

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE PEQUENOS
FORNOS NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL DESTINADO
A ALTO FORNO**

Eng^o. Agr^o. Célio Soares Moreira

Tese para Doutorado apresentada à
Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", Universidade de S. Paulo.

PIRACICABA
Estado de S. Paulo - Brasil.
1964

<u>Pag. No</u>	<u>onde está</u>	<u>leia-se</u>
5	BERGSTROM (1948)	BERGSTROM e JANSSON (1948)
27	cêrca de 8 horas	cêrca de 18 horas
31	do mesmo modo que para o forno colmeia	do mesmo modo que para o forno colmeia com chaminé
38	75°C, durante 6 horas.	750°C, durante 6 horas.
71	15,72 - 12,74 - 11,45 - 11,13	5,6 - 4,8 - 3,9 - 3,7
72	15,08 - 11,96 - 11,31 - 10,37	6,8 - 4,3 - 3,8 - 3,3
74	12,82 - 12,45 - 10,85 - 10,66	4,9 - 4,7 - 3,6 - 3,4
84	nos fornos Iwate e colmeia em barranco,	nos fornos Iwate e colmeia com chaminé
ANEXO 1	(em branco)	Carvão e carbono fixo produzidos com 100 kg de lenha, nos quatro tipos de fornos (média).
Fig 3	Fig 5 Esquema do forno colmeia com chaminé.	Fig 6 Esquema do forno colmeia em barranco.
Fig 6	Fig 6 Esquema do forno colmeia em barranco.	Fig 3 Esquema do forno colmeia com chaminé.

Ao Engenheiro Agrônomo

Dovilio Cmetto,

inspirador e incentivador desta pesquisa,

Ofereço.

Aos Senhores

Salim Simão

Armando Navarro Sampaio

Roland Vencovsky

Renato Amilcare Catani

Jesus Marden dos Santos

Laercio Osse

Helládio do Amaral Mello

Luiz Antonio Ruhnk

Frederico Alberto Blaauw

Izaias Rangel Nogueira

Heitor Werther Studard Montenegro

Silvio Moreira

Vladimir Rodrigues Sampaio

o autor agradece os auxilios recebidos.

Í N D I C E

1. Introdução	1
2. Revisão da Bibliografia.	5
2.1. Lenha	5
2.2. Processos de carbonização	6
2.3. Qualidade do carvão	8
2.4. Condução da carbonização	11
3. Material	13
3.1. Lenha	13
3.2. Mão de obra	13
3.3. Fornos	13
3.3.1. Forno colmeia com chaminé	13
3.3.2. Forno Iwate	15
3.3.3. Forno de barranco	16
3.3.4. Forno colmeia em barranco	17
4. Método	19
4.1. Delineamento estatístico	19
4.2. Lenha	20
4.2.1. Caracterização da lenha	20
4.2.2. Preparo da lenha	21
4.2.3. Estocagem e transporte da lenha.	21
4.2.4. Contrôles de umidade da lenha	21
4.3. Fornos	22
4.3.1. Localização dos fornos	22
4.3.2. Cálculo do volume dos fornos	22
4.3.3. Condução da carbonização	23

4.4.	Operação dos fornos	24
4.4.1.	Operação do forno colmeia com chaminé	24
4.4.2.	Operação do forno Iwate	27
4.4.3.	Operação do forno de barranco	29
4.4.4.	Operação do forno colmeia em barranco	31
4.5.	Temperatura e umidade do ar	31
4.6.	Movimento do ar	32
4.7.	Temperatura de carbonização	32
4.8.	Duração da operação dos fornos	33
4.9.	Pêso de um metro cúbico de carvão	33
4.10.	Retirada de amostra de carvão no forno	34
4.11.	Resistência à compressão radial	34
4.12.	Resistência ao manejo	35
4.12,1.	Resistência à abrasão	35
4.12,2.	Fragmentação por queda	36
4.12,3.	Cálculo da porcentagem de moinha	36
4.13.	Higroscopicidade	36
4.14.	Determinação do teor dos principais componentes do carvão	37
4.15.	Quantidade de carvão produzido com 100 kg de lenha	38
4.16.	Quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha	38
5.	Resultados	39
6.	Análise estatística	52
6.1.	Umidade da lenha	52
6.2.	Temperatura de carbonização	53
6.3.	Duração da carbonização	53

6.4.	Duração do esfriamento do forno	54
6.5.	Pêso de um metro cúbico de carvão	55
6.6.	Resistência à compressão radial	57
6.7.	Resistência à abrasão	69
6.8.	Resistência ao choque	70
6.9.	Higroscopicidade	73
6.10.	Teor de carbono fixo	75
6.11.	Teor de matéria volátil	76
6.12.	Teor de cinzas	77
6.13.	Quantidade de carvão produzida com 100 kg de lenha	78
6.14.	Quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha	80
7.	Discussão dos resultados	82
7.1.	Umidade da lenha	82
7.2.	Duração da carbonização	82
7.3.	Duração do esfriamento do forno	82
7.4.	Pêso do metro cúbico do carvão	83
7.5.	Resistência à compressão radial	84
7.6.	Resistência à abrasão	85
7.7.	Fragmentação por queda	85
7.8.	Higroscopicidade	86
7.9.	Teor de carbono fixo	86
7.10.	Teor de matéria volátil	87
7.11.	Teor de cinzas	87
7.12.	Quantidade de carvão produzida com 100 kg de lenha	88
7.13.	Quantidade de carbono fixo produzida com 100 kg de lenha	88

8. Conclusões	89
9. Resumo	91
10. Summary	93
11. Bibliografia	95

1. INTRODUÇÃO

A produção de carvão vegetal, destinado à siderurgia, em nosso país, representa, hoje, uma das importantes atividades sôbre as quais se apóia o nosso desenvolvimento industrial. O Brasil, não dispondo de carvão mineral de fácil aplicação em siderurgia, importa-o de outras nações, e serve-se do carvão vegetal, para implantar, de forma permanente, seu parque siderúrgico.

Vem o carvão vegetal, desde o início, contribuindo para o desenvolvimento da siderurgia nacional. Coube, mesmo, a êle, a função pioneira de demonstrar a possibilidade da indústria siderúrgica em grande escala em nosso país.

A importância, para o Brasil, desse combustível é mostrada por ENSCH (1953), ao considerar outros combustíveis que, no futuro, possam ser empregados na redução do minério de ferro. Diz êle: "Desejamos, todavia, reiterar a nossa absoluta confiança na Siderurgia baseada no carvão vegetal e na sua fatal expansão neste País".

É, também, situada por SILVA (1952), a importância do carvão vegetal, quando afirma: "as usinas, com carvão de madeira, tem assegurado, também, êstes outros campos: produtos especiais, aços finos, canalizações, certos produtos galvanizados, arame, e, ao mesmo tempo, os pequenos perfís e os vergalhões já referidos. Possuímos, hoje, em Monlevade a maior usina siderúrgica do Mundo. Sua produção vai ainda ser aumentada e, ...".

No mesmo sentido observa também SZOPINSKI (1961): "Apesar do progresso técnico observado na metalurgia de ferro e aço, o ferro-gusa a carvão vegetal continua mantendo uma posição espe

cial, não tendo aparecido até agora um adequado substituto. A grande procura de ferre-gusa a carvão vegetal de boa qualidade nos mercados da Europa e dos E.U.A., continua firme, o que se expressa na diferença de preço existente entre o gusa a coque e o gusa a carvão vegetal. Basta notar que, no decorrer dos últimos 50 anos, esta diferença de preço apresenta uma constante tendência para a alta".

Pode-se prever a importância do carvão vegetal, no futuro de nossa economia, observando o que ocorre em outros países. Dados publicados por SIMMONS (1957) e BEAZLEY (1958) e em um relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte (1957), mostram que, após um máximo de consumo de carvão vegetal naquele país (1909) houve certo decréscimo. A partir de 1947, verificou-se novo incremento no consumo desse combustível, agora utilizado para fins culinários.

Outros países de civilização bastante adiantada, apresentam, também, vigoroso comércio de carvão vegetal. Segundo SAVARD e COUDREAU (1962), RISI (1958) e SZOPINSKI (1959), além dos Estados Unidos da América do Norte, o Canadá, a Suécia, a Áustria, a Rússia e a Hungria utilizam-se de quantidades apreciáveis de carvão vegetal.

Atualmente, há, no Brasil, cerca de duas dezenas de usinas siderúrgicas, das quais apenas três baseiam sua produção no uso de carvão mineral. São essas três usinas controladas pelo poder público, o que lhes assegura a continuidade de importação de coque. As demais usam o carvão vegetal, como redutor do minério de ferro. Participam elas com a produção de uma terça parte do aço nacional.

Nessa situação, para o país atingir, em 1965, a produção estimada, ANONIMO (1961), de 4 milhões de toneladas de aço, serão necessários 1,3 milhões de toneladas, equivalentes a 5,2 milhões de metros cúbicos de carvão vegetal.

Para obter-se essa quantidade de carvão necessitam-se cêrca de 10,4 milhões de esteres de lenha. Se tomarmos por base a cultura de eucaliptos, serão necessários, aproximadamente 50.000 hectares de terra, para produzir essa quantidade de lenha.

A transformação da lenha, em carvão vegetal, é feita, entre nós, em medas ou em pequenos fornos de alvenaria, cujo uso é também generalizado nos diversos países que fabricam êsse combustível. Apresentam êsses fornos uma grande soma de diferenciações que influem diretamente na qualidade do produto obtido, no rendimento da transformação da lenha em carvão, na rapidez e modo de sua operação, no custo de sua construção, e na sua localização.

Diante dêste quadro da atualidade do carvão vegetal no país, a pesquisa da eficiência dos fornos utilizados em transformar lenha em carvão, afigura-se de primacial importância. O estudo dessa eficiência, possibilitando melhor aproveitamento da lenha, é uma das formas de defesa de nosso patrimônio florestal e é básico para o nosso desenvolvimento industrial.

Não encontramos, na literatura nacional, elementos já apoiados em dados cientificamente estabelecidos, que nos permitissem investigar o problema. Iniciamos, então, por fazer um estudo dos fornos em funcionamento nas zonas carvoeiras dos Estados de São Paulo e Minas Gerais. Colhemos informações que nos permitiram saber não diferirem, essencialmente, os fornos existentes nessas regiões, dos utilizados em outros estados do sul e do norte do país. Ao mesmo tempo, servimo-nos da literatura estrangeira, pro-

curando determinar os pontos de semelhança entre os nossos fornos e os nela registrados.

Com êsses conhecimentos e já familiarizados com a prática das operações de carbonização, estabelecemos o plano do presente trabalho. Comparamos a produção de carvão vegetal em quatro pequenos fornos de alvenaria que representam os tipos mais difundidos entre nós. Empregamos lenha de eucaliptos, por ser, hoje, a matéria-prima que permite o equacionamento do problema a longo prazo, conforme muito cedo já previa ANDRADE (1939): "Sem carvão não haverá ferro e sem eucaliptos não haverá carvão".

Foi nosso objetivo investigar a eficiência dos fornos na fabricação de carvão vegetal destinado ao uso em alto-fornos. Para isso, procuramos nos basear no teor de carbono fixo contido no carvão por êles produzido.

Êsse critério de avaliação da qualidade do carvão foi adotado por ser o carbono fixo o elemento utilizado na redução do minério de ferro nos altos fornos.

2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Embora seja o fabrico de carvão vegetal prática muito antiga, a bibliografia a respeito não é farta. O uso que se faz do carvão vegetal, a sua qualidade, os problemas de sua fabricação, têm sido mais estudados que o rendimento na fabricação.

2.1. Lenha

Vejamos o que dizem os autores a respeito da lenha, um dos fatores que influem no rendimento dos fornos.

HAMP (1958) e TOOLE e outros (1961), informam que madeira, quer seja sob forma natural ou serrada, tem sido indiferentemente utilizada na obtenção de carvão vegetal.

Em relação à densidade da lenha, BERGSTROM (1948), ENSCH (1953), BALDWIN (1958) e TOOLE e outros (1961), para citar apenas alguns, afirmam que madeira de elevada densidade produz carvão de densidade elevada.

SOUZA (1947) e BERGSTROM (1947), revelam que a lenha cujas qualidades foram alteradas pelas más condições de estocagem produzem menor quantidade de carvão e que também esse carvão é de qualidade inferior.

BERGSTROM (1947), refere-se ao fato de a madeira com poros pequenos produzir carvões mais quebradiços, e que, quando se abrem, artificialmente, furos na madeira, o carvão aumenta de resistência. Também observa que a mesma madeira pode produzir carvão cujo peso específico varia dentro de limites grandes, dependendo do crescimento lento ou rápido da árvore.

Segundo COLLET (1956) e BERGSTROM (1947), é a lignina, dentre os integrantes da lenha, a responsável pela quantidade de carvão produzido.

COLLET (1956), estudando a porcentagem de lignina, em eucaliptos, conclui constituírem êles boa essência para fornecer carvão vegetal para a siderurgia.

Tendo em vista o enorme volume de madeira, utilizada pela siderurgia a carvão vegetal, ANDRADE (1939), salientando a rapidez de secagem do eucalipto, em nossas condições, ressalta a importância dêsse fato para a siderurgia nacional, em contraste com a européia que depende de uma lenta secagem da madeira.

2.2. Processos de carbonização.

Os meios utilizados para a carbonização parcial da lenha variam bastante. Referem-se os autores desde aos meios primitivos até aos das retortas industriais, onde todo o sub-produto é aproveitado. Contudo, dessas informações pode-se inferir que o mais comum é ser o carvão fabricado em pequenos fornos localizados dentro da mata.

SERAFINI (1930), agrupa os fornos em: a) Fornos de aquecimento direto; b) Fornos de aquecimento indireto.

Os fornos de aquecimento direto são aqueles em que uma parte da lenha é consumida, para produzir a elevação da temperatura necessária ao processo. Nos fornos do segundo grupo, a elevação da temperatura é feita por uma fonte de calor estranha à lenha colocada dentro do forno.

RISI (1942), ao estudar os tipos de fornos, utilizados no Canadá, exclui os de aquecimento indireto, por serem poucos

comuns. Restringe-se apenas aos fornos de aquecimento direto que são utilizados pela pequena indústria rural. Dentre os fornos deste tipo alinha, as medas, os fornos de tijolos e os metálicos.

MAISON (1945), estudando as condições de carbonização em Katanga, África, descreve um tipo de forno denominado "vala" que tem se adaptado melhor às condições locais. Cita o autor diversos tipos de fornos, desde as medas até aos fornos metálicos desmontáveis. Refere-se também, à tentativa sem êxito de utilização de retortas industriais.

Em um relatório da divisão de pesquisas econômicas do Serviço Florestal do Departamento de Agricultura, dos Estados Unidos, (1957), afirma-se que, dentre os fornos existentes, no país, cerca de 28% têm a capacidade de 2 "cords" (1) e 40% de 2 - 11 "cords" e 32% mais de 11 "cords".

HAMPF (1958), estudando a produção de carvão vegetal, no nordeste dos Estados Unidos, afirma que, em 1956, mais de 95% dessa produção era feita em fornos de tijolos e de metal, cujo aquecimento é direto.

RISI (1958), relata que, no Canadá, durante a Segunda Guerra Mundial, quando houve necessidade de carvão vegetal para indústria siderúrgica, foi feito um estudo dos fornos, decidindo-se conservar o uso do forno de tijolos, de fácil manejo, construção e manutenção. Além disso, o material necessário à construção era facilmente adquirido a baixo preço.

ANDRADE (1961), relata que, no Brasil, deixou-se de utilizar fornos de metais devido ao problema de custo elevado e difícil manutenção. Optou-se, então, pelo uso de fornos de tijolos, com a capacidade aproximada de 8 metros cúbicos.

(1) 1 cord = 3,625 m³

TOOLE e outros (1961), estudando a produção, comércio e uso do carvão vegetal, nos Estados Unidos da América do Norte, enumeram igualmente os processos de carbonização em medas, em fornos de tijolos, e em fornos de metal. Não cogitam da fabricação em grandes instalações. Apontam, no final, três fornos cujos custos de produção foram os mais baixos. São êles: um de metal de 1 1/2 "cord", outro de 1/2 "cord" e um de tijolos de 2 "cords". Dentre os três, o forno de tijolos apresenta o custo mais baixo. O forno metálico de menor volume vem a seguir e o de volume de 1 1/2 "cord" é o de maior custo de produção. Nesse trabalho é demonstrada a relação direta do preço de lenha com o preço de custo de carvão.

SAVARD e COUDREAU (1962), efetuaram um levantamento dos meios utilizados para obtenção de carvão vegetal no mundo. Esses autores, depois de citar as medas, os fornos de tijolos e os fornos de metal desmontáveis, referem-se às grandes instalações, ressaltando que a sua utilização requer condições especiais pouco comuns. Estudando as condições de uso de fornos metálicos desmontáveis, chamam a atenção para o fato de que esse tipo de forno tem duração reduzida, devido às deformações que aparecem nas chapas, ocasionando trincas. Referem-se ao bom e fácil trabalho de fornos de pequeno volume, onde o processo de carbonização é mais uniforme.

2.3. Qualidade do carvão.

A avaliação da qualidade do carvão vegetal obtido é importante no julgamento da eficiência do forno.

RISI (1942), SMITH e outros (1957), BALDWIN (1958) e TOOLE e outros (1961), citam algumas características, comente

admitidas, como índices de boa qualidade do carvão vegetal, em uma avaliação empírica. Segundo êsse critério, o carvão deve apresentar-se em pedaços grandes, de côr negra, brilhante, duro e sem odor. Deve produzir som metálico característico ao quebrar-se contra material resistente, e sem formação de moinha. A superfície de ruptura deve ser curva, lisa, de aspecto sedoso, mostrando nitidamente a estrutura da madeira. Não deve haver aderências no limite dessa superfície. Ao queimar-se não deve produzir fumaça, nem odor, e nem soltar fagulhas.

Uma avaliação objetiva da qualidade do carvão vegetal é feita pela determinação de algumas de suas propriedades físicas e químicas. BERGSTROM e JANSSON (1948), afirmam ser o pêsô, por metro cúbico de carvão vegetal, a sua propriedade física mais importante.

Quanto às composições químicas é comumente reconhecido pelos autores ser o teor de carbono fixo o fator mais importante, para avaliação da qualidade do carvão vegetal. É desejável um alto teor de carbono fixo, o que está diretamente correlacionado com a temperatura de carbonização.

RISI (1942), afirma que o teor de carbono representa o valor real do carvão vegetal e reflete o desempenho do forno.

BERGSTROM (1947), estudando a influência da temperatura, na carbonização, demonstra ser o teor de carbono fixo diretamente proporcional à temperatura de carbonização, enquanto que a quantidade de carvão produzido é função inversa dessa temperatura.

COLLET (1956), classifica as madeiras utilizadas na produção de carvão vegetal, em função do rendimento em carbono fixo, por julgar êsse o critério mais exato.

SAVARD e COUDREAU (1962), dizem que o teor de carbono fixo do carvão é influenciado pela temperatura final de carbonização.

Um carvão de boa qualidade deve apresentar pequena quantidade de gases voláteis. Tem sido comumente aceito pelos pesquisadores que esses gases são prejudiciais ao funcionamento do alto forno. Entretanto, BURREL e WSCIEKLICA (1961), estudando esse assunto, chegam à conclusão de que as substâncias voláteis do carvão vegetal não influem no balanço térmico do alto forno, mas que elas devem ser levadas em conta como fator de economia de carbono, ao calcular-se o consumo desse elemento, na redução do minério.

ENSCHE (1953) relata que carvões muito pobres em matéria volátil são prejudiciais à operação dos altos fornos, por facilitarem a formação de crostas na coluna de redução.

A porcentagem de fósforo, no carvão vegetal, deve ser baixa. Segundo BERGSTROM e JANSSON (1948), essa quantidade de fósforo depende do solo em que cresceu a essência, e da parte da árvore carbonizada.

ARAÚJO (1952), analisando carvão vegetal produzido, em nosso país, encontrou cerca de 0,03% de fósforo.

COLLET (1956), é de opinião que para a siderurgia o teor de fósforo da madeira não tem importância.

ENSCHE (1953), afirma que a quantidade de enxofre presente no carvão é tão pequena que não constitui problema ao funcionamento do alto forno. ARAÚJO (1952), encontrou apenas 0,03 e 0,05 % de enxofre, em carvão de madeira, enquanto que o coque apresenta um nível de 0,82 a 0,88 % desse elemento.

Quanto às cinzas, os autores já citados concordam em que as do carvão vegetal não constituem problemas ao funcionamento do alto forno.

2.4. Condução da carbonização.

O controle da carbonização da lenha tem sido feito nos pequenos fornos, através da observação da fumaça. Os diversos autores referem-se a essa prática nas diferentes regiões do mundo.

SMITH e outros (1957), descrevendo o "Masonry Block Kiln" ao falarem de sua operação, dizem ser ela geralmente baseada no volume e cor da fumaça da chaminé.

TOOLE e outros (1961), ao analisarem o efeito do tempo de carbonização na produção do carvão vegetal, e comentando diversos dados de temperatura, obtidos em fornos experimentais, observam não ser prática a colocação de grande número de termômetros em fornos comerciais, afirmando em seguida: "The important object is to obtain as complete coaling as possible. One way to determine when coaling is complete is by observing smoke volume". (O objetivo importante é obter carbonização tão completa quanto possível. Um meio para determinar quando a carbonização está completa é pela observação da fumaça).

SAVARD e COUDREAU (1962), referindo-se ao controle do forno, por medição da sua temperatura interna, e às dificuldades de se estabelecer uma regra para esse controle, afirmam: "Observation of the smoke, on the contrary, gives a sure indication". (A observação da fumaça, ao contrário, dá uma indicação segura).

PETER (1958), preconizando o uso de pirômetro por ele descrito (PETER 1956), para a condução da carbonização, menciona

que, normalmente, isso é feito pela observação da fumaça. Conclui contudo, que o uso de pirômetros ainda requer estudo, sendo, atualmente, recomendado apenas com o fim de se controlar a temperatura, dentro de limites que possibilitem a maior duração do forno.

3. MATERIAL.

3.1. Lenha

Foi utilizada para a carbonização parcial nos fornos a lenha de quatro espécies de eucaliptos: E. saligna, E. alba, E. citriodora e E. punctata (fig. 1). Essa lenha foi obtida de plantações do Serviço Florestal da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, Hôrto Florestal "Navarro de Andrade", situado no município de Rio Claro, SP. Cada uma das espécies citadas foi cultivada em maciços puros.

As espécies de eucaliptos escolhidas são de densidades e crescimento desiguais, determinando sua exploração para lenha em idades diferentes (quadro I).

O clima, ali reinante, segundo ORTOLANI (1962) apresenta a temperatura média anual de 20,6°C, sendo a média das máximas 27,6°C e das mínimas 14,2°C. A queda pluviométrica média anual é de 1.409,2 mm. O solo, de onde foi retirada a lenha, é do tipo terra roxa misturada.

3.2. Mão de obra.

Todos os serviços, desde a colocação da lenha no forno, até a retirada do carvão, foram executados por dois operários especializados, que residiram durante êsse tempo no local dos fornos. As fornadas foram feitas uma após outra, sem interrupção.

3.3. Fornos

3.3.1. Forno colmeia com chaminé.

É o mesmo forno que, no Estado de Minas Gerais, é conhecido com o nome de forno elevado de alvenaria, ou simplesmente forno de superfície (fig. 2 e fig. 3). Preferimos adotar o presente nome por estarmos convencidos ser este forno uma variação do forno colmeia, descrito na bibliografia norte-americana.

O forno foi construído de tijolos comuns e argamassa, conforme descrevemos a seguir. A argamassa é constituída de argila (saibro), areia de grânulos com tamanho médio e melação de cana de açúcar, na proporção de 500:20:1, respectivamente. A essa mistura acrescenta-se água em quantidade necessária, para dar-lhe a consistência específica.

Sôbre um alicerce circular de 0,25m de largura, cuja profundidade é de 0,40 m, com sua parte mais alta ao nível do solo, constroi-se a parede do forno, de forma cilíndrica, com diâmetro interno de 2,70 m e altura de 1,80 m.

Encimando o forno, levanta-se uma cúpula, em forma de calota esférica, apoiada sôbre o tôpo da parede cilíndrica. A base da calota é circundada por uma cinta de ferro, que equilibra a pressão lateral dos tijolos, assentados em fiadas concêntricas.

Na parede, há uma abertura de 1,60 m de altura por 0,60 m de largura, utilizada para os serviços de carga de lenha e descarga de carvão.

Circundando o forno, abrem-se diversos orifícios de secção quadrada, com 0,07 m de lado, à distância de 0,60 m um do

outro, em 4 planos, em diferentes alturas. Na parte central da calota, abre-se um orifício quadrado, com 0,20 m de lado, por onde é iniciada a queima da lenha para carbonização.

Colados ao lado de fora da parede, diametralmente opostos, dois a dois, levantam-se quatro chaminés que se abrem para dentro do forno, junto ao chão do mesmo, e para o exterior, à altura da parede do forno.

O fechamento do forno é feito com tijolos rejuntados com argamassa.

Na construção desse forno, cujo volume de $13,59 \text{ m}^3$, foram gastos 5.200 tijolos comuns, 6 m^3 de argamassa, uma cinta de ferro de $2 \frac{1}{2}'' \times 1 \frac{1}{2}''$ formada de quatro partes, unidas por 4 parafusos de $\frac{5}{8}'' \times 2''$, 180 horas de mão de obra de pedreiro e outras 180 horas de mão de obra de ajudante.

3.3.2 Forno Iwate.

Foi, provavelmente, introduzido no Brasil por imigrantes japoneses, razão por que é também conhecido como forno japonês (fig. 2 e fig. 4).

O forno foi construído encravado em um barranco, conforme a descrição que passamos a fazer. A seção horizontal do forno assemelha-se a uma elipse, cujas extremidades correspondentes ao diâmetro maior tenham sido deformadas, apresentando-se uma delas um pouco afunilada e a outra um tanto dilatada. A parte afunilada abre-se para fora do barranco, localizando-se aí a porta do forno. Na parte dilatada, diametralmente oposta à porta, está a chaminé, construída ao lado externo da parede do forno, em um canal cortado no barranco para essa finalidade.

A escavação para êste tipo de forno requer a existência de barranco com suficiente altura, e que o terreno tenha constituição um tanto argilosa. A escavação é revestida de tijolos assentados em espelho, constituindo a parede do forno. Sôbre essa parede, que tem um metro de altura, é construída uma cúpula com espessura de meio tijolo. Os tijolos são firmados por pequenas cunhas de pedra, que garantem a estabilidade da abóbada. Durante a primeira carbonização, é feita a obturação das fendas que ficam entre êsses tijolos, usando-se para isso a argamassa diluída, quase líquida.

A porta é construída de tijolos em espelho, assentados com argamassa. Na construção dêste forno, utiliza-se a mesma argamassa, descrita para o forno anterior.

O volume dêsse forno era de $8,51 \text{ m}^3$ e foram necessárias 70 horas de serviços de pedreiro e outras 70 horas de serviços de ajudante. Foram empregados 1.300 tijolos comuns e 2 m^3 de argamassa.

3.3.3. Forno de barranco.

Este forno é, também, construído em uma escavação, encravado num barranco (fig. 2a e fig. 5). A parede é de tijolos e tem 1,40 m de altura, revestindo a escavação. Sua secção horizontal tem forma circular. O forno abre-se para fora do barranco, através de um corredor curto e estreito. Na outra extremidade há a chaminé, construída encostada à parte externa da parede do forno e cuja secção horizontal é um quadrado de 0,20 m de lado.

Cobre o forno uma cúpula construída de tijolos, que é apoiada sôbre a parede do forno e contra o barranco que equili-

bra a pressão lateral dêesses tijolos. Na construção da cúpula os tijolos são assentados sem nenhum apóio, em 1/2 tijolo, rejuntados com argamassa, formando fiadas concêntricas. Deixam-se nessa cúpula dois orifícios quadrados com 0,15 m de lado, localizados diametralmente opostos segundo uma direção perpendicular ao eixo porta-chaminé.

O corredor que liga o forno ao exterior tem duas paredes revestidas de tijolos, em prolongamento à parede do forno, e é encimado por um arco construído de tijolos em continuação à cúpula.

Durante o funcionamento do forno, êsse corredor torna-se uma antecâmara de carbonização. Para isso, êle é fechado na parte externa por uma parede (porta do forno), e parcialmente separado da câmara de carbonização por outra. Na parte superior dessa separação deixa-se uma comunicação em forma de arco.

A parede que separa a antecâmara e a câmara de carbonização, como também a porta do forno, é construída após o carregamento do forno e desfeita para a descarga do carvão.

Para a construção dêeste forno, cujo volume era de 11,875 m³, foram necessárias 54 horas de serviços de pedreiro e igual número de horas de serviços de servente, empregando-se 1.800 tijolos comuns, e 2 m³ de argamassa, igual àquela usada nos fornos já descritos.

3.3.4. Forno colmeia em barranco.

É um forno construído encravado no barranco, de seção horizontal circular, com 2,60 m de diâmetro interno (fig. 2a e fig. 6). A escavação do barranco é revestida por uma parede

de tijolos e encimada por uma cúpula com a forma de calota esférica, construída à semelhança daquela do forno de barranco.

Na parede e na cúpula há diversos círculos de orifícios, situados em planos de diferentes alturas. Canais construídos de tijolos ligam os orifícios da parede ao exterior. Na parte central da cúpula há um orifício de secção quadrada com 0,20 m de lado.

A porta do forno tem 0,60 m de largura e 1,60 m de altura. Ela é construída de tijolos em espelho, apresentando três orifícios nas alturas correspondentes aos orifícios da parede. Para cada operação do forno constroi-se e desmancha-se a porta.

Do mesmo modo que no forno colmeia, há, neste forno, quatro chaminés.

Este forno possuía volume de 12,69 m³, tendo-se despendido 80 horas de serviço de pedreiro e igual número para o ajudante. Empregaram-se 2.500 tijolos comuns e 4 m³ da mesma argamassa, usada na construção dos fornos anteriores.

4. MÉTODO.

4.1. Delineamento estatístico

O experimento foi planejado considerando-se cada forno um bloco. Em cada fornada empregou-se lenha de uma só espécie de eucalipto. Utilizaram-se quatro espécies de eucaliptos e foram feitas três repetições (fornadas) para cada uma delas. Ao todo foram feitas 12 observações ou parcelas por forno. Para cada forno foi feito o sorteio das parcelas, cujo resultado constitui o quadro a seguir:

SEQUÊNCIA DAS LENHAS CARBONIZADAS EM CADA FORNO

FOR- NA- DAS	F O R N O S			
	COLMEIA	IWATE	DE BARRANCO	COLMEIA DE BARRANCO
1	E.saligna	E.punctata	E.saligna	E.punctata
2	E.punctata	E.citriodora	E.punctata	E.alba
3	E.citriodora	E.alba	E.citriodora	E.alba
4	E.alba	E.punctata	E.punctata	E.saligna
5	E.saligna	E.alba	E.citriodora	E.citriodora
6	E.saligna	E.saligna	E.citriodora	E.citriodora
7	E.alba	E.punctata	E.alba	E.saligna
8	E.citriodora	E.citriodora	E.saligna	E.citriodora
9	E.alba	E.saligna	E.punctata	E.alba
10	E.punctata	E.saligna	E.alba	E.saligna
11	E.citriodora	E.alba	E.alba	E.punctata
12	E.punctata	E.citriodora	E.saligna	E.punctata

4.2. Lenha

4.2.1. Caracterização da lenha.

A idade das árvores que forneceram as lenhas utilizadas, nesta investigação, foi obtida pelo conhecimento da data de plantio dos talhões, feito pelo Serviço Florestal da Companhia Paulista de Estrada de Ferro. A escolha de árvores, com idades diferentes, seguiu o critério de se utilizar a lenha de eucalíptos com a idade em que, normalmente, cada uma das espécies é explorada para lenha.

O peso específico aparente das diferentes espécies é o citado por ANDRADE (1961).

A altura média do talhão foi determinada pela medição direta no fuste derrubado. Para isso foram utilizadas quarenta árvores em cada talhão. Antes da derrubada, determinou-se, com auxílio do compasso florestal, o maior e o menor D.A.P. das árvores existentes no talhão. A diferença entre êsses diâmetros foi dividida em quatro intervalos iguais. Com o auxílio do compasso florestal foram marcadas 10 árvores, cujos diâmetros estavam compreendidos entre os limites de cada intervalo. As quarenta árvores assim escolhidas, foram derrubadas. A altura média delas foi considerada como a altura média do talhão.

O diâmetro médio foi determinado com o compasso florestal, pela medição do D.A.P. em 50 árvores tomadas ao acaso no talhão.

A determinação do peso sêco do estere de lenha foi feita pela pesagem de amostras de 1/4 de estere durante o decorrer do experimento. Para cada uma das espécies de lenha foram

pesadas 114 amostras, correspondendo aproximadamente à quarta parte da lenha a ser carbonizada.

Os dados assim obtidos e que caracterizam as lenhas estão reunidos no quadro I.

4.2.2. Preparo da lenha.

Após derrubadas as árvores, os fustes foram seccionados em pedaços de 1,00 m e reunidos em pilhas de 1,10 m de altura e de comprimento variável. Os serviços de derrubada e seccionamento dos fustes foram feitos com machado e conduzidos de modo que toda a lenha cortada era empilhada no dia em que havia sido derrubada.

4.2.3. Estocagem e transporte da lenha.

Decorridos cerca de 60 dias do corte, a lenha foi transportada por caminhões a uma distância de 45 km para ser depositada próximo aos fornos, em pilhas de 2,00 m de altura, separadas segundo a espécie de eucaliptos. A lenha ficou assim estocada até o momento da carbonização, que ocorreu após o intervalo de 60 dias.

4.2.4. Contrôlo de umidade da lenha.

A umidade da lenha, em cada espécie de eucaliptos, foi determinada em três épocas diferentes durante o tempo em que se processavam os serviços de carbonização, a saber: no início, na fase média e ao se aproximar o fim das carbonizações. Para cada espécie e em cada época foram retirados 30 paus das pilhas de

lenha, sendo 10 com os menores diâmetros, 10 de diâmetros médios e 10 com os maiores diâmetros.

Da parte média de cada um dos paus foi retirado, com auxílio de uma serra de fita, um disco de 0,02 m de espessura. Esse disco foi seccionado ao meio, segundo o seu diâmetro. Nas amostras formadas dos semi-discos assim obtidos, foi determinada a umidade, pela secagem a 110° C, até pêso constante. Este método é semelhante ao descrito por TOOLE (1961), para o mesmo fim.

4.3. Fornos.

4.3.1. Localização dos fornos

Os fornos utilizados para a execução dos trabalhos de carbonização foram construídos para êsse fim, num mesmo local, em terreno da Secção Técnica de Horticultura, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". O solo é de origem diabásica e bastante uniforme. A construção foi feita por pedreiros especializados.

4.3.2. Cálculo do volume dos fornos.

Após a construção dos fornos, o volume útil de cada um foi calculado pela soma dos volumes da cúpula e do corpo do forno.

Para os fornos Iwate e de barranco, o volume do corpo do forno foi calculado com o auxílio de um planímetro polar, em função da altura dêsse corpo do forno.

Nestes dois fornos o volume da cúpula foi calculado a partir da área da projeção vertical da cúpula, em função dos diâmetros do forno.

Para os fornos colmeia e colmeia de barraço, o volume foi obtido pela soma do volume do corpo do forno, que é cilíndrico, e o da cúpula, que é uma calota esférica.

4.3.3. Condução da carbonização.

A carbonização parcial da lenha, nos diferentes tipos de fornos, foi feita seguindo os métodos de operação desses fornos, estabelecidos pela prática.

O controle do forno para a carbonização parcial da lenha foi feito em função da observação da fumaça e do aquecimento das paredes, avaliado pelo tato, conforme descreveremos adiante. Embora empírico, este método permite um controle eficiente do forno, possibilitando se conduzisse a carbonização, de forma contínua e uniforme.

De modo geral, pode-se dizer que a carbonização parcial se inicia por uma fase de aquecimento, cuja duração é de 3 a 5 horas. No início desse período, entra, no forno, uma grande quantidade de ar que vai, aos poucos, sendo limitada. A fumaça que sai pela chaminé é branca, encorpada, intensa e muito rica em água.

Na segunda fase, a carbonização já se processa em presença de reduzida quantidade de ar, o forno se mostra muito aquecido, a fumaça torna-se branco-amarelada passando depois a acinzentada, pouco encorpada, intensa e de odor característico. Esta fase tem uma duração de cerca de 40 a 50 horas.

Uma terceira e última fase é marcada pela mudança da fumaça para a cor azulada. Na transição, a fumaça apresenta-se durante curto espaço de tempo, azul alternando com branco. Fixa-

se depois em azul, torna-se cada vez mais tênue e muito quente. Esta fase, que dura cêrca de 20 a 24 horas é, ao final, caracterizada pela presença de uma região incolor junto à saída da chaminé. Percebe-se aí apenas uma reverberação de ar superaquecido, acima do qual a fumaça é azul. A região incolor se amplia, e quando atinge cêrca de 0,20 m de altura é chegado o momento de se interromper a carbonização.

4.4. Operação dos fornos.

Após a construção, os fornos foram postos três vêzes a funcionar, a fim de ser testada a qualidade da construção.

4.4.1. Operação do forno colmeia com chaminé.

A lenha foi colocada dentro do forno em posição vertical e com a extremidade de maior diâmetro para cima. Os primeiros paus foram encostados à parede na parte oposta diametralmente à porta, abrangendo um semi-círculo igual à metade do forno. Os paus seguintes formavam camadas contínuas com aquêles. Procurava-se não deixar espaços vazios, ocupando-os com pedaços de lenha de comprimento e diâmetro convenientes. Para ocupar o espaço, junto aos orifícios das chaminés, foram escolhidos paus de maior diâmetro. Quando a sucessão de camadas de lenha em posição vertical, formando semi-círculos, ocupou uma área com cêrca de 1 m de espessura, iniciou-se a colocação dos paus que, em posição vertical, apoiados sôbre os primeiros, formavam a camada imediatamente superior. O carregamento do forno prosseguiu, colocando-se lenha alternadamente na camada inferior e superior.

Ao adiantar-se a formação da camada superior, iniciou-se a colocação sôbre elas, de paus de lenha em posição horizontal.

Desta forma, todo o espaço correspondente à abóbada do forno ficou também ocupado com lenha. A lenha em contato com a abóbada era mais fina, e de fácil combustão. Assim, procedeu-se à colocação da lenha dentro do forno a partir da parte mais distante da porta até junto a ela. Observou-se, sempre, o cuidado de que a colocação dos paus permitisse o enforamento da maior quantidade possível de lenha.

Para possibilitar a construção da porta, os paus que ficaram diretamente à frente dela foram escorados por traves. A porta foi construída de tijolos em espelho, assentados com a mesma argamassa utilizada na construção do forno. Três orifícios foram deixados na linha média vertical da porta, correspondendo cada qual a um dos círculos de orifícios da parede.

Concluída a construção da porta, procedeu-se à obtenção de todos os orifícios com pedaços de tijolos e argamassa bastante mole. Apenas os localizados junto ao chão e no círculo mais alto da cúpula, permaneceram abertos.

Pela abertura do ápice da cúpula iniciou-se o aquecimento da lenha, a fim de se processar a sua carbonização parcial. Isto foi feito introduzindo-se material de fácil combustão, ou, indiferentemente, impregnando-se a lenha com um pouco de gasolina, querosene ou óleo, para em seguida atear-lhe fogo. Iniciou-se, assim, o processo de carbonização parcial da lenha que se desenvolveu como é descrito a seguir.

A combustão se propaga rapidamente pelas áreas adjacentes. Cerca de 10 a 20 minutos após o início da combustão, o fogo atinge o nível do 1º círculo de orifícios, abertos ao redor do buraco central. Sai fumaça pelas quatro chaminés. Está então aceso o forno, fecha-se a abertura no alto da cúpula. A zona de

carbonização parcial de lenha se desloca de cima para baixo, lenta e continuamente.

Pela observação da fumaça que sai em cada uma das chaminés, e variando-se a admissão de ar pelos orifícios junto ao chão, controla-se a velocidade de carbonização da lenha. Sempre que o fogo atinge os orifícios de um plano, abrem-se os do plano imediatamente abaixo, fechando-se em seguida aquêles onde se vê o fogo. Procedese dêsse modo até fecharem-se os orifícios localizados junto ao chão.

Durante o tempo, em que o forno está funcionando, sempre sai fumaça pelas chaminés. É pela observação dessa fumaça que se avalia o estágio do processo de carbonização para o fechamento do forno. Não havendo renovação de ar, a combustão parcial da lenha cessa e o forno começa a esfriar.

Se houver vento com grande velocidade durante a carbonização, há necessidade de cuidar que o ar não penetre pelos orifícios abertos em quantidade maior que a desejável, bem como de impedir a interferência do vento na saída de fumaça pela chaminé. Utiliza-se para isso de qualquer artifício que evite a incidência do vento diretamente nesses pontos. O mais comum é se obstruir parcialmente os orifícios do lado do vento com pequenos pedaços de tijolos, e nas chaminés, colocar um anteparo desviando o vento das bordas do orifício.

Além dêsse cuidado há, também, necessidade de se obturar as trincas que ocasionalmente aparecem nas paredes do forno. Esse cuidado é de grande importância, principalmente enquanto o forno está esfriando, pois se houver troca de ar, a combustão não cessa completamente.

Decorridas 24 horas do fechamento do forno, abre-se o buraco, no ápice da cúpula, e injeta-se água em forma de neblina.

na, com auxílio de um bico pulverizador que recebe água com pressão. Ao mesmo tempo que se inicia a pulverização da água no interior do forno abrem-se os orifícios localizados na cúpula, ao redor do buraco por onde se injeta a água. Dessa forma, a água nebulizada num ambiente de temperatura elevada vaporiza-se rapidamente e escapa pelos orifícios abertos, roubando o calor do forno sem umidecer o carvão. Interrompe-se a nebulização de água, no forno, quando se observá a diminuição na intensidade da saída de vapores.

O forno permanece, assim, cêrca de 8 horas. Quando pelo tato se percebe que as paredes estão suficientemente frias, inicia-se a demolição da porta, retirando-se, na parte mais alta, um dos tijolos.

Procura-se, então, saber se a carbonização já cessou. Para isso avalia-se a temperatura do ar que escapa do forno, sentindo-a nas mãos, e também pela inalação dêsse ar, para verificar a ausência do cheiro característico dos gases que se desprendem durante a carbonização da lenha. Se essas indicações permitem supor cessada a carbonização da madeira, então procede-se à retirada de mais alguns tijolos abrindo um buraco de cêrca de 0,30 m de altura. Através dêsse buraco maior prossegue-se à verificação. Nada havendo que indique existir pontos ainda em carbonização, completa-se a demolição da porta. Removem-se, da frente da porta, os pedaços de reboco e terra que ficarem da demolição.

Procede-se à retirada do carvão que é amontoado em frente ao forno, e recolhido ao depósito, depois de esfriar durante cêrca de 2 horas.

4.4.2. Operação do forno Iwate.

A colocação da lenha foi feita de modo semelhante ao

anteriormente descrito, porém, logo acima da primeira camada em posição vertical foram colocados paus horizontalmente, ocupando o volume da abóbada do forno.

Estando o forno cheio de lenha, a porta foi parcialmente construída de forma a deixar um espaço, em arco, no tampo. Na parte central foi deixado um orifício circular de 0,30 m de diâmetro, e abaixo dêle junto ao chão, um outro orifício quadrado de 0,10 m de lado.

Sobre o orifício da chaminé colocaram-se duas manilhas de três polegadas de forma a prolongar o canal do mesmo.

Iniciou-se a carbonização da lenha, cujo processamento descrevemos a seguir.

À frente da porta, queima-se material de fácil combustão para produzir bastante chama que, sob a ação da tiragem da chaminé, é encaminhada para dentro do forno através da abertura no alto da porta. Por êste meio, decorridos 20 minutos, inicia-se a combustão da camada de lenha em contacto com a cúpula. O forno está aceso.

Com uma pá, colocam-se, dentro do forno, as brasas que estão em frente à porta. Completa-se a seguir a construção da porta.

Durante as duas horas seguintes o forno funciona, estando abertos os dois orifícios deixados na porta. Constatando-se o elevado aquecimento do forno, fecha-se o orifício de junto ao solo, e o ar passa a ser admitido apenas pelo orifício da parte central da porta.

Durante as horas seguintes, deve-se observar continuamente o forno para obstruir as possíveis rachaduras que venham a aparecer, bem como acompanhar atentamente a evolução da

carbonização pela intensidade, volume e côr da fumaça que sai da chaminé. Quando a fumaça, que no início é branca, volumosa, passa para a coloração acinzentada, reduz-se a altura da chaminé com a retirada de uma manilha. Ao aproximar-se o fim da carbonização, a fumaça muda para a côr azul, e diminui de volume. Retira-se, então, a outra manilha, ficando a chaminé com a abertura de 0,20 m, acima do nível do solo. A presença da fumaça incolor indicando o fim da carbonização determina o fechamento do orifício da porta e em seguida da chaminé.

Fechado o forno, interrompe-se o processo de carbonização pela falta de oxigênio, tendo início o período de esfriamento. Durante êsse período são necessários cuidados para evitar a entrada de ar por trincas que venham a aparecer.

Quando se percebe, pelo tato, que a temperatura nas paredes que ficam fora do barranco já é baixa, procede-se à abertura do forno, iniciando-se por retirar, da porta, um tijolo na parte mais alta e, com os mesmos cuidados descritos para o forno colmeia.

A retirada do carvão é feita em seguida do mesmo modo que para o forno colmeia.

4.4.3. Operação do forno de barranco.

A colocação da lenha, no interior do forno, foi feita em duas camadas em posição vertical e uma outra em posição horizontal, ocupando o volume da cúpula do forno.

Depois de cheio o forno com a lenha, construiu-se uma parede para separar, parcialmente, a câmara da antecâmara de carbonização, deixando, no alto, uma comunicação em forma de arco.

Em seguida, encheu-se o espaço do corredor com lenha de fácil combustão e levantou-se a porta, formando a antecâmara do forno.

Na porta deixou-se uma abertura de 0,30 m de altura por 0,20 m de largura e junto ao chão, três orifícios, sendo um no meio da porta, com 0,10 m x 0,10 m, os restantes nas extremidades laterais da porta, com o tamanho de 0,05 m de largura por 0,10 m de altura. O forno ficou, então, pronto para a carbonização que assim se processa:

Através do buraco central da porta, coloca-se fogo à lenha que ocupa a antecâmara. Isso é feito, embebendo-se parte dessa lenha com um combustível líquido qualquer, ou colocando, previamente, junto à lenha da antecâmara, um pouco de palha e gravetos. Com a combustão da lenha na antecâmara, as chamas são conduzidas para dentro da câmara de carbonização pela tiragem da chaminé e dos dois orifícios existentes na cúpula. Durante cerca de 30 minutos acrescenta-se lenha pelo orifício da parte central da porta, de modo que o fogo na antecâmara seja intenso. Quando se percebe, pelos buracos da cúpula, que a lenha ali existente já está em combustão, fecha-se a abertura central da porta. Quando a fumaça que sai pelos orifícios da cúpula apresenta-se cinza azulada, fecham-se êsses orifícios. A fumaça que sai pela chaminé, desde quando se colocou fogo à lenha, é branca, volumosa e intensa. Quando tende a ficar cinzenta, fecham-se os dois orifícios laterais, junto ao chão na porta. Durante a operação deve-se fiscalizar o forno para evitar a entrada de ar por trincas na parede.

Quando a fumaça cinzenta torna-se azul, diminui-se para a metade a área do orifício central, na porta, junto ao chão. Quando, junto à chaminé, a fumaça se apresentar incolor e transparente, está próximo o fim da operação. Do mesmo modo que

para os fornos anteriores, quando houver acima da saída da chaminé, uma zona incolor com a altura de 0,20 m, fecha-se o buraco da porta e, em seguida, fecha-se também a chaminé.

Interrompida a admissão de ar, cessa a carbonização e se inicia o esfriamento do forno. Durante essa fase, prossegue-se fiscalizando o forno para que não haja entrada de ar por trincas. Estando frias as partes expostas da parede, procede-se à abertura do forno, observando-se os mesmos cuidados já descritos.

Ao abrir-se o forno há, na antecâmara, apenas cinzas. Desmancha-se, em seguida, a parede divisória; limpa-se o chão dos restos do rebôco e retira-se o carvão, do mesmo modo já descrito.

4.4.4. Operação do forno colmeia em barranco.

O colocar-se a lenha no interior do forno, o início da combustão, o desenvolvimento da carbonização, a entrada de ar, o esfriamento e abertura do forno, a descarga do carvão foram feitos do mesmo modo que para o colmeia.

A abertura e fechamento dos orifícios foram feitos nas extremidades externas dos respectivos tubos, situados ao redor da cúpula.

4.5. Temperatura e umidade do ar.

Durante a carbonização da lenha foram registrados, diariamente, os dados acêrca da temperatura e umidade relativa ao ar, no local dos fornos. Para isso foi instalado à sombra, em lugar ventilado, um psicômetro. Três vêzes ao dia, às 6, 12 e 18 horas, eram feitas as leituras e anotadas a temperatura e a umidade relativa (fig. 7.)

4.6. Movimento do ar.

A fim de registrar a intensidade do vento no local, foi instalado um anemógrafo. O catavento do aparelho foi localizado a uma altura que correspondia, aproximadamente, à das extremidades externas das chaminés. Dessa forma foi registrada, continuamente, pelo aparelho, a intensidade do vento, no local do forno (fig. 8.)

4.7. Temperatura de carbonização.

Utilizando um aparelho construído na Cadeira de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", semelhante ao descrito por PLTER (1956), foram tomadas as medidas das temperaturas internas dos fornos.

Esse aparelho permite tomar a temperatura com auxílio de um par termo-elétrico de fios ferro-constant, ligados a um potenciômetro, tendo a temperatura 0°C como referência. A leitura do potenciômetro era feita em milivolts e foi depois transformada para graus centígrados usando uma tabela.

A leitura, feita diariamente, em cada forno, às 6, 12 e 18 horas, era repetida três vezes.

No forno colmeia com chaminé, os pontos de leitura da temperatura se localizaram na parede do forno, segundo uma linha vertical, afastados 0,40 m da parede e distando do fundo do forno, respectivamente, 0,50 m, 1,00 m e 1,50 m.

No forno Iwate, os pontos de leitura das temperaturas se situaram segundo uma linha horizontal que, distando 0,60 m do fundo do forno, tinha a direção porta-chaminé. Um dos pontos distava 0,50 m, o outro 1,50 m e o terceiro 2,50 m da porta.

No forno de barranco, os pontos de tomada de temperatura situaram-se, também, em uma linha horizontal, na direção porta-chaminé, à altura de 1,20 m do fundo do forno. Esses pontos distavam 0,50 m, 1,50 m e 2,50 m da porta interna.

No forno colmeia em barranco, os três pontos da tomada de temperatura interna foram localizados segundo uma linha vertical, afastada 0,40 m da porta do forno, às seguintes distâncias do fundo do mesmo: 0,50 m, 1,00 m e 1,50 m.

Além desses pontos, em todos os fornos, foram também tomadas as temperaturas da fumaça ao nível de 0,05 m abaixo da extremidade externa da chaminé. Nos fornos colmeia com chaminé e colmeia em barranco, onde havia mais de uma chaminé, foi registrada a temperatura naquela que apresentava indícios de ser a mais elevada.

4.8. Duração da operação dos fornos.

O tempo de carbonização foi tomado por anotação do tempo decorrido desde o início do acendimento do forno, até o fechamento da admissão de ar e da chaminé. A duração da fase de esfriamento foi determinada pela anotação do tempo decorrido desde o fechamento do forno até a demolição da porta para retirada do carvão.

4.9. Pêso de um metro cúbico de carvão.

A determinação do pêso de um metro cúbico de carvão foi feita pela pesagem de todo o carvão de cada foinada, sempre ao retirá-lo do forno. Com o auxílio de uma balança de sensibilidade de 10 g pesava-se, cada vez, o volume de 120 l.

4.10. Retirada de amostra de carvão no forno.

Com o fim de dispor de carvão para posterior determinação de suas propriedades, separamos, de cada fornada, um volume de 50 litros de carvão. As peças que formaram essas amostras foram retiradas dos diversos pontos do forno e apresentavam diferentes diâmetros. Para isso, ao se descarregar o forno, ia-se coletando a amostra, de forma a obter peças carbonizadas em numerosos pontos do forno.

Essas amostras foram armazenadas em uma sala, onde a umidade do ar foi mantida aproximadamente a 10,71 gr de água por m³ de ar, com o auxílio de um aparelho desumidificador.

4.11. Resistência à compressão radial.

A determinação da resistência à compressão radial do carvão foi determinada em corpos de prova de forma cilíndrica, cujo diâmetro e altura eram de 0,016 m. O preparo desses corpos de prova foi feito conforme método descrito por ARAÚJO (1952).

Inicialmente, retirava-se da amostra de carvão de uma fornada, 15 cubos com 0,025 m de lado. Esses cubos provinham de peças de carvão cujos raios mediam, em cada grupo de 5, 0,02 m a 0,03 m, 0,03 m a 0,04 m, 0,04 m a 0,07 m. Os cubos foram obtidos com auxílio de uma serra de fita elétrica e provinham, sempre das camadas externas das peças de carvão. Com auxílio de esmeril e de lixas finas esses cubos foram transformados em cilindros de iguais dimensões.

Os corpos de provas assim obtidos foram secados a 105° C até peso constante.

De cada grupo de cinco corpos de provas, escolhemos dois que, pelo aspecto externo, se apresentavam perfeitos. Cada um deles foi submetido à compressão progressiva, em uma máquina de ensaio de compressão (Universal Testing Machine UHP/ZHP 4, de marca Loz). Essa máquina pertence ao Departamento de Materiais Dentários da Faculdade de Farmácia e Odontologia de Piracicaba, onde foram executados os citados ensaios. Utilizou-se a escala de 0 kg a 200 kg, com sensibilidade de 0,5 kg, e uma velocidade de aplicação de carga de 50 kg por minuto.

4.12. Resistência ao manejo.

A fim de se ter idéia da resistência do carvão ao manejo, submetemos as amostras com 2,5% de umidade aos ensaios em tambor rotativo e aos ensaios de quedas, determinando depois a porcentagem de moinha produzida em cada prova.

4.12.1. Resistência à abrasão.

Procedendo de acordo com o método descrito por BERGSTROM e JANSSON (1948), a amostra de carvão de um determinado tamanho foi submetida à ação da abrasão no interior de um tambor.

Para isso, tomamos 500 g de carvão (sempre mais de 5 peças) que passaram em uma peneira de crivo redondo de 4 polegadas, mas foram retidas na de crivos de 2 polegadas. As 500 g de carvão assim obtidas foram colocadas em um tambor cujo diâmetro é de 0,30 m e a largura é de 0,25 m, provido, no interior, de dois septos radiais, diametralmente opostos. Esse tambor era acionado por um motor elétrico, até completar 500 voltas, a uma

velocidade de 46 rotações por minuto. Finda a operação, o carvão era retirado, peneirado e pesado segundo diversos tamanhos. O carvão, que passava através da peneira de crivos com 1/2 polegada de diâmetro, constituía a moinha.

Adotamos o critério de considerar como moinha os carvões que atravessavam os crivos de 1/2 polegada, por ser esse critério usado na indústria nacional.

4.12.2. Fragmentação por queda.

Procedendo de modo semelhante ao preconizado para o coque, pela norma técnica ASTM 440-49, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, (1961), submetemos a amostra de carvão a três choques, decorrentes de tombos consecutivos de uma altura de 1,80 m sôbre uma chapa de aço de 1/2 polegada. O volume de cada amostra era de 0,015 m³.

Por peneiramento, separamos a moinha, constituída pelo carvão que passou através da peneira de crivo de 1/2 polegada.

4.12.3. Cálculo da porcentagem de moinha.

A porcentagem de moinha foi calculada em gramas, sôbre o total do pêso da amostra.

4.13. Higroscopicidade.

Do carvão que foi submetido à prova das quedas, separamos aquêle que, tendo passado através da peneira de 3/4", ficou retido na peneira de crivo de 1/2" de diâmetro. Dêste, tomamos cêrca de 50 g para a determinação da higroscopicidade.

A amostra foi inicialmente secada a 105°C, até peso constante, e, depois, colocada em ambiente de umidade controlada.

A câmara de umidade controlada era constituída de uma caixa de madeira de 0,45 m de largura, 0,22 m de altura e 0,35 m de comprimento, provida de porta. Ela era provida de uma resistência elétrica que funcionava ligada a um termostato, possibilitando manter temperatura constante. Havia, também, um depósito d'água, colocado na parte inferior, com as dimensões de 0,30 m de comprimento, 0,20 m de largura, e 0,02 m de altura que, por evaporação, mantinha constante a umidade do ambiente. Dois orifícios reguláveis permitiam a troca controlada de ar com o exterior.

Essa câmara foi regulada para uma umidade de 29,25 gr de água por metro cúbico de ar, a uma temperatura de 38°C.

Foram mantidas juntas, na câmara, 12 amostras, tendo sido assim trabalhadas tôdas as amostras de um mesmo forno.

As pesagens da amostra foram feitas em balança de sensibilidade 0,0001 g após 6 horas, 12 horas, e, depois, a cada 24 horas dessa segunda pesagem. Esse controle foi feito até completar 156 horas, a contar do início. Foi calculada a porcentagem mais alta de aumento de peso em cada amostra durante esse espaço de tempo.

4.14. Determinação do teor dos principais componentes do carvão

A determinação do teor de matéria volátil, de carbono fixo e de cinzas no carvão vegetal foi feita de acordo com o método descrito por MOORE e BEGLINGER (1961).

Por êsse método, o carvão vegetal, reduzido a pó, é utilizado na granulação compreendida entre as peneiras nº 20 e nº 100 US. Standard Sieve, fazendo-se, simultâneamente, duas determinações de cada amostra.

A determinação dos voláteis, contidos no carvão, é feita pelo aquecimento da amostra a 950°C, durante 6 minutos. A quantidade de voláteis é dada pela diferença de pêsos da amostra, antes e depois do aquecimento, sendo expressa em porcentagem calculada em relação ao pêsos sêcos do carvão.

A determinação das cinzas é feita pela calcinação da mesma amostra a 750°C, durante 6 horas. A quantidade de cinza é dada pelo pêsos do resíduo resultante da calcinação, e é expressa em porcentagem calculada em relação ao pêsos sêcos do carvão.

A porcentagem de carbono fixo é calculada. É ela igual à diferença entre 100 e a soma das porcentagens de matéria volátil e cinzas da amostra.

4.15. Quantidade de carvão produzido com 100 kg de lenha.

Esse valor foi calculado relacionando-se pêsos sêcos do total da lenha enforada com o pêsos sêcos do total de carvão produzido naquela fornada.

4.16. Quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha.

Conhecendo-se o teor de carbono fixo, no carvão de cada fornada, e a quantidade de carvão produzida com 100 kg de lenha, foi calculado quanto de carbono fixo existia nessa quantidade.

5. RESULTADOS

QUADRO I - Características das plantas e lenhas utilizadas na carbonização

Espécies	PLANTAS			LENHAS	
	Idade (anos)	Altura média (m)	Ø médio (cm)	Pêso de um estere de lenha seca (kg)	Pêso específico aparente (1)
E.saligna	7	7,625	8,85	451,42	0,69
E.alba	7	10,875	9,54	479,23	0,83
E.citriodora	14	14,275	13,36	573,58	0,98
E.punctata	14	11,950	16,33	589,52	0,91

(1) Segundo ANDRADE (1961)

QUADRO II - Umidade da lenha enquanto durou o trabalho nos fornos (em porcentagem)

Lenhas	Período da carbonização			Médias
	Início	Meio	Fim	
E.saligna	23,17	17,21	16,21	18,86
E.alba	22,98	18,68	18,91	20,19
E.citriodora	17,59	16,73	18,14	17,48
E.punctata	22,91	22,09	22,19	23,39

Obs: Os dados representam a média das unidades em 30 amostras.

QUADRO III -- Duração da carbonização (em horas)

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	100,00	97,50	91,00	58,00
	2	44,00	93,00	116,50	59,00
	3	35,00	66,00	98,00	43,00
E.alba	1	43,50	67,50	81,00	64,00
	2	61,50	115,00	79,00	61,00
	3	72,00	86,00	65,00	55,50
E.citriodora	1	75,50	112,00	71,00	97,50
	2	44,50	83,00	90,50	72,00
	3	52,00	112,00	96,00	61,00
E.punctata	1	95,50	90,00	125,00	136,00
	2	62,00	97,00	93,00	96,00
	3	55,50	65,50	60,00	61,00

QUADRO IV - Duração do esfriamento do forno (em horas)

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E. saligna	1	19,00	66,50	50,00	50,00
	2	52,00	50,50	50,50	84,00
	3	72,00	72,00	51,50	53,00
E. alba	1	28,50	90,83	45,50	75,00
	2	38,00	74,00	95,00	92,00
	3	19,00	74,00	68,00	16,50
E. citriodora	1	72,00	115,00	113,00	62,50
	2	76,00	41,50	84,00	60,00
	3	48,00	127,00	67,00	71,00
E. punctata	1	45,00	47,00	106,00	81,00
	2	47,00	61,00	85,00	103,00
	3	52,50	66,00	78,00	113,00

QUADRO V - Pêso de um metro cúbico de carvão (em kg)

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E. saligna	1	170,33	208,58	183,66	186,00
	2	177,00	188,91	185,00	180,41
	3	184,25	192,50	186,16	191,00
E. alba	1	209,66	234,08	225,58	207,16
	2	206,33	220,00	212,66	197,33
	3	219,41	222,33	249,58	209,41
E. citriodora	1	247,16	261,75	247,41	251,16
	2	249,08	268,08	261,41	261,41
	3	246,66	254,50	266,33	263,91
E. punctata	1	245,83	232,08	250,66	252,08
	2	252,91	245,66	235,66	234,41
	3	254,66	253,75	271,91	253,91

QUADRO VI - Resistência do carvão à compressão radial (em kg/cm²)

Le- nhas	Repe- ti- ções	Corpos de prova	Forno colmeia com chaminé			Forno Iwate			Forno de barranco			Forno colmeia em barranco		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
E. saligna	1	a	52,0	20,5	25,0	50,5	49,0	21,5	76,0	71,5	52,0	42,0	58,0	31,0
		b	53,5	35,0	37,0	32,0	71,5	23,5	73,0	41,0	28,5	58,0	42,0	35,5
	2	a	27,5	56,0	23,0	81,0	24,5	30,5	34,0	63,0	30,5	72,5	23,5	35,0
		b	28,5	40,0	35,0	41,5	45,5	26,5	26,5	53,0	36,0	63,0	33,5	35,0
	3	a	32,5	45,0	39,0	115,0	34,0	32,5	38,5	61,0	34,5	61,5	36,5	32,5
		b	41,5	39,0	20,0	112,5	26,5	53,0	43,0	38,0	44,5	75,5	33,5	41,0
E. alba	1	a	31,0	55,0	82,5	80,5	59,0	108,0	45,0	32,5	21,5	54,0	46,5	42,0
		b	47,0	39,0	30,0	89,5	35,5	93,5	-	23,5	22,0	45,0	36,5	46,0
	2	a	47,0	71,0	53,0	69,0	62,0	94,0	62,0	68,0	37,0	195,0	46,0	48,5
		b	47,0	70,0	40,0	106,5	38,0	181,0	57,0	49,5	36,5	52,5	76,0	46,0
	3	a	66,5	73,0	50,5	63,5	45,5	41,5	42,5	45,0	50,0	21,5	66,5	38,0
		b	-	72,0	71,0	91,0	35,5	109,0	52,0	28,0	52,0	24,5	60,0	50,0
E. citriodora	1	a	51,0	38,0	74,5	96,0	106,0	75,0	107,5	44,5	40,0	67,5	51,5	54,5
		b	100,4	42,5	77,0	144,5	41,0	85,5	57,5	32,5	48,5	72,5	49,0	60,5
	2	a	32,0	77,5	134,0	83,0	69,0	49,0	69,5	58,0	48,0	54,0	120,0	72,0
		b	37,0	69,5	191,0	61,0	65,0	56,5	60,0	53,0	35,5	56,0	100,0	60,5
	3	a	116,5	79,5	43,5	72,5	71,5	53,5	100,0	58,0	45,0	97,5	38,0	62,0
		b	103,0	104,0	42,5	95,5	65,5	68,5	63,0	55,0	43,5	77,0	32,0	52,5
L. punctata	1	a	73,5	75,0	75,0	129,5	53,0	98,0	72,5	84,5	84,0	156,5	60,0	166,0
		b	85,5	73,0	80,5	109,5	59,5	85,5	59,5	38,0	74,0	147,5	144,5	115,0
	2	a	135,0	150,0	73,5	53,0	173,0	148,5	85,0	20,0	58,5	105,0	142,0	124,5
		b	74,0	98,0	80,0	31,5	40,0	128,0	64,0	64,5	39,0	97,5	132,0	135,5
	3	a	55,5	44,0	49,0	38,0	44,0	55,5	66,0	33,0	26,5	97,5	64,0	118,0
		b	74,0	51,5	37,0	67,5	39,5	39,0	59,5	84,5	91,5	84,0	18,0	82,0

I - Peças de carvão com o raio médio compreendido entre 0,02 - 0,03m.

II - Peças de carvão com o raio médio compreendido entre 0,03 - 0,04m.

III - Peças de carvão com o raio médio compreendido entre 0,04 - 0,07m.

QUADRO VII -- Resistência do carvão à abrasão. Porcentagem de moí-
nha em relação ao peso sêco do carvão.

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia con chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	18,00	16,00	16,00	14,00
	2	16,00	32,00	18,00	12,00
	3	20,00	28,00	18,00	28,00
E.alba	1	18,00	20,00	20,00	16,00
	2	12,00	22,00	12,00	22,00
	3	16,00	10,00	20,00	22,00
E.citriodora	1	28,00	16,00	38,00	12,00
	2	34,00	20,00	28,00	26,00
	3	46,00	26,00	16,00	22,00
E.punctata	1	22,00	28,00	28,00	46,00
	2	20,00	30,00	16,00	24,00
	3	28,00	18,00	40,00	26,00

QUADRO VIII - Fragmentação do carvão por queda. Porcentagem de moinha em relação ao pêso sêco do carvão

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	4,37	5,20	3,27	3,29
	2	2,18	4,49	3,74	3,59
	3	3,00	5,28	4,22	3,22
E.alba	1	3,47	5,48	4,91	3,55
	2	2,97	4,65	3,47	5,17
	3	6,97	3,58	3,48	2,89
E.citriodora	1	4,42	1,88	4,81	5,72
	2	5,45	4,09	5,24	4,48
	3	4,74	9,00	4,56	2,97
E.punctata	1	3,75	7,69	5,26	6,70
	2	6,26	6,74	5,43	7,04
	3	5,09	2,84	6,22	6,60

QUADRO IX - Higroscopicidade do carvão. Porcentagem de água absorvida em relação ao peso seco do carvão.

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	4,54	4,56	3,09	4,93
	2	6,49	3,69	3,76	5,03
	3	4,55	3,44	3,87	3,91
E.alba	1	4,91	3,94	3,30	5,50
	2	4,96	4,50	3,68	4,64
	3	4,49	3,48	3,78	4,83
E.citriodora	1	4,71	1,17	3,59	4,33
	2	5,01	3,66	2,86	4,48
	3	4,91	3,53	2,98	4,60
E.punctata	1	5,23	3,23	3,30	5,06
	2	4,87	3,44	3,63	4,48
	3	4,52	3,25	4,08	4,09

QUADRO X - Teor de carbono fixo no carvão. Porcentagem em relação ao peso seco do carvão.

Lenhas	Repe- ti- ções	Amos- tras	F o r n o s			
			colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	a	74,53	68,15	73,64	71,00
		b	74,01	67,66	73,62	71,32
	2	a	77,87	78,51	77,95	72,60
		b	78,02	78,59	77,23	73,14
	3	a	75,82	83,94	82,22	68,69
		b	76,34	83,66	82,60	68,67
E.alba	1	a	65,35	72,59	76,63	70,13
		b	65,31	72,02	76,62	69,79
	2	a	65,86	75,50	78,67	73,80
		b	66,31	76,14	78,83	74,17
	3	a	73,59	80,05	77,52	73,48
		b	73,37	80,02	77,37	73,81
E.citricodora	1	a	72,45	70,24	76,24	62,06
		b	72,53	69,95	76,43	62,04
	2	a	69,39	77,69	80,83	70,22
		b	68,70	77,27	81,13	69,90
	3	a	72,26	85,15	76,23	64,00
		b	72,29	85,16	76,57	64,25
E.punctata	1	a	65,85	80,34	78,79	76,96
		b	66,22	80,97	78,82	77,46
	2	a	74,32	74,72	80,02	84,71
		b	74,84	75,11	79,74	84,83
	3	a	72,26	84,20	75,49	81,56
		b	72,24	84,42	75,09	81,46

QUADRO XI - Teor de matéria volátil no carvão. Porcentagem em relação ao peso seco do carvão

Lenhas	Repe- ti- ções	Amos- tras	F o r n o s			
			colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	a	24,60	31,00	25,71	28,04
		b	24,12	31,82	26,01	27,78
	2	a	20,93	20,31	21,66	26,07
		b	20,80	20,00	22,13	25,84
	3	a	23,36	15,09	16,84	30,36
		b	22,60	15,37	16,46	30,36
E.alba	1	a	33,90	26,46	23,12	28,72
		b	33,91	27,08	23,10	29,10
	2	a	33,67	23,05	20,49	25,12
		b	33,21	22,66	20,33	24,44
	3	a	25,62	18,59	22,10	25,39
		b	25,78	19,03	21,82	25,02
E.citriodora	1	a	26,51	28,58	22,59	35,96
		b	26,36	28,92	22,39	35,99
	2	a	29,49	21,65	18,35	29,15
		b	30,18	21,73	18,09	29,17
	3	a	26,68	13,74	23,04	34,86
		b	26,78	13,73	22,75	34,26
E.punctata	1	a	32,91	18,62	20,60	22,43
		b	32,87	18,01	20,93	21,70
	2	a	24,73	24,36	19,29	14,63
		b	24,54	24,25	19,55	14,75
	3	a	26,02	14,74	23,77	17,92
		b	26,23	14,52	23,97	17,80

QUADRO XII - Teor de cinzas no carvão. Porcentagem em relação ao peso sêco do carvão

Lenhas	Repe- ti- ções	Amos- tras	F o r n o s			
			colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	a	0,87	0,85	0,65	0,96
		b	0,87	0,52	0,37	0,90
	2	a	1,20	1,18	0,39	1,33
		b	1,18	1,41	0,64	1,02
	3	a	0,82	0,97	0,94	0,95
		b	1,06	0,97	0,94	0,97
E.alba	1	a	0,75	0,92	0,25	1,15
		b	0,78	0,92	0,28	1,11
	2	a	0,47	1,45	0,84	1,08
		b	0,48	1,20	0,84	1,39
	3	a	0,79	1,36	0,38	1,13
		b	0,85	0,91	0,81	1,17
E.citriodora	1	a	1,04	1,18	1,17	1,98
		b	1,11	1,15	1,18	1,97
	2	a	1,12	0,66	0,82	0,63
		b	1,12	1,00	0,79	0,93
	3	a	1,06	1,11	0,73	1,14
		b	0,93	1,11	0,68	1,49
E.punctata	1	a	1,24	1,04	0,61	0,61
		b	0,91	1,02	0,25	0,84
	2	a	0,95	0,92	0,69	0,66
		b	0,62	0,64	0,71	0,42
	3	a	1,72	1,06	0,94	0,52
		b	1,53	1,06	0,94	0,74

QUADRO XIII - Quantidade de carvão produzido com 100 kg de lenha
(em kg)

Lenhas	Repe- ti- ções	F o r n o s			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	17,69	20,63	22,26	18,01
	2	14,01	24,63	19,89	18,60
	3	16,82	17,50	17,91	14,23
E.alba	1	20,44	24,87	18,20	20,50
	2	14,19	20,20	18,19	18,65
	3	18,49	20,07	21,78	20,75
E.citriodora	1	21,94	24,24	23,12	19,01
	2	19,14	23,90	22,58	20,43
	3	18,98	19,19	22,57	16,20
E.punctata	1	17,90	24,78	23,77	21,61
	2	14,09	26,60	27,85	20,73
	3	17,89	24,88	17,30	19,17

QUADRO XIV - Quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha (em kg)

Lenhas	Repe- ti- ções	Amos- tras	F o r n o s			
			colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	a	13,18	14,05	16,39	12,78
		b	13,09	13,95	16,38	12,84
	2	a	10,90	19,33	15,50	13,50
		b	10,93	19,35	15,36	13,60
	3	a	12,75	14,68	14,72	9,77
		b	12,84	14,64	14,79	9,77
E.alba	1	a	13,35	18,05	13,94	14,37
		b	13,34	17,91	13,94	14,30
	2	a	9,34	15,25	14,31	13,76
		b	9,40	15,38	14,33	13,83
	3	a	13,60	16,06	16,88	15,24
		b	13,56	16,06	16,85	15,31
E.citriodora	1	a	15,89	17,02	17,62	11,79
		b	15,91	16,95	17,67	11,79
	2	a	13,28	18,56	18,25	14,34
		b	13,14	18,46	18,31	14,28
	3	a	13,71	16,34	17,20	10,36
		b	13,72	16,34	17,27	10,40
E.punctata	1	a	11,78	19,90	18,72	16,63
		b	11,85	20,06	18,73	16,73
	2	a	10,47	19,87	22,28	17,56
		b	10,54	19,97	22,20	17,58
	3	a	12,92	20,94	13,05	15,63
		b	12,92	21,00	12,99	15,61

6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

O estudo estatístico dos dados foi feito pela análise da variância, utilizando o teste "teta", seguido do teste Duncan, para comparar as médias quando as variações eram significativas.

Nos casos, onde os dados representam porcentagens, a fim de se poder analisar os dados pelos métodos citados, foram êles transformados pela fórmula $y = \text{arc. sen } \sqrt{\frac{P}{100}}$, onde P é a porcentagem.

Quando a interação, entre dois fatores, foi estatisticamente significativa, foi feita uma análise de variação complementar, seguido do teste de Duncan.

Adotamos a convenção comum de representar por um asterisco a significância ao nível de 5%, por dois ao nível de 1% e por três ao nível de 0,1% de probabilidade. As diferenças não significativas são indicadas por n.s. As letras FV, GL, SQ, QM e c.v. significam, respectivamente: Fontes da variação, Número de graus de liberdade, Soma dos quadrados, Quadrado médio e coeficiente de variação.

6.1. Umidade da lenha

QUADRO XV - Resultados da análise da variância dos dados relativos à umidade da lenha

FV	GL	SQ	QM
Lenhas	3	151,67	50,56 n.s.
Épocas	2	157,82	78,92 n.s.
épocas x lenhas dentro	6	120,68	20,11 n.s.
	106	2 433,78	22,96
Total	117	2 863,96	

$$\bar{x} = 25,97 \quad \text{c.v.} = 17,2\%$$

A análise nos mostra que a umidade da lenha foi sempre, estatisticamente igual.

\bar{x} = porcentagem de umidade da lenha, em relação ao peso seco.

6.2. Temperatura de carbonização

O método utilizado para avaliar a temperatura de carbonização parcial da lenha e que foi condicionado à aparelhagem de que conseguimos dispor, na época, não nos permitiu obter o registro contínuo dessa temperatura. Registramos ao todo 540 temperaturas, o que contudo, não nos permitiu obter todas as temperaturas máximas das fornadas. Mesmo assim achamos importante, para o melhor conhecimento das condições em que se processaram as operações dos fornos, e para a informação, muito util, sobre a capacidade dos fornos em atingir as temperaturas ideais de produção de carvão, apresentar as temperaturas máximas registradas em cada fornada (anexo n. 2).

6.3. Duração da carbonização

QUADRO XVI - Resultados da análise da variância dos dados relativos à duração da carbonização.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	6 844,01	2 281,34 **
Lenhas	3	1 623,18	541,06 n.s.
Fornos x Lenha	9	4 009,96	445,56 n.s.
Resíduo	32	13 848,33	432,76
Total	47	26 325,49	

\bar{x} = 78,24 c.v.=26,6%

A análise estatística dos dados mostra que existe diferença no tempo de carbonização, requerido pelos diversos tipos de fornos, e que não houve variação por influência da lenha.

Pode-se apreciar essas diferenças no quadro a seguir.

QUADRO XVII - Confronto entre os tempos necessários à carbonização em diversos fornos

FORNOS		de barranco	Iwate	colmeia em barranco	colmeia com chaminé
	\bar{x}	90,38	88,83	72,00	61,75
de barranco	90,38	-	n.s.	*	**
Iwate	88,83		-	n.s.	**
colmeia em barranco	72,00			-	n.s.
colmeia com chaminé	61,75				-

\bar{x} = Tempo médio necessário para carbonização, em horas.

6.4. Duração do esfriamento do forno

QUADRO XVIII - Resultado da análise da variancia dos dados relativos à duração do esfriamento dos fornos

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	6 090,49	2 030,16 **
Lenhas	3	4 127,62	1 031,90 n.s.
Forno x Lenha	9	6 399,68	711,08 n.s.
Resíduo	32	14 204,50	443,89
Total	47	30 822,29	

\bar{x} = 66,85 c.v. = 31,5%

Os dados acima mostram que o tempo de esfriamento variou de um forno para outro e, também, que a lenha não influiu no tempo gasto para o esfriamento do forno.

QUADRO XIX - Comparação entre os tempos de esfriamento dos fornos

FORNOS		de barranco	Iwate	colmeia em barranco	colmeia com chaminé
	\bar{x}	74,46	73,78	71,75	47,42
de barranco	74,46	-	n.s.	n.s.	**
Iwate	73,78		-	n.s.	**
colmeia em barranco	71,75			-	*
colmeia com chaminé	47,42				-

\bar{x} = tempo médio necessário ao esfriamento, em horas.

6.5. Pêso de um metro cúbico de carvão

QUADRO XX - Resultado da análise de variância dos dados relativos ao pêso de um metro cúbico de carvão.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	918,19	306,06 n.s.
Lenhas	3	37 144,07	12 381,36 ***
Forno x Lenha	9	1 343,01	149,22 n.s.
Resíduo	32	2 925,17	91,41
Total	47	42 330,45	

\bar{x} = 227,28 c.v. = 4,2%

Conforme o quadro acima, a análise estatística mostrou uma influência da lenha, enquanto o tipo de forno não influenciou no peso do carvão.

QUADRO XXI - Confronto entre os pesos do carvão proveniente das diversas lenhas.

LENHAS		E. citriodora	E. punctata	E. alba	E. saligna
	\bar{x}	256,57	248,63	217,79	186,15
E.citriodora	256,57	-	n.s.	**	**
E.punctata	248,63		-	**	**
E.alba	217,79			-	**
E.saligna	186,15				-

\bar{x} = peso médio, em quilogramas, de um metro cúbico de carvão.

6.6. Resistência do carvão à compressão radial

QUADRO XXII - Análise da variância dos dados relativos à resistência à compressão radial apresentada pelo carvão fabricado no forno colmeia com chaminé.

FV	GL	SQ	QM
Lenhas	3	21 611,60	7.203,87 **
Resíduo	8	4 151,13	518,89
Parcelas	(11)	(25 762,73)	
Tamanho	2	69,48	34,74 n.s.
Tamanho x Lenha	6	4 081,64	680,27 n.s.
Tamanho x Rep.Dentro	16	24 923,93	
Dentro	36	15 979,19	443,87
Total	71	70 816,99	

$$\bar{x} = 61,88$$

$$c.v. = 34,0\%$$

QUADRO XXIII - Análise da variância dos dados relativos à resistência à compressão radial apresentada pelo carvão fabricado no forno Iwate.

FV	GL	SQ	QM
Lenhas	3	20 522,44	6 840,82 n.s.
Resíduo	8	20 580,66	2 572,58
Parcelas	(11)	(41 103,11)	
Tamanho	2	16 443,54	8 221,77***
Tamanho x Lenha	6	4 137,12	689,52 n.s.
Tamanho x Rep.Dentro	16	19 809,08	
Dentro	36	17 876,12	496,56
Total	71	99 368,99	

$$\bar{x} = 69,78 \quad \text{c.v.} = 31,9\%$$

QUADRO XXIV - Análise da variância dos dados relativos à resistência à compressão radial apresentada pelo carvão fabricado no forno de barranco.

FV	GL	SQ	QM
Lenhas	3	4 211,86	1 403,96 n.s.
Resíduo	8	5 495,12	686,89
Parcelas	(11)	(9 706,99)	
Tamanhos	2	2 914,56	1 457,28 **
Tamanho x Lenha	6	2 580,55	430,09 n.s.
Tamanho x Rep.Dentro	16	3 701,69	
Dentro	36	7 637,51	212,15
Total	71	26 541,32	

$$\bar{x} = 52,28$$

$$c.v. = 27,8\%$$

QUADRO XXV - Análise da variância dos dados relativos à resistência à compressão radial apresentada pelo carvão fabricado no forno colmeia em barranco.

FV	GL	SQ	QM
Lenhas	3	49 846,52	16 615,51***
Resíduo	8	6 453,83	806,73
Parcelas	(11)	(56 300,36)	
Tamanho	2	1 101,09	500,54 n.s.
Tamanho x Lenha	6	5 352,74	892,12 n.s.
Tamanho x Rep.Dentro	16	13 696,91	
Dentro	36	13 938,66	387,18
Total	71	90 389,77	

$\bar{x} = 67,06$

c.v. = 29,3%

QUADRO XXVI - Análise da variância dos dados relativos à resistência à compressão radial do carvão.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	4 216,98	1 405,66 n.s.
Lenhas	3	56 718,45	18 906,15***
Forno x Lenha	9	39 473,99	4 386,00**
Resíduo geral	32	36 680,75	1 146,27
Total parcelas	47	137 090,18	

$$\bar{x} = 62,61 \quad \text{c.v.} = 49,8\%$$

Houve uma influência da lenha, na resistência do carvão, em atinência à compressão radial. Essa influência ocorreu nos carvões fabricados nos fornos colmeia com chaminé e colmeia em barranco (quadros XXII e XXV).

Pelo teste de Duncan pudemos saber que para êsses fornos, as lenhas se comportaram conforme mostram os dois quadros seguintes:

QUADRO XXVII - Confronto das resistências à compressão radial apresentadas pelos carvões provenientes das diversas lenhas, quando carbonizadas no forno colmeia com chaminé.

LENHAS		E. citriodora	E. punctata	E. alba	E. saligna
	\bar{x}	78,52	76,89	56,02	36,11
E.citriodora	78,52	-	n.s.	*	**
E.punctata	76,89		-	*	**
E.alba	56,02			-	*
E.saligna	36,11				-

QUADRO XXVIII - Confronto das resistências à compressão radial apresentadas pelos carvões provenientes das diversas lenhas, quando carbonizadas no forno colmeia em barranco.

LENHAS		E. punctata	E. citriodora	E. alba	E. saligna
	\bar{x}	110,53	65,39	47,33	44,97
E.punctata	110,53	-	**	**	**
E.citriodora	65,39		-	n.s.	n.s.
E.alba	47,33			-	n.s.
E.saligna	44,97				-

Análise mostra, ainda, que houve uma interação entre a influência da lenha e a influência do forno (Quadro XXVI). Isto significa que, com relação à resistência do carvão à compressão radial, houve um comportamento diferente de determinadas qualidades de lenha em determinados fornos. Para se saber quais lenhas se comportaram de modo diferente, nos diversos tipos de fornos, foi feita uma análise complementar.

QUADRO XXIX - Análise complementar da variância dos dados relativos à compressão radial dos carvões provenientes das diferentes qualidades de lenha.

FV	GL	SQ	QM
E.saligna	3	1 636,40	545,47 n.s.
E.alba	3	13 512,66	4 504,22 *
E.citriodora	3	5 383,56	1 794,52 n.s.
E.punctata	3	23 158,34	7 719,45 **
Resíduo	32	36 608,75	1 146,27

$$\bar{x} = 62,61$$

$$c.v. = 49,8\%$$

Vemos que as lenhas de E.alba e de E.punctata produziram carvões de diferentes resistências à compressão radial, quando carbonizadas nos diferentes fornos. Com a finalidade de se saber o comportamento de cada uma delas, nos quatro tipos de fornos, foi feito o teste de Duncan, estando os resultados agrupados nos quadros XXX e XXXI.

QUADRO XXX - Confronto das resistências à compressão radial apresentadas pelos carvões provenientes da lenha de E.alba carbonizada nos diversos tipos de fornos.

FORNOS		Iwate	colmeia com chaminé	colmeia em barranco	de barranco
	\bar{x}	77,92	56,02	47,33	42,02
Iwate	77,92	-	n.s.	*	**
colmeia com chaminé	56,02		-	n.s.	n.s.
colmeia em barranco	47,33			-	n.s.
de barranco	42,02				-

QUADRO XXXI - Confronto das resistências à compressão radial apresentadas pelos carvões provenientes da lenha de E.punctata carbonizada nos diversos tipos de fornos.

FORNOS		colmeia em barranco	Iwate	colmeia com chaminé	de barranco
	\bar{x}	110,53	77,36	76,89	61,36
colmeia em barranco	110,53	-	**	**	**
Iwate	77,36		-	n.s.	n.s.
colmeia com chaminé	76,89			-	n.s.
de barranco	61,36				-

Procedemos a nova análise dos dados com o fim de verificar o comportamento da resistência à compressão radial devido à variação do diâmetro dos pedaços de carvões.

QUADRO XXXII - Análise da variância dos dados relativos à resistência à compressão radial apresentada pelos carvões provenientes de peças com diferentes diâmetro.

FV	GL	SQ	QM
tamanhos	2	5 345,73	2 682,87 n.s.
Tamanho x fornos	6	15 182,95	2 530,59 *
Tamanho x lenhas	6	6 334,90	1 055,82 n.s.
Tamanho x forno x lenha	18	9 817,16	545,40 n.s.
Tamanho x rep.dentro	64	62 131,63	970,81
Resíduo	144	55 431,50	384,94
Total	287	291 334,07	

$$\bar{x} = 62,61$$

$$c.v. = 31,3\%$$

Esta análise mostra que houve uma interação entre a influência de tamanho dos diâmetros das peças de carvão e o tipo de forno. Essa influência é significativa apenas para os carvões fabricados nos fornos Iwates e de barranco (Quadros XXIII e XXIV).

Aplicamos, então, o teste de Duncan para estudar, nesses fornos, como se comportaram os carvões, com diferentes diâmetros, em relação à resistência à compressão radial, obtendo os seguintes resultados (Quadros XXXIII e XXXIV).

QUADRO XXXIII - Confronto das resistências à compressão radial apresentadas por peças de carvões de diferentes diâmetros fabricados no forno Iwate.

TAMANHO		0,02m a 0,03m	0,04m a 0,07m	0,03m a 0,04m
	\bar{x}	79,75	73,21	56,40
0,02m a 0,03m	79,75	-	n.s.	**
0,04m a 0,07m	73,21		-	*
0,03m a 0,04m	56,40			-

QUADRO XXXIV - Confronto das resistências à compressão radial apresentadas por peças de carvões de diferentes diâmetros fabricados no forno de barranco.

TAMANHO		0,02m a 0,03m	0,03m a 0,04m	0,04m a 0,07m
	\bar{x}	60,24	49,98	44,96
0,02m a 0,03m	60,24	-	*	**
0,03m a 0,04m	49,98		-	n.s.
0,04m a 0,07m	44,96			-

\bar{x} = resistência à compressão radial em kg/cm^2

6.7. Resistência à abrasão.

QUADRO XXXV - Análise da variância dos dados relativos à resistência do carvão à abrasão

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	2,40	0,80 n.s.
Lenhas	3	369,71	123,24 n.s.
Forno x Lenha	9	336,57	37,40 n.s.
Resíduo	32	788,66	24,64
Total	47	1 497,35	

$$\bar{x} = 28,04$$

$$c.v. = 17,7\%$$

A análise dos dados mostra que não houve variação, nem por influência do tipo do forno nem pela qualidade da lenha.

\bar{x} = porcentagem média de moinha em relação ao pêso seco do carvão.

6.8. Resistência ao choque.

QUADRO XXXVI - Análise da variância dos dados relativos à resistência do carvão ao choque.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	4,22	1,41 n.s.
Lenhas	3	46,04	15,35 **
Forno x Lenha	9	19,14	2,13 n.s.
Resíduo	39	122,03	3,84
Total	47	192,34	

$$\bar{x} = 12,31$$

$$c.v. = 15,9\%$$

Os resultados mostram uma influência devido à lenha e que o tipo de forno não influenciou na resistência ao choque, apresentada pelo carvão. A influência da lenha ocorreu no forno de barranco e no forno colmeia em barranco, onde a situação das diferentes lenhas é demonstrada nos quadros nº XXXVII e nº XXXVIII.

QUADRO XXXVII - Confronto da quantidade de moinha produzida de carvões das diferentes lenhas carbonizadas no forno de barranco.

LENHAS		E. punctata	E. citriodora	E. alba	E. saligna
	\bar{x}	13,72	12,74	11,45	11,13
E.punctata	13,72	-	**	**	**
E.citriodora	12,74		-	**	**
E.alba	11,45			-	n.s.
E.saligna	11,13				-

QUADRO XXXVIII - Confronto da quantidade de moinha produzida de carvões das diversas qualidades de lenha carbonizadas no forno colmeia em barranco.

LENHAS		E. punctata	E. citriodora	E. alba	E. saligna
	\bar{x}	15,08	11,96	11,31	10,57
E.punctata	15,08	-	*	*	**
E.citriodora	11,96		-	n.s.	n.s.
E.alba	11,31			-	n.s.
E.saligna	10,57				-

\bar{x} = porcentagem média em moinha em relação ao peso sêco do carvão.

6.9. Higroscopicidade.

QUADRO XXXIX - Análise da variância dos dados relativos à higroscopicidade dos carvões.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	43,35	14,45 ***
Lenhas	3	5,86	1,95 n.s.
Forno x Lenha	9	5,44	0,60 n.s.
Resíduo	32	28,71	0,89
Total	47	83,37	

$$\bar{x} = 11,70$$

$$c.v. = 8,1\%$$

O resultado da análise mostra uma variação altamente significativa, devido ao tipo de forno, e que a qualidade da lenha não influenciou na higroscopicidade.

A comparação dos diversos tipos de fornos, segundo essa propriedade do carvão, é feita pelo teste de Duncan, no quadro a seguir.

QUADRO XL - Confronto da higroscopicidade apresentada pelos carvões fabricados nos diferentes tipos de fornos.

FORNOS		colmeia com chaminé	colmeia em barranco	de barranco	Iwate
	\bar{x}	12,82	12,45	10,85	10,66
colmeia com chaminé	12,82	-	n.s.	**	**
colmeia em barranco	12,45		-	**	**
de barranco	10,85			-	n.s.
Iwate	10,66				-

\bar{x} = porcentagem média, em gramas, da água absorvida pelo carvão, em relação ao seu peso sêco.

6.10. Teor de carbono fixo

QUADRO XLI - Análise da variância dos dados relativos ao teor de carbono fixo do carvão.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	335,97	111,99 n.s.
Lenha	3	128,67	42,89 n.s.
Forno x Lenha	9	309,32	
Resíduo	32	510,95	15,96
Dentro	48	1,57	0,03
Total	95	1 286,50	

$$\bar{x} = 60,05$$

$$c.v. 6,65\%$$

Mostra-nos a análise que não houve variação do teor de carbono fixo nem por influência da qualidade da lenha nem pelo tipo de forno.

\bar{x} = média das porcentagens de teor de carbono fixo.

6.11. Teor de matéria volátil.

QUADRO XLII - Análise da variância dos dados relativos ao teor de matéria volátil do carvão.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	328,28	109,43 n.s.
Lenha	3	125,44	41,81 n.s.
Forno x Lenha	9	301,58	
Resíduo	32	534,03	16,69
Dentro	48	1,54	0,03
Total	95	1 290,88	

$$\bar{x} = 29,29 \quad \text{c.v.} = 13,9\%$$

A análise dos dados, conforme os resultados acima, mostra que não houve influência do tipo de forno nem da qualidade da lenha, na porcentagem de matéria volátil no carvão.

\bar{x} = média das porcentagens de teor de matéria volátil.

6.12. Teor de cinzas.

QUADRO XLIII - Análise da variância dos dados relativos ao teor das cinzas no carvão.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	7,25	2,42 n.s.
Lenha	3	18,40	6,13 n.s.
Forno x Lenha	9	19,20	
Resíduo	32	40,11	1,25
Dentro	48	10,94	0,23
Total	95	95,91	

$$\bar{x} = 5,47$$

$$c.v. = 20,5\%$$

O teor de cinzas não variou, nem por influência do tipo de forno, nem pela qualidade da lenha, conforme a análise estatística dos dados.

\bar{x} = média das porcentagens de teor de cinzas.

6.13. Quantidade de carvão produzida com
100 kg de lenha.

QUADRO XLIV - Análise da variância dos dados
relativos à quantidade de carvão
produzida com 100 kg de lenha.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	181,13	60,38 **
Lenha	3	60,26	20,09 n.s.
Forno x Lenha	9	54,50	6,06 n.s.
Resíduo	32	202,62	6,33
Total	47	498,51	

$$\bar{x} = 20,13$$

$$c.v. = 12,47\%$$

Conforme mostra a análise dos dados apenas houve
uma influência do tipo de forno no rendimento do forno.

Pelo quadro abaixo, pode-se ver que os fornos Iwate e de barranco não diferiram entre si e foram superiores aos colmeia em barranco e colmeia com chaminé, também estatisticamente iguais.

QUADRO XLV - Confronto da quantidade de carvão produzida com 100 kg de lenha, pelos diferentes tipos de fornos.

FORNOS		Iwate	de barranco	colmeia em barranco	colmeia com chaminé
	\bar{x}	22,62	21,28	18,99	17,63
Iwate	22,62	-	n.s.	**	**
de barranco	21,28		-	*	**
colmeia em barranco	18,99			-	n.s.
colmeia com chaminé	17,63				-

\bar{x} = quilogramas de carvão obtidos com 100 kg de lenha.

6.14. Quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha.

QUADRO XLVI - Análise da variância dos dados relativos à quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha.

FV	GL	SQ	QM
Fornos	3	378,79	126,26 **
Lenha	3	99,89	33,29 n.s.
Forno x Lenha	9	117,30	13,03 n.s.
Resíduo	32	228,89	7,15
Dentro	48	0,17	0,04
Total	95	825,06	

$\bar{x} = 15,01$

c.v. = 17,7%

A análise dos dados mostra que houve variação, por influência do tipo de forno, e que a qualidade da lenha não influenciou.

No quadro abaixo, podemos verificar o comportamento de cada tipo de forno, comparado aos demais.

QUADRO XLVII - Confronto da quantidade de carbono fixo existente no carvão produzido com 100 kg de lenha nos diversos tipos de forno.

FORNOS		Iwate	de barranco	colmeia em barranco	colmeia com chaminé
	\bar{x}	17,50	16,56	13,82	12,60
Iwate	17,50	-	n.s.	**	**
de barranco	16,56		-	**	**
colmeia em barranco	13,82			-	n.s.
colmeia com chaminé	12,60				-

\bar{x} = média de quilogramas de carbono fixo obtido com 100 kg de lenha.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1. Umidade da lenha.

Decorridos, aproximadamente quatro meses de secagem ao ar livre, a umidade da lenha apresentou-se constante e sem diferença entre as quatro espécies de eucaliptos. Essa uniformidade é importante, porque a umidade da lenha influi no processo de carbonização parcial e, também, na qualidade do carvão, conforme mencionam SOUZA (1947), SAVARD e COUDREAU (1962), e RISI (1942).

7.2. Duração da carbonização.

Dentre os fornos estudados, os fornos Iwate e de barranco necessitaram o mesmo tempo para carbonizar a lenha. O forno colmeia com chaminé, por sua vez, carbonizou a lenha em tempo que não diferiu do forno colmeia em barranco. Os dois primeiros são mais lentos na carbonização que os dois últimos.

Essa situação nos parece devida ao método de operação dos fornos, que possibilita admissão de maior quantidade de ar, justamente para os fornos onde a carbonização se mostrou mais rápida. Este mesmo ponto de vista manifestou RISI (1942), afirmando que a velocidade de carbonização pode variar num mesmo forno, bastando para isso que se aumente a entrada de ar.

7.3. Duração do esfriamento do forno.

O forno colmeia com chaminé, cujas paredes estão acima do solo, esfria mais rapidamente que os demais; os fornos de barranco, Iwate e colmeia em barranco, que são construídos incrusta-

dos no barranco, levam o mesmo tempo para esfriar. Essa constatação é perfeitamente compreensível, pois, durante a carbonização, a massa de terra, ao redor das paredes, também é aquecida, e, naturalmente, vem influir sôbre o tempo necessário ao resfriamento dos fornos.

Em algumas regiões carvoeiras, vem sendo adotada, como meio de abreviar o tempo de esfriamento do forno, a nebulização de água no seu interior, do mesmo modo que fizemos nos fornos em barranco e colmeia com chaminé. Pelos resultados obtidos, podemos admitir que essa prática talvez não tenha grande influência na rapidez com que o forno perde calor. Deve-se, ainda, mencionar que RISI (1942) afirma ser desejável um tempo de esfriamento tão longo ou mais do que o de carbonização.

7.4. Pêso do metro cúbico de carvão.

Os carvões produzidos com lenha de E.citriodora e E.punctata, apresentaram maior pêso e não diferiram um do outro. As madeiras dessas espécies são mais densas do que as de E.alba e E.saligna, e as árvores foram cortadas com o dôbro de idade.

Estas duas últimas espécies de eucaliptos produziram carvão de diferentes pesos específicos. O pêso do carvão de E.alba, maior que o do E.saligna pode estar a indicar um fato de importância econômica, visto que ambos têm demonstrado boas possibilidades de desenvolvimento, nas condições de nosso Estado. Além disso, ANDRADE (1961) apresenta dados experimentais em que o E.alba supera em produção o E.saligna.

Relacionando êsses resultados, com o pêso específico aparente das lenhas das espécies utilizadas, vemos confirmado o

que é comumente mencionado na literatura: o peso do carvão é função do peso da lenha.

7.5. Resistência à compressão radial.

A resistência dos carvões à compressão radial não sofreu influência do tipo de forno (Quadro XXVI), nem do tamanho do diâmetro das peças de carvão (Quadro XXXII). Mas a qualidade da lenha utilizada influenciou na resistência do carvão em certos fornos. Quando a carbonização foi feita nos fornos colmeia com chaminé e colmeia em barranco, onde ela se processou mais rapidamente, houve diferença de resistências. (Quadros XXII, XXV e XVII). BERGSTROM (1947) assinala que, quando há um rápido despreendimento de gases, os carvões apresentam grande número de fendas. Isso provavelmente tenha ocorrido no presente caso, influenciando na resistência do carvão à compressão radial.

A análise também evidencia uma interação do efeito da qualidade da lenha e do tipo do forno (Quadro XXVI e XXIX). A lenha de E.alba apresentou maior resistência quando carbonizada nos fornos Iwate e colmeia em barranco, enquanto que a lenha de E.punctata apresentou maior resistência quando carbonizada no forno colmeia em barranco.

Há ainda uma outra interação que é a do tamanho do diâmetro das peças de carvão e do tipo de forno (Quadro XXXII). Para os fornos de barranco e Iwate, onde a carbonização foi mais lenta, houve uma diferença na resistência à compressão radial influenciada pelo tamanho do diâmetro das peças de carvão (Quadros XXIII, XXIV e XVII). As peças de menor diâmetro, carbonizadas nesses dois fornos, apresentaram maior resistência. Isso, provavelmente, devido à menor quantidade de cerne na madeira, pois o

carvão do cerne é sempre mais fendilhado.

7.6. Resistência à abrasão.

Não houve influência do tipo de forno, nem da qualidade da lenha. BERGSTROM e JASSON (1948), informam, ao apresentarem o método utilizado, que êle é puramente empírico.

O resultado que obtivemos, parece-nos adquirir seu real significado, se aceito sob a luz do que dizem êsses autôres.

7.7. Fragmentação por queda.

A fragmentação por queda foi influenciada apenas pela qualidade de lenha e isto mesmo somente nos carvões fabricados nos fornos de barranco, e colmeia em barranco. Nesses casos a fragmentação foi proporcional ao pêso do carvão. Os carvões produzidos no forno de barranco com lenha de E.alba e E.saligna não diferiram entre si mas diferiram dos demais. O carvão de E.punctata foi menos resistente que o do E.citriodora.

Os carvões do forno colmeia em barranco não apresentaram diferença significativa, quando fabricados com lenha de E.citriodora, E.alba, e E.saligna, enquanto que o carvão de E.punctata foi menos resistente.

O choque sofrido pelo carvão, neste teste, é função de sua velocidade ao cair livremente, portanto, é função do pêso. Esta situação nos parece dar aos carvões mais pesados, condições desvantajosas para a avaliação de sua resistência à fragmentação. O teste, embora mereça de nossa parte algumas restrições quando utilizado para medir a resistência, fornece uma indicação do comportamento do carvão durante o manejo.

7.8. Higroscopicidade.

A higroscopicidade do carvão variou, segundo o tipo do forno, mas não foi influenciada pela qualidade da lenha.

Os fornos colmeia com chaminé e colmeia em barranco produziram carvões com a mesma higroscopicidade; o mesmo aconteceu com os fornos de barranco e Iwate. Nestes dois últimos, o carvão apresentou menor higroscopicidade do que naqueles.

RISI (1942), ao abordar êsse assunto, afirma que a higroscopicidade do carvão depende da temperatura final de carbonização, sendo que, quanto mais alta essa temperatura, menos higroscópico é o carvão. Pode-se, pois, supor que a temperatura final de carbonização, foi maior nos fornos de barranco e Iwate do que nos dois outros.

7.9. Teor de carbono fixo.

A qualidade da lenha e o tipo de forno não influenciaram no teor de carbono fixo existente no carvão.

Conforme TOOLE e outros (1961), BERGSTROM (1947) e RISI (1942) o teor de carbono fixo é função da temperatura de carbonização. O último dos citados autores diz que a rapidez de carbonização pode influir no teor de carbono fixo apresentado pelo carvão.

A uniformidade no teor de carbono fixo do carvão produzido neste experimento, provavelmente, se deva a uniformidade de temperatura de carbonização. A possível influência da velocidade de carbonização e de esfriamento do forno, que, como já vimos, não é igual nos tipos de fornos utilizados, poderá ser determinada em experimentos mais específicos.

7.10. Teor de matéria volátil

A porcentagem de matéria volátil não variou por influência da lenha, nem por influência do tipo de forno. Era de se esperar essa situação, pois os voláteis, no carvão, são inversamente proporcionais ao teor de carbono fixo.

7.11. Teor de cinzas

Do mesmo modo que para os voláteis não houve variação na porcentagem de cinzas, quer por influência do tipo de forno, quer pela qualidade da lenha, resultados êsses que deveriam ser esperados, uma vez que o teor de cinzas é o complemento dos teores de carbono fixo e de matérias voláteis. Como já vimos, êstes elementos não variaram.

7.12. Quantidade de carvão produzida com 100 kg de lenha

A quantidade de carvão, obtida de um determinado peso de lenha, diferiu, segundo o tipo de forno, ao passo que a qualidade da lenha não teve influência.

O maior rendimento de carvão ocorreu nos fornos Iwate e de barranco, não diferindo, estatisticamente, um do outro. Também, os fornos colmeia em barranco, e colmeia com chaminé apresentaram igual rendimento, inferior aos dos fornos precedentes.

Isso talvez se deva ao fato de que os fornos de maior rendimento tinham menor volume e controle de carbonização mais fácil do que os outros dois, onde era maior a admissão de ar. Observações semelhantes foram feitas por BEGLINGER (1958) e RISI (1942).

7.13. Quantidade de carbono fixo produzida com
100 kg de lenha

A quantidade de carbono fixo, existente no carvão produzido com um mesmo peso de lenha, não sofreu influência da qualidade da lenha, mas variou segundo o tipo de forno em que foi produzido o carvão.

A produção de carbono fixo foi igual para os fornos Iwate e de barranco, e, também, para os fornos colmeia em barranco e colmeia com chaminé. Nos dois primeiros, a produção foi, estatisticamente, maior. Essa diferença decorre do maior rendimento na produção de carvão, uma vez que a riqueza em carbono fixo não variou (ver anexo nº 1).

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

1 - Após quatro meses de secagem ao ar, a umidade da lenha, das quatro espécies de eucaliptos, manteve-se constante.

2 - Não houve influência dos tipos de fornos nem da qualidade da lenha, no teor dos principais componentes do carvão: carbono fixo, matéria volátil, e cinzas.

3 - O peso específico aparente do carvão não variou por influência dos diferentes tipos de fornos. Houve variação dessa característica do carvão resultante das diferenças de qualidade da lenha. As lenhas de E.citriodora e E.punctata produziram carvão mais pesados do que as de E.alba e E.saligna.

4 - O tempo necessário para a carbonização da lenha não foi o mesmo para os diferentes tipos de fornos. Nos fornos Iwate e de barranco, a carbonização foi mais lenta do que nos fornos colmeia em barranco e colmeia com chaminé.

5 - Os fornos construídos incrustados no barranco (Iwate, de barranco e colmeia em barranco) esfriaram mais lentamente do que o construído acima do solo (colmeia com chaminé).

6 - O tipo de forno influenciou sobre a higroscopicidade do carvão. Os fornos de carbonização mais lenta (Iwate e de barranco) produziram carvão de menor higroscopicidade. A qualidade da lenha não teve influência sobre esta característica do carvão.

7 - O tipo de forno não influenciou sobre a resistência do carvão à fragmentação por queda. Houve influência da qualidade da lenha em função da sua densidade, nos carvões produzidos nos fornos de barranco e colmeia em barranco.

8 - Não houve influência do tipo de forno nem da qualidade da lenha, quanto à resistência à abrasão, exceto em relação ao carvão E.citriodora, produzido no forno colmeia com chaminé. Neste caso, a resistência foi menor que nos demais.

9 - A qualidade da lenha influiu na resistência à compressão radial do carvão, e o tipo de forno não. A influência da qualidade da lenha se mostrou relacionada com o tipo de forno, porém, os resultados obtidos indicam a conveniência de experimentos específicos a fim de se ter resposta segura sobre o assunto.

10 - O carvão proveniente de lenha de menor diâmetro, quando carbonizada nos fornos Iwate e de barranco, apresentaram maior resistência à compressão radial.

11 - Os fornos Iwate e de barranco produziram maior rendimento em carvão, com as quatro qualidades de lenha.

12 - Os fornos Iwate e de barranco foram mais eficientes do que os fornos colmeia em barranco e colmeia com chaminé, na produção de carbono fixo.

13 - Em condições semelhantes às desta investigação, a eficiência dos fornos, em produzir carbono fixo, é função do seu rendimento em carvão.

14 - Dentre os fornos estudados, o Iwate e o de barranco, pelas vantagens que apresentaram sobre os outros dois, são mais indicados para a produção de carvão vegetal destinado aos altos fornos.

15 - Dentre as lenhas das diversas espécies de eucaliptos utilizadas, o E. alba, pela precocidade e densidade, é a mais indicada para produção de carvão vegetal.

9. R E S U M O

No presente trabalho, faz o autor um estudo da produção de carvão vegetal destinado à siderurgia, a qual, no Brasil, é largamente baseada no uso desse combustível. O conhecimento do problema, além da importância que tem para o desenvolvimento industrial da nação, poderá contribuir grandemente para a defesa do seu patrimônio florestal.

É feita a comparação da eficiência, na produção de carvão, em quatro tipos de fornos de aquecimento direto, "construídos" de alvenaria, os quais representam os tipos mais difundidos no Brasil. Para isso foram construídos, na Seção de Horticultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", quatro fornos, um de cada tipo a ser estudado.

A matéria prima utilizada para o fabrico do carvão foi a lenha de quatro espécies de eucaliptos, com diferentes pesos específicos aparentes, nas idades em que, comumente, são empregadas como lenha. São elas: E.saligna, E.alba, E.citriodora, e E.punctata.

O controle do forno, durante a carbonização, foi feito observando-se a fumaça resultante do processo, método esse, usual no país.

No planejamento estatístico do trabalho, considerou-se cada forno um bloco. Empregou-se lenha de uma só qualidade em cada fornada, sendo feitas três repetições para cada espécie de eucalipto, em cada tipo de forno. Ao todo foram feitas doze observações ou parcelas em cada forno, sendo a sequência delas, sorteada.

Foram estudadas as características das lenhas, dos fornos e do carvão. Os resultados obtidos demonstram que a umidade da lenha empilhada, exposta a secamento, ao tempo, durante quatro meses, é uniforme. Também permitiram verificar que a densidade e a resistência do carvão dependeram da qualidade da lenha, enquanto que a velocidade de carbonização, o tempo necessário ao esfriamento do forno, a higroscopicidade do carvão e o rendimento da transformação da lenha em carvão, variaram em função do tipo de forno. Finalmente, verificou-se que as porcentagens de carbono fixo, de matéria volátil e de cinzas existentes no carvão não diferiram nos quatro tipos de fornos, quaisquer que fôsem as lenhas.

Como principais conclusões, o trabalho permite as seguintes: independentemente da lenha utilizada, os fornos Iwate e de barranco apresentaram maior rendimento em carvão, e foram os de maior eficiência na produção de carbono fixo, sendo, portanto, os mais indicados para produção de carvão vegetal destinado aos altos fornos; das lenhas utilizadas, a do E.alba, pela precocidade e densidade, é a mais indicada para o fim mencionado.

10. S U M M A R Y

This paper presents studies on charcoal production used in iron reduction, which is the main use given to charcoal in Brazil. This research is of great importance to the industrial development in this country, and also to the best use of forest resources.

The main object of the study was the yield efficiency, based in fixed carbon, in charcoal produced in four different brick kilns commonly used in Brazil. In carrying out this research, experimental kilns were located in the horticultural department of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

The wood supplies were from four different eucalyptus species, that have different densities and exploration ages. They are the E.saligna, E.alba, E.citriodora and E.punctata.

The coaling period was based in observing smoke volume and color, as commonly used in this country.

In each run only one wood species was supplies to the kiln. In each of the kilns three runs were made with the same wood, making twelve runs in all. The order of the runs was taken completely at random. All in all there was a total of forty-eight runs.

Wood characteristics, kiln performance and charcoal quality were observed.

The results showed that the wood moisture content was the same in all woods used, after natural drying during a four

mouth period. It is also pointed out that the relationship of the charcoal density, and the charcoal breakeage resistance depends on the wood quality, while it was possible to establish that coaling time, the time needed for the kiln to become cold, the charcoal higroscopicity, and the volume yield all depend on the kiln type. Finally, it was possible to conclude that under the conditions of this research the percentage of fixed carbon, volatile carbon and ash did not differ because of the kiln type or the wood quality.

Mentioning only the main conclusions it should be noted that the "Iwate" kiln and the "de barranco" kiln had the better yield and more efficiency in fixed carbon production, with all wood qualities.

Therefore, they should be preferred for the metalurgy charcoal production. Otherwise, under the conditions of this research, the wood from E.alba, by its density and precocity is the most indicated to supply the charcoal production.

11. BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - 1961. Book of ASTM Standards, Phyladelphia, 1294-1298
- ANDRADE, E.N. de - 1936. O eucalipto. São Paulo, Chácaras e Quintais. 121 p.
- , - 1961. O eucalipto. Jundiaí (SP), Cia. Paulista de Estradas de Ferro. 667 p. (2ª edição).
- ANONIMO - 1961. Projeção do mercado brasileiro de produtos siderúrgicos. Rio de Janeiro. Engenharia, Mineração e Metalurgia. 33 198:324.
- ARAÚJO, J.B. - 1952. Carvão vegetal para alto-forno: alguns dados nacionais e estrangeiros. Boletim nº 36 do Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro. 94 p.
- BALDWIN, H.I. - 1958. The New-Hampshire charcoal kiln. New-Hampshire Forest and Recreation Commission. 84 p.
- BEAZLEY, R. - 1958. Charcoal marketing in the U.S.: Description and analysis. Northeastern Logger Feb. : 34-37.
- B EGLINGER, E. - 1958. Charcoal production development. Double wall, masonry block, and other tipe kilns. The Northeastern Logger Jan. : 26-27 e 32-33.
- BERGSTROM, H. - 1947. Kolning I Ugn. Uppsala, Almqvist e Wiksells Boktryckeri. 138 p. (4ª edição).
- , e H. JANSSON - 1948. Leveranskontroll och analysmetoder for trakol. Stockholm, Andrén e Holms Boktryckeri. 117 p.

- BURREL, J. e J. WSCIBEKLIKA - 1961. Natureza e efeitos das matérias voláteis do carvão vegetal utilizado nos altos fornos de Monlevade. São Paulo. Boletim da Associação Brasileira de Metais. 17: 65:646-660.
- COLLET, F. - 1956. Estudo comparativo, em escala de laboratório de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. São Paulo. Boletim da Associação Brasileira de Metais. 12 42:5-11.
- ENSCH, L.J. - 1953. Siderurgia baseada em carvão vegetal no Brasil. Possibilidades e planos de expansão. Geologia e Mineralogia. 10:124-147.
- HAMPF, F.E. - 1958. Production and sale of charcoal in the Northeast. Northeastern Logger. Jan. 22-23 e 37 e 39.
- MAISON, A. - 1945. La carbonization du bois aux katanga. Bulletin Agricole du Congo Belge. 45 24 p.
- MOORE, W.E. e E. BEGLINGER - 1961. A method of charcoal analysis. Forest Products Journal. Jan. 17-19.
- PETER, R. - 1956. An inexpensive method for measuring charcoal kiln temperature. Asheville, Southeastern Forest Experimentation Station, Station Paper n. 73, 9 p.
- , - 1958. Charcoal kiln temperature control. The Northeastern Logger. Jan. 28-29.
- ORTOLANI, A.A. - 1962. Considerações gerais sobre o clima da região de Limeira. Campinas, O Agrônomo. 14 7 e 8: 46-49.
- RISI, J. - 1942. L'industrie de la carbonization du bois dans la province de Québec. Bulletin nº 3, Ministère des terres et forêts. Service forestier, 144 p.

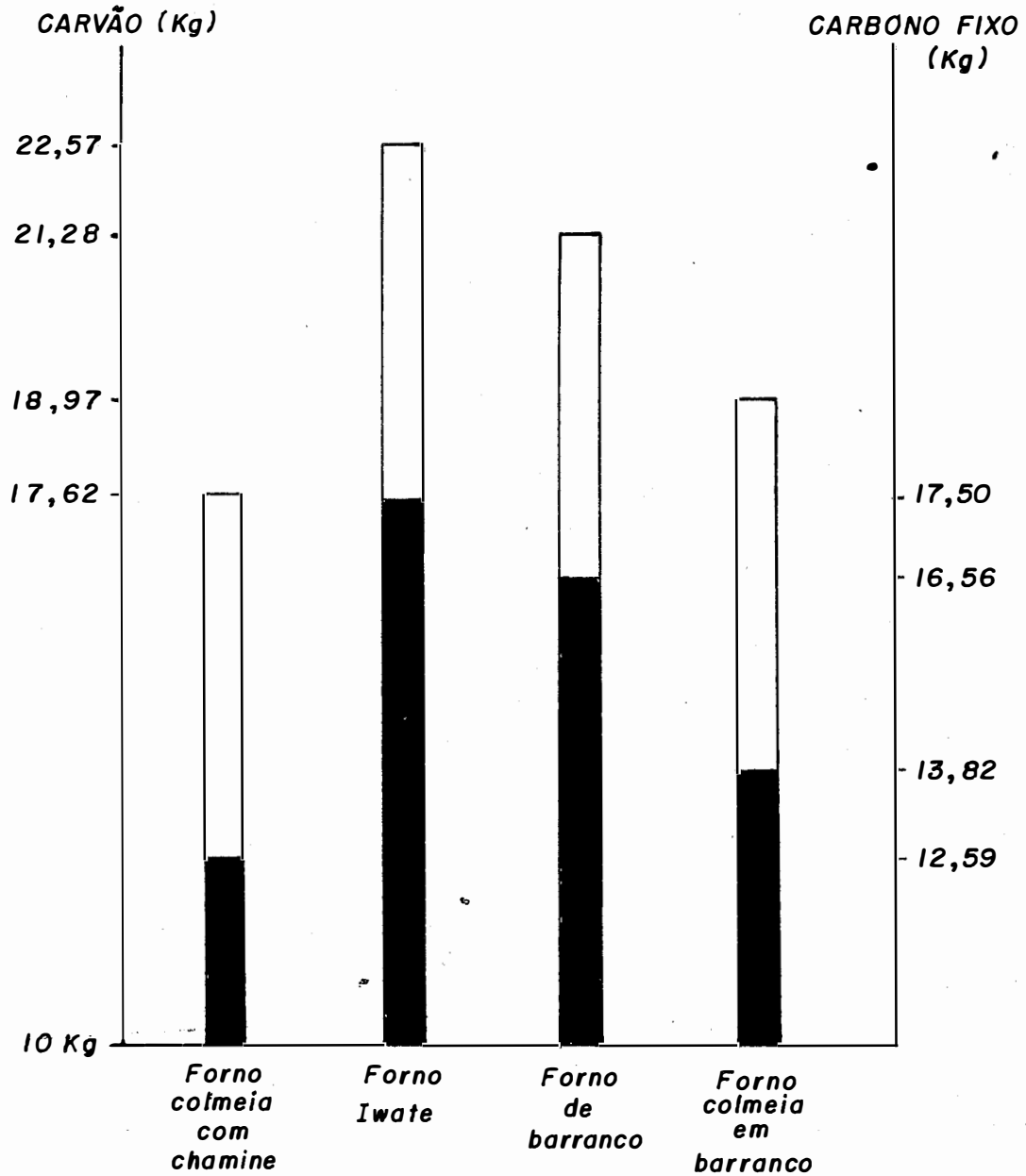
- RISI, J. - 1958. Production of charcoal in brick beehive kilns. Northeastern Logger. Jan. 24-25 e 36 e 38-39.
- SAVARD and M. COUDREAU. - 1962. Charcoal. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Occasional Paper nº 2, 94p.
- SERAFINI, Z. - 1930 - A prática da destilação da madeira. O campo. 2: 145-152.
- SILVA, E.M.S. - 1952. Siderurgia baseada em carvão vegetal no Brasil. Possibilidades de expansão. Geologia e Mineralogia. 9: 99-114.
- SIMMONS, F.C. - 1957. Charcoal: Guides to Manufacturing and Marketing in the Northeastern States. Upper Darby, PA. Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper nº 95, 20 p.
- SMITH, W.R. e outros. - 1957. Production of a masonry block kiln-structure and operation. Madison, Forest Products Laboratory, Report nº 2084, 29 p.
- SOUZA, P.F. - 1947. Tecnologia de produtos florestais. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional. 409 p.
- SZOPINSKI, S. - 1959. Problemas do carvão vegetal para siderurgia. Engenharia, Mineração e Metalurgia. 30 178: 209-213.
- , - 1961. Possibilidades brasileiras da siderurgia a carvão vegetal. Engenharia, Mineração e Metalurgia. 33 195: 131-138.

TOOLE, A.W. e outros. - 1961. Charcoal: Production, Marketing and Use. Forest Products Laboratory, Report nº2213, 137 p.

U. S. D. A. - 1957. Division of Forest Economics Research. Charcoal production in the United States. 14 p.

ANEXO Nº 1

□ - CARVÃO
■ - CARBONO FIXO



Anexo nº 2

Temperatura máxima de carbonização, registrada em cada fornada (em ° C).

LENHA	Repe- ti- ções	F O R N O S			
		colmeia com chaminé	Iwate	de barranco	colmeia em barranco
E.saligna	1	-	434	-	437
	2	-	505	489	474
	3	587	354	-	532
E.alba	1	-	-	573	-
	2	385	-	511	-
	3	416	690	546	506
E.citriodora	1	-	-	-	530
	2	326	550	457	530
	3	462	723	475	575
E.punctata	1	-	-	-	-
	2	549	-	569	687
	3	380	502	406	744

Fig. 1 - Semi-discos obtidos do corte transversal de paus de lenha das diversas espécies de eucaliptos utilizadas para carbonização.

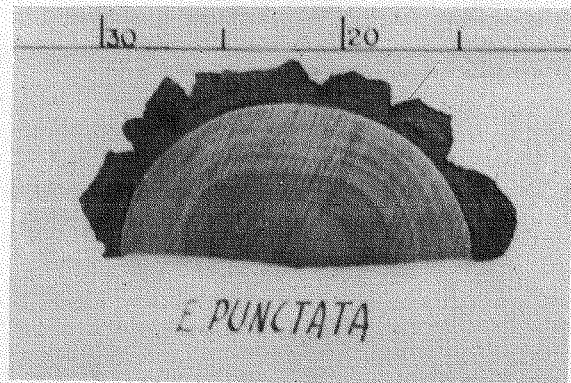
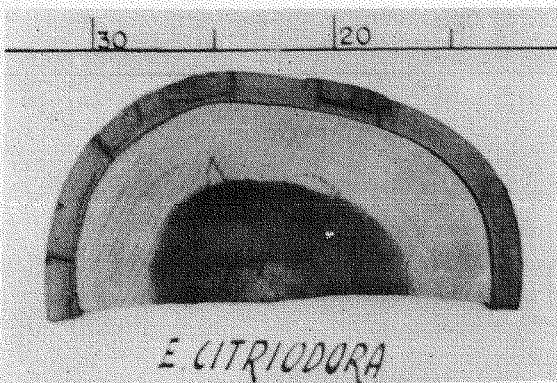
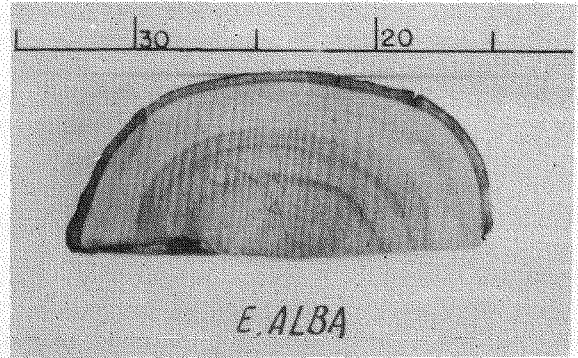
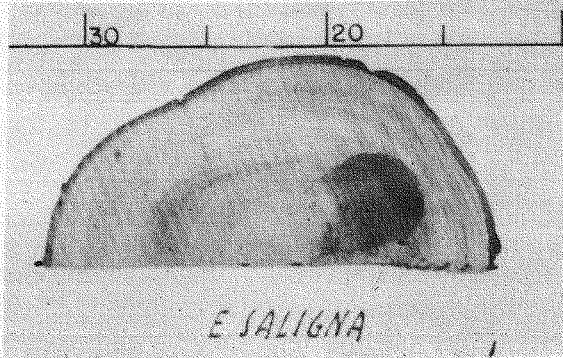
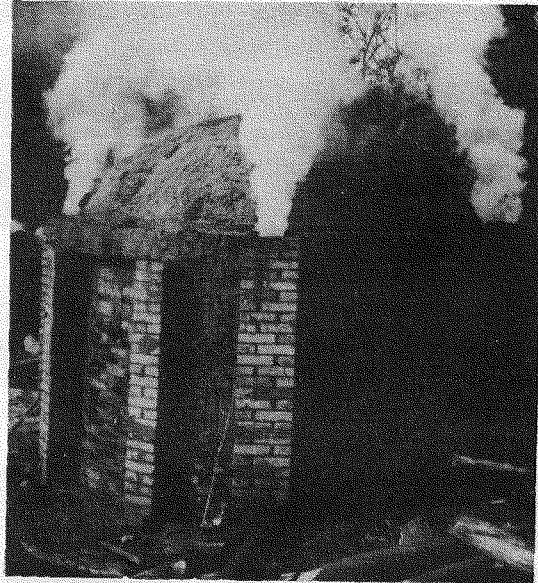
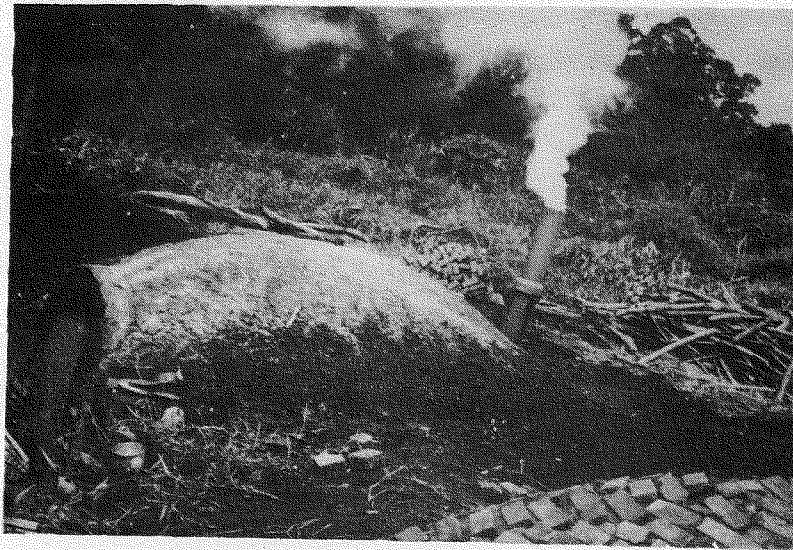


Fig. 2 - Fornos construídos na Secção de Horticultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", para a carbonização parcial da lenha.

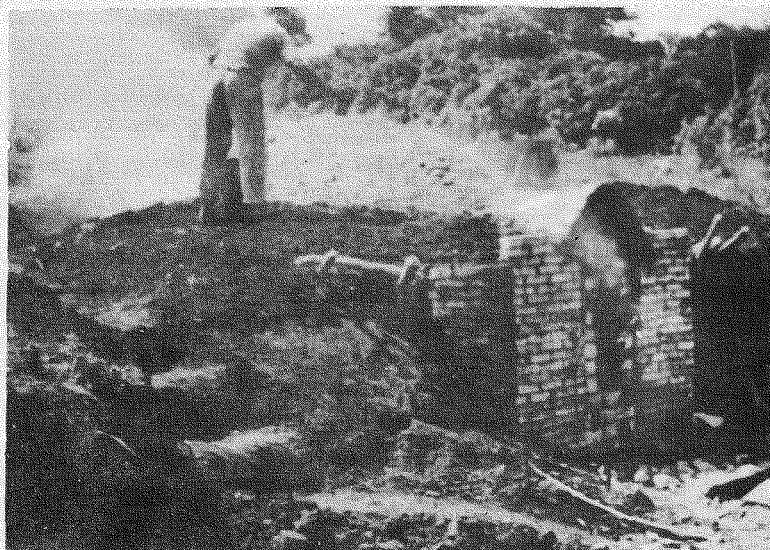


Forno colmeia com chamine

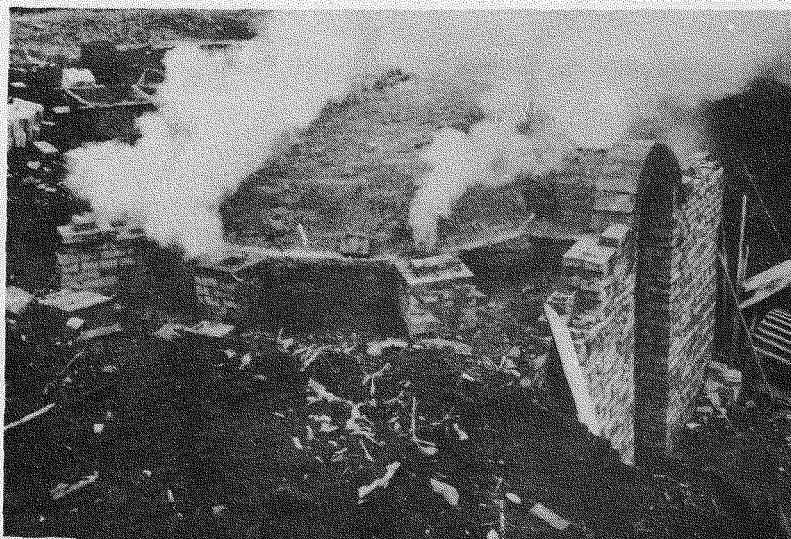


Forno Iwate

Fig. 2a - Fornos construídos na Secção de Horticultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", para a carbonização parcial da lenha.



Forno de barranco



Forno colmeia em barranco

FIG. 3

ESQUENA DE FORNO COLMEIA COM CHAMINÉ

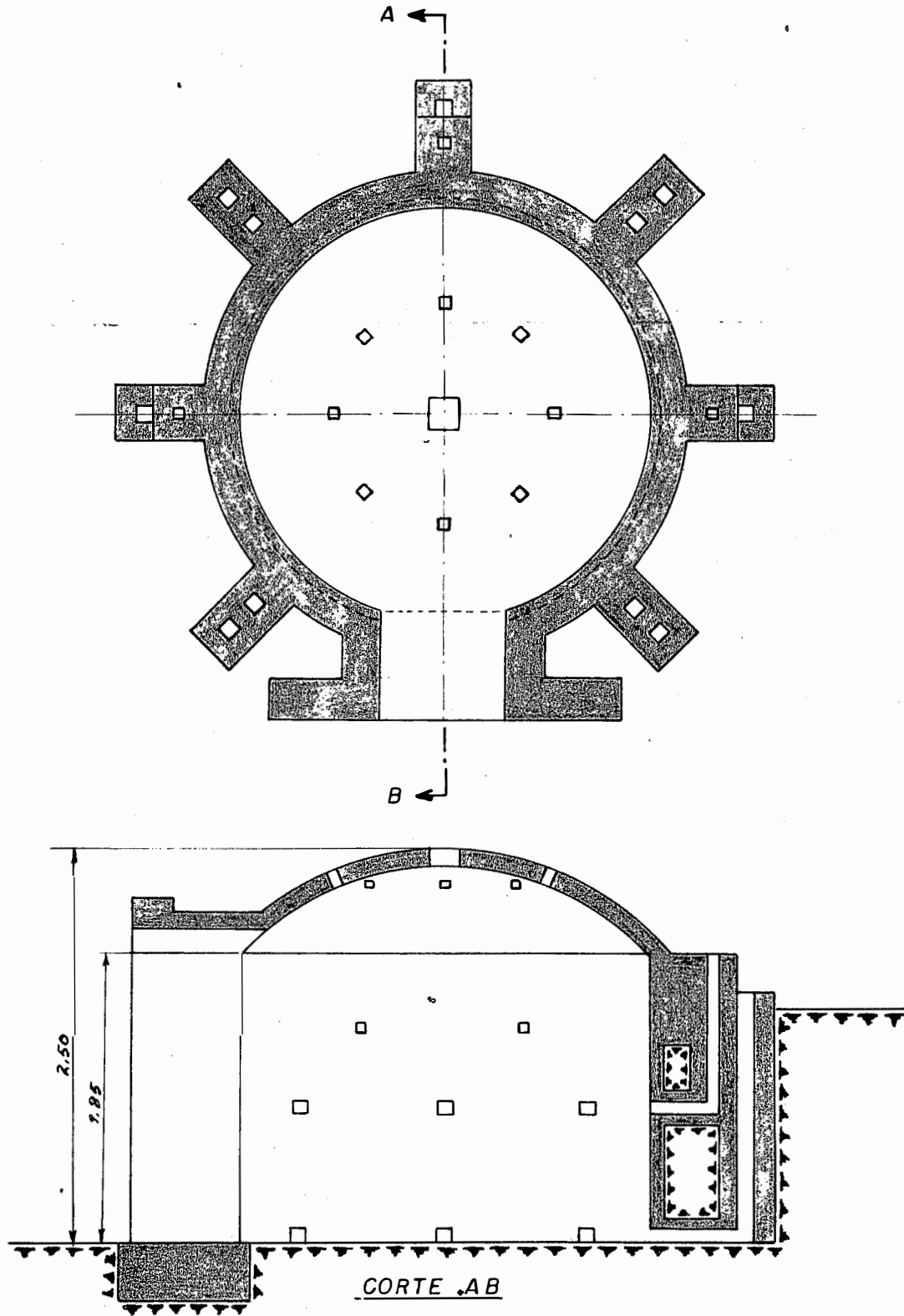
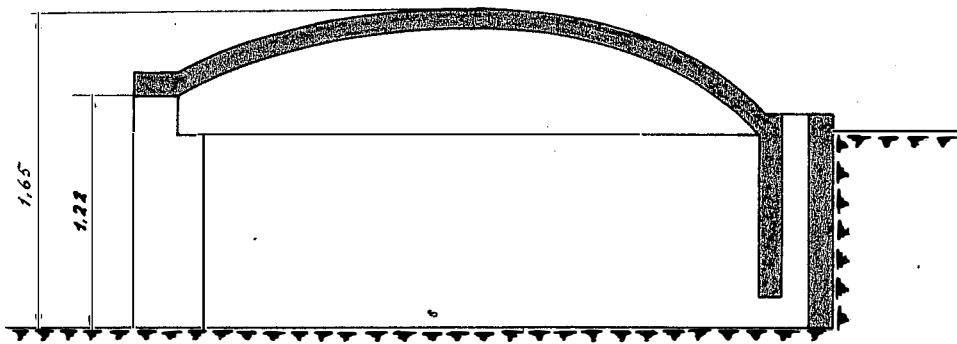
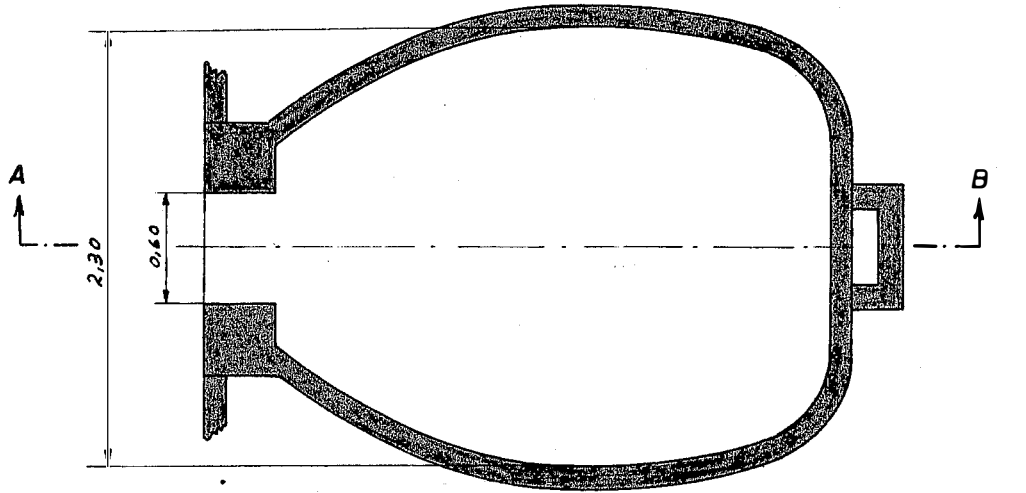


FIG. 4

ESQUEMA DO FORNO IWATE



CORTE AB

FIG. 5

ESQUEMA DO FORNO DE BARRANCO

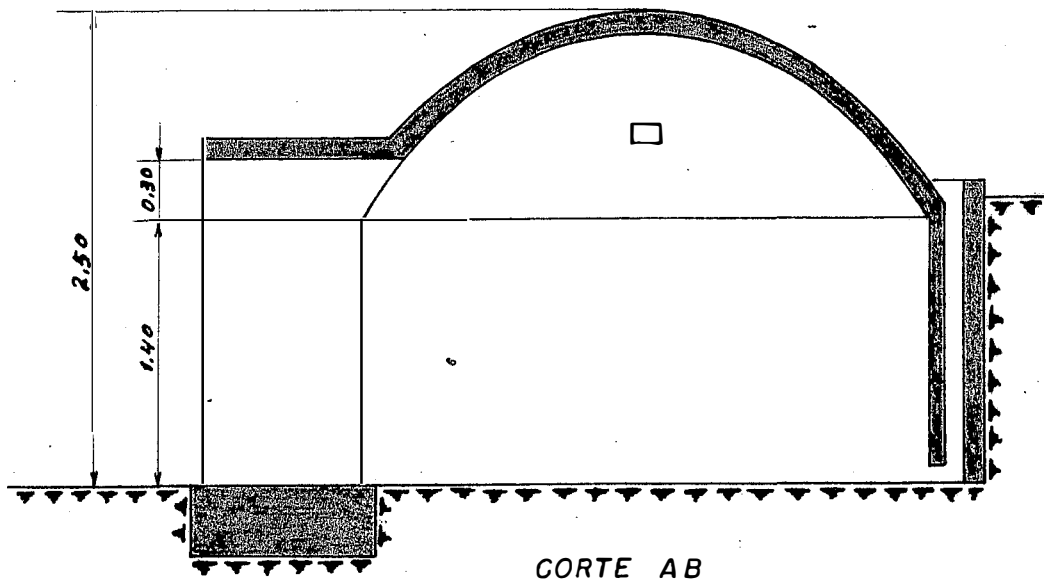
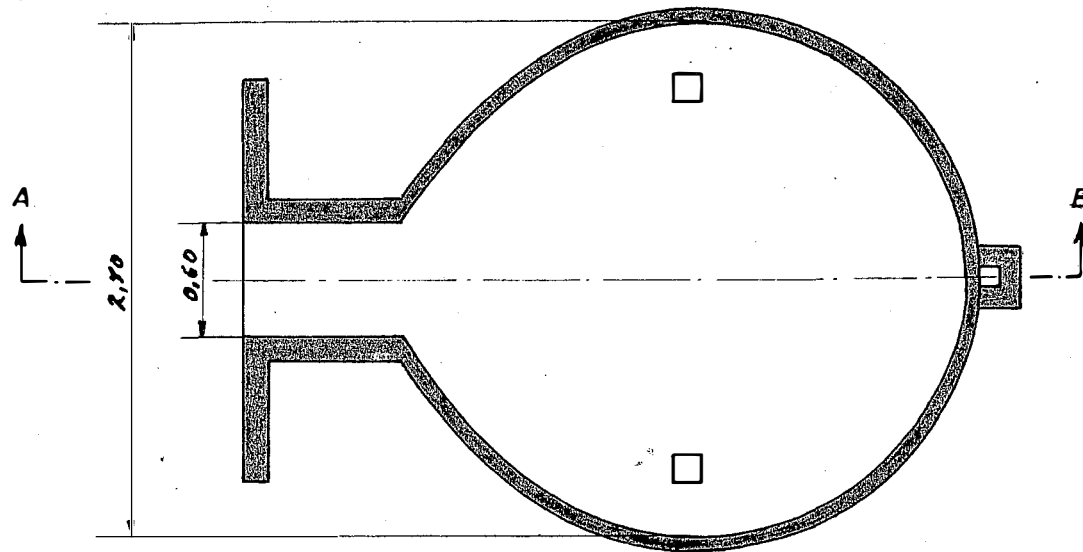


FIG. 6

ESQUEMA DO FORNO COLMEIA EM BARRANCO

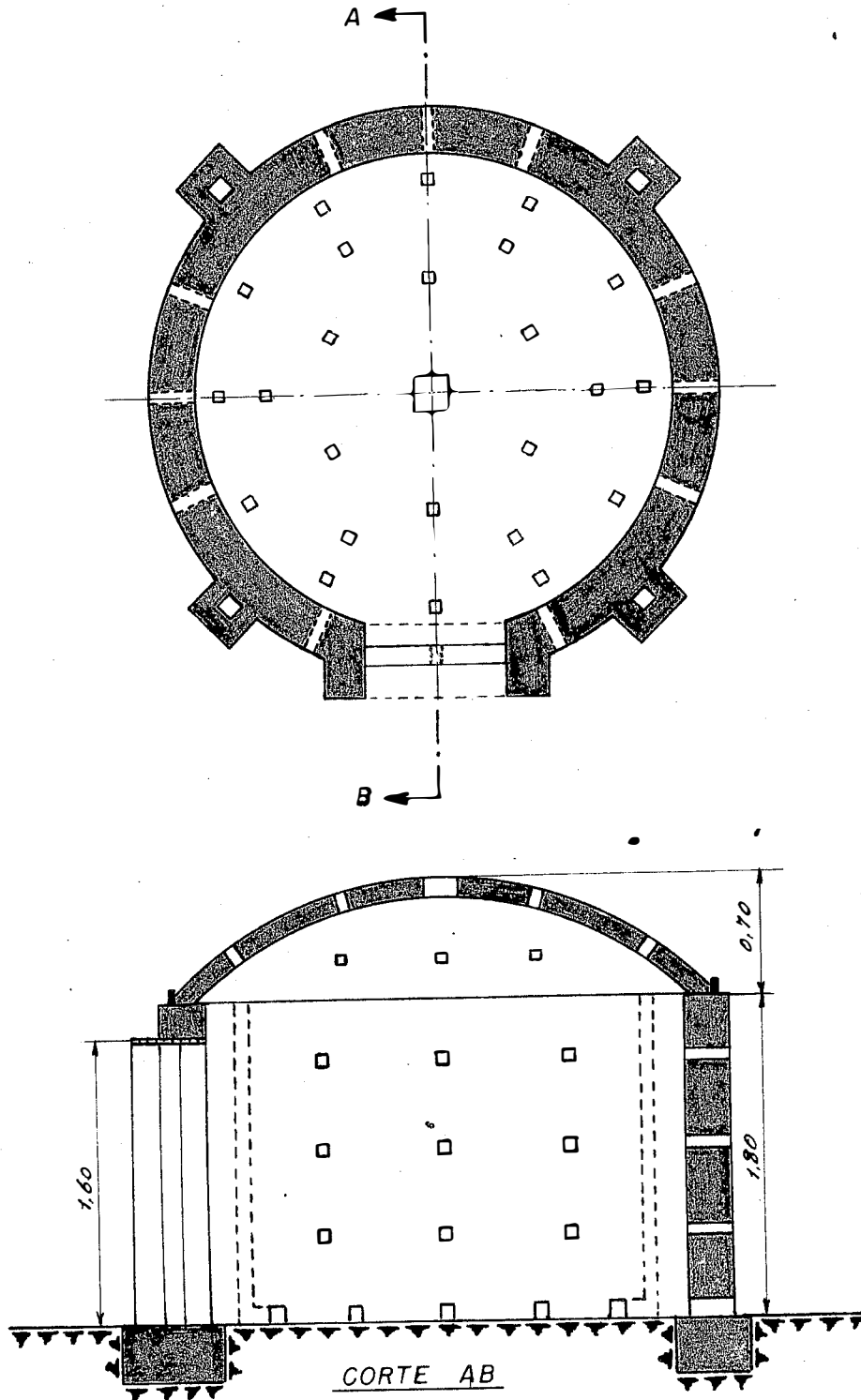
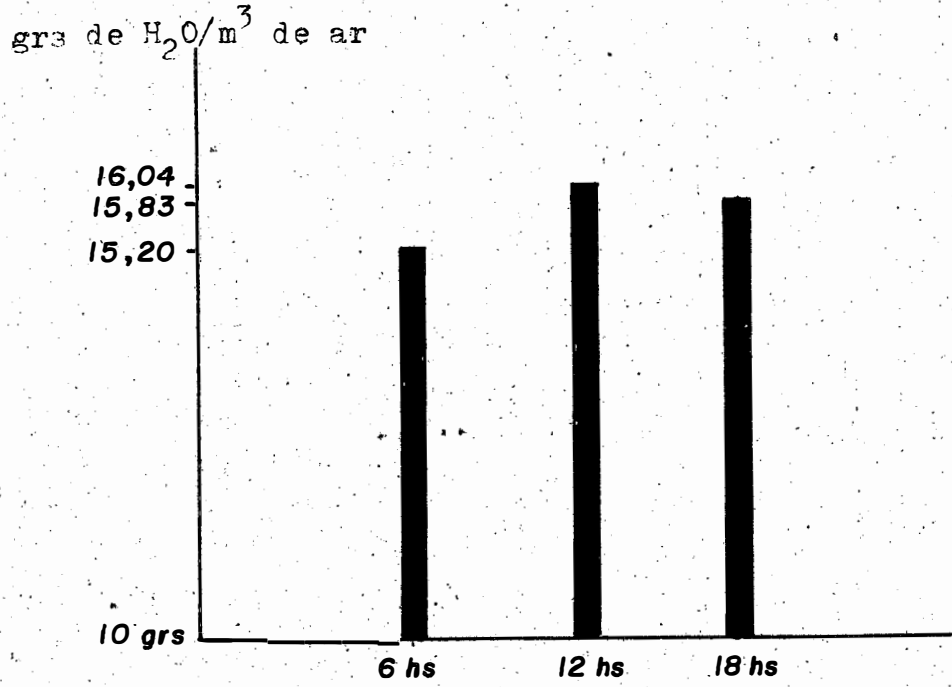


Fig. 7

Umidade absoluta média, do ar, nos dias de funcionamento dos fornos.



Temperatura média, do ar, nos dias de funcionamento dos fornos.

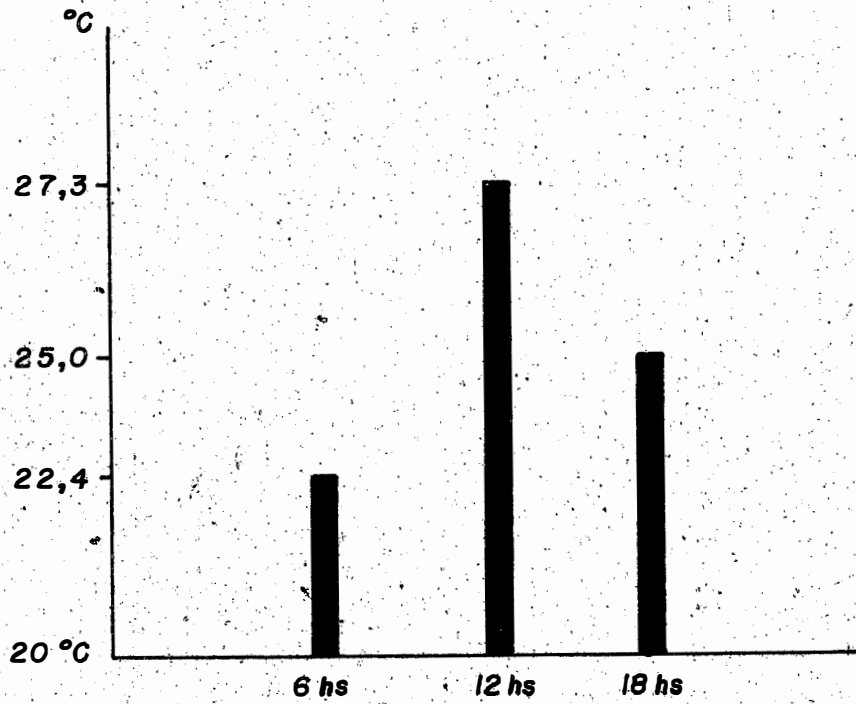


Fig. 8 Velocidade do ar (em porcentagem de frequência) nas diversas horas dos dias de funcionamento dos fornos.

Segundo a escala de Beaufort

Calmo e quase calmo
(de 0 a 1,5 m.p.s.)

Brisa leve
(de 2,0 a 3,1 m.p.s.)

Vento fresco
(de 3,6 a 5,1 m.p.s.)

Vento moderado
(de 5,6 a 8,2 m.p.s.)

