

Fornalha a Carvão para Secagem de Café e Grãos

Introdução

Na produção de grãos e café, a secagem é a operação que mais consome energia (elétrica e de biomassa). Apesar de haver à disposição do usuário equipamentos para controle de processos, a tomada de decisão para otimização de uma determinada operação cabe, também, ao operador. As operações de secagem e armazenagem, quando realizadas corretamente e com equipamentos eficientes, contribuem significativamente para a redução dos custos operacionais em razão da economia de energia que propiciam.

Além do aquecimento do ar para a secagem de grãos, outras atividades agrícolas também demandam energia térmica, como é o caso da avicultura – que não somente destaca-se como grande consumidor de energia elétrica, por utilizar grande número de equipamentos eletromecânicos – mas também pelo elevado volume de gás liquefeito de petróleo (GLP) consumido no processo de calefação, principalmente durante a fase inicial de produção, quando as aves necessitam de ambiente com temperatura próxima a 32 oC.

Portanto, usar equipamentos para aquecimento do ar (**Figura 1**) que sejam eficientes, de baixo custo e que utilizem combustíveis alternativos com alimentação e temperaturas constantes, é importante para reduzir os custos em atividades produtivas no meio rural.



Fonte: LOPES, 2002

Figura 1. Fornalha a carvão vegetal ou briquete para aquecimento do ar.

5); ciclone (**módulo 6**) e grelha (**módulo 7**). Fazem também parte do “KIT” as formas para lajes, todos construídos em aço inox, conforme detalhes mostrados mais adiante nas ilustrações que caracterizam a fornalha.

Uma fornalha, como a dimensionada neste trabalho, é ideal para um terreiro secador de (5x15) m (**Figura 2a**) ou para secadores de café comercialmente disponíveis no Brasil para até 18.000 litros de capacidade estática (**Figura 2b**). Para aquecimentos de aviários, sugere-se o redimensionamento da grelha e o dimensionamento do sistema de ventilação.

Construção da fornalha

A fornalha para aquecimento de ar usando carvão vegetal ou briquetes de madeira foi projetada em módulos para compor um “KIT” de fácil transporte e montagem pelo usuário. Fazem parte do “kit”: base (**módulo 1**); cinzeiro (**módulo 2**); câmara de combustão (**módulo 3**); pré-aquecedor ou base da carvoeira (**módulo 4**); carvoeira (**módulo**

Autores

Juarez de Sousa e Silva
Eng. Agrôn., Ph.D.
juarez@ufv.br

Roberto Precci Lopes
Eng. Agrôn., D.Sc.
roberto.precci@ufv.br

Douglas Gonzaga Vitor
Eng. Agrôn.
douglas.vitor@ufv.br

Para a construção de um terreiro híbrido ou aquecedor de aviários, devem ser adquiridos também: ventilador, termômetros e calhas de distribuição de ar.

Fonte: Dos autores



(a)

Fonte: PALINI & ALVES, 2010



(b)

Figura 2. Tipos e tamanhos de secadores que podem receber a fornalha a carvão: (a) Terreiro híbrido; (b) Secador rotativo.

Montagem da fornalha

A montagem da fornalha consiste no revestimento interno de cada módulo com paredes de tijolos maciços (comuns) ou, preferencialmente, refratários (Figura 3).

Fonte: LOPES, 2002



Figura 3. Revestimento interno dos módulos que compõem a fornalha.

Os módulos, na sequência apresentada segundo Silva et al. (2003), deverão ser unidos por meio de parafusos (fornecidos com o KIT) e separados internamente por meio das lajes de concreto, conforme Figuras (4, 5, 6, 7 e 8). A fornalha propriamente dita forma uma estrutura única com cinco módulos ou compartimentos (Figura 9).

As lajes internas da fornalha, principalmente as da câmara de combustão e da base, devem ser confeccionadas em fôrmas de aço inox, com armação de ferro 3/16 polegadas e concretadas no traço (1 x 3 x 3) com cimento, areia lavada e brita nº1.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

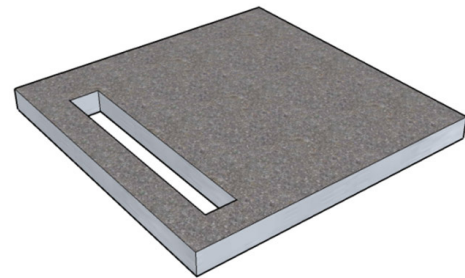
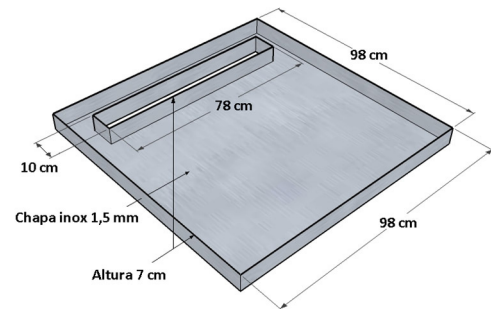


Figura 4. Forma e laje concretada para separar a base e o cinzeiro da fornalha.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

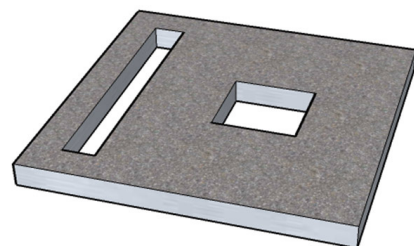
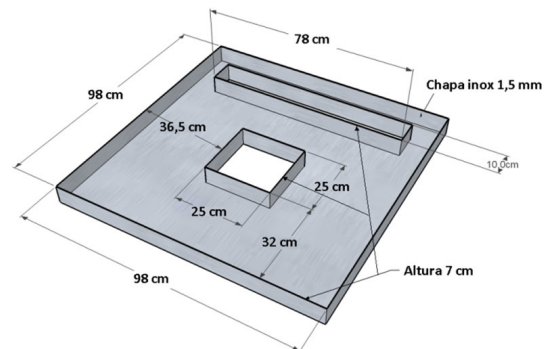


Figura 5. Forma e laje concretada para separar o cinzeiro da câmara de combustão.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

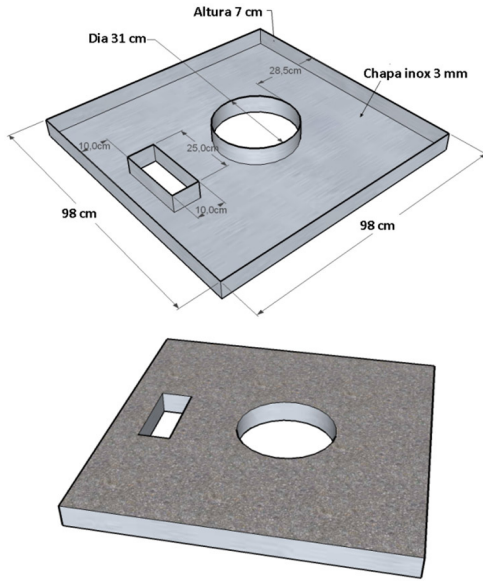


Figura 6. Forma e laje concretada para separar a câmara do pré-aquecedor.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

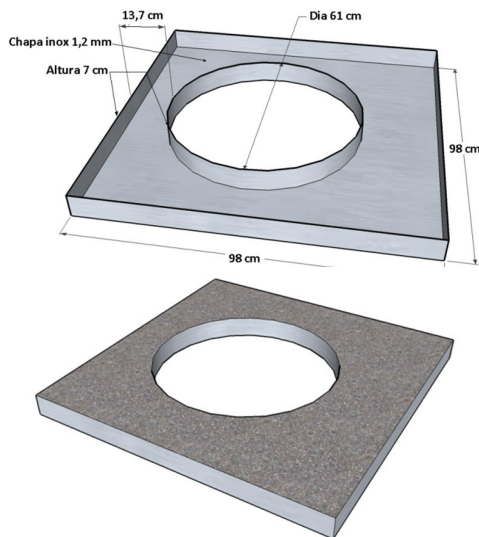


Figura 7. Forma e laje concretada para fechar o pré-aquecedor.

Uma laje circular com uma abertura no centro, de 30 cm de diâmetro, deve ser preparada para a construção do ciclone (Figura 8).

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

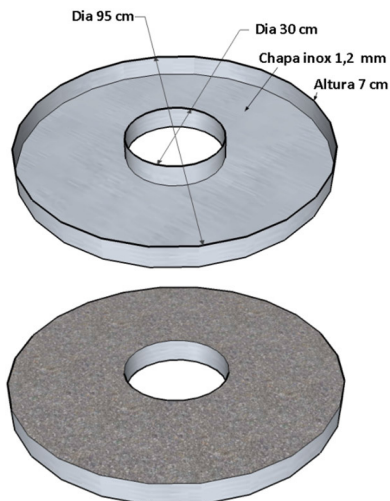


Figura 8. Forma e laje concretada para construção do ciclone.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

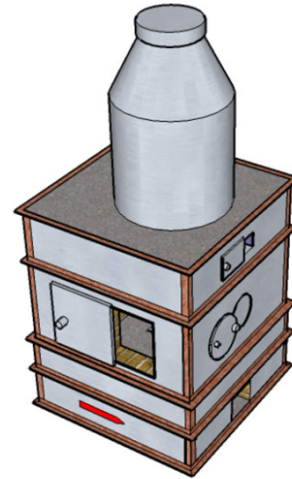


Figura 9. Componentes básicos da fornalha a carvão vegetal ou briquetes.

A base da fornalha, com dimensões externas de (98 x 98 x 25) cm, é o primeiro compartimento a ser construído. Destina-se à complementação da combustão dos gases e à condução desses gases até a entrada do ciclone. A base da fornalha, denominada câmara inferior de combustão, possui dimensões suficientes para proporcionar a complementação da combustão dos gases. Nela foram colocadas duas aberturas: uma de (20 x 25) cm, para a saída dos gases da fornalha, e outra de (20 x 20) cm, oposta à primeira, para limpeza do compartimento (Figura 10). Após completar o revestimento interno (Figura 11), deve-se colocar a laje de separação e formar a base da fornalha (Figuras 12).

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

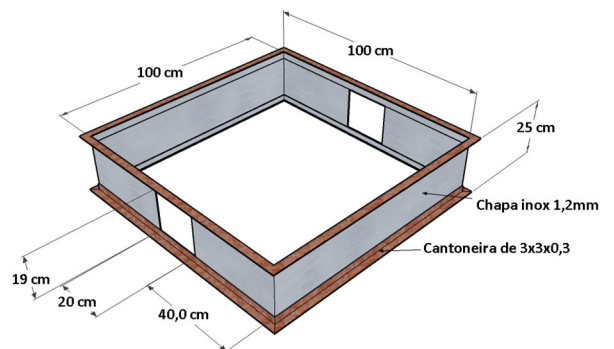


Figura 10. Módulo 1 ou base metálica para a construção da câmara inferior da fornalha.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

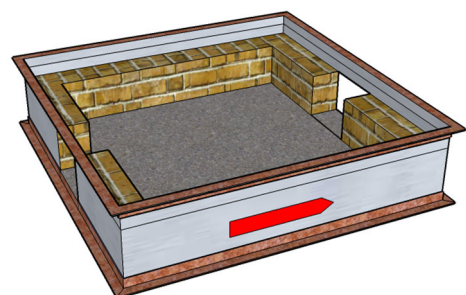


Figura 11. Câmara inferior ou base da fornalha mostrando o revestimento interno com tijolos comuns.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

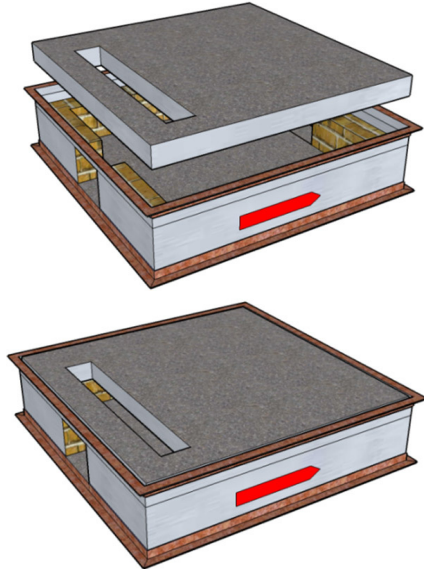


Figura 12. Base da fornalha recebendo a laje e pronta para receber o módulo cinzeiro.

O segundo compartimento (**Figura 13**), com dimensões externas de (98 x 98 x 20) cm, destina-se ao recolhimento das cinzas provenientes da combustão do carvão na célula de queima (grelha suspensa). As cinzas e pequenas brasas, ao deixarem a célula de queima, passam por uma abertura de (25 x 25) cm, localizada na laje inferior da câmara de combustão (**Figuras 13, 14 e 15**), sendo depositada no cinzeiro. Para a retirada das cinzas existe, em um dos lados desse compartimento, uma abertura de (14 x 20) cm. A **Figura 16** mostra a colocação da laje superior do cinzeiro.

Fonte: LOPES, 2002



Figura 13. Compartimento cinzeiro onde é mostrada abertura na laje da câmara de combustão por onde caem as cinzas.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

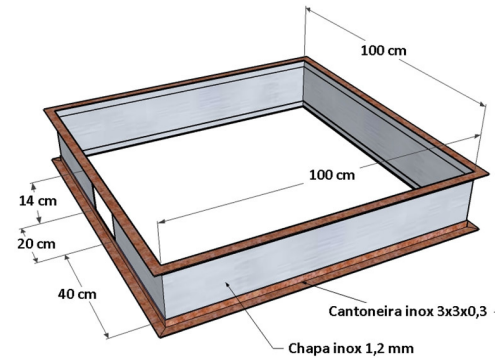


Figura 14. Módulo 2 ou base metálica para a construção do cinzeiro (observe a abertura para retirada das cinzas).

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

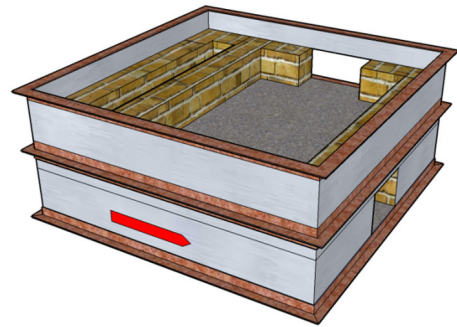


Figura 15. Módulo 2 ou cinzeiro com detalhes do revestimento interno com tijolos e montado sobre o módulo 1 ou câmara inferior.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

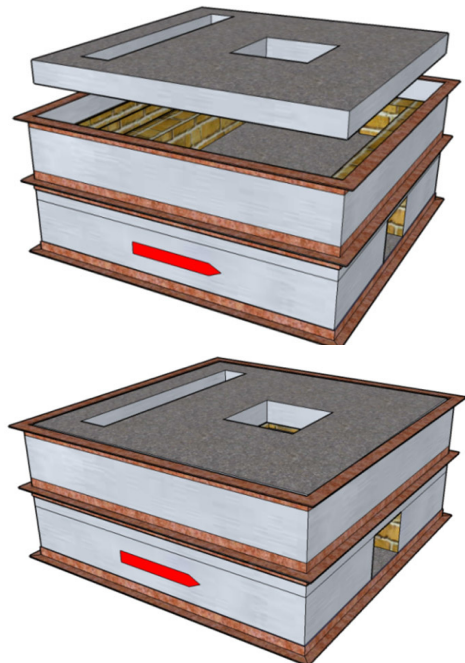


Figura 16. Módulo 2 ou cinzeiro recebendo a laje e pronto para receber o módulo 3 ou câmara de combustão primária.

O terceiro compartimento, com dimensões externas de (100 x 100 x 50) cm, é a câmara de combustão primária (**Figuras 17 e 18**). Nela é colocada a célula de queima que recebe, por gravidade, o carvão contido no depósito situado acima da câmara de combustão. O depósito de carvão é encaixado na abertura da laje superior à câmara de combustão primária (**Figura 19**).

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

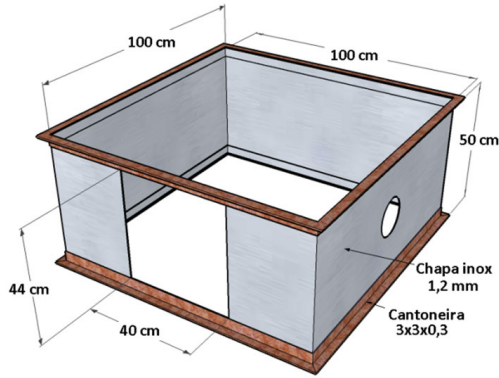


Figura 17. Módulo 3 ou base metálica para a construção da câmara de combustão (veja a abertura para acesso à grelha e para acender a fornalha).

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

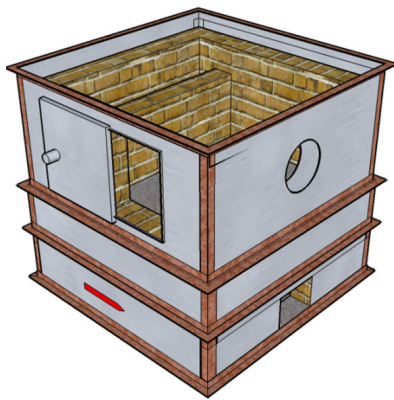


Figura 18. Módulo 3 ou câmara de combustão com detalhes do revestimento interno com tijolos e montado sobre o módulo 2 ou cinzeiro.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

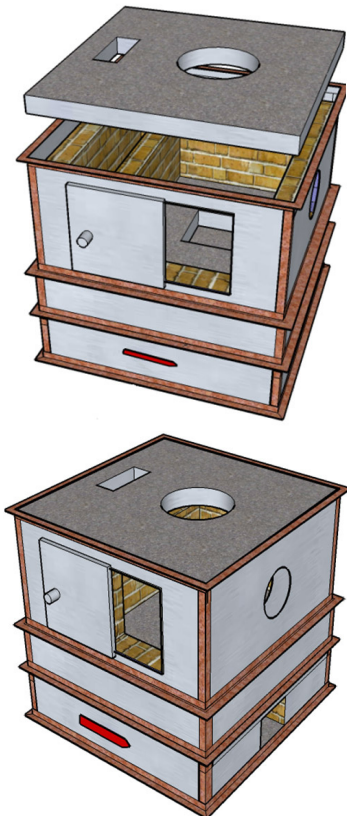


Figura 19. Módulo 3 ou câmara de combustão recebendo a laje e pronto para receber o módulo 4 ou câmara de resfriamento da base do depósito de carvão.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

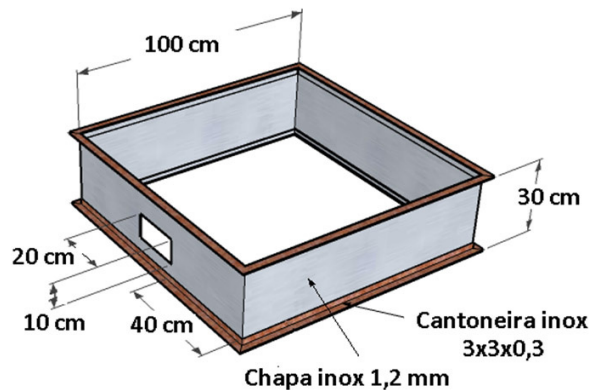


Figura 20. Módulo 4 ou base metálica para a construção da câmara de resfriamento (observe a abertura para entrada de parte do ar primário).

A câmara de combustão primária e a base da fornalha devem ser revestidas, internamente, com tijolos refratários.

Na câmara de combustão existem duas aberturas (**Figura 17**): uma para acesso à grelha e outra destinada à entrada de ar primário ou comburente.

Para a regulação do ar primário na câmara de combustão, pode ser colocado, na abertura de saída dos gases da fornalha ou na entrada do ciclone, um registro. Com isso, evita-se alterar a área de entrada de ar comburente na câmara de combustão.

O quarto compartimento (**Figura 20**), com dimensões externas de (100 x 100 x 30) cm, é o módulo superior ou de resfriamento da base do depósito de combustível, construído com o objetivo de reduzir as perdas de calor através da laje superior da câmara de combustão e resfriar a base do depósito de carvão, fazendo o pré-aquecimento de parte do ar primário (**Figuras 21 e 22**). Acoplado ao módulo de resfriamento, encontra-se o depósito de carvão e a grelha suspensa para a queima do combustível (**Figura 23**). A parte inferior do depósito de carvão comunica-se com a câmara de combustão por meio de uma abertura com 30 cm de diâmetro, situada na laje superior da câmara de combustão. Depois de acoplado o depósito de carvão, a fornalha, propriamente dita, fica com a configuração mostrada na **Figura 24**.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

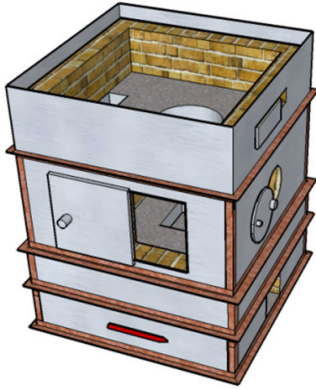


Figura 21. Módulo 4 ou câmara de resfriamento com detalhes do revestimento interno em tijolos e montado sobre o módulo 3 ou câmara de combustão.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

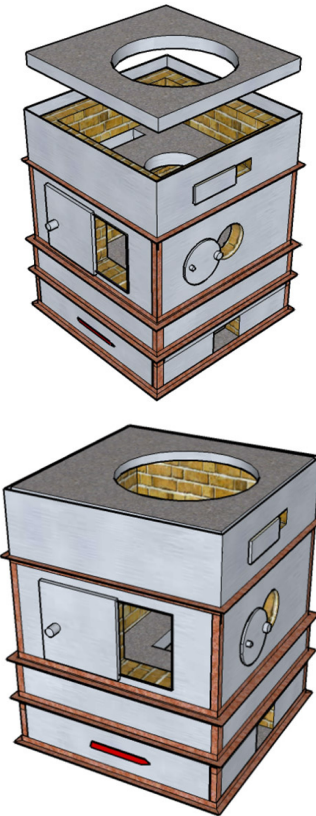
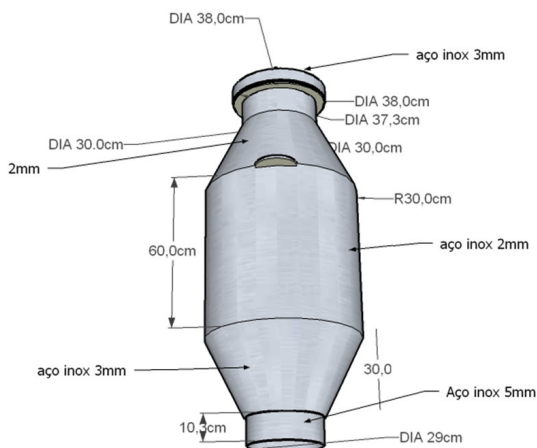


Figura 22. Módulo 4 ou câmara de resfriamento recebendo a laje e pronto para receber o módulo 5 ou depósito de carvão.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores



Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

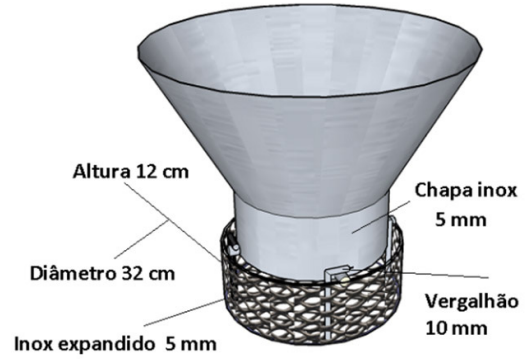


Figura 23. Módulo 4 ou câmara de resfriamento recebendo a laje e pronto para receber o módulo 5 ou depósito de carvão.

Fonte: Desenhos elaborados pelos autores

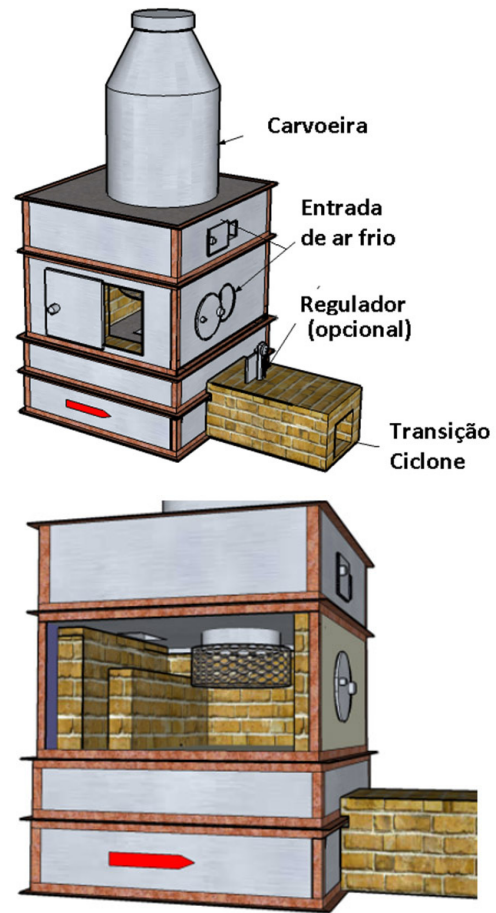


Figura 24. Configuração da fornalha com os cinco módulos montados e parafusados e detalhes da câmara de combustão com a grelha acoplada à carvoeira.

Ciclone

O ciclone ou decantador de fagulhas foi projetado segundo as recomendações de Lopes (2002). Pelo fato de o ciclone trabalhar com pressão negativa, impôs-se que as entradas de gases e de ar ambiente seriam tangenciais à parede do ciclone em sua parte inferior e superior, respectivamente.

Já a saída da mistura seria pela abertura central da laje do ciclone, via duto de conexão que o liga ao ventilador (Figura 25).

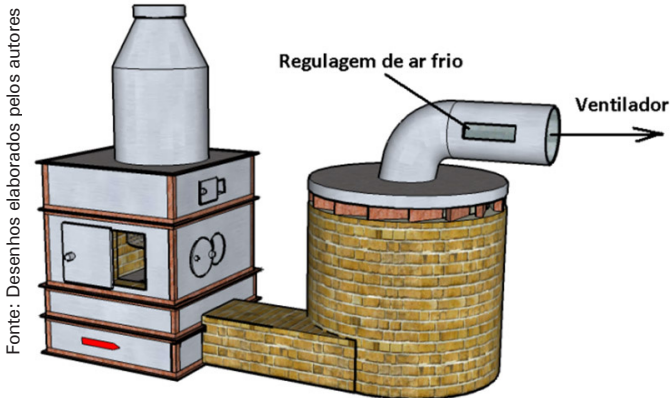


Figura 25. Detalhes da fornalha com ciclone e duto de ligação com o ventilador.

Para facilitar a construção do ciclone, deve-se usar o componente interno fornecido em aço inox como ilustrado na Figura 26. O componente interno do ciclone possui duas aberturas na base, uma para a entrada tangencial dos gases provenientes da fornalha e outra para inspeção e limpeza. Um registro pode ser instalado para regular, caso necessário, a velocidade dos gases na entrada do ciclone (Figura 24).

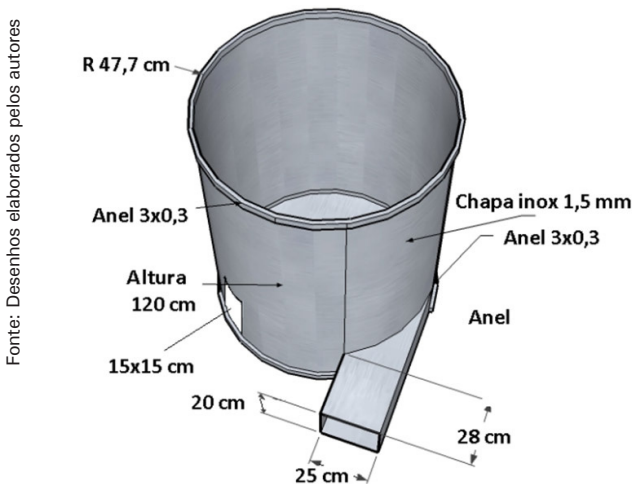


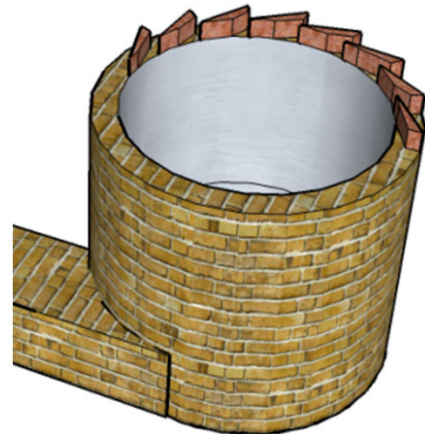
Figura 26. Detalhes internos do ciclone com entrada tangencial inferior e porta de limpeza.

Para evitar perdas de calor e acidentes devido às altas temperaturas no componente metálico do ciclone, ele deve ser revestido, externamente, com tijolos comuns como mostrado nas Figuras 25 e 27. Sobre as paredes do ciclone, constrói-se 10 a 12 aberturas tangenciais, feitas com tijolos. Para facilitar o trabalho de montagem, esse componente (Figura 28) pode ser

fornecido pelo fabricante e tem a finalidade de auxiliar na decantação das fagulhas e possibilitar a entrada de ar frio e sua mistura aos gases quentes.



(a)



(b)

Figura 27. Construção do ciclone mostrando a fôrma metálica para facilitar o assentamento e alinhamento dos tijolos (a) e a formação da coroa com aberturas tangenciais para entrada de ar (b).

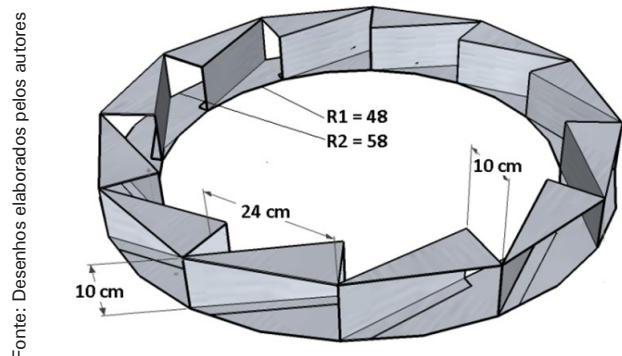


Figura 28. Coroa metálica para auxiliar a montagem do ciclone (pode ser substituída por tijolos comuns).

Uma laje circular, com abertura central de 30 cm de diâmetro (Figuras 8 e 25), deve ser colocada sobre o ciclone. Finalmente, um duto com dimensões apropriadas deve ligar o ciclone ao secador ou ao sistema de ventilação para aquecimento de

ambientes (**Figuras 25 e 29**). Na transição entre o ciclone e o elemento a ser aquecido, deve-se adaptar um registro para controlar a entrada de ar frio e, conseqüentemente, a temperatura de trabalho (**Figuras 24 e 29**).

Para interligar o ciclone ao ventilador, pode-se, também, construir-se um duto de alvenaria com uma ou duas aberturas laterais para regular a entrada de ar frio (ambiente) como ilustrado nas **Figuras 29 e 30**.

Fonte: SILVA et al., 2000

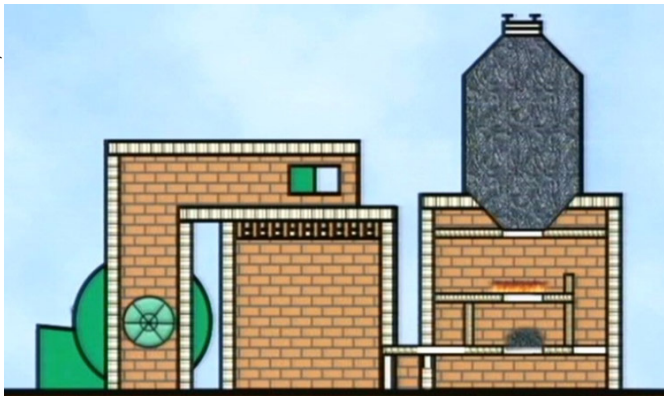


Figura 29. Corte longitudinal da fornalha mostrando a opção por construir um duto (30x30 cm) em alvenaria para ligar o ciclone ao ventilador.

Ventilador

Os gases da combustão de biomassa podem trazer partículas em suspensão. Em muitas aplicações, como na secagem de produtos agrícolas, a movimentação desses gases requer a utilização de ventiladores resistentes à temperatura do fluido e à ação corrosiva das partículas que o ar leva com o passar do tempo. Dentre os tipos de ventiladores centrífugos, os de pás radiais possuem características que os tornam adequados à utilização em fornalhas de aquecimento direto. Os de pás retas evitam o acúmulo de impurezas, facilitam a construção e são de baixo custo.

Para succionar o ar primário, os gases provenientes da combustão e o ar ambiente necessário à mistura com os gases quentes e para fornecer a vazão de ar necessária à secagem, um ventilador centrífugo de pás retas (em número de oito) é usado (**Figura 30**) para atender a um secador de camada fixa (5m de diâmetro) ou a um terreiro híbrido de 5x15m. Silva (2008) fornecem os detalhes para a construção do ventilador.

Fonte: LOPES, 2002



Figura 30. Detalhes do ventilador centrífugo usado para succionar os gases através da fornalha e fornecer o fluxo de ar necessário à secagem.

Funcionamento da fornalha

O funcionamento da fornalha tem início com o escorvamento do carvão no interior da célula de queima ou grelha suspensa, após o abastecimento do depósito de combustível, cuja capacidade é de aproximadamente 75 kg de carvão e suficiente para trabalhar sem abastecimento por até dez horas.

A grande vantagem da fornalha reside no fato de fornecer o ar quente com pouca variação de temperatura. A elevação ou abaixamento de temperatura é função direta das variações ambientais. Portanto, quase não há necessidade de regulagem de temperatura durante o decorrer do dia. Caso seja necessário um valor constante, durante todo o período, pode-se adaptar um sistema automático para regular a entrada de ar comburente.

O material sólido (carvão ou briquete) proveniente do depósito de combustível alimenta continuamente, pela ação da gravidade, a célula de queima situada na câmara de combustão. Um registro manual, localizado na saída dos gases da fornalha, controla a entrada de ar comburente na câmara de combustão, permitindo que quantidades maiores ou menores de ar sejam admitidas. À medida que o combustível vai se deslocando para a parte inferior do depósito, a temperatura na sua superfície vai se elevando até atingir, na célula de queima, a temperatura de ignição.

O oxigênio do ar, ao passar pela grelha suspensa (zona de reação), entra em contato com o combustível sólido, desencadeando as reações de oxidação do combustível, gerando maior ou menor quantidade de calor de acordo com a quantidade de ar comburente admitida.

As cinzas resultantes da combustão descem continuamente, por gravidade, para o compartimento cinzeiro, localizadas abaixo da câmara de combustão. Pequenas brasas, que atravessam a malha da grelha, completam a combustão no cinzeiro (**Figura 31**).

Fonte: LOPES, 2002



Figura 31. Detalhe do interior do cinzeiro mostrando a complementação da combustão.

Os gases da combustão (**Figura 32**) são conduzidos até o ciclone pela diferença de pressão estabelecida pelo ventilador entre os pontos de entrada e de saída dos fluídos gasosos no interior da fornalha. Os gases, ao entrarem tangencialmente no ciclone, adquirem trajetória em espiral, fazendo com que as partículas, pela ação da força centrífuga, colidam contra a parede do cilindro, perdendo velocidade, decorrente do atrito, e favorecendo sua decantação. Simultaneamente, os gases, em movimento espiralado, são succionados para cima, pela parte central do ciclone (**Figura 32 e 33**).

Fonte: LOPES, 2002

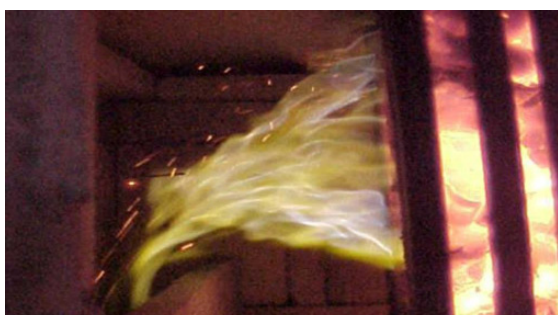
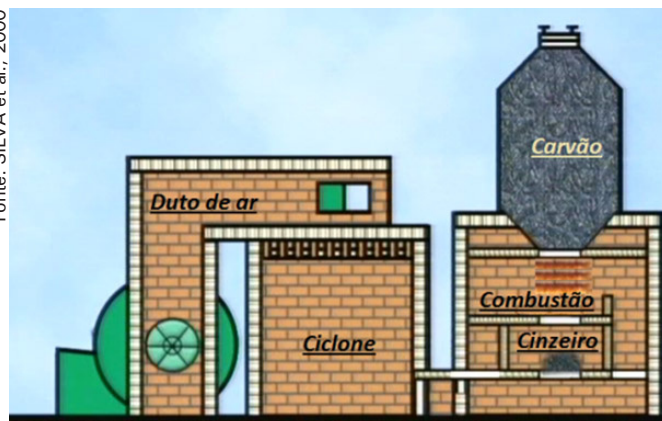
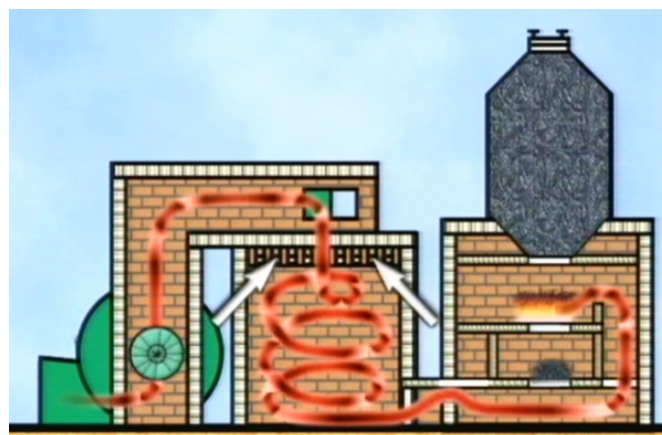


Figura 32. Detalhes da combustão na grelha e coloração das chamas na saída.

Fonte: SILVA et al., 2000



(a)



(b)

Figura 33. Corte longitudinal da fornalha, mostrando seus componentes (a) e trajetória dos gases de combustão (b).

Devido ao movimento em espiral, partículas incandescentes são apagadas durante sua trajetória no interior do ciclone (**Figura 34**). Aberturas laterais, situadas no duto de ligação entre o ciclone e o ventilador, permitem a mistura do ar ambiente com os gases quentes, provenientes da fornalha, cuja temperatura é indicada por um termômetro instalado na saída do ventilador. O ventilador, após succionar a mistura dos gases da combustão e do ar ambiente, fornece uma vazão de ar aquecido propícia à secagem de produtos agrícolas ou para aquecimento de ambientes. O fluxo de gases no interior da fornalha é ilustrado na **Figura 33b**. O funcionamento completo da fornalha pode ser vista no vídeo após clicar na **Figura 35** para a versão eletrônica deste trabalho.

Fonte: LOPES, 2002

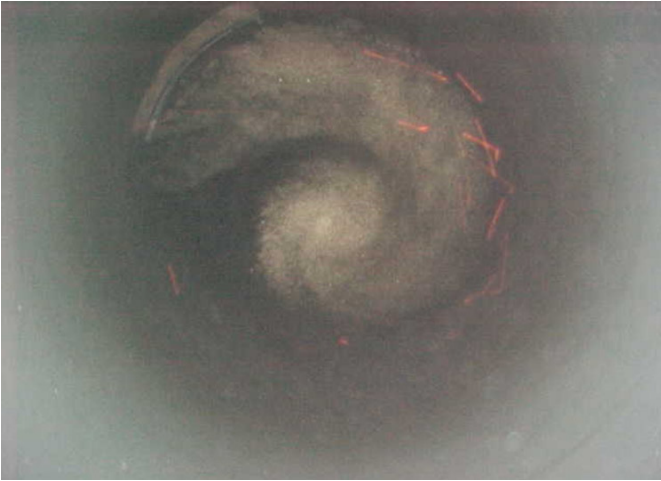


Figura 34. Detalhe do ciclone mostrando o movimento dos gases em seu interior.

Fonte: SILVA et al., 2000

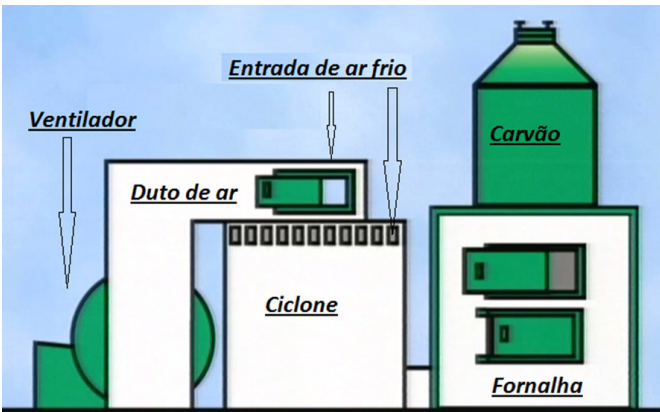


Figura 35. Funcionamento da Fornalha.

SILVA, J. S. (Ed.). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. 2. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. 560 p.

SILVA, J. S. et al. Construção e operação de terreiro-secador de café. Viçosa, MG: CPT, 2000. 90 p.

SILVA, J. S. et al. Sistemas híbridos para secagem: solar e biomassa. Viçosa, MG: JARD, 2003. 64 p.

Referências

LOPES, R. P. Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto de ar. 2002. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

Circular Técnica, 2

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:
Embrapa Café

Endereço: Parque Estação Biológica - PqEB,
Av. W3 Norte (final), Ed. Sede
70770-901, Brasília - DF

Fone: (61) 3448-4010

Fax: (61) 3448-1797

E-mail: sac.cafe@sapc.embrapa.br

1ª Edição

1ª Impressão (2013): 1.000 exemplares



Comitê de Publicações

Presidente: Lucas Tadeu Ferreira

Vice-Presidente: Jamilsen de Freitas Santos

Secretária-Executiva: Adriana Maria Silva Macedo

Membros: Anísio José Diniz, Antonio Fernando Guerra, Carlos Henrique Siqueira de Carvalho, Cristina Arzabe, Helena Maria Ramos Alves, Maurício Sérgio Zacarias, Sergio Mauro Folle.

Expediente

Supervisão Editorial: Adriana Maria Silva Macedo

Revisão de texto: Flávia Raquel Bessa

Normalização bibliográfica: Alessandra Rodrigues da Silva

Tratamento das ilustrações: Thiago Farah Cavaton

Editoração eletrônica: Thiago Farah Cavaton

Impressão e acabamento: Embrapa Informação Tecnológica