



SIDERURGIA
SUSTENTÁVEL

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CARVÃO VEGETAL

SISTEMA

FORNOS - FORNALHA

MANUAL DE OPERAÇÃO



Brasília, DF
MMA
2019

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

JAIR BOLSONARO

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro

RICARDO SALLES

MINISTÉRIO DA ECONOMIA

Ministro

PAULO GUEDES

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

Ministro

MARCOS PONTES

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**

Ministra

TERESA CRISTINA DIAS

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Governador

ROMEU ZEMA

Ministério do Meio Ambiente
Ministério da Economia
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Governo de Minas Gerais
Universidade Federal de Viçosa
Sistema FAEMG/Senar



PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CARVÃO VEGETAL

SISTEMA

FORNOS-FORNALHA

MANUAL DE OPERAÇÃO

Brasília, DF
MMA
2019

© 2019 Ministério do Meio Ambiente – MMA

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citados as fontes do Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Economia, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Universidade Federal de Viçosa e Sistema FAEMG/Senar ou ainda, os sítios da Internet nos quais podem ser encontrado o original em:

<http://www.mma.gov.br/publicacoes-mma>

<http://www.emater.mg.gov.br>

<http://www.sistemafaemg.org.br/Senar>

<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/mg?codUf=14>

<http://www.dcf.ufva.br/site>

<http://www.def.ufv.br>

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Angélica de Cassia Oliveira Carneiro

Daniilo Barros Donato

APOIO LOGÍSTICO

Harrisson Belico Coelho

Carla Gonçalves dos Santos

COORDENAÇÃO METODOLÓGICA E REDAÇÃO

Rosa Maria de Rezende Mafra

FOTOGRAFIA

Mateus Mendes

CONSULTORIA TÉCNICA

Daniilo Barros Donato

PROJETO GRÁFICO

DIAGRAMAÇÃO

INFOGRAFIAS

Brava Design

APOIO TÉCNICO

Sálvio Teixeira Rodrigues

Artur Queiroz Lana

Humberto Fauller

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação - CIP

B823p Brasil. Ministério do Meio Ambiente.

Produção sustentável de carvão vegetal : manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019.

60 p. : il. , (algumas color.)

ISBN: 978-85-7738-433-4

1.Carvão vegetal. 2.Carbonização de madeira. 3.Queimadores de gás.
4.Gases de efeito estufa. 5.Sustentabilidade no trabalho. I.Título.

CDU: 662.712:628.512

Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente
Maria Ivana CRB 1/1556



REPRESENTANTES DO PROJETO SIDERURGIA SUSTENTÁVEL NO GOVERNO FEDERAL, ESTADUAL E PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD:

Ministério do Meio Ambiente (Diretor Nacional do Projeto Siderurgia Sustentável)

Secretaria de Relações Internacionais – SRI

Departamento de Economia Ambiental e Acordos Internacionais

Adriano Santhiago de Oliveira - Diretor Nacional do Projeto Siderurgia Sustentável

Carmen Tavares Collares Moreira - Coordenadora Nacional do Projeto Siderurgia Sustentável

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Secretaria de Política Agrícola - SPA/MAPA

Coordenação-Geral de Apoio à Comercialização da Agricultura Familiar

João Antonio Fagundes Salomão

Gustavo Henrique Marquim Firmo de Araújo

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Secretaria de Empreendedorismo e Inovação - SEMPI

Departamento de Tecnologias Estruturantes - DETEC

Coordenação-Geral de Estratégias e Negócios - CGEN

Eduardo Soriano Lousada

Gustavo de Lima Ramos

Ministério da Economia

Secretaria de Produtividade, Emprego e Competitividade

Subsecretaria de Desenvolvimento Produtivo, de Rede e Industrial

Coordenação-Geral de Competitividade Industrial

Gustavo Saboia Fontenele e Silva

João Pignataro Pereira

Klenize Chagas Fávero

Governo de Minas Gerais

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER-MG

Sérgio Brás Regina

Thiago Emmanuel de Almeida

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projetos GEF/DIM

Unidade de Desenvolvimento Sustentável – Planeta

Rose Diegues

Saenandoah Tiradentes Dutra

Mônica de Oliveira Santos da Conceição

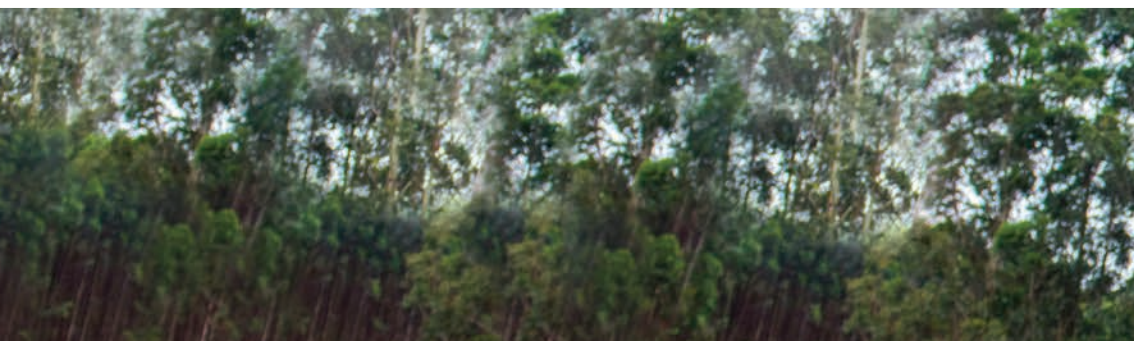
Cláudia Câmara

Michelle de Rezende Souza

Matheus Valério Fontenelle Mesquita



**VISTA DA UNIDADE DEMONSTRATIVA
LOCALIZADA EM LAMIM-MG**



SUMÁRIO

	Apresentação	9
	Introdução	11
1	CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA NO SISTEMA FORNOS-FORNALHA.....	13
	1.1. Saiba avaliar a qualidade da madeira	18
2	ENCHIMENTO DOS FORNOS.....	21
3	IGNIÇÃO DOS FORNOS.....	28
	3.1. Controle da Carbonização no Sistema Fornos-Fornalha.....	34
4	OPERE A FORNALHA	41
	4.1. Finalize a carbonização.....	49
5	DESCARREGAMENTO DO FORNO.....	53
	Referências	60





PROJETO SIDERURGIA SUSTENTÁVEL



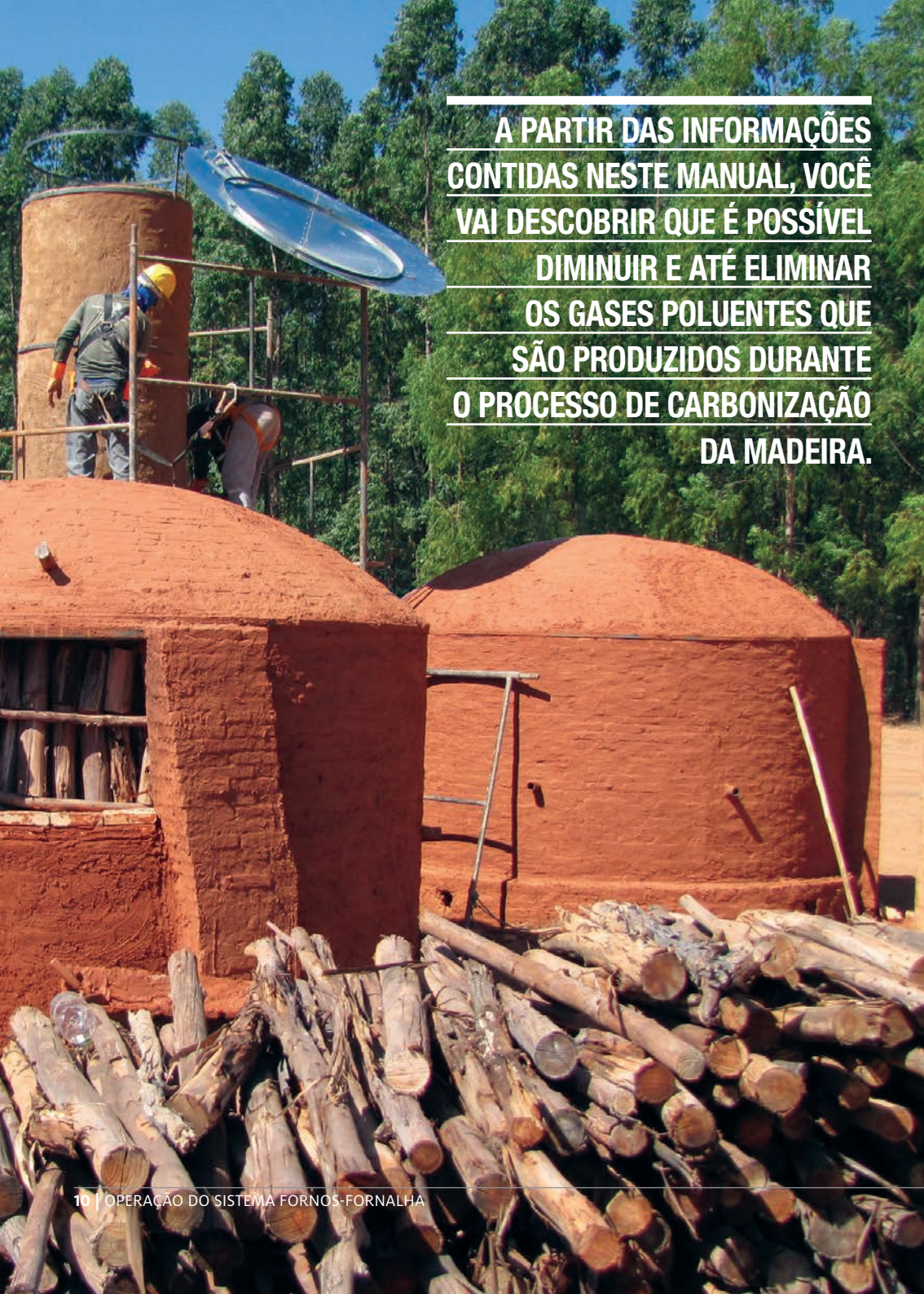
O Projeto Siderurgia Sustentável foi criado para incentivar a redução de emissões de gases de efeito estufa na siderurgia brasileira. Para atingir seu objetivo, o Projeto busca o desenvolvimento e a demonstração de tecnologias e processos sustentáveis para a produção e uso de carvão vegetal na indústria de aço, ferro-gusa e ferroligas de forma mais competitiva, colaborando para o fortalecimento tecnológico do setor industrial brasileiro, com amplo apoio à pesquisa e inovação.

O Projeto conta com recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) e é implementado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), com coordenação técnica do Ministério do Meio Ambiente, sendo executado em conjunto com o Ministério da Economia; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e o Governo de Minas Gerais.

Este Manual faz parte dos esforços do Projeto Siderurgia Sustentável para incentivar a adoção de tecnologias produtivas mais limpas e eficientes e também capacitar produtores para a produção sustentável de carvão vegetal. Com isso, espera-se contribuir para que o produtor tenha uma maior viabilidade do negócio, uma melhor qualidade do ambiente de trabalho e uma maior diversificação da produção no setor rural.

O Projeto está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que têm como proposta erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade.





**A PARTIR DAS INFORMAÇÕES
CONTIDAS NESTE MANUAL, VOCÊ
VAI DESCOBRIR QUE É POSSÍVEL
DIMINUIR E ATÉ ELIMINAR
OS GASES POLUENTES QUE
SÃO PRODUZIDOS DURANTE
O PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO
DA MADEIRA.**



INTRODUÇÃO

Este Manual é destinado a você, prezado(a) leitor(a), seja produtor(a) de carvão vegetal, forneiro(a) ou empresário(a) que se interessa pela atividade. Ele contém informações importantes sobre como operar os fornos de carbonização com queima de gases, um sistema que permite produzir melhor e reduzir a emissão de fumaça.

Com este Manual, você conhecerá quais passos são necessários para operar o sistema fornos-fornalha, uma tecnologia que é fruto de pesquisa da Universidade Federal de Viçosa (UFV) com o objetivo de tornar a produção de carvão vegetal mais eficiente e sustentável.

Essa tecnologia é oferecida aos pequenos e médios produtores rurais por meio do Projeto Siderurgia Sustentável e traz ganhos de rendimento, além de produzir um carvão vegetal de maior qualidade, sem prejudicar a saúde de quem opera os fornos e sem poluir o meio ambiente.

Este Manual se torna, assim, uma ferramenta útil para consultas em caso de dúvidas durante a operação do sistema fornos-fornalha, ou para reforço da sua aprendizagem.

O Projeto Siderurgia Sustentável espera que você se sinta motivado a ler e pesquisar mais sobre como produzir carvão vegetal de forma mais eficiente, sem desperdício, com melhor ambiente de trabalho e sustentabilidade.

Para mais informações sobre como se capacitar para a construção e operação do sistema fornos-fornalha, procure o Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa, o Senar ou a Emater em Minas Gerais.





CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA NO SISTEMA FORNOS-FORNALHA

A Carbonização, também chamada de pirólise lenta, é o processo de degradação parcial da madeira pela ação do calor.

Para que o processo de carbonização aconteça, é necessário controlar a entrada de oxigênio e aumentar gradativamente o calor, até uma temperatura máxima de 360 °C na Cúpula do forno.

FATORES RESPONSÁVEIS PELO BOM RENDIMENTO E QUALIDADE DO CARVÃO

O maior rendimento e a qualidade do carvão dependem essencialmente de 2 fatores:

- qualidade da madeira;
- condução correta da carbonização.

ATENÇÃO



PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL DE QUALIDADE UTILIZE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO, COM CARACTERÍSTICAS ADEQUADAS PARA ESTA FINALIDADE.



EXIGÊNCIAS DA LEGISLAÇÃO MINEIRA PARA A PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

As Leis: 14.309 de 2002 e 20.922 de 2.013 contêm orientações e exigências referentes à produção de carvão vegetal, tais como:

- Licenciamento Ambiental para instalação, produção e comercialização de carvão vegetal, por unidade produtora;
- Alvará de Funcionamento da unidade produtora;
- Documento de corte e comercialização (DCC), dentre outros.

As exigências para uma infraestrutura básica de produção de carvão são:

- Instalações para trabalhadores: alojamento, refeitório com água potável e sanitário(s);
- Instalações operacionais: compartimento para ferramentas, EPIs e outros materiais;
- Áreas apropriadas para o estoque da madeira cortada e do carvão produzido.





Conheça os EPIs a serem usados pelo trabalhador na Unidade de Produção de Carvão



LUVAS DE BORRACHA



LUVAS DE VAQUETA



PROTETOR AUDITIVO



ÓCULOS DE SEGURANÇA



CALÇA DE SEGURANÇA



MÁSCARA DE SEGURANÇA



CAPACETE



BOTINAS DE SEGURANÇA



PERNEIRAS



AVENTAL DE VAQUETA

Conheça os cuidados gerais com segurança

De modo geral, esses cuidados se referem à segurança pessoal e relacionada a terceiros.

A segurança pessoal requer treinamentos específicos, feitos previamente pelos trabalhadores, antes que comecem a trabalhar na Unidade de Produção.

Nos treinamentos os trabalhadores aprendem a usar corretamente os Equipamentos de Proteção Individual

(EPIs) e a lidar com tudo que acarrete riscos à saúde pessoal e de terceiros, ou seja: ferramentas, máquinas, eletricidade, fogo, animais, etc.

Entenda o que seja segurança de terceiros no ambiente de trabalho

A segurança de terceiros se resume a evitar a presença de crianças e de demais pessoas estranhas ao trabalho, nos locais de risco.

Saiba quais EPIs devem ser usados obrigatoriamente, conforme as atividades de trabalho, na Unidade de Produção

ATIVIDADES DE TRABALHO INDIVIDUAL

- Construção do sistema.
- Fechamento do forno.

- Preparo da madeira (corte e armazenamento).

- Enchimento do forno.
- Abertura e descarregamento.

- Ignição do forno e fornalha.

- Controle da carbonização.
- Operação da fornalha.

EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO

Luvas de borracha, capacete e botinas de segurança.

Calça de segurança, botinas, perneiras, luvas de vaqueta, protetor auditivo de espuma, óculos de segurança, capacete e avental ou macacão para operação da motosserra.

Botinas de segurança, capacete, máscara de segurança ou respirador, luvas e avental de vaqueta.

Capacete, botinas de segurança, luvas e óculos.

Botinas de segurança, capacete, máscara de segurança ou respirador, luvas de vaqueta, além do avental de vaqueta, no descarregamento.



1.1 Saiba avaliar a qualidade da madeira

Avalia-se a qualidade da madeira, principalmente, pela sua densidade básica, pelo teor de umidade e pela composição química.

A) Saiba como a densidade da madeira interfere na qualidade do carvão

Madeiras mais densas produzirão carvão mais denso, ou seja, com mais massa, considerado um carvão de qualidade, que é comercializado não só pelo volume, mas também pelo peso.

B) Entenda o que seja “teor de umidade da madeira”

O teor de umidade é a relação existente entre a massa de água e a massa de madeira seca contidas na peça de madeira.

O ideal é que o teor de umidade da madeira a ser carbonizada esteja em torno de 30 a 40%. Madeira com umidade acima deste valor é considerada “verde”, não sendo recomendada para a produção de carvão vegetal, pois afeta o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão.

ATENÇÃO

AS TORAS DEVEM SECAR EMPILHADAS AO AR LIVRE, DURANTE 90 A 150 DIAS. ASSIM, FICARÃO PRONTAS PARA SEREM CARBONIZADAS, TRANSFORMANDO-SE EM CARVÃO DE QUALIDADE.

C) Conheça os fatores que podem interferir na secagem da madeira ao ar livre

Dentre os fatores que podem interferir (favorecendo ou dificultando) a secagem da madeira ao ar livre, estão:

- As condições do local onde a madeira permanece secando.
- A temperatura ambiente, a movimentação e a umidade relativa do ar.
- O diâmetro da madeira.
- O percentual de cerne e alborno.



D) Conheça as recomendações sobre o comprimento e o diâmetro das peças de madeira a carbonizar

Comprimento das peças: Para caber no forno as peças de madeira devem ter comprimento compatível com a altura da parede do forno.

Diâmetro das peças: O diâmetro ideal das peças deve estar entre 6 e 20 centímetros.

ATENÇÃO PARA COM O DIÂMETRO DAS PEÇAS:

- Peças com diâmetro maior que 20 cm são pesadas, difíceis de manusear, demoram mais tempo para secar e produzem carvão mais quebradiço.
- Peças com diâmetro menor que 6 cm dificultam o arranjo dentro do forno, aumentando assim, o tempo gasto para o carregamento e, conseqüentemente, o custo da mão de obra, por isso devem ter outra destinação.

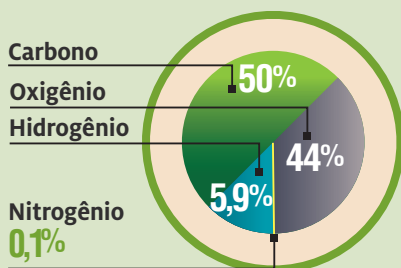
E) CONHEÇA A COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DA MADEIRA FOLHOSA- EUCALIPTO

Constituintes do eucalipto.....%

Celulose	46%
Hemiceluloses	23%
Lignina Total	27%
Extrativos Totais.....	3,5%
Cinzas.....	0,5%

ATENÇÃO A Lignina é um dos componentes da madeira de fundamental importância para a produção de carvão vegetal. Madeiras com maior teor de lignina resultarão em maior rendimento de carvão.

F) SAIBA EM QUE PROPORÇÃO OS ELEMENTOS QUÍMICOS ESTÃO PRESENTES NA MADEIRA



Fonte: Manual "Produção Sustentável de Carvão Vegetal" - 1ª edição, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, MG, 2013.





ENCHIMENTO DOS FORNOS

Durante o enchimento do forno, deve-se atentar para o tamanho das toras e para a maneira de colocá-las, ou seja:

- Separe a madeira a ser carbonizada, cada forno tem capacidade para comportar cerca de 9,5 metros estéreos de lenha por carbonização.
- Para garantir uma carbonização mais homogênea, que resultará em um carvão de maior qualidade, recomenda-se carbonizar separadamente toras finas (6 a 14 cm de diâmetro), e toras grossas (15 a 20 cm de diâmetro).
- As toras devem ser compatíveis com a altura da parede do forno para sua melhor ocupação, ou seja, elas devem ser cortadas com 1,7 m de comprimento.

SAIBA COMO CALCULAR O VOLUME DE MADEIRA DO FORNO

$$V_n = \left(\frac{\pi D^2}{4} h \right) + \pi f \left(\frac{D^2}{8} + \frac{f^2}{6} \right)$$

D = Diâmetro do forno (m)

h = Altura da parede do forno (m)

f = Flecha (m)

Obs.: Flecha = Altura total no centro do forno – altura da parede do forno.

Volume nominal = 13,84 m³

Volume de madeira = 9,5 st de lenha



ATENÇÃO



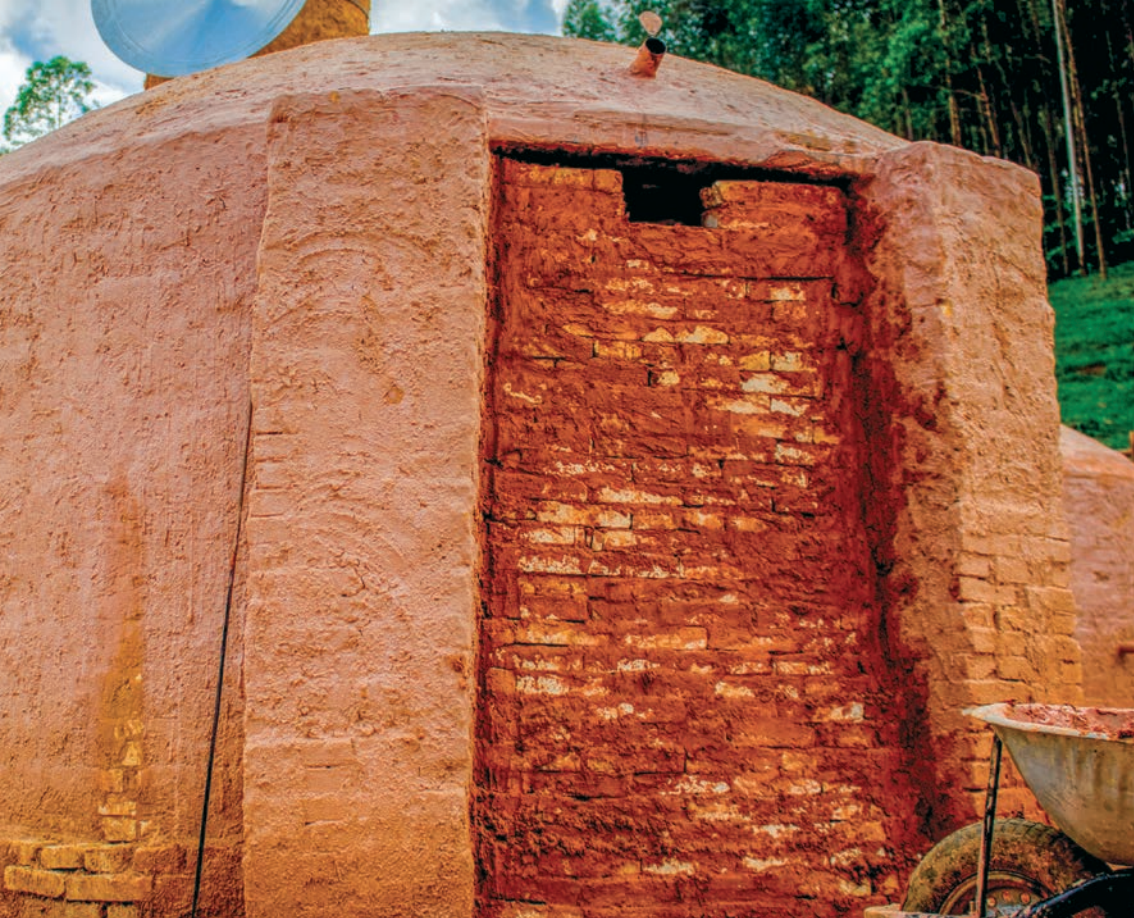
- As toras devem ser colocadas no forno, de pé (na vertical), do fundo para a porta.
- Toras de maiores diâmetros, mais grossas, devem ser colocadas nas extremidades do forno, próximas aos "tatus" e porta. As de menores diâmetros, mais finas, devem ser posicionadas ao centro do forno.
- Ao iniciar o enchimento no fundo do forno, encoste as toras na parede um pouco inclinadas, para não obstruírem a saída da fumaça.
- Para completar a parte de cima do forno, a porção da cúpula, coloque toras de menor comprimento deitadas sobre as outras que foram colocadas em pé, preenchendo os espaços vazios.
- Na região superior da porta, coloque um pouco de cascas ou outro material fino e seco para facilitar a ignição do forno.



FECHE AS PORTAS DO FORNO

Fecha-se a porta construindo uma parede de 10 cm de espessura, com tijolos entremeados por argamassa de solo argiloso e água.





01 DEIXE UMA ABERTURA NA PARTE SUPERIOR DA PORTA, PARA A IGNIÇÃO

Deve-se deixar uma abertura de aproximadamente 20 x 20 cm na parte superior da porta de cada forno, por onde será procedida a ignição da madeira.

02 DEIXE UMA ABERTURA NA PARTE INFERIOR DA PORTA

Deve-se deixar uma abertura central de aproximadamente 10 x 10 cm na base da porta, para entrada de ar, que irá ajudar na ignição e será utilizada somente no início da carbonização.



03 FAÇA O BARRELAMENTO DA PORTA

Finaliza-se o fechamento de cada porta com o barrelamento, melhorando assim a vedação e evitando possíveis entradas de ar no interior dos fornos durante a etapa de resfriamento. O barrelamento da porta deve ser repetido à medida que se verificar trincas.

CONHEÇA OS PRINCIPAIS FATORES RELACIONADOS AO CONTROLE DA CARBONIZAÇÃO QUE DEVEM SER LEVADOS EM CONTA

Os principais parâmetros do processo a serem considerados são:

- Controle da taxa de aquecimento, ou seja, do aumento gradual da temperatura ao longo da carbonização, obedecendo as fases recomendadas, até atingir o máximo de 360 °C na cúpula do forno;
- Controle das entradas de ar e do fluxo de saída da fumaça, para uma correta condução do processo.



**MEDICÃO DE TEMPERATURA
NO CILINDRO METÁLICO
COM PIRÔMETRO**



3 IGNIÇÃO DOS FORNOS



ATENÇÃO



Acenda a fornalha antes de dar ignição nos fornos, deixando a sua entrada de ar totalmente aberta para favorecer a queima de lenha ou resíduos no seu interior, e também da fumaça vinda dos fornos.

Com o aumento da temperatura da fornalha, aumenta-se a retirada de gases dos fornos, ajudando na ignição deles.

Logo após a ignição da fornalha, será feita a ignição dos fornos.



ABASTEÇA A CÂMARA DE COMBUSTÃO DA FORNALHA

A câmara de combustão da fornalha pode ser abastecida com resíduos agrícolas, cascas, galhos, madeira, atijos, ou outras biomassas disponíveis.



DÊ A IGNIÇÃO EM CADA FORNO, NO MOMENTO APROPRIADO

Dê a ignição na madeira pela abertura superior deixada na porta, utilizando brasas ou ateando fogo à madeira com auxílio de cascas, papel, jornal, papelão, etc.





ATENÇÃO



- Durante a ignição, as duas primeiras entradas de ar do forno ("tatus") mais próximas à porta, uma de cada lado, devem permanecer completamente abertas, assim como a válvula borboleta do duto, que controla a saída da fumaça. Os demais "tatus" serão abertos progressivamente, quando a brasa for visível nos anteriores, que então, serão fechados.
- Controle a temperatura interna do forno obstruindo parcialmente os "tatus", garantindo a correta temperatura, de acordo com as fases que serão descritas mais adiante. Desenvolva a carbonização por igual nas laterais do forno.



ATENÇÃO



Neste momento, inicia-se o fechamento da abertura deixada para a ignição, usando tijolos e argamassa, sem abafar o forno.

01 SAIBA QUANDO FECHAR A ABERTURA DEIXADA PARA A IGNIÇÃO DO FOGO

Deve-se verificar se a madeira no local de ignição está em brasas. Cerca de 30 a 60 minutos são suficientes para que a carbonização seja iniciada.

02 VERIFIQUE SE A ABERTURA INFERIOR DA PORTA PODE SER TAMBÉM FECHADA

A abertura inferior da porta deve ser fechada quando a temperatura da cúpula for próxima a 160 °C, recomendada para a primeira fase de carbonização. Nesta etapa, a temperatura é verificada no cilindro metálico acima da porta, utilizando-se o pirômetro.



03 FECHER A PORTA DO FORNO

Feche completamente a abertura superior da porta com tijolos e barro se a temperatura do cilindro frontal da cúpula ultrapassar os 180 °C, prevenindo a degradação excessiva da madeira.

Feche a abertura inferior deixada na porta se verificar um braseiro muito intenso e altas temperaturas na cúpula. Assim, a carbonização passará a ser controlada somente pelos "tatus" laterais do forno.

ATENÇÃO

Nesta etapa, se o carbonizador tiver pouca experiência, deverá medir a temperatura a cada hora, assegurando-se de que o controle da carbonização está ocorrendo corretamente.



3.1 CONTROLE DA CARBONIZAÇÃO NO SISTEMA FORNOS - FORNALHA

Neste sistema a carbonização leva em média 3 dias. Para tanto, monitore a temperatura interna do forno nos cilindros metálicos, utilizando o pirômetro. A medição deve ser realizada, pelo menos, a cada duas horas, até que o carbonizador adquirira experiência com a operação do sistema. A partir do aprendizado da correta condução do sistema, ou seja, adquirida a prática para controle das entradas de ar, saída de gases e operação da fornalha, a aferição da temperatura poderá ser realizada a cada 4 horas.

CONDUZA A CARBONIZAÇÃO DE FORMA CORRETA

A condução correta da carbonização se resume no controle constante da temperatura interna do forno, favorecendo o aumento do rendimento e qualidade do carvão vegetal.



A) MONITORE A TEMPERATURA DO FORNO

Monitore a evolução da temperatura nos 6 cilindros metálicos: 2 na cúpula e 4 nas paredes de cada forno. Aperte o botão de acionamento do pirômetro e procure pela maior temperatura, apontando para o fundo do cilindro metálico.



B) CONHEÇA AS FAIXAS DE TEMPERATURA E O FENÔMENO QUE ACONTECE EM CADA UMA DELAS

FASE	FAIXA DE TEMPERATURA	FENÔMENO
I	160 °C a 170 °C medido no cilindro metálico da frente da cúpula.	Fase Endotérmica: Liberação de vapor de água e secagem da madeira.
II	250 °C a 270 °C medido no cilindro metálico da frente da cúpula.	Fase Endotérmica: Degradação das hemiceluloses e eliminação de gases.
III	340 °C a 350 °C primeiras 12 horas - medido no cilindro metálico da frente da cúpula. 12 horas finais - medido no cilindro de trás da cúpula.	Fase Exotérmica: Degradação da celulose, grande produção de gases. Formação do carvão vegetal.
IV	350 °C a 360 °C medido no cilindro de trás da cúpula.	Fase Exotérmica: Redução da emissão de gases e aumento da concentração de carbono no carvão vegetal.

C) CONHEÇA AS FAIXAS DE TEMPERATURA E OS TEMPOS DE CARBONIZAÇÃO APROPRIADOS ÀS MADEIRAS COM DIFERENTES TEORES DE UMIDADE

Fase	Faixa de Temperatura	± 30% de Umidade		± 40% de Umidade		± 50% de Umidade	
		Tora Fina	Tora Grossa	Tora Fina	Tora Grossa	Tora Fina	Tora Grossa
I	160 °C a 170 °C	12 h	15 h	15 h	18 h	18 h	26 h
II	250 °C a 270 °C	12 h	12 h	12 h	12 h	12 h	12 h
III	340 °C a 350 °C	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h
IV	350 °C a 360 °C	18 h	20 h	18 h	20 h	18 h	20 h
	Tempo Total de Carbonização	66 h	71 h	69 h	74 h	72 h	82 h

Tora fina: Diâmetro de 6 a 14 cm

Tora Grossa: Diâmetro de 15 a 20 cm

ATENÇÃO



Conduz-se o forno por fases pelas temperaturas medidas nos 2 cilindros da cúpula. Os 4 cilindros inferiores demoram mais a apresentarem temperaturas elevadas, sendo utilizados para saber se a frente de carbonização está progredindo de maneira uniforme pelas laterais do forno.

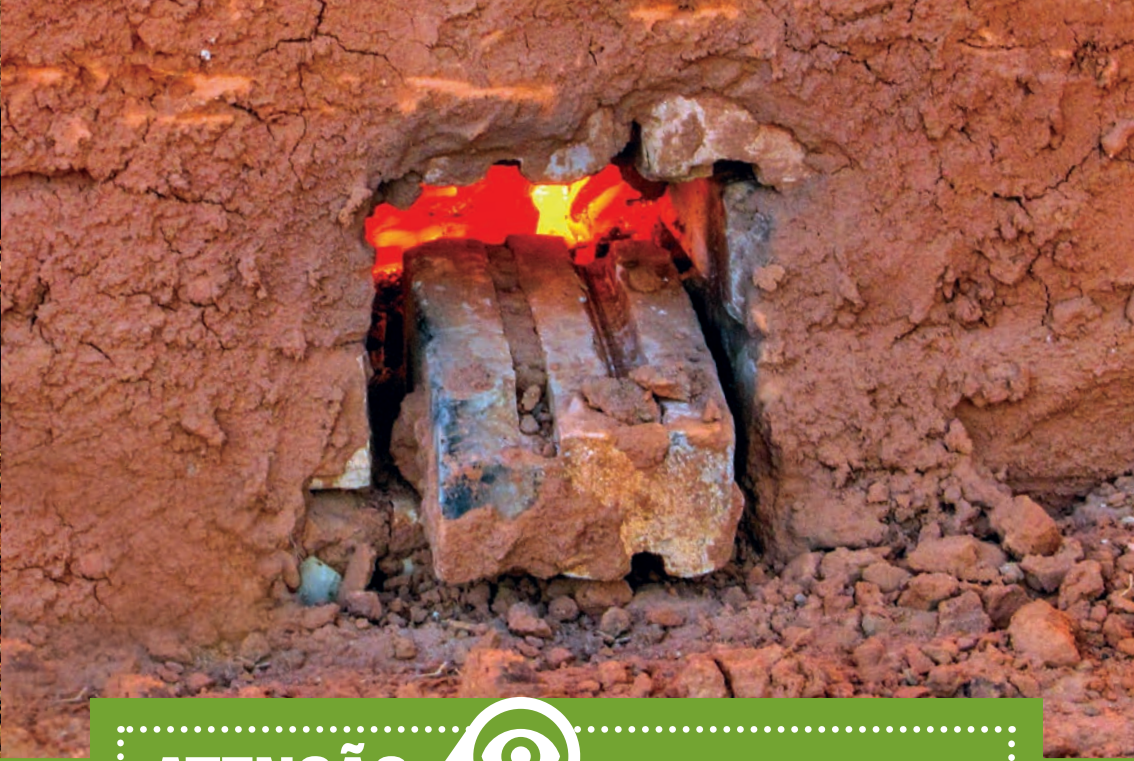


D) CONTROLE A TEMPERATURA DE ACORDO COM O RECOMENDADO PARA CADA FASE DURANTE A CARBONIZAÇÃO

Controle a temperatura aumentando ou diminuindo a entrada de ar pelos "tatus" do forno, utilizando tijolos para restringir a passagem de ar. Quanto mais abertas mais quente ficará o forno. Siga corretamente as fases recomendadas, cada uma tem um tempo de permanência e uma faixa de temperatura.

O tamanho da abertura dos tatus, além de controlarem a temperatura do forno, direcionam a carbonização, ou seja, as aberturas de entrada de ar conduzem a brasa em direção a elas.





ATENÇÃO



- Quando verificar brasas nos "tatus", deixe-os parcialmente abertos, por cerca de 40 a 60 minutos, para garantir a carbonização das madeiras mais ao centro do forno. Então feche-os e prossiga a abertura do próximo tatu.
- Lembre-se de regular a entrada de ar para manter a temperatura prevista para cada fase da carbonização.
- Após fechar os dois últimos "tatus", ou seja, quando todas as entradas de ar do forno

estiverem fechadas, deve-se aguardar com o duto de saída da fumaça um pouco aberto até que não haja mais fluxo de gases do forno para a fornalha, o que leva de 30 a 90 minutos.



**SISTEMA Fornos - FORNALHA EM
FUNCIONAMENTO, CARBONIZANDO
E EFETUANDO A QUEIMA DE GASES
POLUENTES.**



4

OPERE A FORNALHA

Nas fases 1 e 2, iniciais da carbonização da madeira, existe grande liberação de vapor d'água junto aos gases, o que diminui seu poder calorífico, dificultando a queima da fumaça.

Já nas fases finais, 3 e 4, os próprios gases da carbonização da madeira são capazes de manter a combustão na câmara, perpetuando a chama acesa sem necessitar de abastecimentos com resíduos ou madeira.





01 ABASTEÇA A FORNALHA COM MATERIAIS COMBUSTÍVEIS

Caso deseje que a fornalha faça a queima da fumaça nas primeiras fases, serão necessários abastecimentos periódicos para manter a combustão no interior da câmara e eliminar a fumaça. Este procedimento leva a um maior consumo de biomassa que, para ser minimizado, recomenda-se a sincronia dos fornos.





02 MONITORE A TEMPERATURA DOS GASES NOS DUTOS UTILIZANDO O PIRÔMETRO

Um outro indicativo de que os gases que saem do forno possuem alto poder calorífico é quando a temperatura aferida no duto ultrapassa os 110 °C e a cúpula supera os 300 °C.

ATENÇÃO

CUIDADOS COM A OPERAÇÃO DA FORNALHA

A fornalha pode ser considerada como o “motor” da carbonização, uma vez que promove a retirada da fumaça de dentro dos fornos. Quanto mais quente a fornalha, mais ela “puxa” a fumaça dos fornos, por isso deve-se abrir ou fechar as válvulas borboletas dos dutos, que regulam a passagem da fumaça dos fornos para a fornalha.

Após cerca de 30-36 horas do início da carbonização, dependendo da umidade inicial da madeira e da correta condução do processo, a fumaça já possui quantidade de componentes inflamáveis suficientes para manter a chama acesa no interior da fornalha.

Caso a fornalha apague deve-se proceder um novo acendimento, ateando fogo novamente no seu interior. É importante lembrar que, durante a queima, a fornalha pode atingir temperaturas de até 800 °C, devendo se adotar as seguintes medidas de segurança para prevenir o risco de acidentes:

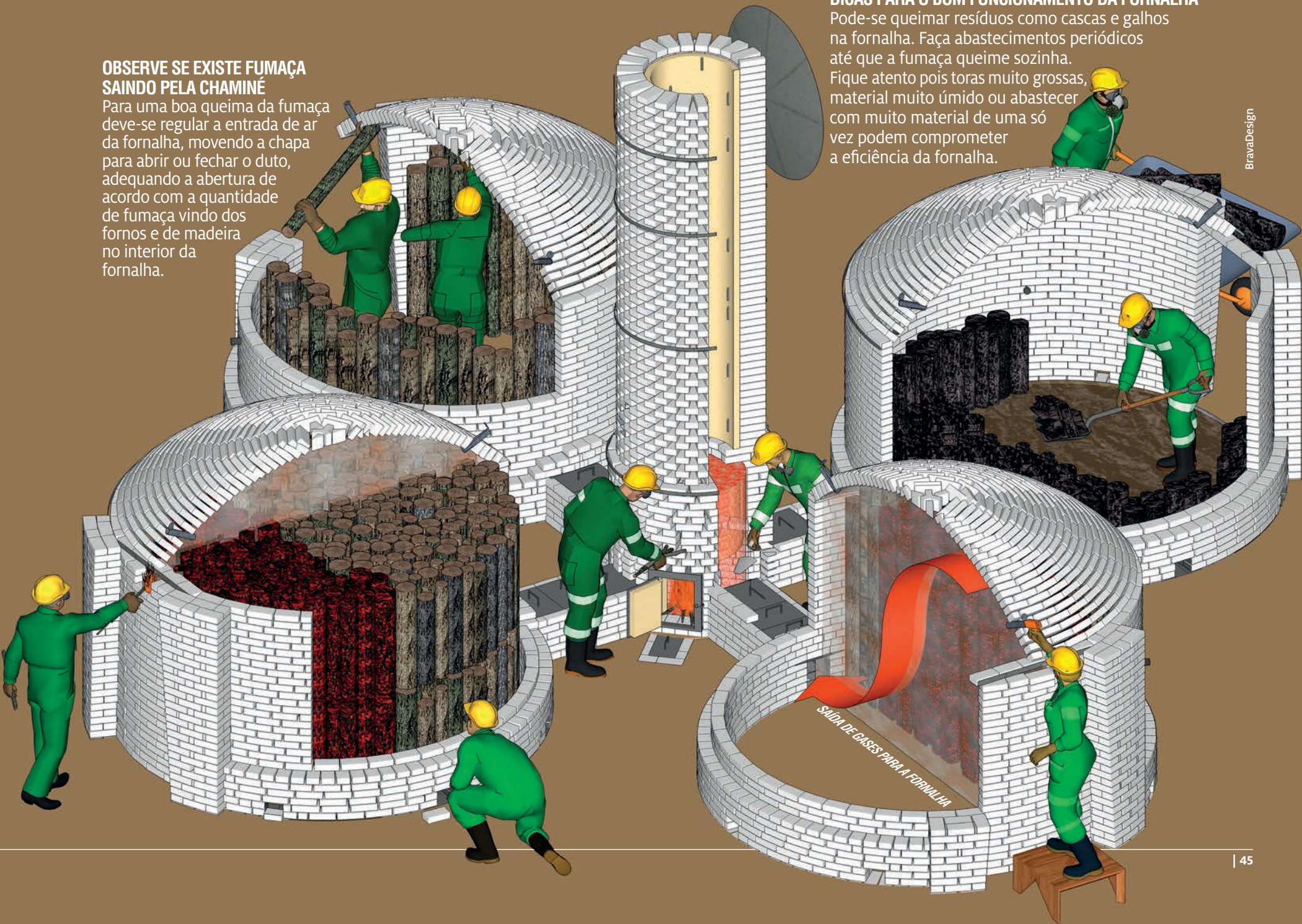
- Somente o operador deve permanecer próximo à fornalha em funcionamento.
- O operador deve estar usando equipamentos de proteção individual – EPIs, conforme descrito anteriormente.
- O operador deve se posicionar ao lado da porta de abastecimento da fornalha para abri-la.
- Nunca o operador deve aproximar o rosto da porta de abastecimento ou duto de entrada de ar da fornalha quando ela estiver em funcionamento.
- Não utilize combustíveis explosivos como gasolina ou álcool para ajudar a acender a fornalha, pode ser muito perigoso. Utilize papéis, papelão, cascas secas, gravetos e galhos finos para início da queima, ou seja, faça uma pequena fogueira no seu interior.
- Siga corretamente as orientações de construção e operação da fornalha. O uso da manta cerâmica é essencial para durabilidade e segurança, pois age como um isolante térmico.
- Faça sempre manutenções periódicas e vistorias para verificar a sanidade do sistema, principalmente da estrutura da fornalha.

OBSERVE SE EXISTE FUMAÇA SAINDO PELA CHAMINÉ

Para uma boa queima da fumaça deve-se regular a entrada de ar da fornalha, movendo a chapa para abrir ou fechar o duto, adequando a abertura de acordo com a quantidade de fumaça vindo dos fornos e de madeira no interior da fornalha.

DICAS PARA O BOM FUNCIONAMENTO DA FORNALHA

Pode-se queimar resíduos como cascas e galhos na fornalha. Faça abastecimentos periódicos até que a fumaça queime sozinha. Fique atento pois toras muito grossas, material muito úmido ou abastecer com muito material de uma só vez podem comprometer a eficiência da fornalha.



BravaDesign




**O SISTEMA DE 4 FORNOS ACOPLADOS
À FORNALHA POSSIBILITA
UMA PRODUÇÃO CONSTANTE,
CARBONIZANDO A MADEIRA MESMO
DURANTE O DESCARREGAMENTO DO
CARVÃO E CARREGAMENTO DE LENHA
EM FORNOS DISTINTOS.**



ATENÇÃO



Durante a combustão dos gases as temperaturas da Câmara de Combustão da Fornalha variam de 600 °C a 800 °C. Estas temperaturas são capazes de destruir termicamente (pelo calor) os gases poluentes gerados pelo processo de carbonização quase que completamente, como Metano, Monóxido de Carbono e gases condensáveis.



Liberação de CO₂,
vapor de água
e calor
pela
fornalha

4.1 FINALIZE A CARBONIZAÇÃO

A) IMPEÇA A ENTRADA DE OXIGÊNIO PARA DENTRO DO FORNO, FINALIZANDO A CARBONIZAÇÃO

Feche a saída de gases do forno transferindo a chapa metálica que está sobre o duto para a cantoneira em seu interior. Vede suas bordas com argamassa rala de barro, para impedir a entrada de ar. Feche também o duto na lateral da fornalha, posicionando a outra chapa na cantoneira em seu interior.

ATENÇÃO

Quando se inicia o resfriamento do carvão, deve-se atentar para o possível aparecimento de trincas e rachaduras no forno. Caso apareçam, devem ser vedadas com a "barrela", uma mistura rala de argila e água. Pontos mais escuros, por causa de vazamento de fumaça, são indicativos de locais de entradas de ar, que dificultam o resfriamento.



**FORNO VEDADO
EM RESFRIAMENTO**





ATENÇÃO

Caso a temperatura do forno não diminua após um certo período, mesmo depois de tampadas todas as trincas visíveis, deve-se realizar o "barrelamento" completo do forno, recobrando toda estrutura com uma mistura bem rala de água e argila, além de possíveis fissuras no solo ao redor do forno.

B) FIQUE ATENTO À TEMPERATURA DE RESFRIAMENTO DO CARVÃO NO FORNO

O resfriamento do carvão ocorre de forma natural, pela simples troca de calor do forno com o ambiente. O tempo médio de resfriamento é de três a quatro dias. Quando o forno esfria até a temperatura igual ou menor que 40 °C em todos os cilindros, significa que o carvão vegetal já está frio e que o forno pode ser descarregado. A temperatura inferior a 40 °C garante que, praticamente, não existe chance de ocorrerem incêndios na carga de carvão durante seu descarregamento.



5

DESCARREGAMENTO DO FORNO

Depois que a porta é desfeita, o descarregamento de cada forno é feito manualmente, com ajuda de um garfo forçado para carvão vegetal, já auxiliando na separação dos finos.



PRECAUÇÃO

Para fazer o descarregamento do forno deve-se usar os EPIs recomendados, prevenindo possíveis acidentes.

ABRA A PORTA DO FORNO

Abre-se a porta do forno, retirando cuidadosamente os tijolos e removendo a argamassa, evitando que se misturem ao carvão vegetal.

MAIS SOBRE EPI
NA PÁGINA 16





**Descarregamento do carvão
utilizando garfo forçado para
separação dos finos**



■ SEPRE OS MATERIAIS DESCARREGADOS

Os materiais são separados pelo tipo: carvão, atíços (madeira semicarbonizada) e finos.

■ DESCARREGUE O CARVÃO COM GARFO METÁLICO APROPRIADO

Coloca-se o carvão sobre uma lona, no setor destinado a ele. O uso da lona é recomendado para manter a integridade e a qualidade do carvão, evitando umidade e contaminação por terra.

■ ESTOQUE O CARVÃO EM CONDIÇÕES APROPRIADAS

A condição de estoque é fundamental para manter a qualidade do carvão. Ela pode ser feita em sacos, amontoado sobre lona ou em um barracão, sempre coberto para proteger de chuva ou garoa.





ATENÇÃO

Uma boa fornada de carvão vegetal deve gerar peças resistentes e poucos finos e atiços.

ATENÇÃO



O carvão deve ser colocado em local da área de produção destinado para guardá-lo, se possível, coberto com lona.



LEMBRETES



Você que já trabalha ou vai trabalhar na produção de carvão vegetal tem agora em mãos este manual, que contém os ensinamentos básicos sobre como operar o Sistema de Fornos-Fornalha para produzir um carvão vegetal de forma sustentável.

Este sistema traz como vantagens principais a "PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CARVÃO VEGETAL", promovendo a preservação ambiental, a melhoria das condições de trabalho, a obtenção de carvão de melhor qualidade e rendimento superior aos sistemas tradicionais utilizados pelos pequenos e médios produtores.

Observação: Além de utilizar os Manuais de Construção e Operação do Sistema de Fornos-Fornalha no trabalho que desenvolve ou vai desenvolver, consulte também o Vídeo de Construção e Operação do Sistema Fornos-Fornalha. Se necessitar de Assistência Técnica, busque a EMATER e o SENAR para ajudá-lo(a) na implementação do Projeto de Produção Sustentável do Carvão Vegetal.

BOA SORTE!

CONTATOS:

■ EMATER-MG

Telefone: (31) 3349-8071 ou
(31) 3349-8070

E-mail: detecger@emater.mg.gov.br

■ SENAR-MG

Telefone: (31) 3074- 3074

E-mail: senar@senarminas.org.br



REFERÊNCIAS

CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, A. C. **Produção sustentável de carvão vegetal**. v. 1. Viçosa: UFV, 2013. 39 p.

CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **produção e utilização de carvão vegetal** – Séries Técnicas CETEC, Belo Horizonte, 1982. 393 p.

DONATO, B. D. **Desenvolvimento e avaliação de fornalha para combustão dos gases da carbonização da madeira**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2017.

FAEMG/SENAR. Carvão vegetal: em busca da sustentabilidade. **Revista FAEMG/SENAR**, ano 4, n. 30, p. 31, ago. 2017.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico 2017, ano base 2016**. Brasília, 2017. 80 p.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIRÓZ, J. H. **bioenergia & biorrefinaria cana-de-açúcar & espécies florestais**. Viçosa MG: [s.n.], 2013. 551 p.

VALENTE, O. F. Carbonização de madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 74-79, 1986.

PROJETO

Produção de Carvão de Biomassa Renovável
Sustentável para a Indústria Siderúrgica no Brasil



**MINAS
GERAIS**

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



*Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.*



**PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL

ENTIDADES DE APOIO ENVOLVIDAS

EMATER
Minas Gerais

POLO DE EXCELÊNCIA
EM FLORESTAS

**FAEMG
SENAR
INAES
SINDICATOS**

SEBRAE

UFV
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

UFV
Universidade Federal de Viçosa



Este manual é destinado a você, prezado(a) leitor(a), seja produtor(a) de carvão vegetal, forneiro(a) ou empresário(a) que se interessa pela atividade. Ela contém informações importantes sobre como operar fornos de carbonização com queima de gases, um sistema que permite produzir melhor e reduzir a emissão de fumaça.


SIDERURGIA
SUSTENTÁVEL

