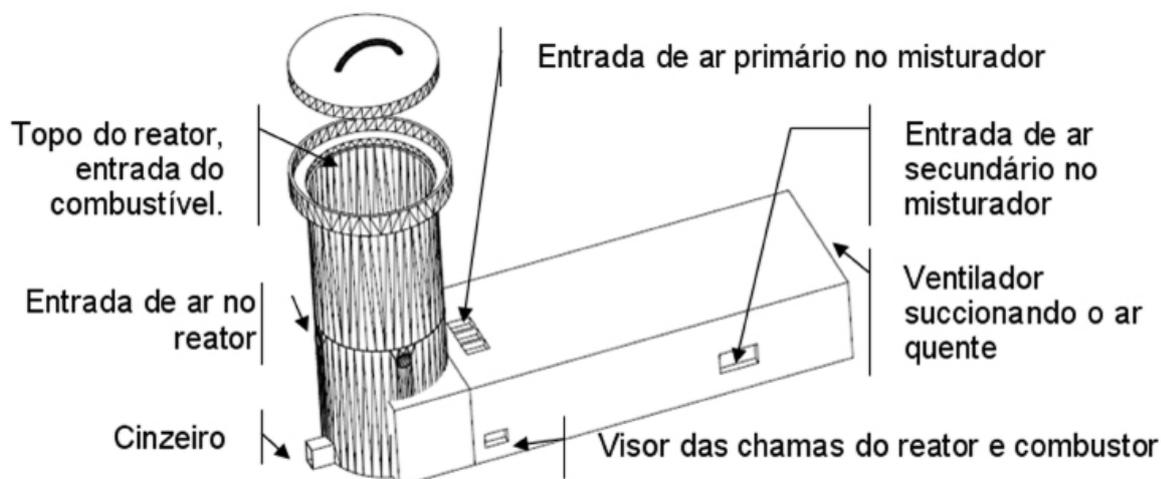


Figura 1: Croqui do gaseificador-combustor, mostrando as entradas de ar no reator e no misturador.

divididas em duas etapas para os testes, preparadas em pequenos pedaços, determinadas as massas e colocados na estufa, a temperatura de 103 ± 3 °C, até atingirem massa constante, quando então tiveram a massa e a umidade determinada novamente.

Para a determinação do poder calorífico superior (PCS) da lenha de eucalipto, foram coletados 3 amostras de lenha de eucalipto em pontos diferentes do local de armazenamento, e utilizando-se uma bomba calorimétrica, no Laboratório de Energia da Madeira, no Departamento de Engenharia Florestal da UFV, segundo as normas ASTM D-2015-66.

A determinação da granulometria média da biomassa foi feita utilizando-se um paquímetro, no qual foram retiradas 10 amostras para determinação das variações tanto do diâmetro quanto do comprimento das toras, e em seguida calculadas a média.

Antes de se iniciar a ignição, foram colocados 0,5 kg de casca de eucalipto próximo a entrada de ar no reator, para auxiliar na ignição. Para a coleta de dados foi feito o abastecimento do combustível por sistema de batelada.

Para se determinar as vazões volumétricas de ar nas entradas do reator e misturador, e na saída do ventilador utilizou-se o valor da velocidade do ar, medido por meio de um anemômetro de pás rotatórias (marca Instrutherm, modelo TAVR-650, que mede velocidades de até $45,0$ m s⁻¹, e precisão de $\pm 0,1$ m s⁻¹) e suas respectivas áreas, através da equação 1.

$$V_{AR} = VA \quad (1)$$

em que

V_{AR} = vazão volumétrica de ar, (m³ s⁻¹);

V = velocidade do ar, (m s⁻¹);

A = área, (m²).

As medidas de temperaturas foram realizadas por meio de termopares blindados do tipo K, de Cromel+Alumel, que permitiram medir temperatura no intervalo de -50° a 1300° C, com uma queda de tensão de $39,4\mu$ V °C⁻¹. Foram efetuadas medições de temperatura na saída do ventilador e à temperatura ambiente.

O controle da velocidade do motor do ventilador foi realizado por meio de um inversor de frequência marca WEG, modelo CFW08 0040 T 2024 PSZ, tensão 200-240V e 3AC, com sensibilidade de 0,01 Hz. As frequências escolhidas

para os testes foram a partir de 10 Hz a 60 Hz, em intervalos de 5 Hz.

As medidas de potência ativa do motor foram feitas por meio de um Alicata multímetro, da marca TENMARS modelo TM-1017. Para se realizar a leitura da potência, envolveu-se uma das fases com o alicata para se obter a corrente, e as outras duas fases eram usadas para se obter a leitura da tensão, e por meio do visor do medidor eram lidas as potências.

Para a realização dos testes foram feitas 3 repetições, com os seguintes valores totais de área das entradas de ar primário e secundário no misturador: 0; 0,0112; 0,0180; 0,0292; 0,0360 e 0,0472 m².

Para a determinação das vazões de operação, as entradas de ar primário e secundário no misturador foram abertas em ordem crescente de área, conforme citado na seção 3.5.5. Para cada área de entrada de ar no misturador, diminuiu-se o valor da frequência fornecida pelo inversor até o ponto em que a vazão imposta pelo ventilador, por meio do motor, fosse suficiente para que ocorresse a produção de um ar quente e limpo. A verificação do processo de combustão foi feita visualmente, por meio da abertura lateral (visor da chama), no misturador. A vazão máxima média de operação para todos os testes foi de $0,195 \pm 0,003$ m³ s⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média percentual de umidade da lenha de eucalipto utilizada como combustível nos testes, segundo as normas ASTM D-2015-66, foi de 19,41%.

Conforme laudo emitido pelo Laboratório de Energia da Madeira/DEF/UFV, segundo as normas ASTM D-2015-66, após realizar duas repetições para as três amostras de lenha, o poder calorífico superior para a amostra de lenha usada no gaseificador atingiu o valor médio de 19,98 MJ kg⁻¹ de combustível seco.

O combustível utilizado para a gaseificação foi lenha de eucalipto proveniente do setor de parques e jardins da Universidade Federal de Viçosa. A lenha selecionada teve diâmetro de $6,0 \pm 2$ cm. Em seguida transportada para área experimental e cortada com o auxílio de uma serra circular, em pedaços com largura de, aproximadamente, 4 cm.

A medida da potência ativa para os valores de frequência fornecidos pelo inversor ao motor do ventilador foi realizada utilizando o mesmo método empregado para a medição de potência ativa do motor, e os valores da potência ativa média em

função da frequência do inversor são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Potência ativa média do motor do ventilador em função da frequência do inversor de frequência.

Frequência (Hz)	60	50	40	30	20	10
Pot. (W)	326	229	180	151	136	93

De acordo com o Quadro 2 a potência ativa do motor diminui para menores valores de frequência fornecida pelo inversor de frequência, o que implica menor potencia mecânica. Isto se deve ao menor volume de ar deslocado.

Os resultados das médias de temperatura do ar de exaustão em função da vazão volumétrica ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para diferentes áreas de abertura (primário e secundário) do misturador são apresentados na Figura 3.

A leitura da temperatura do ar de exaustão foi realizada para valores decrescentes de vazão volumétrica de ar de exaustões.

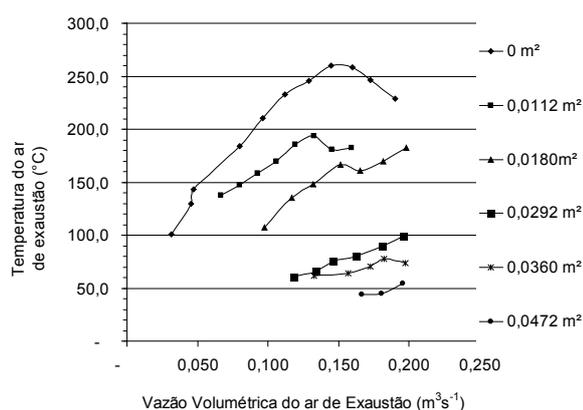


Figura 3: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do ar de exaustão em função da vazão volumétrica do ar de exaustão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), para diferentes valores de área de abertura no misturador.

Observa-se na Figura 3 que, em geral, a temperatura do ar de exaustão cresce com o aumento da vazão volumétrica do ar de exaustão, para todas as configurações de aberturas de entrada de ar no misturador.

Pode se observar também que, para uma determinada vazão, o aumento da área de abertura da entrada de ar no misturador implica em menor valor de temperatura do ar de exaustão. Isso se deve ao aumento da vazão de ar, a temperatura ambiente,

pelos entradas de ar no misturador.

No teste realizado com todas as entradas de ar do misturador fechadas, a temperatura do ar de exaustão aumentou com o aumento da vazão volumétrica, do mesmo modo que os outros testes. Entretanto, para valores de vazão volumétrica superiores a $0,150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ o comportamento foi inverso, havendo diminuição da temperatura com o aumento da vazão. Como esse teste foi o primeiro a ser realizado, e o mesmo não foi observado nos demais testes, atribuiu-se o não funcionamento do gaseificador em regime permanente durante esse período, como a possível causa da redução na temperatura de exaustão.

Os valores máximos de temperatura do ar de exaustão em função da área de abertura da entrada de ar no misturador são apresentados na Figura 4.

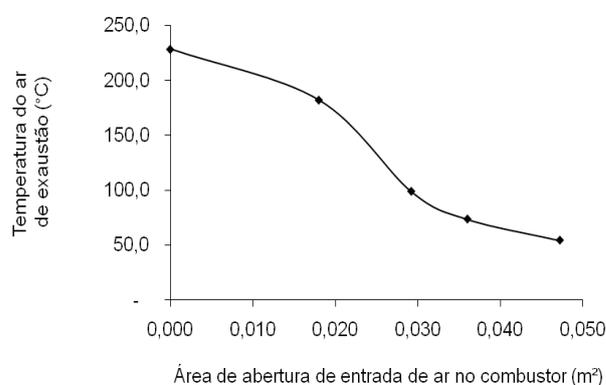


Figura 4: Valores máximos de temperatura do ar de exaustão, em função das áreas de aberturas de entrada de ar no misturador.

Foi observado que a máxima temperatura do ar de exaustão, para todas as áreas de abertura das entradas de ar no misturador, ocorreu para uma potência ativa média do motor de 326 W, entretanto houve uma diminuição da temperatura do ar de exaustão em função do aumento da área da abertura de entrada de ar no misturador. Observa-se na Figura 4 que o controle da área de entrada de ar no misturador possibilita uma variação da temperatura do ar de exaustão, para uma determinada potência do motor. Com a diminuição da potência do motor, a máxima temperatura do ar de exaustão também diminui para o aumento da área da abertura de entrada de ar no misturador.

A variação apenas da abertura da entrada do ar no misturador implica em variação de temperatura do ar de exaustão, entretanto não ocorre variação do consumo de energia elétrica.

CONCLUSÕES

Este estudo permitiu as seguintes conclusões:

- Conclui-se que a temperatura do ar quente de exaustão pode ser controlada a um valor desejado utilizando-se um inversor de frequência para controle da vazão do ventilador, ou por meio das aberturas de entrada de ar no misturador, e que o uso do inversor pode significar economia de energia elétrica e térmica;
- O controle da temperatura do ar quente por meio das aberturas da entrada de ar no misturador não implica em redução na energia elétrica gasta pelo motor do ventilador; e
- Em locais que necessitam de constante aquecimento do ar ambiente, o controle da vazão do ar aquecido por meio de um inversor de frequência é uma alternativa viável, por permitir economia de energia elétrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, W. P. M.; SILVA, J. S.; SILVA, J. N.; SOUZA, C. F. Dimensionamento de uma fornalha a carvão vegetal para aquecimento de aviário. R. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.4, 258-267, Out./Dez, 2006.

LOPES, R. P.; OLIVEIRA FILHO, D.; DONZELES, S. M. L. Controle da combustão em fornalhas a lenha. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.

LOPES, R.P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto do ar**. Viçosa: 2002. 220 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MARTIN, S.; SILVA, J. N.; TINOCO, I. F. F.; VIEIRA, A. C.; ZANATTA, F. L.; Melo, L. D. Projeto e construção de em gasificador de biomassa de fluxo concorrente. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.4, 238-238 249, Out./Dez, 2006.

MARTIN, S. **Desenvolvimento de um gasificador de biomassa de fluxo concorrente**. 2005. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SÁNCHEZ, C. G. **Tecnologia da gaseificação** (Capítulo III). Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/Gaseif-Cap3.pdf>. Acesso em: 2 de outubro de 2007.

SILVA, J. N.; SAIKI, E. T.; VILARINHO, M. C. **Gasificador/combustor a cavacos de lenha na secagem de café despulpado**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. **Perspectivas para a geração de excedentes de energia elétrica no segmento de papel e celulose com a utilização de sistemas de gaseificação/turbina a gás**. 261p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2006.

VIEIRA, A. C. **Gaseificação de briquetes de casca de eucalipto**, 2005, 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

ZANATTA, F. L. **Gaseificador de biomassa no aquecimento de aviários e sua relação com conforto térmico, qualidade do ar e desempenho produtivo de frangos de corte**, 2007, 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.