

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JÉSSICA GALVAN

**INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SECAGEM E ESTRATIFICAÇÃO DA MADEIRA NA  
OBTENÇÃO DO CARVÃO VEGETAL**

CURITIBA

2016

JÉSSICA GALVAN

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SECAGEM E ESTRATIFICAÇÃO DA MADEIRA NA  
OBTENÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva.  
Coorientadora: Msc. Sandra Lucia Soares Mayer.

CURITIBA

2016

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelas inúmeras bênçãos que recebi e venho recebendo a cada dia.

Aos meus pais José e Adriana Galvan, minha irmã Juliana e meu irmão Gabriel, que sempre estiveram presentes a 541km ou 1.686km de distância, sendo minha fonte de energia e o alicerce da minha caminhada. E a Alexandro Gabriel pela paciência, confiança, carinho e apoio em todos os momentos que precisei.

Ao meu avô e avó, minha nona e meu nono e em especial ao meu bisavô Ângelo Zaccaron, que me acompanha e abençoa todos os dias lá do céu.

A Alayde Zandoná que foi a primeira pessoa a me receber em Curitiba e ao Lar da Acadêmica de Curitiba (LAC) que foi minha segunda casa me proporcionando imenso amadurecimento e a oportunidade de fazer grandes amigos.

Aos grandes amigos de todas as horas, de perto e de longe. Muito obrigada pela amizade, pelos vários momentos compartilhados, pelo apoio e companheirismo.

A Empresa Júnior de Consultoria e Planejamento Florestais - COPLAF, em especial a toda gestão 2013-2014 que formaram uma equipe incrível da qual vou me orgulhar todos os dias de ter feito parte e que foi fator determinante para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao curso de Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

A equipe do Laboratório de Energia da Biomassa e em especial ao meu orientador Prof. Dimas Agostinho da Silva, que me proporcionou inúmeras oportunidades de grande aprendizado e desenvolvimento profissional e pessoal, me auxiliando e apoiando durante o desenvolvimento deste e outros trabalhos.

A Henrique Pires do Nascimento André, Rodrigo Nascimento de Paula, Guilherme Henrique Siqueira Dutra, Conrad Barbosa e Irllei Francisca Neves, pela confiança, apoio e estímulo no desenvolvimento deste projeto.

## RESUMO

Infraestrutura, mão-de-obra, ciclo e processo de carbonização, essência florestal e suas dimensões são alguns dos fatores que interferem na produtividade e qualidade do carvão vegetal. Com o intuito de contribuir para a melhoria dos processos, a qualidade do produto, a redução de custos e o aumento da produtividade, este trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da estratificação da madeira no processo de carbonização e conseqüentemente na qualidade do carvão vegetal. Para tanto foram carbonizadas madeiras com diferentes diâmetros classificadas em: base, ápice e mista (ambas as partes do fuste) em três diferentes tempos de secagem: 90, 120 e 150 dias. O estudo foi conduzido em uma empresa da cadeia do aço, localizada em Minas Gerais. Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas madeiras de plantios clonais comerciais de *Eucalyptus spp.* de primeira rotação com 8 anos de idade. Foram avaliados os rendimentos gravimétricos, densidade a granel, teores de umidade e finos, geração de atíço, o tempo de carbonização, número de focos de fogo e tempo de combate. Os resultados mostraram que a estratificação entre classe de toras e a interação entre os fatores, classe de toras e tempo de secagem, apresentaram maior influência sobre os resultados do que apenas o fator tempo de secagem da madeira. Algumas variáveis não foram influenciadas por nenhum dos fatores de estratificação e os tratamentos testados, em sua grande maioria, não apresentaram melhora significativa nas variáveis estudadas em comparação ao padrão de carbonização aplicado na empresa.

Palavras-chave: Carvão Vegetal, *Eucalyptus*, Rendimento gravimétrico, Estratificação, Aço.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - FLUXO DAS ETAPAS DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO .....	14
FIGURA 2 - PROCESSO PRODUTIVO DE USINAS INTEGRADAS.....	18
FIGURA 3 - PROCESSO PRODUTIVO DE USINAS SEMI-INTEGRADAS.....	19
FIGURA 4 - PROCESSO PRODUTIVO DE USINAS INDEPENDENTES.....	19
FIGURA 5 - CIDADE DE TRÊS MARIAS.....	20
FIGURA 6 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961 – 1990) DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA REFERENTES A CURVELO .....	21
FIGURA 7 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE BASE O ÁPICE .....	22
FIGURA 8 - PILHA COM MADEIRA DE BASE (À ESQUERDA) E ÁPICE (À DIREITA) SENDO CARREGADAS NO CAMINHÃO .....	23
FIGURA 9 - PLANTA DE CARBONIZAÇÃO.....	24
FIGURA 10 - PILHA DE MADEIRA NA PLANTA DE CARBONIZAÇÃO.....	25
FIGURA 11 - VISTA LATERAL DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO MODELO FG26. .....	25
FIGURA 12 - CICLO DE CARBONIZAÇÃO PRATICADO NA EMPRESA E EXECUTADO NESTE ESTUDO .....	26
FIGURA 13 - OPERAÇÃO DE ENCHIMENTO DO FORNO.....	26
FIGURA 14 - ATIÇO E CÂMARA, ANTES DE SER INICIADA A IGNIÇÃO DO FORNO.....	27
FIGURA 15 - PIRÔMETRO UTILIZADO PARA ACOMPANHAMENTO DA TEMPERATURA DURANTE A CONDUÇÃO DA CARBONIZAÇÃO .	27
FIGURA 16 - (A) RETIRADA DO CARVÃO VEGETAL DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO E (B) MONTES DE BIORREDUTOR E ATIÇOS, SEPARADOS, APÓS A RETIRADA DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO. .....	28
FIGURA 17 - COMBATE A FOCO DE FOGO DENTRO DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO .....	29
FIGURA 18 - RESULTADOS DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO PARA AS CLASSES DE TORA.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TRATAMENTOS E NUMERO DE REPETIÇÕES ANALISADOS .....	22
TABELA 2- VALORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO PARA OS RESULTADOS DE CARBONIZAÇÃO. ....	33
TABELA 3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO VEGETAL (RG).....	34
TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A DENSIDADE A GRANEL (DG) DO CARVÃO VEGETAL.....	34
TABELA 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE FINOS (TF) DO CARVÃO VEGETAL. ....	34
TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O NÚMERO DE DIAS DE CARBONIZAÇÃO (CAR).....	35
TABELA 7 - INFLUÊNCIA DA CLASSE DE TORA E TEMPO DE CARBONIZAÇÃO (DIAS). ....	35
TABELA 8 - ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIÁVEL TEMPO DE RESFRIAMENTO. ....	36
TABELA 9 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS NÚMERO DE FOCOS DE FOGO E TEMPO DE COMBATE DOS FOCOS DE FOGO.....	37
TABELA 10 - ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIÁVEL TEMPO DE RESFRIAMENTO. ....	38
TABELA 11 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SECAGEM NA DENSIDADE A GRANEL (kg m <sup>3</sup> ). ....	40
TABELA 12 - INFLUÊNCIA DA CLASSE DE TORA NA DENSIDADE A GRANEL (kg m <sup>3</sup> ). ....	40
TABELA 13 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SECAGEM NO TEOR DE FINOS (%). ....	41
TABELA 14 - INFLUÊNCIA DA CLASSIFICAÇÃO DE TORAS NO TEOR DE FINOS (%). ....	42
TABELA 15 - ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIÁVEL TEOR DE UMIDADE. ....	43
TABELA 16 - INFLUÊNCIA DA CLASSE DE TORA NO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO (%). ....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>11</b>
3.1	FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL	11
3.2	O GÊNERO EUCALYPTUS E CLONES HÍBRIDOS	11
3.3	PROPRIEDADES DA MADEIRA E SUA INFLUÊNCIA NO CARVÃO VEGETAL	12
3.3.1	<i>Densidade da Madeira</i>	12
3.3.2	<i>Teor de Umidade</i>	13
3.3.3	<i>Dimensões da Madeira</i>	13
3.4	CARBONIZAÇÃO	14
3.5	PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL	15
3.5.1	<i>Densidade</i>	15
3.5.2	<i>Teor de Umidade</i>	16
3.5.3	<i>Granulometria</i>	16
3.5.4	<i>Resistência Mecânica</i>	16
3.5.5	<i>Friabilidade</i>	17
3.6	RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO	17
3.7	INDÚSTRIA SIDERÚRGICA NO BRASIL	18
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>20</b>
4.1	LOCAL DE ESTUDO	20
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E AMOSTRAGEM	21
4.3	SECAGEM	23
4.4	CARBONIZAÇÃO	25
4.5	FOCO DE FOGO E TEMPO DE COMBATE	28
4.6	ATIÇO	29
4.7	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	29
4.7.1	<i>Densidade a granel</i>	30
4.7.2	<i>Teor de Finos</i>	30
4.7.3	<i>Teor de Umidade</i>	31
4.8	RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO	31

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1 CARBONIZAÇÃO E RESFRIAMENTO .....	35
5.2 FOCO DE FOGO E TEMPO DE COMBATE.....	37
5.3 ATIÇO .....	38
5.4 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS .....	39
5.4.1 <i>Densidade a granel</i> .....	39
5.4.2 <i>Teor de Finos</i> .....	41
5.4.3 <i>Teor de Umidade</i> .....	43
5.5 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO .....	44
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>8 ANÁLISE CRÍTICA DO DESENVOLVIMENTO DO TCC .....</b>	<b>48</b>
<b>9 AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O carvão vegetal não é um produto novo na história da humanidade, ele foi utilizado no Egito Antigo para a purificação de óleos, no tratamento de doenças por tribos indígenas e na filtragem de gases tóxicos e poluentes, se destacando por sua grande versatilidade.

De acordo com Santos *et al.* (2011), no Brasil o uso da madeira visando à geração de energia é geralmente relacionado à produção do carvão vegetal. De toda a área plantada no Brasil, cerca de 15,2% são destinados a siderurgia e produção de carvão vegetal, este é o terceiro maior setor consumidor de madeira no país. (IBÁ, 2015).

Dentre as mais diferentes utilizações do carvão vegetal, destaca-se o uso como redutor pelas indústrias siderúrgicas, na produção de ferro-gusa e aço, o que consome 68% do carvão vegetal produzido no Brasil. (EPE, 2015). A utilização do carvão vegetal apresenta vantagens quando comparado ao carvão mineral, pois ele é oriundo de florestas plantadas, enquanto o carvão mineral é de origem fóssil, ou seja, representa uma fonte finita e poluidora. (PAINEL FLORESTAL, 2013).

As propriedades do carvão vegetal dependem da matéria prima, do processo de carbonização e de possíveis variações que provocam alterações físico-química, as quais podem ser detectadas por métodos analíticos e óticos. (BARCELLOS, 2007).

Considerando a importância do uso de carvão vegetal para o setor siderúrgico e o seu impacto positivo para o setor de florestas plantadas, é importante que se busquem processos produtivos mais eficientes, que garantam aumento de produtividade e redução de custos, o que tornará o processo de produção do carvão vegetal mais competitivo. Desta forma, este estudo contribui para que sejam testadas e analisadas alternativas de estratificação da madeira, que venham a interferir positivamente no processo de produção, partindo da carbonização individualizada de base e ápice do fuste em três diferentes tempos de secagem ao ar livre.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência do tempo de secagem e da estratificação da madeira no processo de obtenção do carvão vegetal produzido a partir de madeiras de *Eucalyptus*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Testar a carbonização de madeiras em três diferentes classes de toras (ápice, base e mista) e três diferentes tempos de secagem (90, 120 e 150 dias).

Avaliar o rendimento gravimétrico, teor de finos, densidade a granel e teores de umidade do carvão vegetal produzido.

Analisar a quantidade de atijo produzido, o número de focos de fogo, o tempo de combate aos focos de fogo e o número de dias necessários para a carbonização e resfriamento dos fornos de carbonização.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL

O setor de florestas plantadas é considerado setor estratégico no fornecimento de matérias primas, oferecendo uma gama variada de produtos madeireiros e não madeireiros, tanto para pequenos produtores como para grandes investidores corporativos. (IBÁ, 2015).

Os plantios florestais oferecem inúmeros serviços sociais e ambientais, gerando emprego e renda, promovendo a inclusão social, reduzindo as pressões sobre as florestas nativas e contribuindo no sequestro de carbono e reabilitação de terras degradadas. (IBÁ, 2015).

A produtividade florestal brasileira é a maior do mundo, com um incremento médio anual de  $39 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para eucalipto e  $31 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para pinus. (IBÁ, 2015)

Em 2014, a área plantada com *Pinus* e *Eucalyptus* atingiram 7,74 milhões de hectares. Analisando os plantios por segmento, destacam-se o setor de papel e celulose (34%), produtores independentes e fomentados (26,8%), siderurgia e carvão vegetal (15,2%) e investidores financeiros (10,2%). (IBÁ, 2015).

As atividades relacionadas às florestas plantadas também contribuem para a preservação ambiental, protegendo 5,43 milhões de hectares de áreas naturais na forma de áreas de preservação permanente (APP), de reserva legal (RL) e de reservas particulares do patrimônio natural (RPPN). Estima-se que para cada hectare plantado com árvores para fins industriais, 0,65 hectares são destinados a preservação, resultado acima do praticado por outros setores, como a agricultura, por exemplo, onde para cada hectare cultivado, apenas 0,07 hectares são preservados. (IBÁ, 2015).

#### 3.20 GÊNERO EUCALYPTUS E CLONES HÍBRIDOS

O gênero *Eucalyptus* pertence à família *Myrtaceae*, e ocorre naturalmente na Austrália, o mesmo possui cerca de 600 espécies que são adaptadas às diversas condições de clima e solo e desta grande diversidade de espécies, apenas duas não são originárias da Austrália: o *E. urophylla* e o *E. deglupta*. (ALZATE, 2004).

Dentre o grande número de espécies de eucaliptos cultivadas no mundo, as mais utilizadas são o *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, *E. saligna* e *E. citriodora*. (BARCELLOS, 2007).

Com o aumento da demanda por produtos oriundos dos plantios florestais, a clonagem tem-se mostrado uma alternativa extremamente útil e muito aplicada na área florestal, principalmente por promover ganhos em incremento volumétrico e homogeneização das propriedades tecnológicas da madeira, o que proporciona melhor qualidade do produto final, tornando-se altamente desejável na atividade industrial. (BARCELLOS, 2007).

Um dos clones híbridos do gênero *Eucalyptus* amplamente conhecido no Brasil é o de *E. grandis* x *E. urophylla*. O objetivo do cruzamento destas espécies é obter plantas com um bom crescimento e aumento da densidade da madeira, características do *E. grandis* e *E. urophylla*, respectivamente. (ALZATE, 2004).

O *E. urophylla* apresenta características como a rusticidade e resistência ao déficit hídrico que faz com que as plantas desta espécie possuam alto potencial para programas de hibridação, principalmente com o *E. grandis*, que possui um bom desenvolvimento silvicultural, sendo possível obter materiais mais homogêneos e com qualidades da madeira desejáveis. (ALZATE, 2004).

### 3.3 PROPRIEDADES DA MADEIRA E SUA INFLUÊNCIA NO CARVÃO VEGETAL

#### **3.3.1 Densidade da Madeira**

A densidade representa uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas, servindo na prática, como uma referência para a classificação da madeira. Geralmente, as madeiras com maior densidade são mais resistentes, elásticas e duras que as madeiras com menor densidade. (MORESCHI, 2014).

Para a produção de carvão vegetal, a densidade da madeira é analisada sob diferentes aspectos. Segundo Neves (2012), maiores valores para a densidade básica da madeira refletem em melhores resultados para a densidade aparente do carvão vegetal. Outro aspecto refere-se a capacidade de produção na planta de carbonização, pois para uma determinada capacidade volumétrica do forno, a utilização de madeira mais densa em comparação a menos densa, resulta em maior

produção em massa de carvão vegetal, além disso, madeiras mais densas produzem carvão vegetal com densidade mais elevada. (BRITO, 1993).

### **3.3.2 Teor de Umidade**

Para Moreschi (2014, p. 29) “o teor de umidade de uma madeira é dado pela relação entre a massa da madeira completamente saturada de água e a massa da madeira em estado completamente seco, expresso em porcentagem”.

A umidade da madeira é um fator importante, e deve ser analisado na carbonização, pois interfere negativamente no poder de combustão do material, é desejável que a madeira passe pelo processo de secagem antes de ser carbonizada aumentando a eficiência do combustível. (NEVES, 2012).

Dentre os métodos convencionais de secagem amplamente empregados, podemos destacar a secagem ao ar livre e a secagem em estufa convencional. (STANGERLIN *et al.* 2012). Na maioria das vezes na indústria de produção de carvão o processo de secagem aplicado é ao ar livre, onde as toras de madeira são acondicionadas em pilhas, geralmente nas bordas dos talhões, por um tempo determinado.

Apesar desta secagem prévia feita ao ar livre, ao entrar no forno a madeira ainda possui umidade, que será liberada durante o processo de carbonização. A secagem desta madeira consome muita energia, que é fornecida em parte, da queima da própria madeira dentro do forno, assim, quanto mais úmida a madeira, maior será a energia necessária para secá-la. (CARNEIRO, 2008).

Além disso, a presença de água na madeira durante o processo de carbonização pode reduzir o poder calorífico, dificultar o processo de combustão e prejudicar a qualidade do carvão vegetal produzido. (CARNEIRO, 2008).

### **3.3.3 Dimensões da Madeira**

Em suma, qualquer peça de madeira pode ser carbonizada, independentemente do seu diâmetro ou comprimento, no entanto, as dimensões das toras podem vir a apresentar influências positivas ou negativas, tanto no processo de carbonização, logística e qualidade do carvão produzido.

Por razões de qualidade do carvão vegetal produzido, o diâmetro ideal para carbonização está entre 10 e 20 cm. Diâmetros maiores do que 20 cm podem tornar o carvão vegetal muito quebradiço, além de dificultar o manuseio da peça e diâmetros menores do que 10 cm dificultam o arranjo da peça dentro do forno, aumentando o tempo de enchimento. (CARNEIRO, 2008).

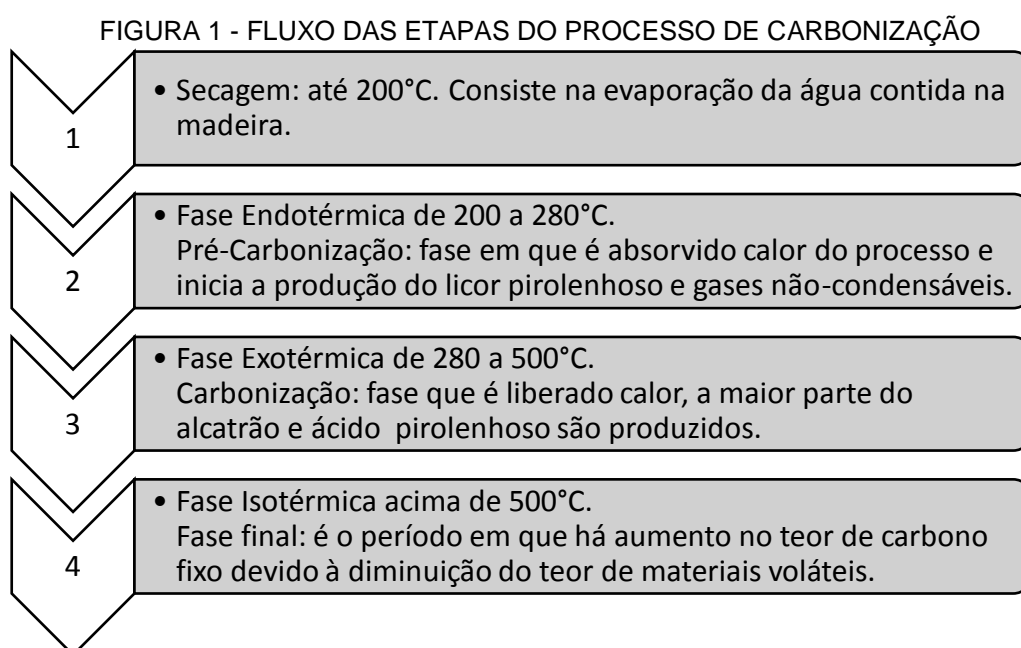
Em relação ao comprimento das peças, não há um valor pré-definido, ele dependerá principalmente do tipo de forno utilizado.

### 3.4 CARBONIZAÇÃO

Para Carneiro (2008, p. 04) “a carbonização pode ser definida como o processo cujo objetivo é aumentar o teor de carbono fixo na madeira por meio de tratamento térmico”.

A pirólise ou carbonização da madeira é um dos fenômenos mais antigos de que se tem conhecimento, e através da sua aplicação controlada, tem sido possível a obtenção de uma série de produtos benéficos ao homem, como no caso do carvão vegetal. (BRITO, 1990).

Segundo Pimenta *et al.*, (2003), o processo de carbonização pode ser descrito de forma simplificada em 4 fases (FIGURA 1).



FONTE: ADAPTADO DE ALMEIDA, 1982, CITADO POR PIMENTA *et al.*, 2003.

Durante o processo de carbonização da madeira, o carvão vegetal é apenas um dos produtos que podem ser obtidos. A partir da utilização de sistemas de coleta, podem ser aproveitados os condensados pirolenhosos (líquido pirolenhoso) e os gases não condensáveis. (CARNEIRO, 2008).

Segundo Brito (1990), o carvão vegetal é obtido na carbonização mediante a ação do calor que elimina a maior parte dos componentes voláteis da madeira. Durante este processo ocorre uma concentração de carbono no carvão vegetal, que ocorre devido à eliminação da maior parte do hidrogênio e oxigênio da madeira. Durante a conversão da madeira para carvão vegetal ocorre uma série de outros fenômenos além da concentração de carbono, como a diminuição de volume e escurecimento da madeira, abertura e fechamento de poros, fissuração, diminuição a densidade, etc.

Existem diversos tipos de fornos que podem ser utilizados para a carbonização: o forno tipo caiera ou meda, forno rabo-quente, forno de encosta, forno de superfície, forno de superfície com câmara externa, forno retangular, fornos metálicos por batelada e fornos metálicos contínuos (retortas). (LANA, 2012)

### 3.5 PROPRIEDADES DO CARVÃO VEGETAL

#### **3.5.1 Densidade**

A densidade é uma propriedade importante do carvão vegetal, principalmente quando seu destino final é a siderurgia. Esta variável é responsável por determinar o volume ocupado pelo carvão vegetal nos aparelhos de redução e gaseificação, e por este motivo deve ser a maior possível. (CARNEIRO, 2008).

De acordo com Carneiro (2008), existem três metodologias que podem ser aplicadas para obtenção da densidade do carvão vegetal.

- Densidade do granel: medida da densidade do carvão vegetal num dado volume conhecido.
- Densidade aparente: medida da densidade do carvão vegetal considerando sua porosidade.

- Densidade verdadeira: medida da densidade da substância carvão vegetal, descontando o volume dos poros internos.

### **3.5.2 Teor de Umidade**

Conforme Carneiro (2008), a umidade do carvão vegetal influencia no rendimento dos processos em que ele é utilizado.

Pode-se dizer que, para a finalidade siderúrgica, quanto maior a umidade, maior será a quantidade de carvão vegetal a ser utilizada no alto forno, ocupando, assim, parte do volume que deveria ser ocupado pela carga metálica (minério). Isso implica em diminuição da produtividade do aparelho de redução. (CARNEIRO, 2008).

### **3.5.3 Granulometria**

A granulometria refere-se ao tamanho médio do carvão vegetal e está usualmente relacionado com a permeabilidade da carga no alto forno. Granulometrias muito baixas acarretam cargas com baixa permeabilidade, prejudicando a eficiência das reações metalúrgicas. (CARNEIRO, 2008).

Segundo Salierno (2007), a permeabilidade é um índice que quantifica a facilidade de escoamento dos gases pelo corpo do alto-forno.

### **3.5.4 Resistência Mecânica**

A resistência mecânica do carvão vegetal pode ser alterada pelas características da madeira, condução da carbonização, operações de manuseio e transporte, e mudanças de temperaturas que ocorrem durante os processos metalúrgicos. (CARNEIRO, 2008).

A resistência do carvão vegetal é muito importante no processo siderúrgico, pois baixa resistência mecânica pode elevar a quantidade de finos e resultar em problemas durante a redução nos altos fornos. (LANA, 2014).

### 3.5.5 Friabilidade

Esta propriedade está relacionada à suscetibilidade de se formarem finos quando o carvão vegetal é submetido à abrasão e choques mecânicos.

Conforme Pimenta *et al.* (2003), a friabilidade ou seja, a maior ou menor resistência à geração de finos ao longo do processo, está relacionada à condução da carbonização, movimentação do carvão vegetal na planta de carbonização, acondicionamento, carregamento e transporte.

De acordo com Carneiro (2008), a friabilidade também pode estar relacionada com a umidade, o diâmetro e o comprimento da madeira a ser carbonizada.

## 3.6 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

Este é o índice mais importante do processo de carbonização, pois o rendimento gravimétrico representa a relação percentual de massa entre o produto (carvão vegetal) e a matéria-prima (madeira), ou seja, a produtividade dos fornos. (LANA, 2012).

Além disso, o rendimento gravimétrico é um dos itens responsáveis por todo o planejamento logístico de produção, a partir dele é feito o planejamento da quantidade de madeira necessária, para a produção do carvão vegetal demandado pela usina siderúrgica. (LANA, 2014).

As propriedades do carvão vegetal estão diretamente relacionadas às características físicas, químicas e anatômicas da madeira utilizada para a sua produção. Dentre todas as características físicas da madeira, a densidade básica é a que tem maior influência sobre a qualidade do carvão vegetal e, entre as características químicas, o destaque é para o teor de lignina. (LANA 2012).

Segundo Carneiro, (2008) o rendimento gravimétrico pode ser definido como sendo o rendimento em massa de carvão vegetal ao final do processo de carbonização considerando a massa da matéria prima (madeira) como referência.

Segundo Carneiro (2008), o rendimento gravimétrico possui:

- Correlação positiva com o teor de lignina total e teor de extrativos.

- Correlação positiva com densidade básica da madeira. Considerando que geralmente madeiras com maiores teores de lignina são mais densas, logo estes fatores são em maior ou menor grau interdependentes.
- Correlação negativa entre largura e diâmetro dos lúmens das fibras.

Outros fatores importantes para o aumento do rendimento gravimétrico são:

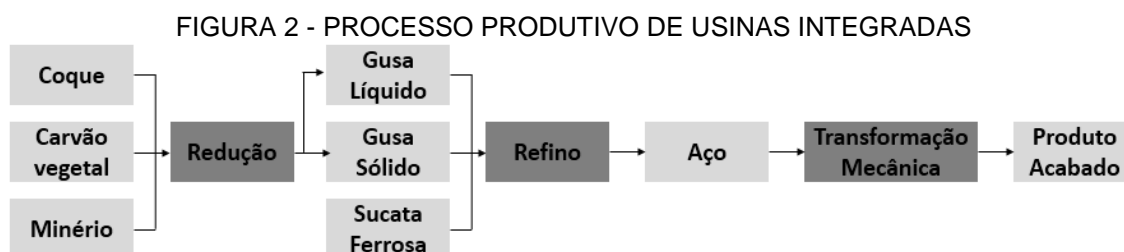
- Temperatura máxima média na faixa dos 400 °C.
- Taxa de aquecimento lenta.

### 3.7 INDÚSTRIA SIDERÚRGICA NO BRASIL

O desenvolvimento de um país está fortemente relacionado ao seu nível de industrialização, considerando a indústria do aço como uma importante contribuinte para a economia por representar o alicerce de diversas cadeias produtivas como a construção civil, a indústria automotiva e a agroindústria. (JUNIOR *et al*, 2014).

Na produção do aço existem três modelos principais de processos produtivos, as usinas integradas, as semi-integradas e as independentes.

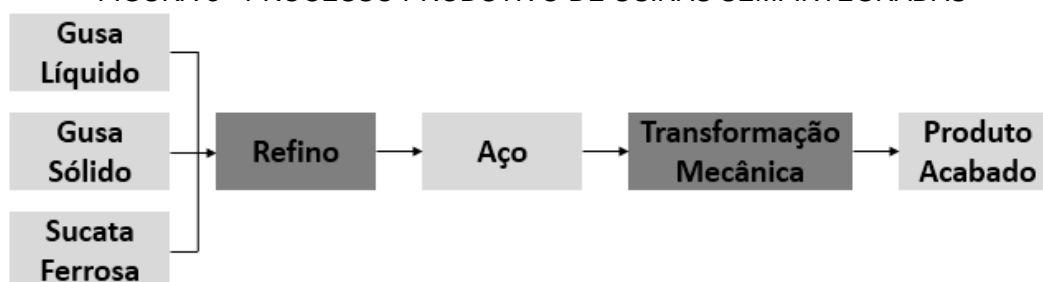
Nas usinas integradas o processo tem início com a redução do minério de ferro, produzindo o ferro-gusa que posteriormente é convertido em aço e passa pelos processos de transformação mecânica (FIGURA 2). Nestas usinas estão presentes as etapas de redução, refino e transformação mecânica. (JUNIOR *et al.*, 2014).



FONTE: ADAPTADO DE SANT'ANNA JUNIOR *et al.*, (2014)

As usinas semi-integradas não possuem a etapa de redução e são alimentadas principalmente por sucata ferrosa e ferro-gusa (FIGURA 3).

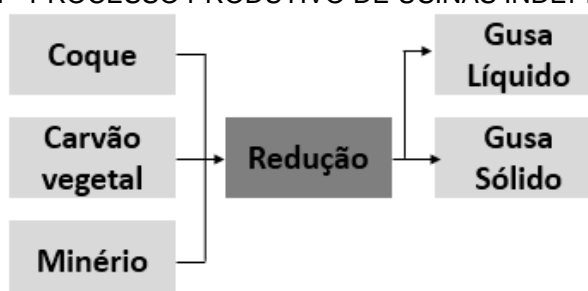
FIGURA 3 - PROCESSO PRODUTIVO DE USINAS SEMI-INTEGRADAS



FONTE: ADAPTADO DE SANT'ANNA JUNIOR *et al.*, (2014)

E as usinas independentes são unidades industriais focadas somente na produção de ferro-gusa (FIGURA 4). (CGEE, 2010 citado por JUNIOR *et al.*, 2014)

FIGURA 4 - PROCESSO PRODUTIVO DE USINAS INDEPENDENTES



FONTE: ADAPTADO DE SANT'ANNA JUNIOR *et al.*, (2014)

O uso de carvão vegetal em substituição ao coque siderúrgico é ambientalmente melhor, pois o CO<sub>2</sub> produzido pelo processo siderúrgico pode ser, em parte, neutralizado durante o crescimento das florestas. (LANA, 2012).

De acordo com informações do Instituto Aço Brasil, em 2014 o país produziu 33,9 milhões de toneladas de aço bruto, ocupando o 14º lugar na exportação mundial, em relação aos principais consumidores, se destacam os setores de construção civil, automotivo, bens de capital, máquinas e equipamentos (incluindo agrícolas), utilidades domésticas e comerciais. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014).

O estado de Minas Gerais se destaca como maior estado em produção e consumo do carvão vegetal, no ano de 2012 foi consumido 17,750 milhões de metros cúbicos, o que corresponde a 66,3% do total brasileiro. (Associação Mineira de Silvicultura, 2012).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido na área de produção de carvão vegetal de uma empresa do setor siderúrgico, localizada na cidade de Três Marias, a 276 km de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais. (FIGURA 5)

FIGURA 5 - CIDADE DE TRÊS MARIAS



FONTE: WIKIPEDIA (2015)

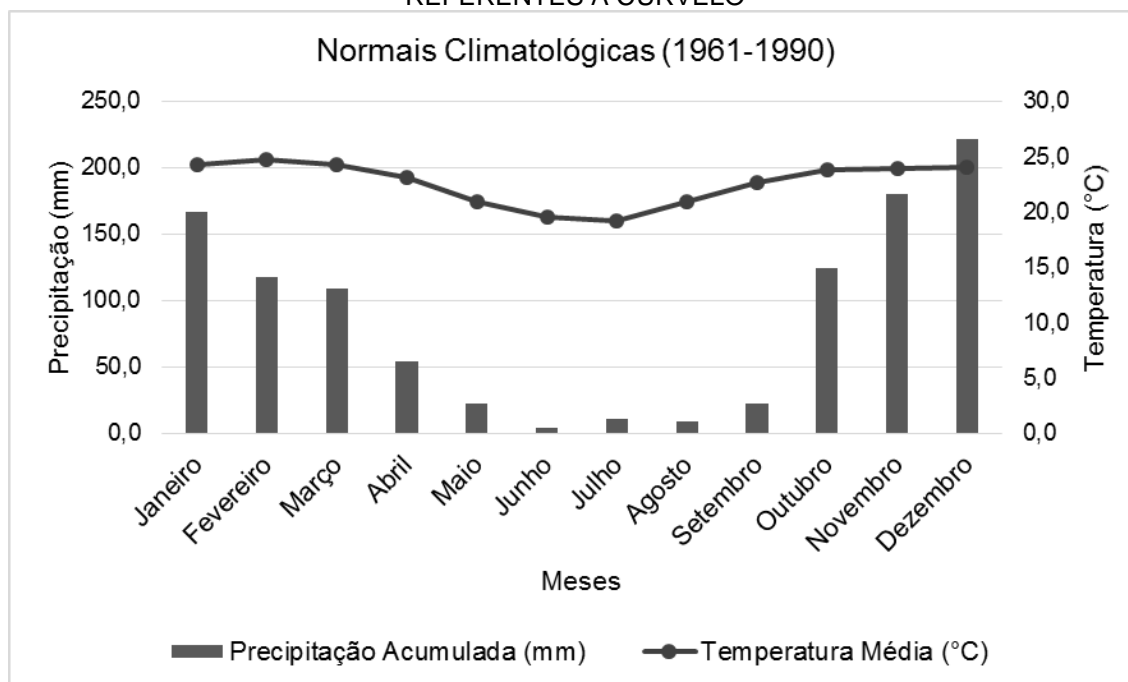
A cidade de Três Marias está localizada às margens do rio São Francisco, sendo conhecida pela usina hidrelétrica construída no entorno da cidade e com o mesmo nome.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região onde se desenvolveu este estudo, é enquadrado como Aw, clima tropical com estação seca de Inverno.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2015, utilizando dados de 1961 a 1990, da estação meteorológica da cidade de Curvelo, que é a estação localizada mais próxima da cidade de Três Marias, cerca de 130 km de distância, a precipitação acumulada anual é de 1041,5 mm, distribuídas principalmente nos meses de outubro a abril, com temperatura média de 22,6 °C, variando de 25 °C nos meses

mais quentes a 19 °C nos meses mais frios (FIGURA 6). Este estudo foi conduzido entre os meses de fevereiro a julho de 2015.

FIGURA 6 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961 – 1990) DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA REFERENTES A CURVELO



FONTE: ADAPTADO DE INMET (2015).

O relevo da região é caracterizado em sua maioria por formas onduladas e montanhosas, com altitude variando entre 500 a 1.000 metros.

A vegetação nativa é constituída predominantemente pelo cerrado, os solos da região são de baixa fertilidade natural e alta susceptibilidade à erosão. (OLIVEIRA, 2007).

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E AMOSTRAGEM

Foi utilizado no desenvolvimento deste estudo, um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, com 8 anos de idade cultivado em espaçamento de 3,50 x 2,40 metros, em plantios localizados na cidade de Três Marias, no estado de Minas Gerais.

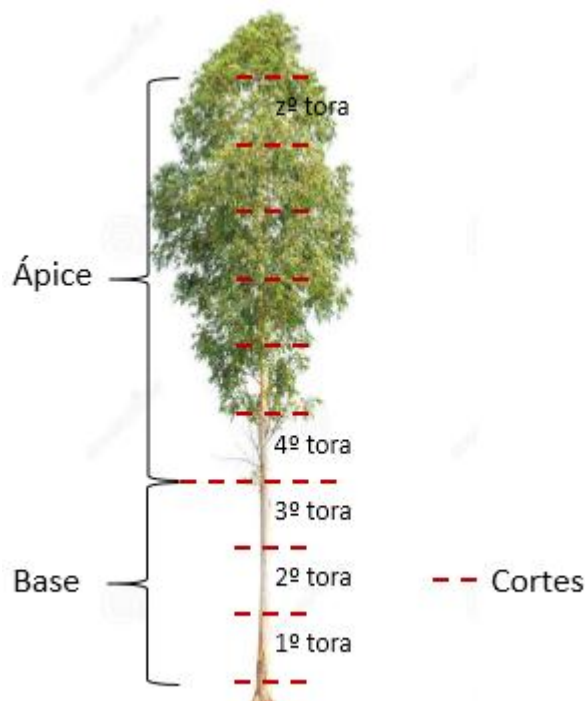
A madeira foi estratificada em três diferentes tempos de secagem ao ar livre, aos 90, 120 e 150 dias e três classes de toras ápice, base e mista, totalizando 33 carbonizações, conforme apresentado na TABELA 1.

TABELA 1 - TRATAMENTOS E NUMERO DE REPETIÇÕES ANALISADOS

Tempo de Secagem	Classes das Toras	Nº de repetições
90 dias	Ápice	4
	Base	4
	Mista	4
120 dias	Ápice	3
	Base	5
	Mista	4
150 dias	Ápice	3
	Base	2
	Mista	4

A classificação das toras foi realizada levando em consideração o padrão de comprimento de corte empregado pela empresa, que é de 3,15 metros, e foi realizado durante a colheita, onde a árvore foi seccionada e as toras alocadas em pilhas, já separadas em ápice, base e mista, conforme FIGURA 7.

FIGURA 7 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE BASE O ÁPICE



FONTE: ADAPTADO DE DREAMSTIME (2016).

Em que:

- **Ápice:** corresponde à porção superior do fuste com menor diâmetro. Foram classificadas como ápice todas as toras localizadas acima de 9,45 metros de

altura da árvore. O diâmetro médio das toras classificadas como ápice foi de 9 cm.

- Base: porção inferior do fuste com maior diâmetro. Foram classificadas como base todas as toras localizadas abaixo de 9,45 metros de altura da árvore, o que corresponde a três seções de 3,15 metros. O diâmetro médio das toras classificadas como ápice foi de 13 cm.
- Mista: toda a árvore é seccionada e empilhada sem separação, ou seja, incluindo ápice e base do fuste.

Para obtenção do diâmetro médio foi realizada a medição do diâmetro das toras já empilhadas, depois de traçadas.

#### 4.3 SECAGEM

O método de secagem utilizado pela empresa foi ao ar livre, em pilhas de no máximo dois metros de altura alocadas nas bordas do talhão (FIGURA 8). Os diferentes tempos de secagem, 90, 120 e 150 dias adotados para este estudo, foi adotado com o intuito de avaliar a influência do tempo de secagem e da umidade presente na madeira para o processo de carbonização.

FIGURA 8 - PILHA COM MADEIRA DE BASE (À ESQUERDA) E ÁPICE (À DIREITA) SENDO CARREGADAS NO CAMINHÃO



FONTE: O AUTOR (2015)

O teor de umidade da madeira foi obtido através da aplicação de uma equação, desenvolvida pela própria empresa, onde são considerados fatores como: localização, mês da colheita, número de dias de secagem e precipitação.

Depois de atingir o número de dias de secagem previstos para cada tratamento, a madeira foi transportada do talhão para a planta de carbonização, local onde a madeira é carbonizada em fornos retangulares. (FIGURA 9)

FIGURA 9 - PLANTA DE CARBONIZAÇÃO



FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE MAPAS (2016)

Na planta de carbonização foi obtida a massa de madeira a partir das pesagens dos veículos carregados, conforme equação (1). Todas as pesagens foram feitas utilizando-se balança rodoviária.

$$P = V_c - T \quad (1)$$

Em que:

$V_c$  = Massa do veículo carregado de madeira.

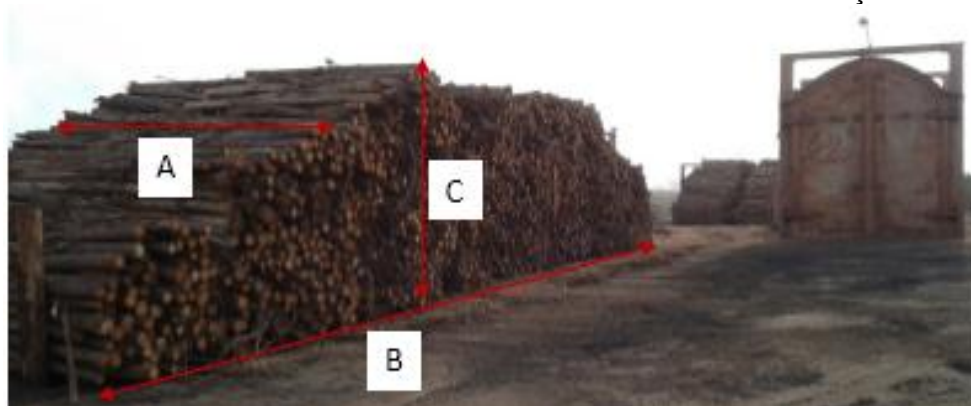
$T$  = Tara do veículo.

$P$  = Massa da madeira.

Após conduzidas à planta de carbonização, as toras de madeira foram acondicionadas em pilhas com dimensões de 6,30 metros de largura (A), 22,0 metros de comprimento (B) e 3,0 metros de altura (C) (FIGURA 10), respectivamente, com capacidade para aproximadamente 209 m<sup>3</sup> de madeira, localizados próximos aos

fornos onde foram carbonizadas. A madeira fica alocada nestes locais até o momento de enchimento do forno.

FIGURA 10 - PILHA DE MADEIRA NA PLANTA DE CARBONIZAÇÃO.

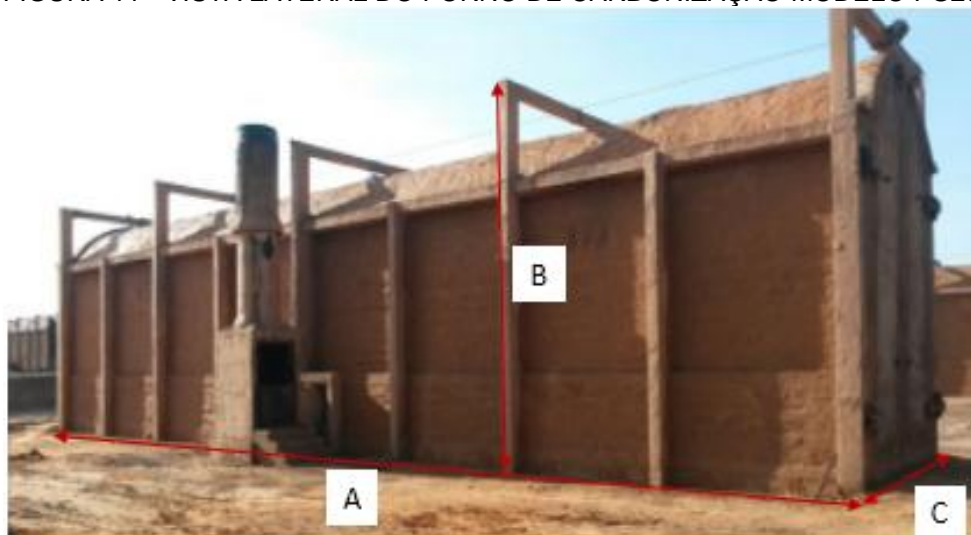


FONTE: O AUTOR (2015).

#### 4.4 CARBONIZAÇÃO

Foram carbonizados separadamente cada um dos tratamentos, totalizando 33 carbonizações. Para esta etapa foram utilizados fornos retangulares de alvenaria com dimensões de 26,00 metros de comprimento (A), 4,0 metros de altura (B) e 4,0 metros de largura (C) (FIGURA 11), respectivamente, e com capacidade máxima para aproximadamente 220 m<sup>3</sup> de madeira em tora.

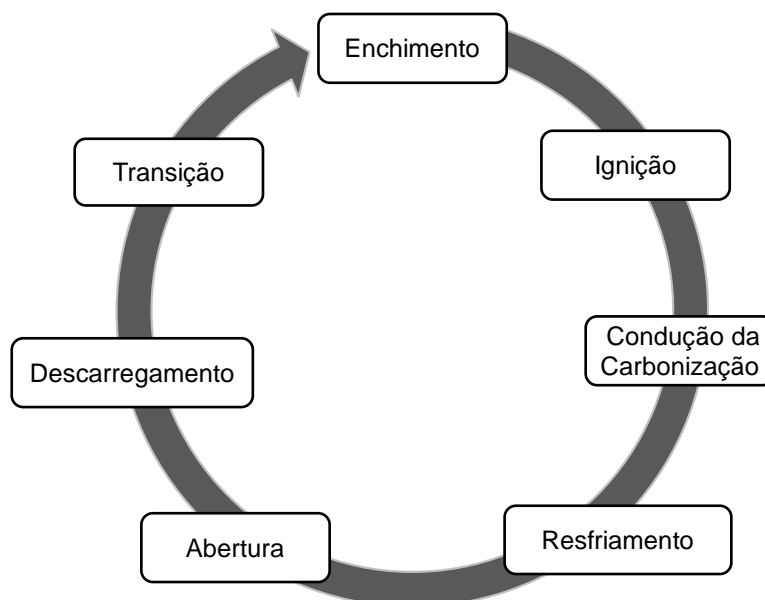
FIGURA 11 - VISTA LATERAL DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO MODELO FG26.



FONTE: O AUTOR (2015).

O processo de carbonização empregado durante a execução deste estudo tem duração aproximada de 13 dias corresponde ao ciclo descrito na FIGURA 12.

FIGURA 12 - CICLO DE CARBONIZAÇÃO PRATICADO NA EMPRESA E EXECUTADO NESTE ESTUDO



FONTE: O AUTOR (2015).

O processo de enchimento corresponde à atividade de carregamento do forno com madeira. Para esta atividade é utilizada uma pá carregadeira equipada com grua. As toras são orientadas na posição horizontal conforme a FIGURA 13.

FIGURA 13 - OPERAÇÃO DE ENCHIMENTO DO FORNO.



FONTE: O AUTOR (2015).

A Ignição refere-se ao ato de “acender” a madeira. São utilizadas peças de aticho que, conforme Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa (2016) refere-se a extremidade não queimada de madeira na fabricação de carvão.

O aticho é inserido nas câmaras de ignição para dar início ao processo de carbonização (FIGURA 14).

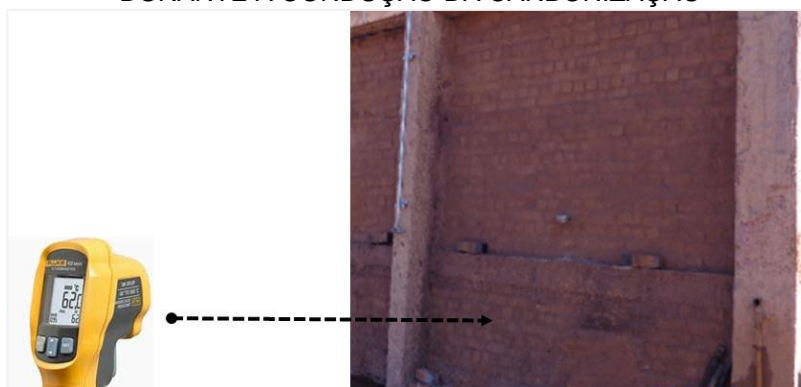
FIGURA 14 - ATIÇO E CÂMARA, ANTES DE SER INICIADA A IGNIÇÃO DO FORNO



FONTE: O AUTOR (2015).

A condução de carbonização: depois de realizada a ignição do forno, é feito o acompanhamento da temperatura com pirômetro (termômetro infravermelho). De acordo com as temperaturas verificadas, as entradas de ar, claraboias e aberturas tipo “tatu”, vão sendo fechadas uma a uma até todas estarem devidamente vedadas, o que impedirá a entrada de oxigênio no forno durante a carbonização (FIGURA 15).

FIGURA 15 - PIRÔMETRO UTILIZADO PARA ACOMPANHAMENTO DA TEMPERATURA DURANTE A CONDUÇÃO DA CARBONIZAÇÃO



FONTE: O AUTOR (2015).

A etapa de resfriamento corresponde ao período onde o forno permanecerá completamente fechado, até o momento de sua abertura. Esta etapa tem duração média de 8 dias.

Passado o período de resfriamento o forno é aberto. Neste momento ocorre uma avaliação dentro do forno verificando a existência de focos de fogo, caso sejam identificados, eles devem ser combatidos ainda no forno, a etapa seguinte só poderá ocorrer se todos os focos de fogo tiverem sido devidamente controlados.

Para a etapa de descarregamento do forno de carbonização é utilizada uma pá carregadeira equipada com concha, durante a retirada o carvão vegetal é realizado uma avaliação quanto à classificação e separação do atíço (madeira não carbonizada completamente). À medida em que o carvão vegetal vai sendo retirado do forno, ele é realocado para montes cobertos com lonas e em áreas demarcadas, onde ficará até ser transportado para a usina (FIGURA 16).

FIGURA 16 - (A) RETIRADA DO CARVÃO VEGETAL DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO E (B) MONTES DE BIORREDUTOR E ATIÇOS, SEPARADOS, APÓS A RETIRADA DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO.



FONTE: O AUTOR (2015).

O período de transição corresponde a fase entre o descarregamento e enchimento. Nesta etapa são feitos todos os justes e reparos necessários no forno.

#### 4.5 FOCO DE FOGO E TEMPO DE COMBATE

Foram contabilizados o número de focos de fogo e o tempo em minutos, necessário para o controle dos focos em cada um dos fornos.

O ideal é que não existam focos de fogo, mas quando existirem é importante que sejam combatidos com o menor tempo possível, ainda dentro do forno, pois eles podem acarretar em perda de qualidade e rendimento (FIGURA 17).

FIGURA 17 - COMBATE A FOCO DE FOGO DENTRO DO FORNO DE CARBONIZAÇÃO



FONTE: O AUTOR (2015).

#### 4.6 ATIÇO

O volume de atiço gerado durante a carbonização foi estimado em metros cúbicos, a partir do comprimento e número de peças que foram separadas durante o processo de descarregamento do forno.

As toras de atiço foram classificadas de acordo com seu comprimento em 1,0, 2,0 e 3,0 metros, utilizando para o cálculo do volume, o diâmetro padrão de 15 cm.

#### 4.7 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os valores correspondentes à densidade a granel, teor de umidade e teor de finos foram obtidos na usina de recebimento de carvão vegetal, conforme padrões operacionais utilizados diariamente pela empresa.

Estes padrões operacionais estão relacionados às necessidades e parâmetros de qualidades para o carvão vegetal, exigidos pela usina, e ajustado de acordo com o processo de redução para a produção do aço.

#### 4.7.1 Densidade a granel

A densidade do carvão vegetal foi obtida pela equação (3).

$$D = \frac{M - M'}{V} \quad (3)$$

Em que:

D = Densidade do granel do carvão vegetal ( $\text{kg m}^{-3}$ );

M = Massa do carvão vegetal (kg) + massa do recipiente vazio (kg);

M' = Massa do recipiente vazio (kg);

V = Volume do recipiente ( $\text{m}^3$ ).

A densidade do carvão vegetal foi obtida no momento da descarga do carvão vegetal na usina, conforme norma da empresa.

#### 4.7.2 Teor de Finos

Para a determinação de finos foram coletados, de maneira aleatória, três amostras de carvão vegetal de cada um dos caminhões utilizados para o transporte até a usina.

As amostras foram coletadas, pesadas e despejadas sobre um classificador para carvão vegetal, este classificador é composto por peneiras vibratórias de diferentes malhas que subdividem o carvão vegetal de acordo com a granulometria desejada. A porção de carvão vegetal coletada do classificador foi separada e pesada.

O teor de finos é obtido pela relação entre a massa total da amostra e a massa da porção de finos, conforme equação (4).

$$F = \frac{M}{M'} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

F = finos (%);

M = massa da porção de finos (kg);

M' = massa total da amostra (kg).

### 4.7.3 Teor de Umidade

Para a obtenção do teor de umidade, foram coletados 500 g de carvão vegetal, utilizados na determinação do teor de finos.

Essa porção foi triturada em moinho e peneirada em malha de 2 mm, posteriormente a porção de carvão vegetal foi acomodada em um recipiente para homogeneização. Desta porção, retiraram-se amostras de 10 a 13 g cada, estas amostras foram encaminhadas à termo balança a 110 °C para determinação de umidade.

### 4.8 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

O rendimento gravimétrico foi calculado por meio da equação (2).

$$RG = PC \div PM \times 100 \quad (2)$$

Em que:

RG = Rendimento gravimétrico (%);

PC = Massa do carvão vegetal produzido base seca (kg);

PM = Massa da madeira enfiada, base seca (kg).

Para o padrão operacional atualmente aplicado na empresa, que é de 150 dias de secagem ao ar livre e sem a classificação de toras, ou seja, carbonização mista.

### 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o pacote estatístico SPSS Statistics 23.0, o nível de significância foi de  $p \leq 0,05$  para todas as análises.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para analisar as variáveis: rendimento gravimétrico, densidade a granel, teor de finos, teor de umidade, número de dias utilizados para as etapas de carbonização e resfriamento dos fornos de

carbonização, considerando os três diferentes tempos de secagem da madeira ao ar livre e as três diferentes classes de toras como fatores fixos.

Para os casos em que foram detectadas diferenças estatísticas significativas, aplicou-se o teste de média de *Least-significance Difference* (LSD) para verificar quais médias diferiam entre os fatores, tanto quando apenas um dos fatores indicou ser estatisticamente diferente ou ambos, assim como a interação entre eles.

Para as variáveis: número de focos de fogo, tempo necessário para o combate dos focos e quantidade de aticho gerado, bem como para os casos em que não houve diferença estatística, foi realizada apenas a análise descritiva.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados na TABELA 2 os resultados médios para o rendimento gravimétrico, densidade a granel, teor de umidade, teor de finos, número de focos de fogo, tempo de combate e aticho produzido, bem como o tempo médio de carbonização e resfriamento dos fornos.

O tratamento 150 dias de secagem e classe de toras mista, foi utilizado como padrão para comparação, já que esta combinação de fatores é atualmente empregada no sistema produtivo da empresa.

TABELA 2- VALORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO PARA OS RESULTADOS DE CARBONIZAÇÃO.

VARIÁVEIS	TRATAMENTOS								
	90 dias			120 dias			150 dias		
	Ápice	Base	Mista	Ápice	Base	Mista	Ápice	Base	Mista
<b>Rendimento Gravimétrico (%)</b>	33 ± 1	27 ± 1	30 ± 1	31 ± 3	27 ± 1	29 ± 3	29 ± 0	28 ± 1	30 ± 1
<b>Densidade a granel (kg/mdc)</b>	235 ± 12	252 ± 19	238 ± 11	244 ± 20	261 ± 16	241 ± 7	230 ± 10	256 ± 13	224 ± 9
<b>Teor de Umidade (%)</b>	5 ± 1	5 ± 1	6 ± 1	4 ± 0	6 ± 1	5 ± 0	5 ± 0	5 ± 1	6 ± 2
<b>Teor de Finos (%)</b>	18 ± 1	15 ± 3	17 ± 2	17 ± 1	16 ± 2	19 ± 3	17 ± 3	12 ± 3	15 ± 1
<b>Foco de Fogo (nº)</b>	2 ± 1	4 ± 3	2 ± 1	1 ± 1	2 ± 1	2 ± 1	1 ± 0	2 ± 1	1 ± 0
<b>Combate à Foco de Fogo (min)</b>	10 ± 4	37 ± 31	19 ± 9	12 ± 10	11 ± 6	16 ± 14	4 ± 2	12 ± 3	11 ± 10
<b>Aticho (m³)</b>	5 ± 2	3 ± 1	4 ± 2	4 ± 2	4 ± 1	7 ± 2	5 ± 2	9 ± 2	6 ± 2
<b>Tempo de Carbonização (dias)</b>	5 ± 0	6 ± 1	5 ± 0	5 ± 1	6 ± 1	5 ± 1	5 ± 0	5 ± 1	4 ± 0
<b>Tempo de Resfriamento (dias)</b>	8 ± 1	8 ± 0	8 ± 1	8 ± 0	10 ± 3	8 ± 0	9 ± 0	8 ± 0	9 ± 0

A análise descritiva foi realizada para o teor de umidade e número de dias utilizados para o resfriamento não apresentaram diferença estatística para nenhum dos dois fatores e também para o número de focos de fogo, tempo necessário para o combate dos focos e quantidade de aticho gerado.

O rendimento gravimétrico e número de dias utilizados para a carbonização, não apresentaram diferença estatística para a interação entre os dois fatores, no entanto apresentaram diferença significativa para o fator classe de tora.

A densidade a granel e teor de finos apresentaram diferença significativa para os dois fatores, tempo de secagem ao ar livre e classe de tora, porém a interação entre eles não apresentou diferença.

Os valores referentes ao quadrado médio, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e coeficiente de variação (CV) da análise de variância, para todas as variáveis que apresentaram diferenças estatísticas significativas, estão apresentados nas TABELAS 3, 4, 5 e 6.

TABELA 3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DO CARVÃO VEGETAL (RG).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio
		RG
Tempo de Secagem	2	5,077 <sup>ns</sup>
Classe de Tora	2	36,627*
Tempo de Secagem * Classe de Tora	4	4,072 <sup>ns</sup>
Erro	23	2,847
$R^2$		0,648
CV%		8,34

\*Nível de significância  $p \leq 0,05$ ; <sup>ns</sup> não significativo.

TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A DENSIDADE A GRANEL (DG) DO CARVÃO VEGETAL.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio
		DG
Tempo de Secagem	2	1078,119*
Classe de Tora	2	2025,675*
Tempo de Secagem * Classe de Tora	4	40,002 <sup>ns</sup>
Erro	55	182,373
$R^2$		0,436
CV%		6,95

\*Nível de significância  $p \leq 0,05$ ; <sup>ns</sup> não significativo.

TABELA 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE FINOS (TF) DO CARVÃO VEGETAL.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio
		TF
Tempo de Secagem	2	18,62*
Classe de Tora	2	31,424*
Tempo de Secagem * Classe de Tora	4	6,104 <sup>ns</sup>
Erro	38	3,664
$R^2$		0,421
CV%		13,96

\*Nível de significância  $p \leq 0,05$ ; <sup>ns</sup> não significativo.

TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O NÚMERO DE DIAS DE CARBONIZAÇÃO (CAR).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado Médio
		CAR
Tempo de Secagem	2	0,57 <sup>ns</sup>
Classe de Tora	2	2,373*
Tempo de Secagem * Classe de Tora	4	0,29 <sup>ns</sup>
Erro	24	0,383
R <sup>2</sup>		0,47
CV%		14,49

\*Nível de significância  $p \leq 0,05$ ; <sup>ns</sup> não significativo.

## 5.1 CARBONIZAÇÃO E RESFRIAMENTO

O número de dias utilizados para a carbonização não apresentou diferença estatística para a interação entre os dois fatores, no entanto apresentou diferença significativa para o fator classe de tora, neste caso, aplicou-se o teste de média de *Least-significance Difference* (LSD), conforme apresentado na TABELA 7.

TABELA 7 - INFLUÊNCIA DA CLASSE DE TORA E TEMPO DE CARBONIZAÇÃO (DIAS).

Fatores		Média
		Tempo de Carbonização
Classe de Tora	Ápice	4,65 <sup>A</sup>
	Base	5,61 <sup>B</sup>
	Mista	4,88 <sup>A</sup>
		Coeficiente de Variação (%)
Classe de Tora	Ápice	8,26
	Base	10,26
	Mista	16,43

Letras maiúsculas iguais na coluna não representam diferença estatística pelo teste de LSD a  $p \leq 0,05$  de significância.

Segundo Oliveira *et al* (2015), o tempo médio de carbonização da madeira nos fornos retangulares é de quatro dias, resultado próximo do identificado neste estudo.

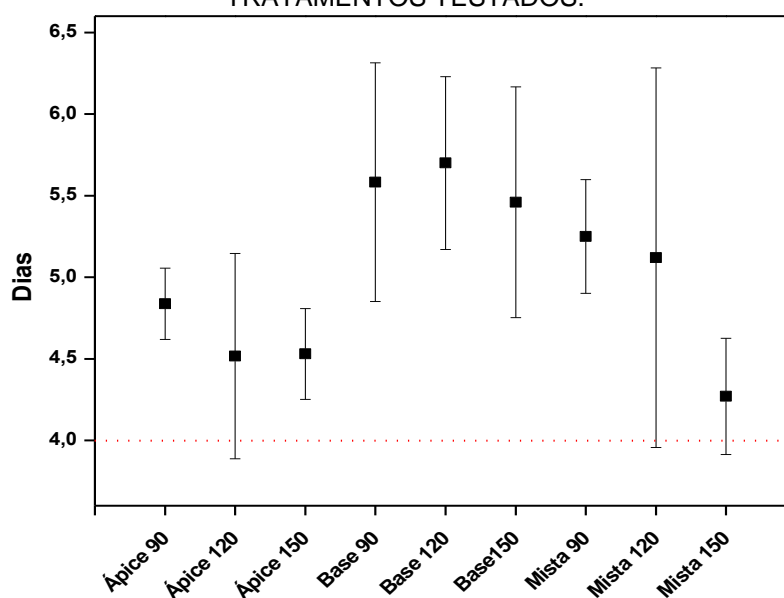
Analisando o tempo de carbonização deste estudo é possível verificar que há relação com o rendimento gravimétrico e quantidade de aticho gerado, ou seja, quanto maior o tempo de carbonização menor possivelmente será a quantidade de aticho e também menor será o resultado para rendimento gravimétrico, bem como que para o menor tempo de carbonização, possivelmente será obtido o maior rendimento gravimétrico e maior quantidade de aticho.

Esta relação indica que a exposição da madeira ao processo de carbonização proporciona a degradação de seus componentes e diminuição de massa, considerando que o rendimento gravimétrico é obtido através da relação entre a massa do carvão vegetal produzido e a massa da madeira enfiada, quanto maior for a perda por degradação menor será o rendimento gravimétrico em carvão vegetal.

Por sua vez, caso o tempo de carbonização empregado seja menor que o necessário, maior será a chance de haver toras não carbonizadas completamente, o que aumentará a quantidade de aticho no forno e influenciará negativamente no rendimento gravimétrico, reduzindo a porção de carvão vegetal produzido.

O melhor resultado obtido foi para o tratamento que representa o padrão de produção aplicado atualmente na empresa, que é de 150 dias de secagem e classe de toras mista, na rotina diária o tempo de carbonização médio para esse tratamento é de 4 dias (FIGURA 18).

FIGURA 18 – DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA O TEMPO DE CARBONIZAÇÃO PARA OS TRATAMENTOS TESTADOS.



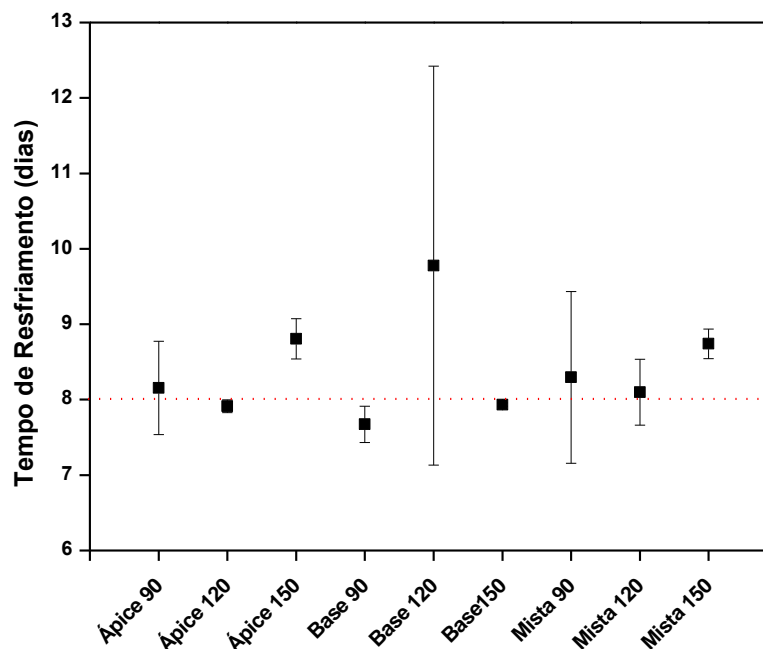
O tempo de resfriamento dos fornos de carbonização não apresentou diferença estatística para nenhum dos dois fatores, assim, está apresentada na TABELA 8 a estatística descritiva para esta variável.

TABELA 8 - ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIÁVEL TEMPO DE RESFRIAMENTO.

Variáveis	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Tempo de Resfriamento (dias)	32	6,90	12,70	8,48	1,25

Segundo Oliveira *et al.* (2015), o tempo de resfriamento pode levar de 8 a 14 dias e depende da geometria, dimensões e material de construção do forno de carbonização. Neste estudo a média de dias para resfriamento ficou próximo ao mínimo sugerido pelos autores e praticado pela empresa, que é de 8 dias, sendo que o melhor resultado foi para o ápice aos 120 dias de secagem (FIGURA 19).

FIGURA 19 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA O TEMPO DE RESFRIAMENTO PARA OS TRATAMENTOS TESTADOS



## 5.2 FOCO DE FOGO E TEMPO DE COMBATE

Está apresentada na TABELA 9 a estatística descritiva para as variáveis foco de fogo e tempo de combate, que não apresentaram diferença estatística para nenhum dos fatores em nenhum dos tratamentos testados.

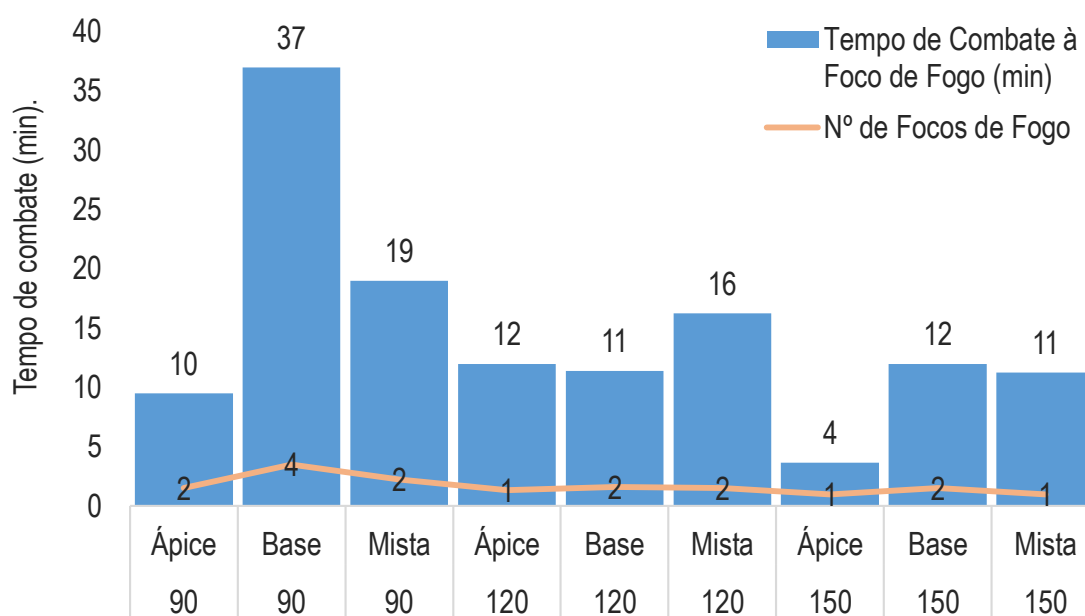
TABELA 9 - ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS NÚMERO DE FOCOS DE FOGO E TEMPO DE COMBATE DOS FOCOS DE FOGO.

Variáveis	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Nº de Focos de Fogo	33	1,00	8,00	1,73	1,31
Tempo de combate dos focos de fogo (min)	33	2,00	80,00	15,15	14,90

O foco de fogo pode estar relacionado tanto à etapa de ignição e condução da carbonização, como à etapa de resfriamento, problemas na vedação ou abertura de portas antes do período adequado podem dar início ao foco de fogo.

Neste estudo, o número de focos de fogo permaneceu dentro do esperado, que é em torno de um foco de fogo por forno, no entanto o valor médio para tempo de combate ficou acima do limite aceitável pela empresa, que é de 12 minutos, sendo que os melhores resultados foram para o ápice aos 90 e 150 dias de secagem (FIGURA 20).

FIGURA 20 - RESULTADOS PARA O NÚMERO DE FOCOS DE FOGO E TEMPO DE COMBATE PARA OS TRATAMENTOS TESTADOS.



### 5.3ATIÇO

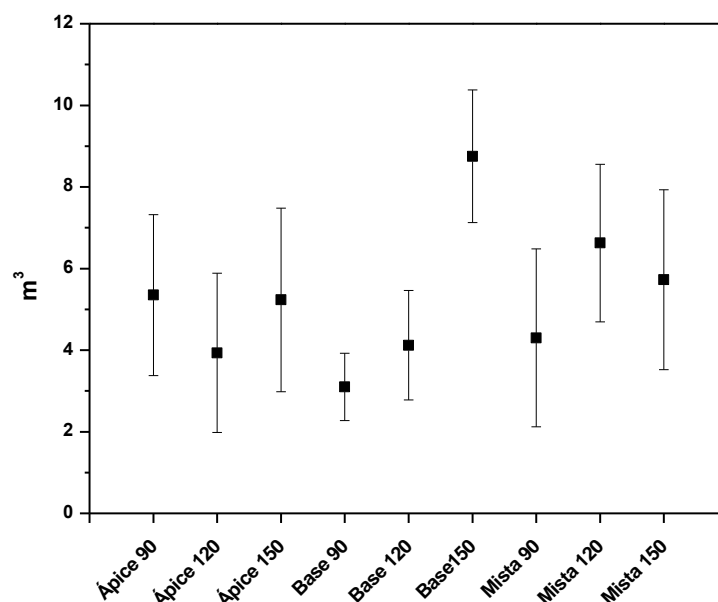
A TABELA 10 apresenta a estatística descritiva para a quantidade de aticho produzido durante o processo de obtenção do carvão vegetal.

TABELA 10 - ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIÁVEL TEMPO DE RESFRIAMENTO.

Variáveis	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Tempo de Resfriamento (dias)	33	2,0	9,9	5,03	2,14

O desejado durante o processo de obtenção de carvão vegetal é que não seja gerado aticho, assim, sob este aspecto quanto menor for o valor de aticho produzido melhor o tratamento. Deste modo, o melhor resultado foi identificado para a base aos 90 dias de secagem (FIGURA 21).

FIGURA 21 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA A QUANTIDADE ATIÇO PRODUZIDO EM CADA TRATAMENTO TESTADO.



Arruda (2005), encontrou em seu estudo com madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, para duas diferentes rotinas de carbonização, valores médios de 10,26 a 4,08 m<sup>3</sup>, resultados que ficaram próximos aos obtidos neste estudo, que variaram de 3,10 a 8,75m<sup>3</sup>.

Segundo Neto (2005), altas taxas de aquecimento podem diminuir a uniformidade da temperatura durante a carbonização e por consequência gerar maior quantidade de aticho.

A geração de aticho está relacionada à condução da carbonização, podendo ser influenciada pelas características da madeira, experiência da pessoa responsável pelo acompanhamento e controle da carbonização.

## 5.4 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

### 5.4.1 Densidade a granel

Na TABELA 11 e 12 está apresentado o teste de médias para a variável densidade a granel, que apresentou diferença significativa para os dois fatores, tempo de secagem ao ar livre e classe de tora.

TABELA 11 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SECAGEM NA DENSIDADE A GRANEL (kg m<sup>3</sup>).

Fatores	Média	
	Tempo de Carbonização	
Tempo de secagem	90 dias	240,83 <sup>AB</sup>
	120 dias	249,32 <sup>A</sup>
	150 dias	231,56 <sup>B</sup>
Coeficiente de Variação (%)		
Tempo de secagem	Ápice	6,27
	Base	6,98
	Mista	5,27

Letras maiúsculas iguais na coluna não representam diferença estatística pelo teste de LSD a  $p \leq 0,05$  de significância.

TABELA 12 - INFLUÊNCIA DA CLASSE DE TORA NA DENSIDADE A GRANEL (kg m<sup>3</sup>).

Fatores	Média	
	Tempo de Carbonização	
Classe de Tora	Ápice	236,94 <sup>A</sup>
	Base	255,22 <sup>B</sup>
	Mista	234,61 <sup>A</sup>
Coeficiente de Variação (%)		
Classe de Tora	Ápice	6,50
	Base	6,38
	Mista	4,73

Letras maiúsculas iguais na coluna não representam diferença estatística pelo teste de LSD a  $p \leq 0,05$  de significância.

Para o fator classe de tora, o único tratamento que apresentou-se estatisticamente diferente foi a classe base.

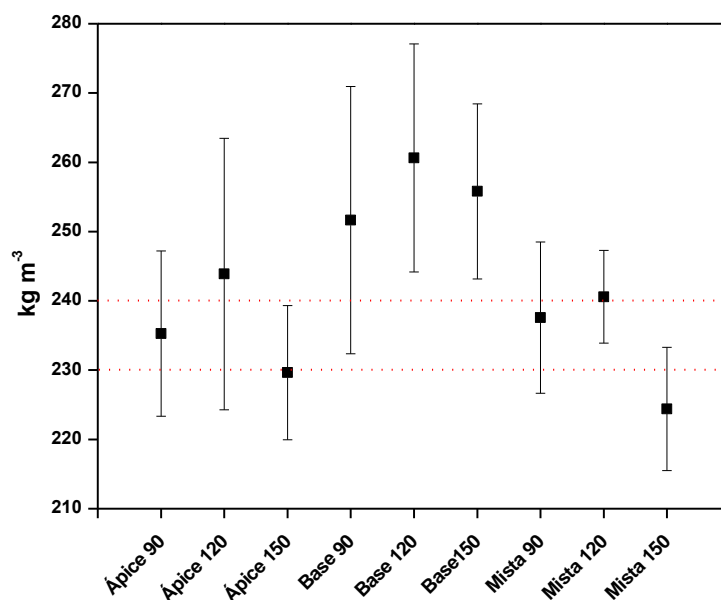
Para o fator tempo de secagem, os tratamentos estatisticamente diferentes foi aos 120 e 150 dias.

Segundo Neto (2005), para madeira de *Eucalyptus sp.* carbonizadas em forno tipo contêiner, a densidade a granel obtida ficou entre 179,00 e 260,64 kg m<sup>-3</sup>.

Conforme Arruda (2005), utilizando madeira do clone A08, híbrido do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, carbonizada em fornos retangulares em duas diferentes rotinas de carbonização, encontrou resultados médio para a densidade a granel de 241 e 232 kg m<sup>-3</sup>.

Os melhores resultados obtidos para a densidade a granel foram para as classes ápice e mista aos 90 dias de secagem (FIGURA 22).

FIGURA 22 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA A DENSIDADE A GRANEL EM CADA TRATAMENTO TESTADO.



#### 5.4.2 Teor de Finos

Na TABELA 13 e 14 está apresentado o teste de médias para a variável teor de finos, que apresentou diferença significativa para os dois fatores, tempo de secagem ao ar livre e classe de tora.

TABELA 13 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SECAGEM NO TEOR DE FINOS (%).

Fatores		Média
		Tempo de Carbonização
Tempo de secagem	90 dias	16,88 <sup>A</sup>
	120 dias	16,79 <sup>AB</sup>
	150 dias	15,15 <sup>B</sup>
		Coefficiente de Variação (%)
Tempo de secagem	Ápice	9,17
	Base	17,70
	Mista	11,53

Letras maiúsculas iguais na coluna não representam diferença estatística pelo teste de LSD a  $p \leq 0,05$  de significância.

TABELA 14 - INFLUÊNCIA DA CLASSIFICAÇÃO DE TORAS NO TEOR DE FINOS (%).

Fatores		Média
		Tempo de Carbonização
Classe de Tora	Ápice	17,23 <sup>A</sup>
	Base	15,22 <sup>B</sup>
	Mista	16,81 <sup>A</sup>
		Coefficiente de Variação (%)
Classe de Tora	Ápice	13,29
	Base	11,08
	Mista	16,62

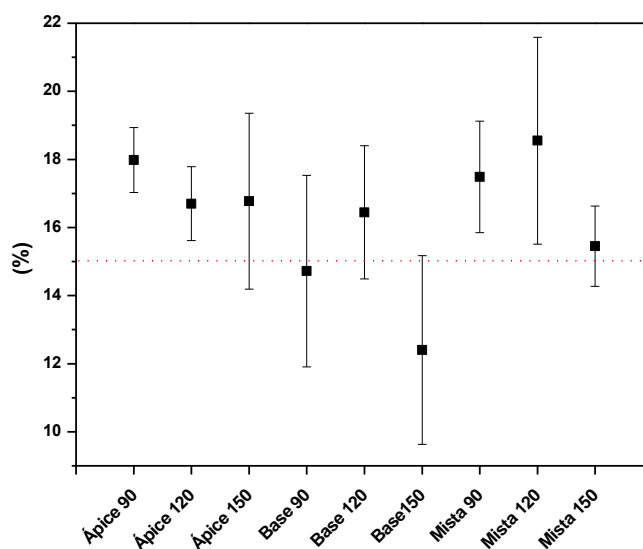
Letras maiúsculas iguais na coluna não representam diferença estatística pelo teste de LSD a  $p \leq 0,05$  de significância.

É possível observar que o fator classe de tora apresentou influência apenas para a base, já o tempo de secagem foi estatisticamente diferente para os 120 e 150 dias de secagem.

Considerando que o desejado é que a quantidade de finos seja a menor possível, os dois melhores resultados também foram identificados para base aos 150 e 90 dias de secagem, sendo que o limite desejado é de até 15% de teor de finos, de acordo com o padrão atualmente aplicado na empresa.

Os menores resultados para o teor de finos foram identificados para a base, este resultado pode estar relacionado ao diâmetro das peças, madeiras com maiores diâmetros, além disso, os processos de movimentação de descarga do forno de carbonização e carregamento dos caminhões podem aumentar a quantidade de finos (FIGURA 23).

FIGURA 23 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA O TEOR DE FINOS EM CADA TRATAMENTO TESTADO.



Segundo Cardoso, Santos e Lemos (2013) o teor de finos demandado para a operação em altos fornos é de  $< 9,52\text{mm}$ , em trabalho realizado com cinco clones de *Eucalyptus*, os resultados para o teor de finos para o ápice ficaram entre 10,86 e 11,98%, para a base entre 10,29 e 12,40% e para a classe mista entre 10,98 e 12,98%, todos abaixo dos encontrados neste trabalho.

### 5.4.3 Teor de Umidade

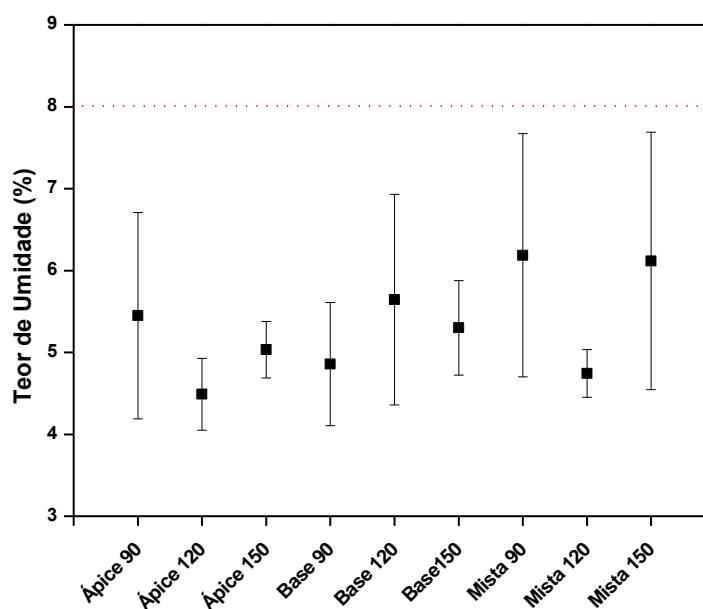
Está apresentada na TABELA 15 a estatística descritiva para a variável teor de umidade, que não apresentou diferença estatística para nenhum dos fatores em nenhum dos tratamentos testados.

TABELA 15 - ANÁLISE DESCRITIVA DA VARIÁVEL TEOR DE UMIDADE.

Variáveis	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Teor de Umidade (%)	59	3,50	8,10	5,33	1,14

O teor de umidade do carvão vegetal apresentou resultados que ficaram entre 3,50 e 8,10%, considerando que o limite máximo aceito e praticado pela usina siderúrgica é de até 8%, os fatores não apresentaram influências sobre esta variável, e os melhores resultados obtidos foram para a classe de toras ápice e mista aos 120 dias de secagem (FIGURA 24).

FIGURA 24 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA O TEOR DE UMIDADE EM CADA TRATAMENTO TESTADO.



## 5.5 RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

Na TABELA 16 está apresentado o teste de médias para a variável rendimento gravimétrico, que apresentou diferença significativa apenas para o fator classe de tora.

TABELA 16 - INFLUÊNCIA DA CLASSE DE TORA NO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO (%).

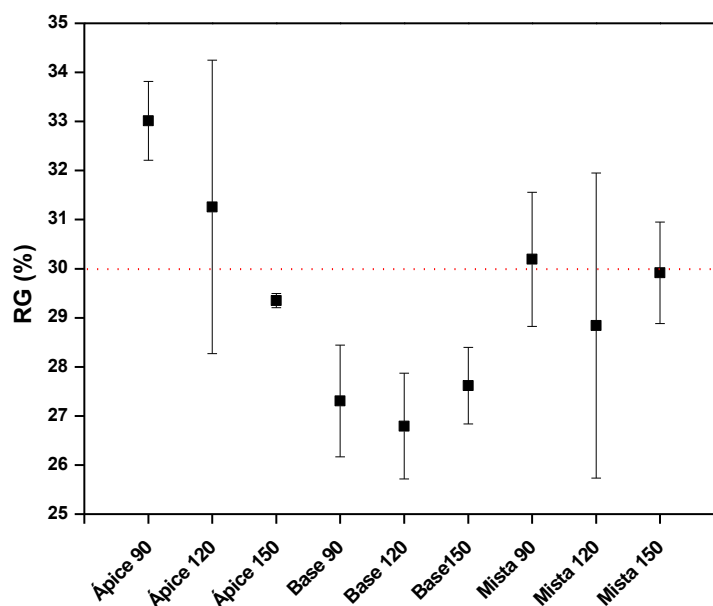
Fatores		Média
		Tempo de Carbonização
Classe de Tora	Ápice	31,39 <sup>A</sup>
	Base	27,11 <sup>B</sup>
	Mista	29,65 <sup>A</sup>
		Coefficiente de Variação (%)
Classe de Tora	Ápice	6,95
	Base	3,68
	Mista	6,58

Letras maiúsculas iguais na coluna não representam diferença estatística pelo teste de LSD a  $p \leq 0,05$  de significância.

O rendimento gravimétrico apresentou-se estatisticamente diferente apenas para a classe base, sendo que a classe de toras classificada como ápice apresentou médias acima da base e mista para o rendimento gravimétrico.

O resultado do ápice apresentou valores acima do praticado atualmente na empresa que é de 30% com 150 dias de secagem e madeira mista (FIGURA 25).

Figura 25 - FIGURA 24 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS PARA O RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CADA TRATAMENTO TESTADO.



Cardoso, Santos e Lemos (2013) em trabalho realizado com cinco clones de *Eucalyptus* identificaram que houve aumento no rendimento gravimétrico para o ápice e base quando em comparação a mista, sendo que os rendimentos gravimétricos variaram de 37,51 a 35,87% para o ápice e de 36,78 a 35,01% para a base, resultados maiores que os obtidos neste estudo.

Arruda (2005), ao testar duas diferentes rotinas de carbonização em fornos retangulares, utilizando madeira do clone A08, híbrido do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* encontrou resultados de 23,8 e 28,4% para o rendimento gravimétrico, ficando próximo do obtido por este estudo.

De acordo com Neto (2005), para madeira de *Eucalyptus* sp. carbonizadas em forno tipo contêiner, a média do rendimento gravimétrico foi de 37%. Lana (2012), avaliando o rendimento gravimétrico para diferentes comprimentos e diâmetros de tora de *Eucalyptus*, não identificou diferença estatística entre os tratamentos, sendo que os resultados variaram de 30,1 a 32,6%.

## 6 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados conclui-se que:

- O rendimento gravimétrico não foi influenciado pelo fator tempo de secagem e o melhor desempenho foi identificado para o ápice.
- O tempo de carbonização também não foi influenciado pelo tempo de secagem das toras e os valores obtidos ficaram dentro do já praticado pela empresa.
- A densidade a granel foi influenciada pelos dois fatores, tempo de secagem e classe de toras, sendo que o tratamento que apresentou melhor desempenho foi aos 150 dias de secagem para a madeira mista, que é o padrão já aplicado pela empresa.
- Para o teor de finos tanto o tempo de secagem quanto a classe de toras influenciaram nos resultados, indicando como melhor tratamento a carbonização da base aos 150 dias de secagem.
- Os tratamentos testados, em sua grande maioria não apresentaram melhora significativa nas variáveis estudadas, em comparação ao padrão de carbonização aplicado na empresa.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para o enriquecimento de novos projetos com objetivos semelhantes sugere-se:

- Determinar o número de repetições para cada tratamento baseado no volume e classificação preliminar da madeira existente no talhão.
- Analisar dos impactos da estratificação da madeira nas atividades de colheita, transporte e condução de segunda rotação (talhadia).
- Analisar os custos de colheita e transporte da madeira.
- Análise das propriedades físicas e químicas da madeira, seguindo as respectivas normas.
- Análise das propriedades físicas e químicas do carvão vegetal produzido, seguindo as respectivas normas.

## **8 ANÁLISE CRÍTICA DO DESENVOLVIMENTO DO TCC**

Juntamente com as demais atividades de formação, o trabalho de conclusão de curso me proporcionou contato com situações ainda não vivenciadas no âmbito acadêmico, onde foi possível aprofundar e praticar habilidades e conhecimentos obtidos durante a graduação bem como adquirir conhecimentos e experiências provenientes do ambiente empresarial.

As atividades desenvolvidas durante a elaboração deste estudo, foram desafiadoras e me proporcionaram aprendizados únicos, com o intuito de proporcionar a preparação necessária para o mercado de trabalho a fim de buscar a inovação dentro da área produtiva de uma empresa.

Além disso, o fato de estar diretamente relacionado à rotina de um profissional, me permitiu desenvolver não só as capacidades técnicas, mas práticas de gestão como liderança, organização, planejamento, trabalho em equipe, entre outros.

## 9 AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR

A aluna JESSICA GALVAN conduziu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) com muito esforço e dedicação especial. Procurou com muita objetividade negociar e obter os dados junta a empresa referente ao tema do TCC. Já que o estágio está sendo tratado com ou tema.

A avaliação é muito positiva no contexto geral do TCC. Recomendo sua defesa e ao mesmo tempo cumprimento a aluna pela dedicação.

Agradeço a empresa Gerdau pela oportunidade que deu para Jessica que é muito importante em sua formação. Vale lembrar que este estágio foi uma conquista de nossa aluna, que atendendo uma divulgação nacional, concorreu a uma vaga e conseguiu de maneira meritória.

Atenciosamente

Professor Doutor Dimas Agostinho da Silva  
Orientador de TCC

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS. **Anuário Estatístico 2012**. Belo Horizonte – MG. 2013.
- ARRUDA, T. P. M. **Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares**. 44 p. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2005.
- ALZATE, S.B.A. Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla*. 133 p. 2004. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP. 2004.
- BARCELLOS, D.C., **Caracterização do carvão vegetal vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 140 p. 2007. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2007.
- BRITO, J. O. **Princípios de Produção e Utilização de Carvão vegetal Vegetal de Madeira**. 14 p. Apostila. Universidade de São Paulo/Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba – SP. 1990.
- BRITO, J.O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal vegetal para uso siderúrgico. 6p. IPEF (Circular Técnica, 181). Piracicaba – SP. 1993.
- CARNEIRO, A.C.O. **Energia da Madeira**. 90 p. Apostila. Universidade Federal de Viçosa/ Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, Viçosa – MG. 2008.
- CARDOSO, E. M.; SANTOS, E. V.; LEMOS, R. **Produção de carvão através do uso de madeira estratificada por diâmetro**. p.185-189. Campinas – SP. 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. 291 p. Brasília - DF. 2015.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Ibá 2015**. Brasília – DF. 2015.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. 2015. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br>>. Acesso em: 04/10/2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 18/10/2015.
- JUNIOR, M.S.; LAZARETTI, D.S.; VIEIRA, A.S. **Eficiência logística na cadeia do gusa a carvão vegetal**. p.113-132. Campinas – SP. 2014.
- LANA, A.Q. Desenvolvimento e Avaliação de uma Fornalha Metálica para Combustão dos Gases da Carbonização da Madeira. 69p. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2014.

LANA, G.C. Efeito da dimensão de toras no processo de colheita florestal e seus impactos no custo e na qualidade do carvão vegetal. 83 p. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. 2012.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Mecânicas da Madeira**. 208 p. Apostila. Universidade Federal do Paraná/Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba – PR. 2014.

NETO, R. M. G. Avaliação Técnica e Econômica de um Forno Container em Escala Industrial. 64p. 2005. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2005.

NEVES, T.A. Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de Clones de *Eucalyptus* Cultivados no Sul de Minas Gerais. 97p. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG. 2012.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A.C.O.; BARCELLOS, D.C.; RODRIGUEZ, A. V.; AMARAL, B. M. N.; PEREIRA, B. L. C. **Resfriamento Artificial em Fornos Retangulares para a Produção de Carvão Vegetal**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.39, n.4, p.769-778, 2015.

OLIVEIRA, M.R. Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da Represa da Cemig no município de Três Marias, Minas Gerais. 149 p. 2007. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - Minas Gerais. 2007.

PIMENTA, A.S.; BARCELLOS, D.C.; OLIVEIRA E. **Carbonização**. 92 p. Apostila. Universidade Federal de Viçosa/Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, Viçosa – MG. 2003.

SALIERNO, G. F. Sistema de Monitoramento do Desempenho dos Altos-Fornos a Carvão Vegetal. 55p. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2007.

SANTOS R. C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, A.F.M.; BIACHE, J.J.; SOUZA, M.M.; CARDOSO, M. T. **Correlações entre os Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de Clones de Eucalipto**. Scientia Forestalis. Piracicaba – SP. v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R.R.; SANTINI, E.J.; CORDEIRO, S. A. **Comparação econômica entre os métodos de secagem de madeira ao ar livre e em estufa solar**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife-PE, v.7, p.850-856, 2012.