

RICARDO JORGE KLITZKE

**AVALIAÇÃO DO CARVÃO DA BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Bentham) EM FUNÇÃO DA IDADE, DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA E DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graciela Ines Bolzon de Muñiz

CURITIBA/PR

1998



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL


P A R E C E R

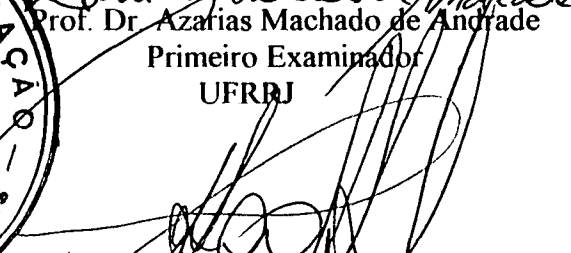
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **RICARDO JORGE KLITZKE**, sob o título “**AVALIAÇÃO DO CARVÃO DA BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Bentham) EM FUNÇÃO DA IDADE, DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA E DA TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO**”, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

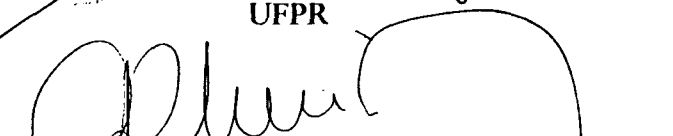
Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Dissertação, com média final:( 9,4 ), correspondente ao conceito:(A).

Curitiba, 16 DE FEVEREIRO DE 1998



  
Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade  
Primeiro Examinador  
UFRBJ

  
Prof. M. Sp. Márcio Pefeira da Rocha  
Segundo Examinador  
UFPR

  
Profa. Dra. Graciela Inez Bolzon de Muniz  
Orientadora e Presidente da Banca  
UFPR

Aos meus pais,

Oswaldo Klitzke e Wally Maria Ristau klitzke

*Por todo apoio e estímulo que me foram dados.*

*O MEU RECONHECIMENTO,*

Aos meus irmãos,

Leonor (*in memorian*),

Luis Carlos (*in memorian*),

Reinaldo Sérgio;

Walfred;

Walderson.

*PELO COMPANHERISMO,*

À minha esposa,

Marisa Terezinha Klitzke

*PELO SEU AMOR, SUA COMPREENSÃO, PACIÊNCIA ETC...,*

Às minhas filhas,

Erika, Wally e Gabriela

*MEUS TESOUROS,*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Graciela Ines Bolzon de Muñiz, pela amizade, orientação e incentivo durante todo este trabalho.

Aos co-orientadores Prof. M.Sc. Márcio Pereira da Rocha e Prof. M.Sc. Umberto Klock, pela amizade e pelos valiosos conhecimentos que me transmitiram.

Ao senhor Manoel Scremim, pela grandiosa colaboração em fornecer o material para esta pesquisa, sem o qual este trabalho não seria realizado.

À Universidade Federal do Paraná, que possibilitou através do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, meu treinamento e desenvolvimento deste trabalho.

À coordenação do curso do Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, através de seu coordenador professor Eli Nunes Marques e de seus funcionários Reinaldo Mendes de Souza e Eleane Rosendo os quais deram a oportunidade, subsídios e incentivo para a conclusão do curso de mestrado.

Ao atual chefe do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Prof. PhD. Sidon Keinert Junior, bem como anterior prof. Dr. Setsuo Iwakiri pelo incentivo, apoio e amizade.

Aos demais professores do departamento; Ghislaine M. Bonduelle, Jorge Luis Monteiro de Matos, Ivan Tomaselli, João C. Moreschi, Lincoln L. Teixeira, Eliseu Lacerda, Martin Roeder que sempre me ajudaram e incentivaram no meu dia a dia sendo fundamental para o meu crescimento profissional e intelectual.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, em especial ao Vitor Daniel Herrera, Ademir José Cavalli, Antônio Perin, Gilnei M. Rosa, Dionéia

Calixto de Souza, Soli D'al Comuni, por me acompanharem no meu dia a dia, sempre colaborando e incentivando.

Um especial obrigado ao amigo. Roberto Rochadelli pela valiosa colaboração, desde a coleta do material até a concretização deste estudo.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, Fernando Fabrowiski, Alexandre Florian da Costa, Dimas Agostinho da Silva, Newton José Sousa, Geraldo Bortoleto, Márcio Torreão Interaminense, João Vicente, Ingrid R. Nielsen, Reinaldo A. R. Alberti, Amandio Fofano, João Luis Gabardo, Martha A. Brand, Silvana Nisgoski pela força nos vários momentos

Aos demais colegas que por ventura não estão aqui citados, pelo incentivo e amizade.

E finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

*Agradeço a Deus, por iluminar e guiar o meu caminho.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
3.1 GENERALIDADES .....	4
3.2 ESPÉCIE ESTUDADA .....	7
3.3 CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA .....	8
3.3.1 Fases do Processo da Carbonização .....	9
3.4 PRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO .....	11
3.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DOS PRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO .....	12
3.5.1 Propriedades Físicas e Químicas da Madeira .....	12
3.5.2 Temperatura Final de Carbonização .....	15
3.5.3 Taxa de Aquecimento e Tempo de Permanência na Temperatura Final de Carbonização .....	19
3.5.4 Teor de Umidade da Madeira .....	20
3.6 PROPRIEDADES DOS PRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO .....	23
3.6.1 Carvão Vegetal .....	23
3.6.2 Propriedades Químicas do Carvão .....	23
3.6.3 Poder Calorífico .....	26
3.6.4 Propriedades Físicas do Carvão .....	28
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	31

4.1 MATERIAL.....	31
4.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	32
4.3 PREPARAÇÃO DO MATERIAL PARA CARBONIZAÇÃO.....	32
4.3.1 Plano Experimental.....	34
4.4 CARBONIZAÇÃO.....	34
4.5 RENDIMENTOS DA CARBONIZAÇÃO.....	38
4.5.1 Rendimento do Carvão.....	38
4.5.2 Rendimento do Licor Pirolenhoso.....	38
4.5.3 Rendimento dos Gases Não Condensáveis.....	39
4.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO VEGETAL.....	39
4.6.1 Densidade Básica Aparente do Carvão.....	39
4.6.2 Densidade Verdadeira do Carvão.....	40
4.6.3 Determinação da Porosidade do Carvão.....	41
4.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO CARVÃO VEGETAL.....	41
4.7.1 Teor de Umidade.....	41
4.7.2 Materiais Voláteis.....	42
4.7.3 Teor de Cinza.....	43
4.7.4 Teor de Carbono Fixo.....	43
4.8 PODER CALORÍFICO DO CARVÃO VEGETAL.....	44
4.8.1 Poder Calorífico Superior.....	44
4.8.2 Poder Calorífico Inferior.....	45
4.9 RENDIMENTO EM MASSA DO TEOR DE CARBONO FIXO.....	45
4.10 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	46
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
5.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA BRACATINGA.....	47
5.2 RENDIMENTOS DA CARBONIZAÇÃO.....	48

5.2.1 Rendimento do Carvão.....	49
5.2.2 Rendimento do Licor Pirolenhoso .....	53
5.2.3 Rendimento dos Gases Não Condensáveis.....	57
<b>5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO VEGETAL .....</b>	<b>60</b>
5.3.1 Densidade Aparente do Carvão.....	60
5.3.2 Densidade Verdadeira do Carvão.....	62
5.3.3 Porosidade do carvão.....	63
<b>5.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO CARVÃO .....</b>	<b>64</b>
5.4.1 Teor de Voláteis no Carvão .....	64
5.4.2 Teor de Cinza no Carvão .....	66
5.4.3 Teor de Carbono Fixo do Carvão.....	67
<b>5.5 RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>5.6 PODER CALORÍFICO DO CARVÃO DA BRACATINGA.....</b>	<b>71</b>
5.6.1 Poder Calorífico Superior do Carvão .....	71
5.6.2 Poder Calorífico Inferior do Carvão.....	73
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- MAIORES CONSUMIDORES DE LENHA E CARVÃO NO MUNDO (1991).....	5
TABELA 2 - CONSUMO DO CARVÃO VEGETAL NOS DIVERSOS SETORES INDUSTRIAIS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS (10 <sup>6</sup> MDC (m <sup>3</sup> DE CARVÃO)). .....	6
TABELA 3 - PRODUTOS DA PIRÓLISE, OBTIDOS ATRAVÉS DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA A 500°C.....	11
TABELA 4 - PRODUTOS DA PIRÓLISE, OBTIDOS ATRAVÉS DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA DE CONÍFERA.....	12
TABELA 5 - MASSA ESPECÍFICA MADEIRA E DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL.....	13
TABELA 6 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO NO RENDIMENTO DOS PRODUTOS E NA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DE <i>E. grandis</i> , COM 5,5 ANOS (BASE PESO SECO) ....	16
TABELA 7 - INFLUÊNCIA DA TAXA DE AQUECIMENTO E TEMPO DE PERMANÊNCIA NA CARBONIZAÇÃO.....	19
TABELA 8 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DO CARVÃO VEGETAL COM O AUMENTO DA TEMPERATURA.....	24
TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE ALGAROBBA ( <i>Prosopis juliflora</i> DC.).....	25
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	26
TABELA 11 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO.....	29
TABELA 12 - PLANO EXPERIMENTAL - BRACATINGA ( <i>Mimosa scabrella</i> Bentham) .....	34
TABELA 13 - FATORES E NÍVEIS ADOTADOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS .....	46
TABELA 14 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (MEB) DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES 3,5 E 7 ANOS. ....	47
TABELA 15 - RENDIMENTOS MÉDIOS DO CARVÃO VEGETAL, DAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5 E 7 ANOS, COM 0, 15 E 30% DE UMIDADE, EM DUAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO. ....	48
TABELA 16 - RENDIMENTO MÉDIO DO LICOR PIROLENHOSO DAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS, COM 0, 15 E 30% DE UMIDADE, EM DUAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO. ....	53

TABELA 17 - RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO EM RELAÇÃO À UMIDADE. ....	55
TABELA 18 - RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO DE MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADE DE 3,5 E 7 ANOS. ....	55
TABELA 19 - RENDIMENTO MÉDIO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS, OBTIDOS NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS COM 0, 15 E 30% DE UMIDADE, EM DUAS TEMPERATURAS FINAIS DE CARBONIZAÇÃO. ....	57
TABELA 20 - RENDIMENTO DO GÁS NÃO CONDENSÁVEL NAS TEMPERATURAS FINAIS DE CARBONIZAÇÃO. ....	58
TABELA 21 - RENDIMENTO DO GÁS NÃO CONDENSÁVEL EM RELAÇÃO À IDADE E A UMIDADE DE CARBONIZAÇÃO. ....	59
TABELA 22 - DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	60
TABELA 23 - DENSIDADE VERDADEIRA DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	62
TABELA 24 - POROSIDADE DO CARVÃO, DAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	63
TABELA 25 - TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADE DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	64
TABELA 26 - CINZA DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	66
TABELA 27 - CARBONO FIXO DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	67
TABELA 28 - VALORES MÉDIOS DO RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	70
TABELA 29 - VALORES MÉDIOS DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES 3, 5, E 7 ANOS. ....	71
TABELA 30 - VALORES MÉDIOS DO PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS. ....	74

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ORIGEM DA MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NOS ÚLTIMOS 8 ANOS.....	6
FIGURA 2 - MODELO DE CARBONIZAÇÃO DE KANURY & BLACKSHEAR.....	9
FIGURA 3 - CORRELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE DA MADEIRA E A DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL.....	13
FIGURA 4 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NOS PRODUTOS DA PIRÓLISE DA MADEIRA.....	15
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DO RENDIMENTO E DA PORCENTAGEM DE CARBONO FIXO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.....	17
FIGURA 6 - EVOLUÇÃO DA PERDA DE MASSA DURANTE CARBONIZAÇÃO.....	17
FIGURA 7 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PIRÓLISE SOBRE A PERDA DE MASSA.....	20
FIGURA 8 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO RENDIMENTO EM CARVÃO (BASE SECA E ÚMIDA).....	21
FIGURA 9 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO RENDIMENTO EM CARVÃO.....	22
FIGURA 10 - INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO FIXO NO PODER CALORÍFICO DO CARVÃO VEGETAL.....	26
FIGURA 11 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO VEGETAL.....	27
FIGURA 12 - ESQUEMA DE RETIRADA DOS PRANCHÕES DOS TORETES.....	33
FIGURA 13 - TUBOS DE VIDRO EM BORO/SILICATO UTILIZADO PARA AS CARBONIZAÇÕES DE CORPOS DE PROVA DE BRACATINGA.....	35
FIGURA 14 - PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO EM FORNO MUFLA PROGRAMÁVEL COM SISTEMA DE CONDENSAÇÃO ACOPLADO AOS TUBOS DE DESTILAÇÃO... 36	36
FIGURA 15 - FINAL DA CARBONIZAÇÃO COM RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA CARBONIZADOS PARA RESFRIAMENTO EM DESSECADOR.....	37
FIGURA 16 - RENDIMENTO MÉDIO DO CARVÃO EM RELAÇÃO ÀS IDADES DE 3, 5 E 7 ANOS.....	50
FIGURA 17 - RENDIMENTO DO CARVÃO DE BRACATINGA EM RELAÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE 0, 15 E 30%.....	51
FIGURA 18 - RENDIMENTO DO CARVÃO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	52

FIGURA 19 - VALORES MÉDIOS DA INTERAÇÃO ENTRE A UMIDADE E A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO SOBRE O RENDIMENTO DO CARVÃO. ....	53
FIGURA 20 - RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO DA BRACATINGA EM RELAÇÃO AS IDADES DE 3,5,E 7 ANOS.....	54
FIGURA 21 - RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO DO CARVÃO DE BRACATINGA EM RELAÇÃO ÀS IDADES E A UMIDADE DA MADEIRA.....	56
FIGURA 22 - RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO EM RELAÇÃO À UMIDADE DA MADEIRA COM A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	56
FIGURA 23 - RENDIMENTO DO GÁS NÃO CONDENSÁVEL EM RELAÇÃO À UMIDADE. ....	58
FIGURA 24 - RENDIMENTO DO GÁS NÃO CONDENSÁVEL EM RELAÇÃO À UMIDADE E À TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO.....	59
FIGURA 25 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE E DA IDADE NA DENSIDADE APARENTE.....	61
FIGURA 26 - TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	65
FIGURA 27 - INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA NO TEOR DE CINZA DO CARVÃO.....	67
FIGURA 28 - TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO EM RELAÇÃO A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	68
FIGURA 29 - TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO EM RELAÇÃO A UMIDADE E À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	69
FIGURA 30 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO DA BRACATINGA EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	72
FIGURA 31 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO EM RELAÇÃO À UMIDADE E À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	73
FIGURA 32 - PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO DE BRACATINGA EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.....	75
FIGURA 33 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE DA MADEIRA NO PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO.....	75

## RESUMO

Para este estudo foi utilizado a bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), espécie de ocorrência natural e que apresenta grande potencial para fins energéticos, principalmente na produção de carvão vegetal. Foram coletadas ao todo 15 árvores dominantes, coletadas aleatoriamente nas idades de 3, 5 e 7 anos, sendo 5 árvores para cada idade. A seguir as árvores foram transformadas em torestes e posteriormente em corpos de prova. A partir dos corpos de prova, foi produzido carvão vegetal em escala de laboratório nas três idades, em três diferentes faixas de umidade: 0; 15; 30%, utilizando duas temperaturas finais de carbonização (450 e 550<sup>0</sup>C). Foram determinados os rendimentos dos produtos da carbonização: carvão vegetal, licor pirolenhoso e gases não condensáveis e avaliado a influência das diferentes idades; umidade da madeira e da temperatura final de carbonização nas propriedades físicas e químicas do carvão vegetal produzido e sobre o rendimento em carbono fixo do mesmo. Os resultados foram analisados estatisticamente através de análise de variância em fatorial. A interação entre os fatores gerou 18 tratamentos, sendo realizadas 10 carbonizações para cada tratamento, totalizando 180 carbonizações. A massa específica básica média encontrada foi de 0,50 g/cm<sup>3</sup>, considerada alta, podendo ser recomendada para produção de carvão vegetal. O rendimento em carvão vegetal aumentou em função idade e diminuiu com o aumento da temperatura final de carbonização e da umidade da madeira. O rendimento de licor pirolenhoso aumentou com a temperatura final de carbonização e com umidade da madeira e diminuiu com o aumento da idade. O rendimento dos gases não condensáveis aumentou com o aumento da temperatura final de carbonização. Os fatores idade, umidade e temperatura final de carbonização não influíram nas densidades aparente e verdadeira do carvão e nem na porosidade do mesmo. O teor de voláteis diminuiu com a elevação da temperatura de carbonização. O teor de cinzas não foi afetado pelos fatores idade, umidade e temperatura de carbonização. O teor de carbono fixo aumentou com a temperatura final de carbonização. O rendimento de carbono fixo não sofreu influência dos fatores idade, umidade e temperatura de carbonização. O poder calorífico aumentou com o aumento da temperatura final de carbonização. O poder calorífico diminuiu com o aumento da umidade da madeira. O principal fator que afetou de maneira marcante as propriedades do carvão de bracatinga foi a temperatura final de carbonização. O carvão de bracatinga apresentou boas características físico-químicas, sendo portanto uma espécie altamente indicada para produção de carvão vegetal.

## ABSTRACT

For this study the bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) was used, specie of native occurrence that shows great potential for energy, as firewood and mainly as charcoal. A total of fifteen dominant trees were collected, random sampled in ages of 3, 5 and 7 years, being five trees for each age. The stems were cut and samples were prepared. Charcoal was produced in laboratory from the samples, in three wood moisture content of 0%, 15% and 30%, two final carbonization temperatures were used: 450 °C and 550 °C. The yield of carbonization products was determined: charcoal, condensable matter and non condensable gases. The influence of tree age, wood moisture content and final carbonization temperature in the charcoal physical and chemical properties and in the yield of fixed carbon was evaluated. The results were statistically analyzed through factorial variance analysis. Factors interactions generated 18 treatments, 10 carbonizations were done for each treatment resulting in 180 carbonizations in total. Wood average Specific Gravity was of 0.50 g/cm<sup>3</sup>, considered high, meaning that the specie can be indicated for charcoal production. Charcoal yield increased with increasing tree age and decreased with higher carbonization final temperature and wood moisture content. The condensable matter yield increased with higher carbonization final temperature and higher wood moisture content, decreased with higher tree age. Non condensable gases yield increased with higher carbonization final temperature. Tree age, wood moisture content and carbonization final temperature did not affect the charcoal apparent specific gravity, neither the true specific gravity and the porosity. Volatile matter decreased with higher carbonization final temperature. Tree age, wood moisture content and carbonization temperature did not affect the ash content. The fixed carbon content increased with higher final carbonization temperature. Tree age, wood moisture content and carbonization temperature did not influence fixed carbon yield. The calorific value increased with higher final carbonization temperature and decreased with higher wood moisture content. The main factor that affected the bracatinga wood charcoal properties was the final carbonization temperature. Bracatinga wood charcoal showed good physical-chemical characteristics being a highly indicated specie for charcoal production.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores que acompanham o desenvolvimento da humanidade é o consumo de energia, ou seja, quanto mais desenvolvido é um país ou uma região, maior será o seu gasto energético. Com base na afirmação “energia é uma questão de sobrevivência”, a busca por alternativas energéticas tem sido uma constante nas mais diversas áreas de pesquisa.

No final do século XIX e início do século XX, com o obsoletismo das máquinas a vapor, a lenha e o carvão, as principais fontes energéticas, foram substituídas pelos combustíveis fósseis, principalmente os derivados de petróleo.

Atualmente o consumo de energia no mundo está fundamentado em aproximadamente 78% de combustíveis fósseis, sendo que somente 17% da energia consumida, é proveniente de recursos renováveis (MINFRA - Ministério da Infra-Estrutura, 1991).

No período de 1970 até 1996, a economia brasileira cresceu a uma taxa média anual de 4,5%, sendo 8,6% nos anos 70, 1,6% nos anos 80 e 2,9% nos anos 90, e a Oferta de Energia Interna (OEI) cresceu 4,4% ao ano. A representação do consumo de energia provenientes de fontes renováveis em 1996 foi de 60,1%, sendo destes 37,1% para a energia elétrica, 10,6% para lenha e carvão e 11,1% para os produtos da cana-de-açúcar (BEN - Balanço Energético Nacional, 1997).

A busca de fontes alternativas de energia que possam substituir os combustíveis fósseis tornou-se uma necessidade, devido à demanda de energia estar crescendo de forma exponencial. A adequação do uso da madeira, sob o ponto de vista do seu uso final, tem dinamizado e causado relativo avanço no setor da pesquisa. Dentre os produtos derivados da madeira, o carvão tem uma posição de destaque na geração de energia, principalmente devido ao caráter renovável da matéria-prima.

O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo. Em 1995 foram produzidos 31.084.000 mdc (m<sup>3</sup> de carvão), mantendo-se praticamente constante esta produção desde 1991. Neste período, cerca de 52% da matéria-prima foi advinda de reflorestamento. Este insumo foi, em sua maioria, consumido pelo setor industrial, principalmente pelo segmento siderúrgico (83% do consumo nacional). O processo de

globalização da economia mundial, tem causado uma queda no consumo de carvão (Associação Brasileira de Florestas Renováveis - ABRACAVE, 1996).

O Brasil destaca-se por possuir fontes energéticas renováveis (madeira) em praticamente todas as regiões do país. Na Região Sul, onde se encontram os maiores consumidores de energia, tais como os pólos industriais, faz-se necessário a utilização de energia alternativa.

Espécies exóticas oriundas de reflorestamentos, de rápido crescimento e bem adaptadas, são as mais indicadas para serem utilizadas, por reduzirem as pressões às florestas naturais remanescentes.

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) espécie de ocorrência natural, apresenta grande potencial na utilização para fins energéticos, principalmente na produção de carvão vegetal. Suas principais características são: espécie pioneira, apresenta-se em plantios homogêneos, sendo de rápido crescimento e de rotação curta e com propriedades físicas e químicas apropriadas para fins energéticos.



## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivos:

- Produzir carvão vegetal em escala de laboratório a partir de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), nas idades de 3, 5 e 7 anos, em três diferentes faixas de umidade (0; 15 e 30%), utilizando duas temperaturas finais de carbonização (450 e 550<sup>0</sup>C);
- Determinar os rendimentos dos produtos da carbonização: carvão vegetal, licor pirolenhoso e gases não condensáveis;
- Avaliar a influência da idade; umidade da madeira e da temperatura final de carbonização nas propriedades físicas e químicas do carvão vegetal produzido;
- Avaliar a influência dos fatores idade, umidade e temperatura final de carbonização sobre o rendimento em carbono fixo do carvão de bracatinga;
- Estimar o poder calorífico inferior do carvão, através do poder calorífico superior determinado em laboratório.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 GENERALIDADES

A humanidade vem a algumas décadas exaurindo seus recursos naturais renováveis e principalmente os “não renováveis” (minerais, combustíveis fósseis, etc.), em detrimento do desenvolvimento tecnológico, objetivando o seu bem estar. Hoje, em função desse desenvolvimento a todo preço, exige-se a otimização do uso dos recursos, principalmente os renováveis, procurando-se alternativas para solucionar o problema da escassez da oferta de energia em função do crescente aumento no consumo. A otimização do uso dos recursos energéticos disponíveis é imprescindível, bem como o desenvolvimento de formas não convencionais de energia.

Segundo GLESINGER (1968), a madeira como matéria-prima possui três qualidades inigualáveis: é universal, abundante e inesgotável, uma vez que a floresta pode ser transformada em área cultivada e ser manejada racionalmente.

Dentre os produtos obtidos da madeira, de interesse econômico, temos: celulose e papel, madeira serrada, chapas de compensado, chapas de aglomerado e de fibras, dormentes, postes, móveis, peças estruturais, etc. Em todas essas indústrias existem exigências quanto à qualidade da matéria-prima utilizada, quer sendo oriundas de reflorestamento (nativa ou exótica) ou de floresta natural. Além destes produtos anteriormente citados, temos o carvão, proveniente da destilação seca da madeira. Considera-se o mais antigo dos produtos a partir da árvore e o que tem menor exigência quanto a qualidade e homogeneidade no seu produto o “carvão” (SANTANA, 1971).

O Brasil pela sua vasta extensão territorial, clima e vocação florestal, precisa se conscientizar de que sua maior riqueza foi, é e sempre será a floresta, sendo no seu aproveitamento que encontra-se a melhor e mais viável opção energética. Entretanto pouco se tem feito para se conseguir um método racional no aproveitamento desta energia.

Ao contrário das florestas, as outras fontes de energia disponíveis em nosso planeta são mal distribuídas. A mesma observação é também correta para o consumo de energia: metade da população mundial, que engloba os países em desenvolvimento, consomem somente 16% do total da energia utilizada (OVEREND e SILVERSIDES, 1980). Observa-

se que é nessa metade do mundo, ou seja nos países em desenvolvimento, onde a energia de biomassa tem maior participação: 33% do total consumido.

Através dos dados apresentados pela FAO (1993), demonstrados na Tabela 1, pode-se observar que a energia advinda da biomassa em países em desenvolvimento tem grande participação na base energética destes países. Para efeito de comparação foi incluído no quadro o Estados Unidos da América, como representante dos países desenvolvidos.

TABELA 1 - MAIORES CONSUMIDORES DE LENHA E CARVÃO NO MUNDO (1991).

Países	Lenha (1000m <sup>3</sup> )	Carvão (1000MT)	(%) do Total da Energia
Brasil	190.143,00	6.040,00	35
Sudão	21.279,00	2.463,00	82
Índia	255.279,00	2.003,00	26
Nigéria	103.191,00	1.547,00	66
Zâmbia	12.952,00	1.112,00	69
Tailândia	35.065,00	626,00	27
Estados Unidos	85.900,00	500,00	1

Fonte: Forestry Statistics FAO – 1993.

O Brasil é o maior produtor e o maior consumidor de carvão vegetal no mundo, possuindo grande experiência na produção do mesmo, principalmente utilizando tecnologia de segunda geração (fornos de alvenaria). O carvão vegetal produzido é consumido principalmente na indústria siderúrgica para produção de aço (FONTES *et al.*, 1989).

A importância do carvão como termo-redutor concretizou-se com a instalação, na década de 20, da Companhia Siderúrgica Mineira, atual Belgo-Mineira, e da Aços Especiais Itabira e Acesita, no ano de 1944, BORGES (1978).

Atualmente o Setor Siderúrgico representa o maior consumidor de carvão vegetal. No ano de 1995, aproximadamente 86% do carvão produzido foi consumido por este setor, mantendo-se praticamente constante nos últimos 5 anos, sendo apresentado na Tabela 2.

Os dados coletados no BEN (1997), mostram que as fontes que mais participaram do consumo energético do país em 1996, foram: eletricidade (38,6%); derivados de petróleo (4,5%); lenha (7,2%); carvão mineral (6,2%); coque de carvão mineral (3,2%); carvão vegetal (2,1%) e outras fontes com (8,2%).

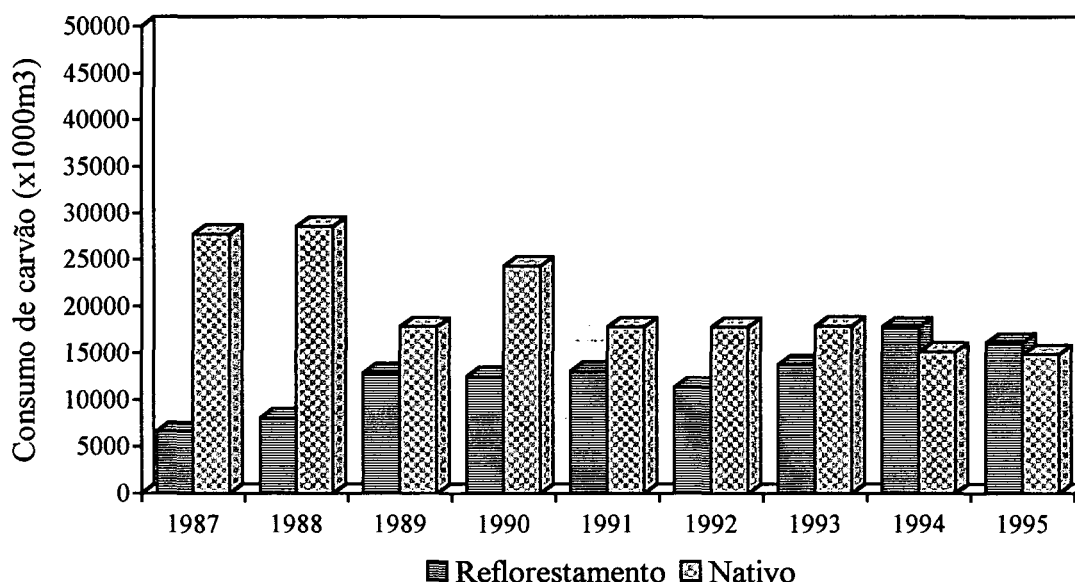
TABELA 2 - CONSUMO DO CARVÃO VEGETAL NOS DIVERSOS SETORES INDUSTRIAIS NOS ÚLTIMOS 5 ANOS (10<sup>6</sup> MDC (m<sup>3</sup> DE CARVÃO)).

SETOR INDUSTRIAL	1991	1992	1993	1994	1995
Produtores industriais de ferro-gusa	14,9	14,0	15,3	17,3	15,1
Usinas integradas a aço	7,8	6,7	8,0	7,9	7,6
Ferro-ligas	3,0	2,9	3,1	2,7	2,9
Cimento	1,5	1,3	1,5	1,9	1,7
Metais primários	1,3	1,2	0,7	0,5	0,6
outros	2,4	3,0	3,1	2,7	2,9
<b>Total</b>	<b>30,9</b>	<b>2,91</b>	<b>31,7</b>	<b>33,0</b>	<b>31,0</b>

Fonte: - ABRACAVE (Associação Brasileira de Florestas Renováveis, 1996).

Na Figura 1, observa-se que até 1993 utilizava-se maior quantidade de lenha oriunda de matas nativas para produção de carvão vegetal, mas que a partir de 1994, esta situação mudou, onde 52% da matéria-prima advém de reflorestamentos, tendência esta, que se repetiu em 1995, apesar de uma redução da produção de carvão vegetal no país (ABRACAVE, 1996).

FIGURA 1 – ORIGEM DA MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NOS ÚLTIMOS 9 ANOS.



Fonte - ABRACAVE – (Associação Brasileira de florestas renováveis), 1996.

### 3.2 ESPÉCIE ESTUDADA

Segundo REITZ, KLEIN & REIS (1978) a bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) pertencente à família Mimosaceae, é árvore de rápido crescimento, com incremento médio anual de 26 m<sup>3</sup>/há ano (LISBÃO JUNIOR, 1991), podendo atingir 20 metros de altura, apresentando tronco alto e esbelto ou curto e ramificado, com diâmetro a altura do peito (DAP) podendo chegar até 40 ou 50cm. Os agricultores nos municípios próximos a Curitiba apontam três variedades de bracatinga, a saber: branca, vermelha e argentina.

A espécie encontra-se distribuída entre as Latitudes de 23°50'S até 29°40'S e Longitudes de 48°50'W até 53°50'W, compreendendo Paraná, Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul e a pequena porção ao sul do Estado de São Paulo, com variações de altitude entre 500 e 1500m e predominância, segundo Köppen, do tipo climático Cfb (ROTTA & OLIVEIRA, 1981). No Paraná acompanha de forma mais restrita a distribuição das florestas de *Araucaria angustifolia*.

Segundo EMBRAPA (1988), o mais importante uso atual da madeira é para energia, como lenha e secundariamente, como carvão. Fornece também escoras para a construção civil e peças finas para estaleiros de olericultura. Quando serrada tem sido usada principalmente na construção civil (vigas, ripas e telhado) ou em móveis, inclusive de exportação, após tratamento adequado de secagem e usinagem. É também utilizada na fabricação de aglomerados e compensados de uso geral. As lâminas não apresentam uma coloração muito atraente com cerne e alburno poucos distintos.

Esta espécie pode ser classificada como pesada (Massa específica aparente a 12% Umidade – 0,774 g/cm<sup>3</sup>), de resistência mecânica média, sendo difícil de cortar mas fácil de apalinar ou lixar, obtendo-se uma superfície relativamente lisa. Apresenta problemas principalmente na sua secagem, necessitando de programas bastante suaves devido sua alta propensão ao colapso (PARANÁ, 1979).

A bracatinga é cultivada na Região Metropolitana de Curitiba, compondo um sistema agroflorestal tradicional para produção de lenha, que ocupa hoje uma área aproximada de 60 mil hectares (CARPANEZZI, 1994). Segundo estudos realizados por ROCHADELLI (1997) a bracatinga atinge de acordo com os critérios de renda bruta a idade ideal de corte aos 5 anos, sendo antecipada em dois anos em relação aos métodos convencionais, o que é bastante significativo no que diz respeito à antecipação da renda gerada ao produtor e de aproveitamento dos seus recursos utilizados.

### 3.3 CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA

O processo de carbonização, pirólise ou destilação seca da madeira é definido segundo alguns autores da seguinte maneira:

Se a decomposição térmica (pirólise) é realizada na ausência de oxigênio ou ar, e com calor sendo fornecido por uma fonte externa, tem-se a destilação seca ou carbonização, causando alterações físico-químicas irreversíveis que reduzem a madeira em carvão (VALENTE.& LELLES (1979). A carbonização é um processo de transformação da madeira via térmica, obtendo-se como resultado um combustível sólido secundário, o “carvão” (KING, 1980).

Segundo REZENDE (1983), a madeira quando submetida a aquecimento em ausência de ar, gera grande quantidade de voláteis e gases não condensáveis, permanecendo um resíduo sólido de cor negra, conhecido com o carvão vegetal, recebe os nomes de decomposição térmica, pirólise, destilação seca ou carbonização. Como o processo é físico-químico, as alterações físicas mais comuns são mudança de cor, redução de volume, aumento da porosidade, diminuição da densidade aparente e variação da resistência mecânica.

A madeira ao entrar em contato com o calor começa a sofrer um processo de decomposição através de reações termo-químicas, causando uma série de transformações complexas que foram estudadas por vários autores, classificando as mesmas em diferentes fases durante a carbonização.

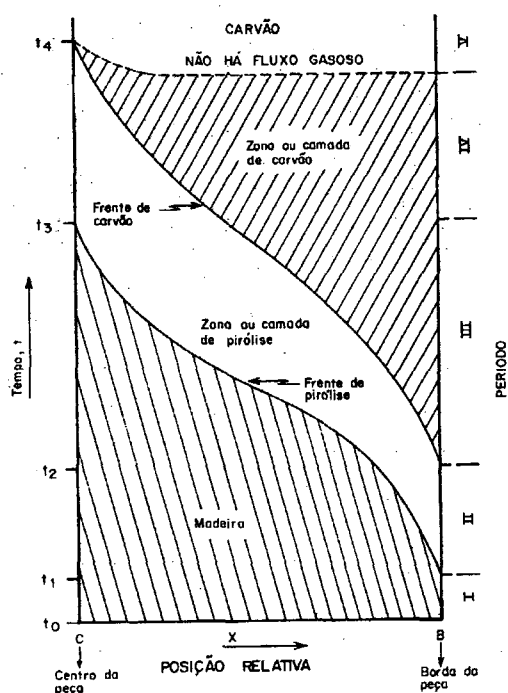
OLIVEIRA *et al.* (1982) apresentam os métodos desenvolvidos por Kanury e Blackshear (1970) e de Shapher (1972), os quais são bastante semelhantes e que mostram as formas de transferência de calor que ocorrem durante o processo de carbonização. Na Figura 2, são mostrados os cinco períodos correspondentes do processo de evolução da carbonização desenvolvidos por Kanury e Blackshear (1970), partindo da madeira em seu estado original até o produto final carvão, em função do tempo de exposição ao calor.

### 3.3.1 Fases do Processo da Carbonização

I) - Nesta fase o calor se propaga na madeira por condução até  $t_1$ , a madeira não sofre qualquer alteração, havendo apenas liberação de água;

II) - A madeira começa a sofrer as primeiras alterações formando a "frente de pirólise". Nessa fase se distinguem dois estágios: um correspondente à zona de pirólise e um em que a madeira continua aquecendo. Os gases quentes formados nessa fase transportam o calor para o exterior da madeira por convecção.

FIGURA 2 - MODELO DE CARBONIZAÇÃO DE KANURY E BLACKSHEAR.



Fonte: OLIVEIRA *et al.* (1982).

III) - Inicia-se a formação de carvão, existindo ainda uma camada interna da madeira sem sofrer alteração. Nesta fase a madeira sofre um maior grau de transformação caracterizada pela zona de pirólise que já atinge o centro da peça. A transferência de calor na zona do carvão se processa através da condução e convecção. Outros fenômenos ocorrem nessa zona.

IV) - Essa fase é caracterizada pelo desaparecimento da madeira em seu estado original. A zona de carvão é predominante, restando apenas uma parte da zona de pirólise.

V) - É a última fase da carbonização formada por uma única camada, a do carvão.

Em temperaturas acima de 100°C ocorrem outras reações com significativa mudança na estrutura da madeira. Além da perda da água higroscópica, quando a madeira é submetida a maiores períodos de aquecimento (WENZL, 1970). À medida que aquecemos a madeira, ocorrem fenômenos em função da temperatura a qual ela está sendo submetida (GOMES e OLIVEIRA, 1980).

BEALL & EICKNER (1970) *apud* REZENDE (1983) sobre a decomposição térmica da madeira, consideraram apropriado dividi-la em 4 etapas:

Etapa **A** - Abaixo de 200°C onde basicamente produtos não combustíveis são formados, principalmente vapor de água, menores quantidades de dióxido de carbono, glioxal, ácido fórmico e acético. A perda de água adsorvida ligada às paredes é completa.

Etapa **B** - de 200 a 280°C, onde os mesmos gases da etapa **A** são gerados com maior intensidade, exceto vapor d'água. Em menor grau surge o monóxido de carbono. Nesta fase as reações são endotérmicas e quase todos os produtos não são inflamáveis.

Etapa **C** - de 280 a 500°C, onde a pirólise propriamente dita tem início, período caracterizado por reação exotérmica comandada por reações secundárias entre os produtos. Os produtos finais são altamente combustíveis (CO, CH<sub>4</sub>, etc.) e incluem os alcatrões em forma de névoa altamente inflamável. O carvão residual atua como catalisador das reações secundárias.

Etapa **D** - Acima de 500°C, o carvão residual é em maior parte carbono fixo, sofrendo modificações estruturais devido às reações secundárias adicionais, as quais liberam uma pequena parte de voláteis, notadamente hidrogênio.

Além desses autores acima citados, DOAT & PETROFF (1975), UHART (1976), e MARTINS (1980) também realizaram estudos sobre o efeito da temperatura nas diferentes etapas da pirólise. Todos os estudos realizados apresentam semelhanças entre as fases de carbonização, ocorrendo pequenas variações quanto às faixas de temperaturas nas suas diferentes fases.



### 3.4 PRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO

No processo de carbonização da madeira pode-se obter além do carvão vegetal outros produtos, através da condensação dos gases emitidos durante o processo de transformação ocorrido pelas reações termo-químicas da madeira. Os gases condensados, formam o licor pirolenhoso, o qual é formado por uma mistura de vários produtos químicos. Além dos gases condensados o processo apresenta uma parte de gases não condensáveis (CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, etc.), liberados para a atmosfera.

Através da carbonização da madeira em laboratório a 500°C, segundo BRIANE & DOAT (1985), são obtido os vários produtos apresentados na Tabela 3, normalmente encontrados em qualquer tipo de madeira seja em região temperada ou tropical.

TABELA 3 – PRODUTOS DA PIRÓLISE, OBTIDOS ATRAVÉS DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA A 500°C.

<b>PRODUTOS DA PIRÓLISE</b> Madeira seca ao ar (20% de umidade)	<b>RENDIMENTO</b> (%)
CARVÃO VEGETAL	31,0
ÁGUA	28,0
FRAÇÃO AQUOSA	22,0
Ácido Acético	6,0
Metanol	2,5
Diversos Não Aromáticos	3,5
Furfural	1,0
Alcatrão	6,0
Derivados Fenólicos	3,0
GASES NÃO CONDENSÁVEIS	19,0
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>

Fonte: BRIANE & DOAT (1985) – Guide Technique de la Carbonisation.

Segundo ALMEIDA & REZENDE (1982), através da carbonização da madeira ou de qualquer outro vegetal o material é decomposto produzindo um produto sólido, o carvão vegetal e gases voláteis, composto de uma fração que pode ser liquefeita, o licor pirolenhoso e uma fração gasosa, o gás não condensável.

Em estudos realizados por WENZL (1970), sobre os produtos da carbonização de uma espécie de conífera, o autor obteve os resultados demonstrados na Tabela 4.

TABELA 4 – PRODUTOS DA PIRÓLISE, OBTIDOS ATRAVÉS DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA DE CONÍFERA.

<b>PRODUTOS DA PIRÓLISE (MADEIRA SECA)</b>	<b>RENDIMENTO (%)</b>
CARVÃO VEGETAL	34,3
ÁGUA	25,4
FRAÇÃO AQUOSA	19,5
Ácido Acético	6,7
Metanol, etc	2,3
Alcatrão	10,5
GASES NÃO CONDENSÁVEIS	20,8
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>

Fonte: WENZL (1970) – The Chemical Technology of Wood.

Segundo MIRANDA (1989), durante a carbonização ocorrem uma série de reações químicas que podem ser influenciadas por vários fatores, entre eles, a espécie, o teor de umidade, as condições de carbonização, a temperatura e a velocidade de aquecimento.

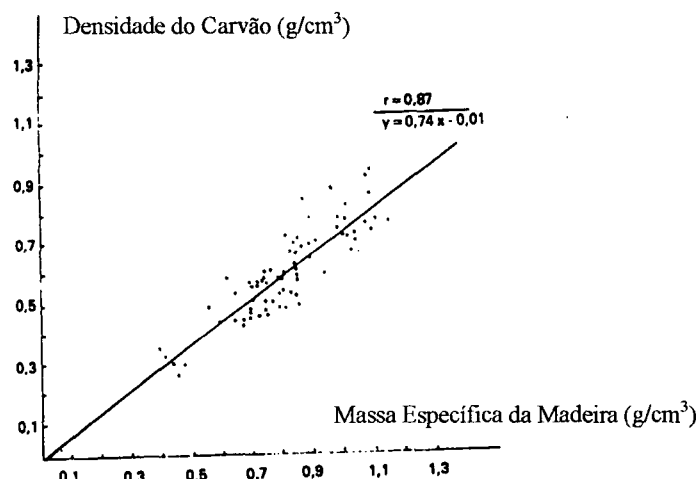
### 3.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DOS PRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO

#### 3.5.1 Propriedades Físicas e Químicas da Madeira

A qualidade e o rendimento do carvão dependem, pelo menos em parte, da qualidade da madeira utilizada (WENZL, 1970; OLIVEIRA *et al.* 1982). Nas determinações de qualidade da madeira, a massa específica da madeira é o índice mais utilizado, porque afeta outras propriedades da mesma e, conseqüentemente, as de seus derivados (BRASIL, & FERREIRA, 1971).

DOAT & PETROFF (1975), estudando madeiras naturais tropicais encontraram uma série de correlações entre as propriedades físicas da madeira e do carvão vegetal (Figura 3), encontrando alta correlação entre a densidade da madeira e a densidade do carvão.

FIGURA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA E A DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL.



Fonte: DOAT & PETROFF (1975).

OLIVEIRA *et al.* (1982) afirmam que quanto maior a densidade da madeira, maior a densidade do carvão vegetal produzido, conforme resultados apresentados na Tabela 5 para *Eucalyptus grandis* com 6 e 10 anos.

Estudos realizados por VALENTE & VITAL (1985) sobre a massa específica da madeira e a produtividade em carvão vegetal mostraram haver uma alta correlação positiva entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão. O mesmos autores desenvolveram uma equação de regressão linear:

$$D_a = - 0,239 + 1,194 \times D_b$$

onde:

$D_a$  = Densidade aparente do carvão vegetal (g/cm<sup>3</sup>)

$D_b$  = Densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>)

$R^2$  = Coeficiente de determinação de 0,99.

TABELA 5 - MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA E DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL.

Massa Específica da Madeira (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade Aparente do Carvão Vegetal (g/cm <sup>3</sup> )
0,60	0,32
0,64	0,39
0,71	0,41

Fonte: OLIVEIRA *et al.* (1982).

BRITO & BARRICHELO (1980), estudando as correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão, observaram que a densidade da madeira exerce influência direta sobre a densidade aparente do carvão produzido. Segundo os mesmos autores, isto é devido a existência de uma alta correlação entre a massa específica básica da madeira e a densidade aparente do carvão conforme encontrado, através de uma equação linear ( $D_a = -0,14019 + 0,816419 \times D_b$ ), com um coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,9732\*\* , torna-se importante quando da escolha de espécies de madeira para produção de carvão, permitindo antever o comportamento do mesmo mediante a avaliação da densidade de sua madeira.

OLIVEIRA *et al.* (1989), analisando a densidade básica da madeira em relação à densidade aparente do carvão também encontraram uma correlação positiva entre as duas variáveis estudadas.

Segundo GOMES & OLIVEIRA (1980), a densidade do carvão é muito importante porque ela determina o volume ocupado pelo redutor em auto-forno, quando utilizado na siderurgia.

Estudando as características físicas do carvão vegetal da bracatinga, BRITO *et al.* (1979), concluíram que a mesma apresenta uma densidade básica média de (0,580 g/cm<sup>3</sup>), sendo este valor 20% mais elevado a 1% de significância, quando comparado à madeira de *Eucalyptus grandis* (0,478 g/cm<sup>3</sup>), na mesma idade.

PEREIRA & LAVORANTI (1986), compararam a qualidade da madeira de bracatinga de 3 procedências para fins energéticos, encontrando uma densidade básica média de 0,537 (g/cm<sup>3</sup>). De uma forma geral, a madeira da bracatinga mostrou-se de boa qualidade para a produção de carvão vegetal, apresentando valores superiores que os encontrados para o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus viminalis*.

SLOCUM *et al.* (1978), estudando a massa específica das madeiras de Oak (*Quercus alba*, L.) e Hickory (*Carya ovata*, Mill), encontraram valores médios de 0,76 e 0,93g/cm<sup>3</sup> e para a densidade aparente do carvão 0,60 e 0,73g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Em estudos realizados por BRITO & BARRICHELO (1977), sobre as características da madeira na produção de carvão vegetal, estes encontraram correlações significativas positivas, entre o teor de lignina na madeira com o rendimento de carvão e com o teor de carbono fixo, pelo fato deste componente fundamental da madeira ser mais resistente à decomposição térmica quando comparado à holocelulose, devido sua estrutura complexa,

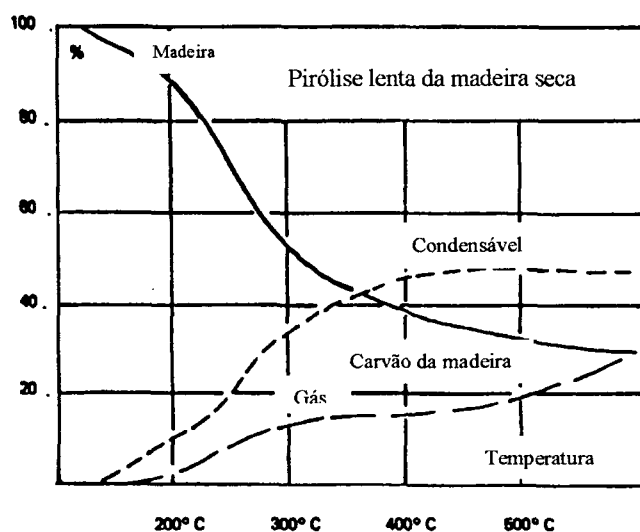
apresentar aproximadamente 65% de carbono elementar (C) em sua composição contra 45% de C, normalmente encontrado nos polissacarídeos.

Da mesma forma OLIVEIRA *et al.* (1989), estudando o efeito da qualidade da madeira sobre o rendimento do carvão, concluíram que há uma correlação positiva e significativa entre o teor de lignina da madeira e o rendimento gravimétrico do carvão e com o teor de carbono fixo. Tais correlações foram também encontradas por vários autores como PETROFF & DOAT (1978); VITAL *et al.* (1994), dentre outros.

### 3.5.2 Temperatura Final de Carbonização

A temperatura final de carbonização é certamente o fator de maior importância que afeta as propriedades físico-químicas do carvão vegetal. Deve-se controlar bem este fator para obter as características necessárias no carvão vegetal (BRIANE & DOAT, 1985). Na Figura 4 são apresentados os produtos da pirólise em função da temperatura de carbonização.

FIGURA 4 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NOS PRODUTOS DA PIROLÍSE DA MADEIRA.



Fonte: BRIANE & DOAT (1985).

Segundo OLIVEIRA *et al.* (1982), um aumento da temperatura de carbonização, em geral, resulta em aumento nos rendimentos de líquido e gás, com conseqüente diminuição no rendimento gravimétrico, provocando mudanças substanciais na composição do carvão. Como pode ser observado em dados apresentados na Tabela 6, o aumento da temperatura provoca a expulsão dos voláteis do carvão, sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a temperatura de carbonização menor o teor de voláteis. Enquanto que em relação ao teor de carbono fixo ocorre o contrário apresentando uma tendência diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a temperatura maior o teor de carbono fixo.

A mesma tendência de redução do rendimento gravimétrico do carvão produzido com respectivo aumento no teor de carbono fixo com a elevação da temperatura de carbonização foi encontrada por FARIA (1984), estudando a espécie jurema preta (*Mimosa hostilis* Benth), nas temperaturas de 400, 550 e 700°C. O mesmo acontecendo com NUMAZAWA (1986), nas 3 espécies da Amazônia estudadas, nas temperaturas de 400, 600 e 800°C, bem como com MIRANDA (1989), estudando 3 espécies da Região Semi-Árida do Nordeste, nas temperaturas de 350, 450, 550 e 750°C.

TABELA 6 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO NO RENDIMENTO DOS PRODUTOS E NA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DE *E. grandis*, COM 5,5 ANOS (BASE PESO SECO).

Temperatura de Carbonização	Análise Química Imediata (%)			Rendimento Gravimétrico (%)		
	C. F.	Voláteis	Cinza	Carvão	Líquido	Gás
450°C	75,06	21,03	3,91	32,89	43,68	23,43
550°C	86,53	10,12	3,35	28,15	46,73	25,12
700°C	89,82	7,25	2,93	27,57	46,30	26,13

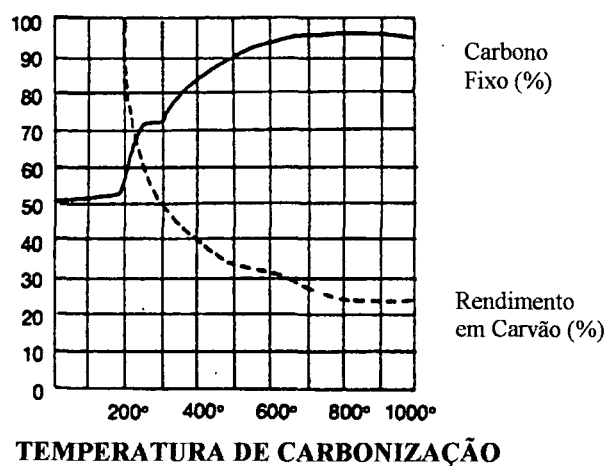
Fonte: OLIVEIRA *et al.* (1982)

O efeito da temperatura sobre o rendimento gravimétrico em carvão e o teor de carbono fixo foi também estudado por BRIANE & DOAT (1985), mostrando que a perda de materiais voláteis está intimamente ligada ao aumento da temperatura, causando um aumento no teor de carbono fixo com uma redução no rendimento de carvão (Figura 5).

BEALL, BLANKENHORN & MOORE (1974), estudando o efeito da temperatura sobre as propriedades físicas na carbonização (Figura 6) de amostras de lâminas de yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.), nas dimensões de 3,5mm de espessura, 13,0mm de largura e 25mm de comprimento, carbonizadas em temperaturas finais de 200, 400 e 600°C

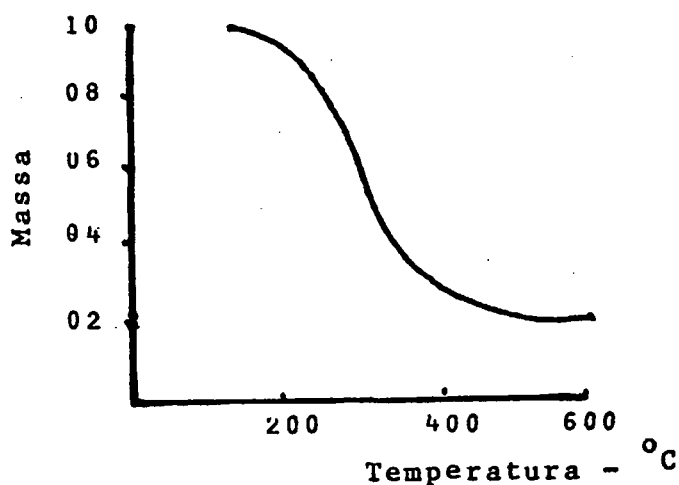
(base peso seco), concluíram que 2/3 da massa é perdida entre as temperaturas de 200 e 400°C, permanecendo ao final da carbonização ao redor de 20% da massa inicial, comprovando estudos de BEALL (1972).

FIGURA 5 – EVOLUÇÃO DO RENDIMENTO E DA PORCENTAGEM DE CARBONO FIXO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.



Fonte: BRIANE & DOAT (1985).

FIGURA 6 – EVOLUÇÃO DA PERDA DE MASSA DURANTE A CARBONIZAÇÃO.



Fonte: BEALL *et al.* (1974), adaptado por NUMAZAWA (1986).

Um aumento da temperatura facilita a dissociação do carvão liberando a quantidade de gases nele contido, gaseificando parte de sua estrutura sólida. Ocorre um aumento no

rendimento de gases não condensáveis quando utilizadas temperaturas mais baixas, tendendo a estabilizar em temperaturas mais elevadas (ALMEIDA 1983).

Da mesma maneira SLOCUM *et al.* (1978), estudando o efeito da temperatura de carbonização sobre a perda de massa da madeira de Oak (*Quercus alba* L.) e Hickory (*Carya ovata* Mill), constatou uma redução 1/4 da massa inicial na temperatura de 250°C e uma redução de 4/5 da massa na temperatura de 400°C, sendo pouco significativa a redução da massa a partir desta temperatura.

Assim como foi mencionado anteriormente, ocorre entre 200 a 450°C uma perda de massa altamente significativa, devido à liberação dos voláteis. Em função dessas observações, pode-se esperar que um carvão produzido numa faixa de 250 a 300°C apresente uma densidade aparente maior do que quando produzido a temperaturas maiores, ou seja, 500 a 700°C.

No entanto, estudos realizados por MENDES *et al.* (1982), apresentam menores valores da densidade aparente na temperatura de 500°C, ocorrendo um acréscimo neste valor na temperatura de 700°C. A mesma tendência foi encontrada por BLANKENHORN *et al.* (1978), realizando carbonizações em diferentes temperaturas, encontrando os menores valores de densidade aparente nas temperaturas de 500 e 600°C. Os mesmos resultados foram obtidos por NUMAZAWA (1986), para 3 espécies da Amazônia, BARBOSA (1986) para a algaroba (*Prosopis juliflora* DC) e MIRANDA (1989), estudando 3 espécies da Região Semi-Árida do Nordeste.

Com base nestas informações, MENDES *et al.* (1982), concluíram que o efeito da contração de volume é maior do que o efeito da perda de massa, uma vez que a densidade relativa aparente para o carvão produzido a 700°C é maior que aquele produzido a 500°C.

Estudando a perda de massa em relação à temperatura sobre as características do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Acacia mangium*, LELLES *et al.* (1996), afirmam que acima de 200°C começa a ocorrer uma perda de massa acentuada com respectiva perda de peso, a qual se intensifica no intervalo entre 250 e 390°C, quando a madeira perde aproximadamente 58% do seu peso inicial, ocorrendo o processo de pirólise propriamente dito.

Segundo o Forest Products Laboratory – FPL (1961), para o fornecimento de carvão vegetal com um índice médio de qualidade para atender o mercado em geral, o carvão deve apresentar baixa quantidade de voláteis e correspondentemente altas quantidades de carbono



fixo. Para usos industriais especializados, temperaturas de carbonização um tanto maiores (450 a 500<sup>o</sup>C), são necessárias para produzi-los.

### 3.5.3 Taxa de Aquecimento e Tempo de Permanência na Temperatura Final de Carbonização

Segundo MENDES *et al.* (1982), a densidade aparente do carvão é sensivelmente influenciada pela velocidade de carbonização. Na Tabela 7 são mostrados os resultados obtidos para velocidades de 0,1<sup>o</sup>C/min e 3,4<sup>o</sup>C/min. e temperatura final de carbonização de 430<sup>o</sup>C. Pode-se observar que em carbonização rápida (2 horas), obtém-se um carvão menos denso do que na carbonização lenta (71 horas), sugerindo que carvão produzido em carbonizações rápidas não apresenta boas características físicas. A mesma tendência foi encontrada por SLOCUM *et al.* (1978), ao estudarem o efeito da taxa de carbonização sobre o rendimento em carvão.

TABELA 7 – INFLUÊNCIA DA TAXA DE AQUECIMENTO E DO TEMPO DE PERMANÊNCIA NA CARBONIZAÇÃO.

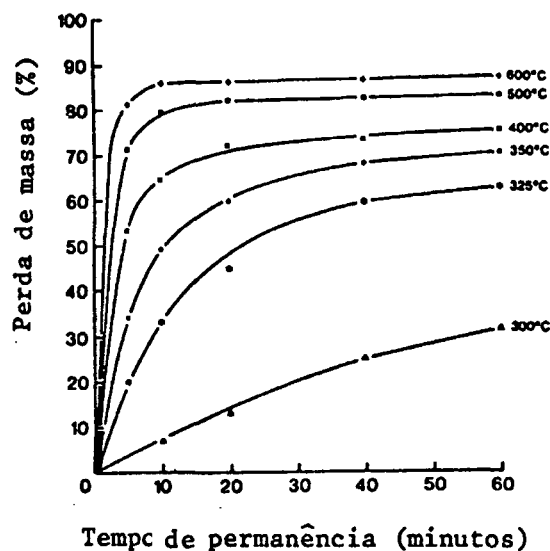
Tempo de carbonização (horas)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Carbono Fixo (Base seca) (%)
71,0	0,1	0,70	78,02
2,0	3,4	0,46	78,51

Fonte: MENDES *et al.* (1982)

Em estudos sobre a pirólise da madeira realizados por NANASSY & FUNG (1975), *apud* FARIA (1984), para temperaturas de carbonização acima de 350<sup>o</sup>, ocorre pouca ou nenhuma perda de massa para tempos de permanência maiores que 20 minutos (Figura 7). Contudo segundo FARIA (1984), o fator tempo de permanência afetou significativamente as variáveis estudadas. O tempo de permanência de 60 minutos afetou as variáveis, sendo o rendimento em carvão afetado negativamente nas temperaturas de 450 e 550<sup>o</sup>C e positivamente para o líquido pirolenhoso e gases não condensáveis nas mesmas temperaturas. Na temperatura de 700<sup>o</sup>C o tempo de permanência teve pouca ou nenhuma influência. O mesmo sendo encontrado por NUMAZAWA (1986).

Desta forma, pode-se concluir que para produzir um carvão vegetal com qualidade aceitável, um tempo maior de carvoejamento é necessário.

FIGURA 7 – INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PIRÓLISE SOBRE A PERDA DE MASSA.



Fonte: NANASSY & FUNG (1975).

#### 3.5.4 Teor de Umidade da Madeira

No estudo de caracterização e otimização do processo de fabricação do carvão vegetal realizado por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA(1982), utilizando 3 espécies de eucaliptos, com 3 teores de umidade (menor que 20%, entre 20 e 30% e acima de 30%), em 3 idades diferentes (6, 8 e 10 anos) e 3 temperaturas de carbonização, segundo os autores, não foram observadas variações significativas nos rendimentos em carvão vegetal (na base úmida), em relação às idades 6, 8 e 10 anos. O mesmo acontecendo em relação à madeira (na base seca).

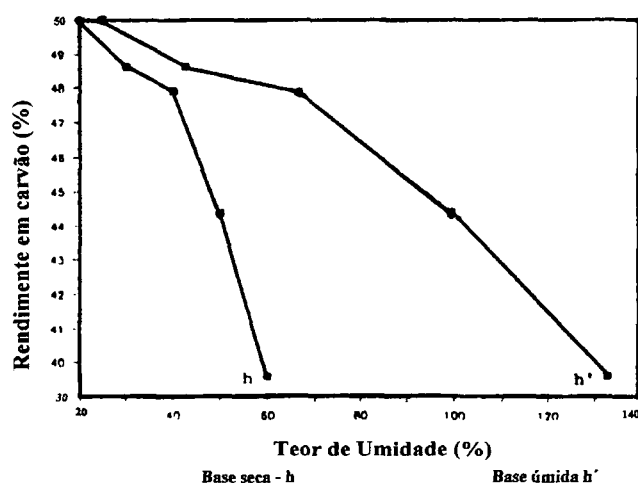
O rendimento em carvão (em relação à madeira úmida), como era esperado, diminuiu com o aumento da umidade, pois a água contida na madeira faz parte do líquido condensado, tendo como consequência um aumento deste. O gás não condensável apresentou uma tendência de diminuir com a umidade. Dentro da variação dos resultados de rendimentos obtidos pode-se dizer que não houve variação em relação ao teor de umidade

da madeira enfiada, quando se calcula o rendimento em base seca, segundo os autores, este resultado parece lógico, desde que no sistema de carbonização não cause a queima da lenha durante a carbonização.

Segundo OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA(1982), em relação à temperatura, mantendo-se constante a umidade e a idade, os autores concluíram que, como era de se esperar, que os rendimentos em carvão, tanto em base seca ou úmida, diminuem com o aumento da temperatura e em relação à idade concluíram que não houve influência desta variável nos rendimentos em carvão, líquido condensável ou gás não condensável e a umidade só influenciou nos rendimentos em base úmida, não tendo influência nos rendimentos em base seca.

Segundo MARCOS (1997), a umidade da madeira influi muito mais no rendimento em carvão vegetal que a própria espécie. A seguir é apresentado na Figura 8, um rendimento suposto de 50% em volume para um umidade em base úmida de 20%.

FIGURA 8 – INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO RENDIMENTO EM CARVÃO (BASE SECA E ÚMIDA).



Fonte: MARCOS (1997).

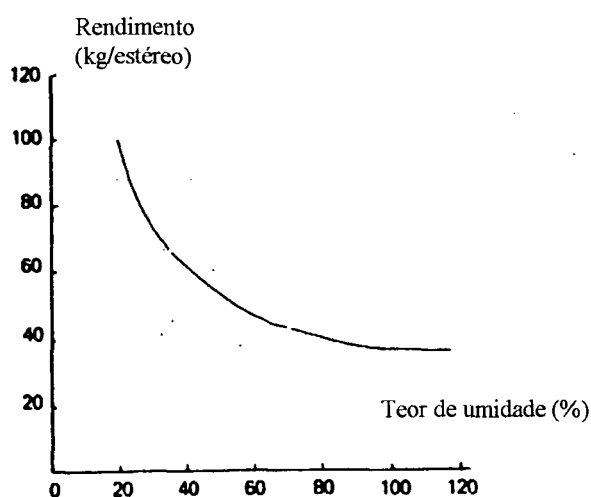
Segundo BRIANE & DOAT (1985), a umidade da madeira é um fator importante na carbonização, afetando o rendimento gravimétrico do carvão. À medida que o teor de umidade aumenta, há uma queda no rendimento em carvão.

EARL (1974) *apud* NUMAZAWA (1986), ao carbonizar várias madeiras de diferentes espécies com diferentes teores de umidade verificou que quanto maior a

porcentagem dessa variável menor é a produção em kg/estéreo (Figura 9). Concluindo que quanto maior o teor de umidade maior é o tempo de carbonização.

Segundo VALENTE & LELLES (1979), o controle da umidade quando se pensa em carbonização é fundamental, pois a madeira quando carbonizada a teores de umidade variando de 25 a 50%, aumenta em 13,27% o consumo de lenha. Quando carbonizada em retorta, para produzir 1 tonelada de carvão, foram necessárias 4 toneladas de madeira a 50% de umidade, 3 toneladas de madeira a 20% de umidade ou 2,75 toneladas com 15% de umidade, respectivamente.

FIGURA 9 – INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO RENDIMENTO EM CARVÃO.



Fonte: EARL (1974).

O rendimento do carvão varia com o teor de umidade da madeira. Quanto maior a umidade da madeira mais lenha é consumida no forno para a secagem da mesma, conseqüentemente menor quantidade de carvão vai ser obtido (Forest Products Laboratory - FPL (1961)). Através de experimentos obteve-se os seguintes resultados: madeira seca ao ar com 32% de umidade resultou em 30 % de rendimento; com 44% de umidade obteve-se 27% e com 47% de umidade resultou em 25% de rendimento.

### 3.6 PROPRIEDADES DOS PRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO

As propriedades físicas e químicas do carvão vegetal dependem em parte da matéria-prima que lhe deu origem e também em parte do processo de carbonização. As propriedades do carvão vegetal são várias e interdependentes. Isto significa que é praticamente impossível trabalhar no aprimoramento de determinada propriedade sem alterar outras (SILVA & BRITO, 1985).

A condução da carbonização depende da qualidade do carvão que se deseja obter (Centre Technique Forestier Tropical - CTFT, 1972).

#### 3.6.1 Carvão Vegetal

As espécies de madeira não influenciam na qualidade química do carvão produzido, mas as propriedades físicas são influenciadas diretamente pela massa específica e estrutura da madeira. Em geral madeiras com baixa massa específica produzirão um carvão bastante friável, enquanto que com maior massa específica irão produzir um carvão mais limpo e menos quebradiço (Forest Products Laboratory - FPL, 1961).

Os materiais voláteis quando presentes em grandes quantidades, ou seja, maiores que 24%, causam fumaça quando o carvão é queimado, afetando em algumas propriedades.

#### 3.6.2 Propriedades Químicas do Carvão

WENZL (1970) determinou a composição química elementar do carvão vegetal em função da elevação da temperatura, estando esta, dividida em teor de carbono, oxigênio e hidrogênio. Segundo o autor, à medida que aumenta a temperatura de carbonização o teor de carbono também aumenta ocorrendo o inverso com os teores de oxigênio e hidrogênio.

Segundo MARCOS (1997), o carvão vegetal é composto basicamente de carbono, como componente principal, apresentando ainda parte de oxigênio, hidrogênio e uma quantidade mínima de nitrogênio (Tabela 8). A composição química elementar do carvão

vegetal está em função de 3 fatores: matéria-prima utilizada, temperatura de carbonização e técnica de carbonização empregada. Pode-se observar que os resultados encontrados pelo autor apresentaram a mesma tendência encontrada por WENZL (1970), onde à medida que aumentou a temperatura de carbonização, os teores de carbono e nitrogênio aumentaram, enquanto que os teores de oxigênio e hidrogênio diminuíram gradativamente.

TABELA 8 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DO CARVÃO VEGETAL COM O AUMENTO DA TEMPERATURA.

Temperatura de Carbonização (°C)	C (%)	H (%)	N (%)	O*
100	50,28	6,09	0,19	41,14
200	48,88	5,84	0,24	42,70
250	50,64	5,04	0,25	41,31
300	58,75	4,96	0,28	34,35
350	75,69	3,31	0,62	19,10
400	76,89	3,27	0,40	18,15
450	81,18	2,98	0,41	13,65
500	82,96	2,52	0,66	11,15
550	87,11	2,42	0,50	6,89
600	89,39	2,19	0,43	4,79

Fonte: MARCOS (1997).

\* O oxigênio foi obtido por diferença.

A composição química do carvão vegetal pode ser determinada através da análise química elementar e da análise química imediata. Na análise química elementar faz-se a determinação do carbono, oxigênio e hidrogênio, enquanto que na análise química imediata são determinados a umidade, os teores de materiais voláteis, cinza e de carbono fixo (por diferença) contidos no carvão vegetal (MENDES *et al.*, 1982).

VALENTE *et al.* (1993), estudando o rendimento e qualidade do carvão a partir da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* DC.) em diferentes temperaturas de carbonização, obtiveram os seguintes valores na determinação da análise química imediata (Tabela 9). Segundo os autores, com o aumento da temperatura ocorreu um decréscimo no teor de voláteis porque, tais materiais são expulsos do interior do carvão, diminuindo o seu teor no produto final.

Esta influência da temperatura sobre o teor de materiais voláteis, com consequente aumento do teor de carbono fixo foi pesquisado por WENZL (1970), BARBOSA (1986),

OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA(1982), ALMEIDA (1983), FARIA (1984), NUMAZAWA (1986), MIRANDA (1989), OLIVEIRA (1989), entre outros.

Quanto ao teor de cinza os valores apresentaram-se um pouco altos para os valores normalmente encontrados para a espécie estudada. Os resultados obtidos com relação ao rendimento em carbono fixo apresentaram uma ligeira tendência a decrescer com o aumento da temperatura.

GOMES & OLIVEIRA (1980), sugeriram que o rendimento em carbono fixo independe da temperatura máxima de carbonização.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DA DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora* DC.).

Temperatura (°C)	Composição Química Imediata (%)			Rendimento em Carbono Fixo (%)
	Voláteis	Cinza	Carbono Fixo	
350	22,28	2,72	75,00	27,69
450	16,49	3,04	80,47	26,63
550	9,09	4,38	86,53	26,65
650	7,48	3,36	86,67	26,13

Fonte: VALENTE *et al.* (1993).

Segundo COUTINHO (1984), além de alterar os rendimentos dos produtos da madeira, o efeito da temperatura e da umidade causam mudanças na composição do carvão. Um acréscimo na temperatura final de carbonização provoca decréscimo nos teores de materiais voláteis, ocorrendo o inverso com o teor de carbono fixo. Estas variações no rendimento em carvão e teor de carbono fixo, ocorrem inversamente, mas proporcionalmente, de tal modo que o rendimento em carbono fixo se mantenha constante.

PEREIRA & LAVORANTI (1986), estudando a qualidade da madeira de bracinga para fins energéticos, desenvolveram carbonizações numa temperatura máxima de 500°C, obtendo os resultados, apresentados na Tabela 10.

Estudando o efeito da temperatura sobre as propriedades dos produtos da carbonização, ALMEIDA (1983), concluiu que com o aumento da temperatura de carbonização o rendimento em carvão, o rendimento em carbono fixo e o teor de voláteis decresceram de forma quadrática, sendo mais pronunciado este efeito no rendimento em carbono fixo.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE BRACATINGA.

Temperatura (°C)	Composição Química Imediata - (%)			Rendimento em Carbono Fixo - (%)
	Voláteis	Cinza	Carbono Fixo	
500	12,7	1,9	85,4	28,09

Fonte: PEREIRA & LAVORANTI (1986).

### 3.6.3 Poder Calorífico

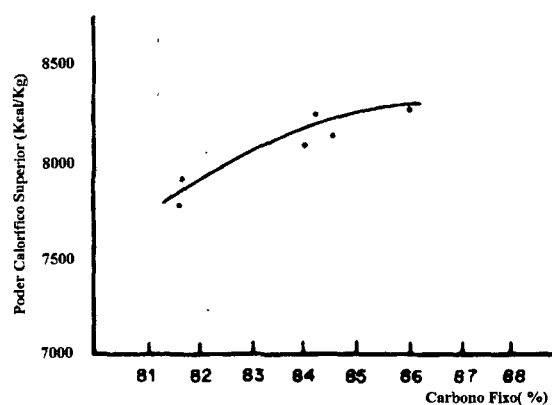
Segundo OLIVEIRA *et al.* (1982), poder calorífico de um combustível pode ser definido como número de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível, expresso em kcal/kg ou kj/kg para combustíveis sólidos e líquidos e em kcal/m<sup>3</sup> para gases.

Segundo PETROFF & DOAT (1978), o poder calorífico superior do carvão aumenta à medida que a porcentagem de carbono fixo aumenta. A Figura 10 representa a relação entre o poder calorífico e teor de carbono fixo do carvão vegetal.

OLIVEIRA *et al.* (1982), comentam que o poder calorífico do carvão vegetal atinge o valor máximo quando produzido numa faixa de temperatura entre 500 a 600°C.

BRITO & BARRICHELO (1982) e TROSSERO (1981), afirmam que o poder calorífico do carvão vegetal é função da temperatura de carbonização e da madeira utilizada.

FIGURA 10 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO FIXO NO PODER CALORÍFICO.



Fonte: PETROFF & DOAT (1978).

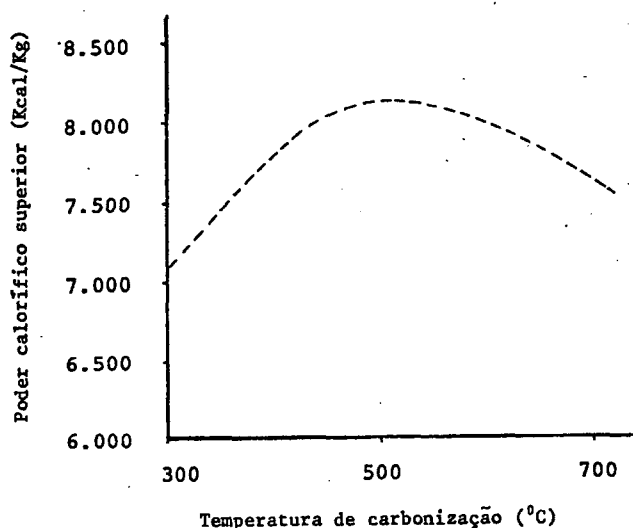


O mesmo aconteceu com NUMAZAWA (1986), em 3 espécies da Amazônia estudadas, nas temperaturas de 400, 600 e 800°C, bem como com MIRANDA (1989), estudando 3 espécies da Região Semi-Árida do Nordeste, nas temperaturas de 350, 450, 550 e 750°C.

MENDES *et al.* (1982), trabalhando com temperaturas de carbonização de 300, 500 e 700°C, verificaram que o poder calorífico do carvão foi maior à temperatura de 500°C, enquanto que o carvão produzido a 700°C teve um poder calorífico maior que o produzido a 300°C. O aumento no poder calorífico verificado no carvão obtido a 500°C é explicado em função da composição química elementar, devido ao teor de oxigênio cair sensivelmente quando se passa de 300 para 500°C. Na Figura 11, observa-se o comportamento do poder calorífico superior do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização utilizada MENDES *et al.* (1982).

Segundo COUTINHO (1984), quando o poder calorífico incluir ou não, calor de condensação da água é chamado de poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI), respectivamente. Existe uma dependência entre o poder calorífico superior e o inferior regida pela quantidade de hidrogênio presente no combustível, estando de acordo com MENDES *et al.* (1982). Na prática é preferível utilizar o poder calorífico inferior, visto que o poder calorífico superior inclui o calor da água da umidade do ar e da água gerada na combustão.

FIGURA 11 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR.



Fonte: MENDES *et al.* (1982), adaptado por FARIA (1984).

Segundo KOLLMANN (1959), deve-se levar em consideração especial aqueles combustíveis que contenham umidade e hidrogênio, pois nos seus gases de combustão se encontra água, cujo estado em que se encontra (vapor ou líquido) influi no valor do poder calorífico. Portanto, deve-se distinguir os dois casos limites, quando estiver na forma líquida será o poder calorífico superior e do contrário será o poder calorífico inferior. Em todos os processos técnicos somente interessa o poder calorífico inferior, porque o calor de condensação do vapor d'água contido nos gases de combustão não é utilizável. Em combustíveis com composição conhecida pode-se deduzir um poder calorífico a partir do outro.

#### 3.6.4 Propriedades Físicas do Carvão

Todas as medidas de densidade (aparente ou verdadeira), são importantes na caracterização do carvão vegetal, pois suas propriedades estão intimamente relacionadas com sua densidade. Não havendo prejuízo para outras propriedades, a densidade deve ser a maior possível, pois ela determina entre outros, o volume ocupado pelo carvão vegetal nos aparelhos de redução e gaseificação (MENDES *et al.*, 1982).

Segundo VALENTE & LELLES (1979), a densidade aparente do carvão vegetal significa numericamente a relação entre o peso do carvão seco e o seu volume, inclusive poros internos. Segundo os mesmos autores a densidade verdadeira é a relação entre massa e o volume efetivamente ocupado pelo sólido, eliminando-se os poros.

OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), utilizando 3 espécies de eucaliptos, com 3 teores de umidade, em 3 idades diferentes e 3 temperaturas de carbonização, determinaram a densidade aparente e verdadeira, concluindo que a densidade aparente acompanhou a massa específica da madeira, apresentando-se diretamente proporcional. Em relação a densidade verdadeira, os valores médios não variaram com a idade do material. Em relação a umidade os autores concluíram que a porcentagem de finos aumenta com o teor de umidade, quando o carvão é produzido de madeira de uma mesma idade e em uma mesma temperatura de carbonização.

A densidade verdadeira do carvão pode ser mascarada por trincas ou fissuras internas que surgem durante o processo de carbonização. Ela é a medida da densidade das

substâncias que compõem o carvão, ou seja, é a densidade aparente descontando-se o volume da porosidade interna do carvão.

O grau de porosidade indica a porcentagem em volume de poros em relação ao volume total. Madeiras que apresentam maior porosidade irão originar carvões com maior área de acesso às reações com o CO<sub>2</sub>, havendo maior consumo de carbono no alto forno. A porosidade exerce influência na friabilidade pois diminui a resistência do carvão, aumentando a probabilidade de formação de finos (OLIVEIRA *et al.*, 1982).

VALENTE *et al.*(1993), estudando o efeito da temperatura sobre as propriedades físicas do carvão de algaroba, concluíram que inicialmente houve uma tendência de redução no valor da densidade aparente entre as temperaturas de 350 a 550<sup>0</sup>C, mas voltando a aumentar na temperatura de 650<sup>0</sup>C. Estes valores estão de acordo com os encontrados por GOMES & OLIVEIRA (1980). Já para a densidade verdadeira houve uma tendência clara de aumentar com o aumento da temperatura, segundo os autores, devido ao rearranjo dos átomos de carbono, com maior ordenamento dos mesmos e conseqüente aumento de massa das partículas. A determinação da porosidade está diretamente relacionada com as densidades aparente e verdadeira, com isso obteve-se um modelo linear crescente.

Estudos realizados por BLANKENHORN *et al.* (1978), sobre as propriedades físicas do carvão em diferentes temperaturas, apresentados na Tabela 11, concluíram, que a densidade aparente apresenta menores valores nas temperaturas de 500 e 600<sup>0</sup>C, voltando à subir este valor em temperaturas mais elevadas.

TABELA 11 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO

Temperatura de carbonização ( <sup>0</sup> C)	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade Verdadeira (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade (%)
100	0,611	1,33	54,1
320	0,412	1,11	62,9
500	0,408	1,27	67,1
600	0,402	1,30	69,0
700	0,415	1,34	70,0
800	0,489	1,29	60,5
900	0,414	1,27	66,3

Fonte: BLANKENHORN *et al.* (1978).

Quanto à densidade verdadeira, os valores não apresentaram uma tendência clara de aumentar, mantendo-se próximos. A porosidade apresentou uma tendência de aumentar com a elevação da temperatura, mas voltando a cair em temperaturas elevadas (800 e 900<sup>0</sup>C).

BAILEYS & BLANKENHORN (1982, em estudo semelhante, no entanto trabalhando com temperaturas menores, partindo de 100 até 500<sup>0</sup>C, concluíram que a densidade aparente não apresenta nenhuma tendência clara para 4 espécies estudadas em relação à temperatura. O mesmo aconteceu com a densidade verdadeira e conseqüentemente com a porosidade.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) utilizada no estudo foi proveniente de um povoamento homogêneo localizado no Município de Bocaiúva do Sul - PR, pertencente ao proprietário particular Manoel Scremim, próximo à Fazenda Massaroca - Caetê, distante aproximadamente 40 Km de Curitiba. A altitude média, latitude e longitude do local são respectivamente 930m, 25°25'S e de 49°08'W. O povoamento apresenta talhões aparentemente bem divididos com idades de 1 a 10 anos num espaçamento médio de 1x1m.

Foram coletadas ao todo 15 árvores dominantes classificadas segundo ROCHADELLI (1997), colhidas aleatoriamente nas idades de 3, 5 e 7 anos, sendo 5 árvores para cada idade. De cada árvore foi coletado material botânico para identificação da espécie, os quais foram herborizados e registrados no Herbário do Laboratório de Dendrologia do Departamento de Silvicultura e Manejo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (Reg. n<sup>os</sup> 6692 - 6694 em 05/04/1997).

Após a derrubada das árvores, retirou-se uma tora de cada a partir da base e com 3,20m de comprimento. Em seguida, as toras foram seccionadas em três partes iguais, sendo chamados de toretes, os quais foram devidamente identificados e separados, um para cada teor de umidade testado. De cada uma das extremidades dos toretes e ao longo do restante do fuste, foram retirados discos com aproximadamente 2,5cm de largura, os quais foram devidamente identificados e acondicionados em sacos plásticos para determinação da massa específica da madeira. No total foram obtidos 3 lotes por idade, sendo um para cada teor de umidade testado, totalizando 9 lotes.

A seguir, os toretes e os discos foram encaminhados ao Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, para confecção dos corpos de prova previamente definidos.

## 4.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

Para a determinação da massa específica básica foram utilizados os discos *in natura*, entretanto, retirou-se a casca dos mesmos, para determinação da massa específica básica somente do lenho.

A massa específica básica foi obtida através da relação entre o peso seco e o volume verde da madeira, sendo expressa em ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), segundo recomendação de NORMAS COPANT - 458.

Para obtenção do volume foi utilizado o método de pesagem, que consiste na imersão total do disco completamente saturado em um recipiente com água, colocado sobre uma balança de precisão. O volume foi obtido diretamente da leitura da balança que foi previamente tarada antes da imersão do disco.

Após a obtenção do volume, os discos foram colocados em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , sendo obtido o peso seco. Com a estabilização do peso, os mesmos foram resfriados em dessecador e pesados em balança com precisão de 0,01g. Para o cálculo da massa específica básica utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Meba} = \frac{P_o}{V_v}$$

onde:

Meba = Massa específica básica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

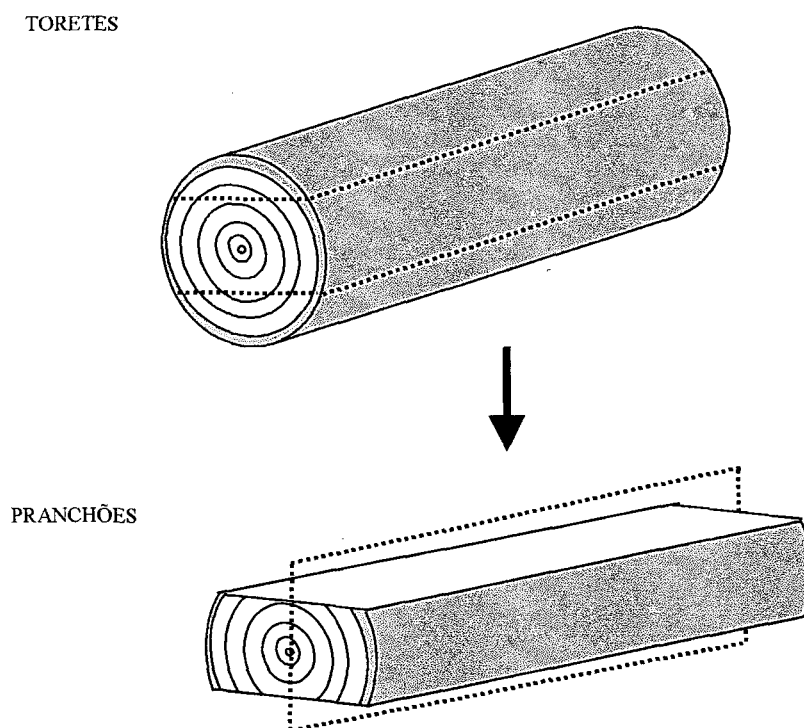
$P_o$  = Peso seco (g);

$V_v$  = Volume saturado ( $\text{cm}^3$ ).

## 4.3 PREPARAÇÃO DO MATERIAL PARA CARBONIZAÇÃO

A partir dos toretes foram retirados pranchões, os quais foram abertos na região central (medula), como é mostrado na Figura 12 e colocados na câmara de climatização para acondicionamento (secagem) sob condições controladas de temperatura ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) e de umidade relativa ( $65 \pm 3\%$ ).

FIGURA 12 – ESQUEMA DE RETIRADA DOS PRANCHÕES DOS TORETES.



Inicialmente foram transformados em corpos de prova 3 lotes (um para cada idade), para carbonização com  $\pm 30\%$  de umidade. Os mesmos foram então acondicionados em cubas de vidro hermeticamente fechadas, contendo água destilada e circulação de ar forçado à uma temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , obtendo-se o teor umidade desejado de aproximadamente 30%, após entrarem em equilíbrio com o ambiente.

O restante do material, após acondicionamento em câmara de climatização, acima citada, foram divididos em 2 grupos, cada grupo contendo 3 lotes (um de cada idade), para confecção dos corpos de prova para carbonização a 0 e 15% de umidade.

Para a carbonização foram utilizados 20 corpos de prova para cada tratamento, perfazendo um total de 360 corpos de prova com dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 9cm, confeccionados aleatoriamente no Laboratório de Usinagem da Madeira, sem distinção entre cerne e albarno do material.

### 4.3.1 Plano Experimental

A Tabela 12, apresenta o plano experimental formulado para este estudo.

Foram realizadas no total 180 carbonizações, sendo 10 repetições para cada um dos 18 tratamentos estudados.

Os valores adotados para as variáveis de carbonização: temperatura; tempo na temperatura; temperatura final e teor umidade, foram definidos com base nos estudos de ALMEIDA (1983), COUTINHO (1984), FARIA (1984), NUMAZAWA (1986), OLIVEIRA (1988), ANDRADE (1989), VALENTE *et al.* (1993), dentre outros.

TABELA 12 - PLANO EXPERIMENTAL - BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Bentham).

VARIÁVEIS DO PROCESSO	
Idades	3, 5 e 7 anos
Número de árvores por idade	5
Teores de umidade	0, 15 e 30%
Número de corpos de prova por idade	120
Número total de corpos de prova	360
Número de carbonizações	180
Temperaturas de Carbonização	450 e 550°C
Taxa de Aquecimento	3°C/min
Tempo de permanência no primeiro patamar de temperatura (150°C)	60 min.
Tempo de permanência no segundo patamar de temperatura (250°C)	60 min.
Tempo de permanência na temperatura final (450 ou 550°C)	20 min.

### 4.4 CARBONIZAÇÃO

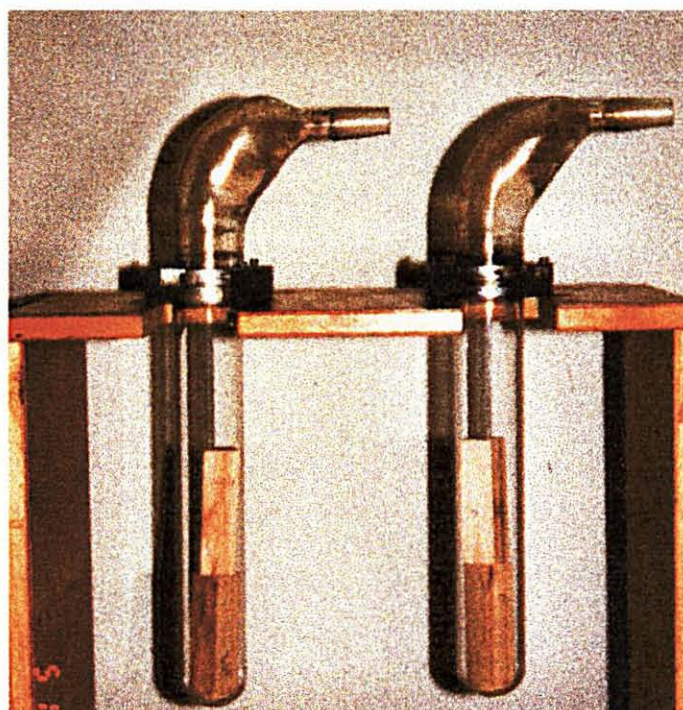
Foram realizadas 10 carbonizações para cada tratamento, sendo que, em cada carbonização foram utilizados 2 corpos de prova. Iniciou-se o processo pelos corpos de prova acondicionados nas cubas de vidro com aproximadamente 30% de umidade, por



atingirem o equilíbrio (30% de umidade) mais rapidamente. Os corpos de prova para as outras condições de umidade (0 e 15%) foram produzidos e colocados em câmara climática. Utilizou-se um forno mufla digital com controle de temperatura, tempo na temperatura e taxa de aquecimento durante o processo de carbonização.

Para acomodação dos corpos de prova dentro do forno mufla foram desenvolvidos tubos de vidro de boro/silicato, conforme mostra a Figura 13, com ponto de amolecimento de 700°C.

**FIGURA 13 – TUBOS DE VIDRO EM BORO/SILICATO UTILIZADOS PARA AS CARBONIZAÇÕES DE CORPOS DE PROVA DE MADEIRA DE BRACATINGA.**



Foram colocados dois tubos no interior do forno mufla, sendo que cada um acondicionava dois corpos de prova (Figura 14). Em cada tubo foi acoplado um sistema de captação de gases por meio de condensadores de extração para posterior determinação do seu rendimento. As carbonizações foram realizadas em duas diferentes temperaturas finais, 450 e 550°C, com uma taxa média de aquecimento de 3°C/min e permanecendo na temperatura final por 20 minutos. Foram realizadas 90 carbonizações em cada temperatura, sendo 30 para cada nível de umidade divididas em 10 carbonizações por idade.

FIGURA 14 – PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO EM FORNO MUFLA PROGRAMÁVEL COM SISTEMA DE CONDENSAÇÃO ACOPLADO AOS TUBOS DE DESTILAÇÃO.

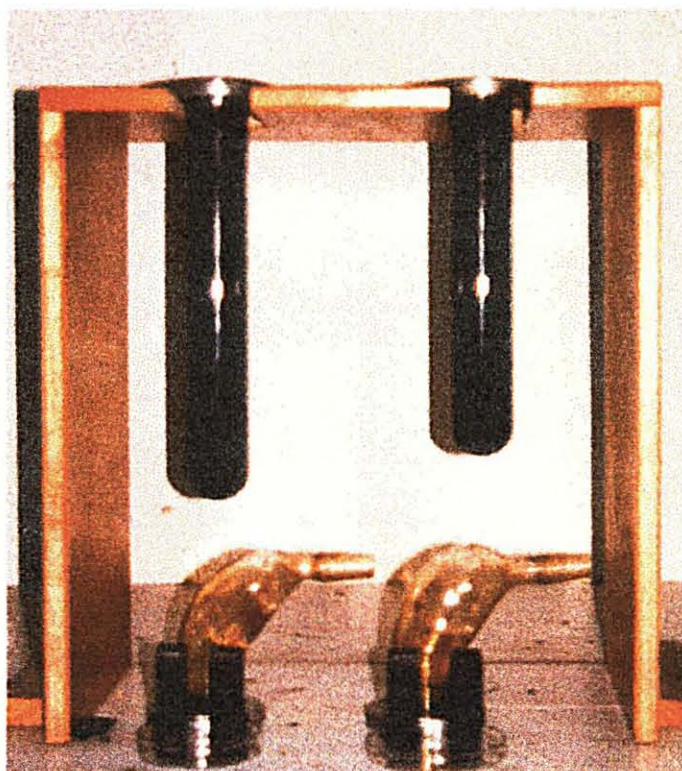


Todas as amostras antes de serem carbonizadas foram numeradas, medidas e pesadas, para obtenção da massa específica e dos rendimentos. Para os corpos de prova com teores de umidade de 15 e 30%, foram determinados os teores de umidade através de uma amostra que estava acondicionada com o material a ser carbonizado. Para o teor de 0% os corpos de prova a serem carbonizados foram colocados diretamente em estufa à  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24hs, sendo a seguir resfriados em dessecador, pesados e posteriormente carbonizados.

Ao final de cada carbonização o forno mufla desligava-se automaticamente, sendo imediatamente retirado o sistema de isolamento (lã de rocha), adaptado na porta do aparelho para manter as temperaturas estáveis. Após aproximadamente 15 minutos, os tubos de vidro eram retirados do interior do forno e colocados em um suporte por mais 30 minutos, para

resfriamento e interrupção das reações de carbonização (Figura 15). A seguir os tubos eram abertos e os corpos de prova carbonizados eram colocados em dessecador para resfriamento por mais uma hora, para serem pesados, devidamente identificados e armazenados para posterior análise. O licor pirolenhoso foi coletado em balão, pesado, identificado e armazenado.

**FIGURA 15 – FINAL DA CARBONIZAÇÃO COM RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA CARBONIZADOS PARA RESFRIAMENTO EM DESSECADOR.**



## 4.5 RENDIMENTOS DA CARBONIZAÇÃO

### 4.5.1 Rendimento do Carvão

O rendimento em peso do carvão expressa a relação entre o peso do carvão e o peso da madeira. O rendimento do carvão foi calculado através da seguinte relação:

$$RC = \frac{P_c}{P_u} \times 100$$

onde:

RC = Rendimento do Carvão (%);

P<sub>c</sub> = Peso do Carvão (g);

P<sub>u</sub> = Peso da madeira no respectivo teor de umidade (0%, 15 ou 30%) (g).

### 4.5.2 Rendimento do Licor Pirolenhoso

O licor pirolenhoso foi coletado em balão com capacidade de 250 ml, o qual foi pesado vazio e após a carbonização, obtendo-se por diferença o peso do licor pirolenhoso. O rendimento do licor foi obtido através da seguinte fórmula:

$$RL = \frac{Pl}{P_u} \times 100$$

onde:

RL = Rendimento do licor condensado (%);

Pl = Peso licor pirolenhoso (g);

P<sub>u</sub> = Peso da madeira no respectivo teor de umidade (0,15 e 30%) (g).

#### 4.5.3 Rendimento dos Gases Não Condensáveis:

O rendimento dos gases não condensáveis foi obtido por diferença através da fórmula :

$$RG = 100 - (RC + RL)$$

onde:

RG = Rendimento dos gases não condensáveis (%);

RC = Rendimento em gravimétrico do carvão (%);

RL = Rendimento do licor pirolenhoso (%).

#### 4.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO VEGETAL

As propriedades físicas do carvão foram determinadas seguindo a metodologia recomendada pelas normas ASTM (American Society for Testing and Materials).

##### 4.6.1 Densidade Básica Aparente do Carvão

Para determinação da densidade aparente do carvão vegetal utilizou-se a Norma ASTM D 167 – 73 “Specific Gravity and Porosity of Lump Coke”, adaptada ao carvão vegetal, VALENTE & LELLES (1979).

A densidade básica aparente do carvão representa numericamente a relação entre o peso de carvão seco e o seu volume, inclusive poros internos. Na prática é mais fácil medir o peso do que o volume de água deslocada, representando o volume do carvão. Portanto, costuma-se utilizar a densidade relativa, isto é, a densidade em relação à da água. A metodologia aplicada foi a mesma utilizada na determinação da densidade básica da madeira, já citada e calculada pela fórmula a seguir:

$$D_{ba} = \frac{P_o}{V_v}$$

onde:

$D_{ba}$  = Densidade básica aparente ( $g/cm^3$ );

$P_o$  = Peso seco do carvão (g);

$V_v$  = Volume após imersão em água ( $cm^3$ ).

#### 4.6.2 Densidade Verdadeira do Carvão

Para determinação da densidade verdadeira do carvão vegetal foi utilizada a Norma ASTM D – 167 – 73 “Specific Gravity and Porosity for Lump Coke”, adaptada ao carvão vegetal, VALENTE & LELLES (1979).

A densidade verdadeira do carvão é a relação entre a massa e o volume efetivamente ocupado pelo sólido, eliminando-se os poros. Como o carvão possui ainda materiais voláteis e cinza, a densidade verdadeira seria a média ponderada das densidades verdadeiras de seus constituintes, sendo calculada pela fórmula:

$$DV = \frac{P_c}{P_c - (P_{ac} - P_a)}$$

onde:

$DV$  = Densidade Verdadeira ( $g/cm^3$ );

$P_c$  = Peso do pó de carvão seco (g);

$P_{ac}$  = Peso do picnômetro + água + amostra de carvão (g);

$P_a$  = Peso do picnômetro + água (g).

#### 4.6.3 Determinação da Porosidade do Carvão

Para determinação da porosidade do carvão vegetal foi utilizada a Norma ASTM D 167 – 73 “Specific Gravity and Porosity for Lump Coke”, adaptada ao carvão vegetal, VALENTE & LELLES (1979).

A porcentagem de poros do carvão vegetal é calculado através da relação entre a densidade aparente livre da umidade e a densidade verdadeira, anteriormente descrita, através da fórmula:

$$PC = \left( 1 - \frac{DA}{DV} \right) \times 100$$

onde:

PC = Porosidade do carvão vegetal (%);

DA = Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

DV = Densidade verdadeira (g/cm<sup>3</sup>).

#### 4.7 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO CARVÃO VEGETAL

A análise química imediata do carvão quantificou os teores de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinza e o teor de carbono fixo existentes nas amostras analisadas (em base seca). As análises estão de acordo com a Norma ASTM D 1762 - 64.

Para a análise química imediata foi utilizada a mesma amostra para as determinações dos teores de umidade, voláteis e cinza, sendo obtido por diferença o teor de carbono fixo.

##### 4.7.1 Teor de Umidade

Antes do procedimento de determinação da umidade, os cadinhos de porcelana foram calcinados em um forno mufla, a uma temperatura de 750°C por uma (1) hora, sendo

a seguir depositados em dessecador para resfriamento por mais uma hora. As amostras, após serem pesadas, foram colocadas em estufa a uma temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  por um período de 2 horas e resfriadas em dessecador por uma hora. Para o cálculo da umidade do carvão expressou-se os valores sob a base úmida, conforme fórmula abaixo:

$$\text{TU} = \frac{\text{P}_u - \text{P}_s}{\text{P}_u}$$

onde:

$\text{TU}$  = Teor de Umidade (%);

$\text{P}_u$  = Peso úmido (g);

$\text{P}_s$  = Peso seco (g).

#### 4.7.2 Materiais Voláteis

Após a pesagem dos cadinhos com as amostras para a determinação da umidade, os mesmos foram colocados no forno mufla, previamente regulado em  $950^{\circ}\text{C}$ , tampados e inseridos em grupos de 3 cada vez, seguindo-se o procedimento de teste da norma acima citada. Para o cálculo do teor de materiais voláteis utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Mv} = \frac{\text{P}_s - \text{P}_a}{\text{P}_s} \times 100$$

onde:

$\text{Mv}$  = Materiais voláteis (%);

$\text{P}_a$  = Peso da amostra após mufla a  $950^{\circ}\text{C}$ ;

$\text{P}_s$  = Peso amostra seca(g).



#### 4.7.3 Teor de Cinza

O teor de cinza foi determinado, colocando-se os cadinhos, sem tampa, contendo as amostras utilizadas na determinação do teor de voláteis novamente no forno mufla, a uma temperatura de 750 °C e por um período de 6 horas. O teor de cinza representa a quantidade residual dos componentes minerais resultantes da combustão completa do carvão, sendo calculado através da fórmula:

$$TC = \frac{P_b}{P_s} \times 100$$

onde:

TC = Teor de cinza (%);

P<sub>b</sub> = Peso da amostra após o forno mufla a 750°C (g);

P<sub>s</sub> = Peso seco do carvão (g).

#### 4.7.4 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo representa a quantidade de carbono residual encontrada no carvão vegetal após a carbonização da madeira. Foi obtido pela diferença entre o teor de materiais voláteis mais o teor de cinza anteriormente obtidos, sendo calculado pela fórmula:

$$CF = 100 - (MV + TC)$$

onde:

CF = Teor de Carbono Fixo (%);

MV = Materiais Voláteis (%);

TC = Teor de Cinza (%).

## 4.8 PODER CALORÍFICO DO CARVÃO VEGETAL

Para determinar o Poder Calorífico foi utilizada uma bomba calorimétrica "Julius Peters", do tipo adiabática, baseada no método de Berthelot. Esta propriedade está relacionada com a quantidade de energia liberada (cal) por unidade de massa (g), quando submetida ao processo de combustão. O teste consiste na combustão de toda a amostra (1,0 g), em ambiente fechado com a presença de oxigênio sob pressão. Para a execução do teste seguiu-se a norma ASTM - D240-50, a qual está de acordo com a norma DIN 51708.

### 4.8.1 Poder Calorífico Superior

Foi inicialmente determinado o poder calorífico superior, o qual leva em consideração o calor liberado pela condensação da água formada durante a combustão do hidrogênio e a umidade do carvão, sendo este considerado um valor teórico. Abaixo é apresentado a fórmula utilizada para o cálculo:

$$PC = \frac{Ww (T_m + C_t - T_o) - B}{G}$$

$$C_t = M\bar{Y} - (\bar{Y} + \bar{X}) \times F$$

onde:

PC = Poder Calorífico Superior do Carvão (Kcal/Kg);

To = Temperatura inicial do teste (°C);

Ww = Equivalente de água do calorímetro (4506,1428g);

Tm = Temperatura final (°C);

G = Peso da amostra de carvão(g);

Ct = Correção de Temperatura (°C);

B = Calor liberado pela fusão do arame de Ignição (1cm = 0,7 Calorias);

M = Tempo de duração do Teste (min.);

$\bar{Y}$  = Média da variação de temperatura pós teste (°C);

$\bar{X}$  = Média da variação da temperatura Pré- teste (°C);

F = Fator de variação de temperatura podendo ser 1 a 1,50.

#### 4.8.2 Poder Calorífico Inferior

Em seguida foi calculado o poder calorífico inferior do carvão, considerado um valor prático, o qual leva em consideração o valor do teor de hidrogênio, determinado por MARCOS (1997), em diferentes temperaturas de carbonização e o teor de umidade da amostra analisada. Para o cálculo aplicou-se a fórmula utilizada por FARINHAQUE (1981), demonstrada abaixo:

$$HU = \frac{Ho - 600 (U + 9H)}{1 + U}$$

Onde:

HU = Poder calorífico inferior (Kcal/Kg);

Ho = Poder calorífico superior (Kcal/Kg);

600 (U + 9H) = Calor de evaporação da água;

U = Umidade do carvão no teste;

H = Teor de hidrogênio (valor tabelado).

#### 4.9 RENDIMENTO EM MASSA DO TEOR DE CARBONO FIXO

O rendimento em carbono fixo foi obtido pelo produto do rendimento de carvão vegetal e seu valor absoluto de carbono fixo, indicando a porcentagem de carbono fixo em relação à quantidade de madeira que lhe deu origem. Foi obtido pela fórmula:

$$RCF = RC \times (\%CF/100)$$

onde:

RCF = Rendimento em carbono fixo;

RC = Rendimento em carvão vegetal base peso seco;

% CF = Teor de carbono fixo.

#### 4.10 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), aplicando-se o Delineamento Inteiramente Casualizado com Arranjos em Fatoriais de  $3^2 \times 2$ , utilizando metodologia proposta por STEEL & TORRIE (1960). Antecedendo a ANOVA, aplicou-se o teste de BARTTLET para verificação da homogeneidade de variâncias, sendo transformados os dados quando necessário. Em todas as variáveis analisadas que apresentaram diferenças estatísticas significativas, aplicou-se o teste de comparação de médias pelo método de TUKEY a 95% de probabilidade. Na Tabela 13, pode-se observar os fatores, com seus diferentes níveis de intensidade analisados.

TABELA 13 - FATORES E NÍVEIS ADOTADOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.

FATORES	NÍVEIS	OBSERVAÇÕES
A - IDADE	a <sub>0</sub>	3 anos
	a <sub>1</sub>	5 anos
	a <sub>2</sub>	7 anos
B - UMIDADE	b <sub>0</sub>	0% de umidade
	b <sub>1</sub>	15% de umidade
	b <sub>2</sub>	30% de umidade
C - TEMPERATURA	c <sub>0</sub>	450°C
	c <sub>1</sub>	550°C

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA BRACATINGA

Os valores médios, o coeficiente de variação e o desvio padrão, obtidos na determinação da massa específica básica das 5 árvores estudadas para cada idade estão apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 – MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (MEB) DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5 E 7 ANOS.

Espécie Estudada	Idade (anos)	Estatística Básica	MEB (g/cm <sup>3</sup> )
Bracatinga ( <i>Mimosa scabrella</i> )	3	Média	0,50
		Desvio padrão	0,02
		Coeficiente de variação (%)	4.88
	5	Média	0,49
		Desvio padrão	0,03
		Coeficiente de variação (%)	6.03
	7	Média	0,51
		Desvio padrão	0,04
		Coeficiente de variação (%)	7.26
<b>Média</b>			<b>0,50</b>

Observa-se que o valor médio encontrado para a massa específica básica (0,50g/cm<sup>3</sup>) apresenta-se ligeiramente inferior aos da literatura, onde BRITO *et al.* (1979), estudando a bracatinga encontraram 0,58 g/cm<sup>3</sup> e PEREIRA & LAVORANTI (1986), 0,54 g/cm<sup>3</sup>. No entanto em estudos realizados por BARRICHELO (1968), a bracatinga apresentou 0,51 g/cm<sup>3</sup>, estando este valor, em consonância com os resultados encontrados neste trabalho. Estas variações estão provavelmente correlacionadas com as variações edafo-climáticas de cada região, idade da árvore, etc.

Em estudos realizados por DOAT & PETROFF (1975), BRITO & BARRICHELO (1980) e OLIVEIRA *et al.* (1982), foi constatada a influência da massa específica da madeira sobre a densidade do carvão, encontrando-se alta correlação entre as propriedades.

A massa específica da madeira é uma característica relevante no que tange a produção de carvão vegetal, a qual reflete diretamente na densidade do mesmo, determinando assim, o volume ocupado pelo redutor em alto-forno, quando utilizado na siderurgia.

Portanto, a espécie estudada apresenta potencial para produção de carvão vegetal, por possuir massa específica básica dentro dos valores aceitáveis, sendo recomendada para produção de carvão vegetal.

## 5.2 RENDIMENTOS DA CARBONIZAÇÃO

Os valores médios obtidos para o rendimento do carvão, de bracatinga, nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 15.

**TABELA 15 - RENDIMENTOS MÉDIOS DO CARVÃO VEGETAL, DAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADE DE 3, 5 E 7 ANOS, COM 0, 15 E 30% DE UMIDADE, EM DUAS TEMPERATURAS FINAIS DE CARBONIZAÇÃO.**

<b>Rendimento do carvão (%)</b>						
<b>Idade</b>	<b>0 % umidade</b>		<b>15% de umidade</b>		<b>30 % de umidade</b>	
	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>
<b>3</b>	32,69	29,21	28,83	26,02	25,52	22,78
<b>5</b>	32,93	29,64	28,70	25,82	25,83	22,99
<b>7</b>	33,53	29,81	28,97	26,30	25,87	23,09
<b>Média</b>	<b>33,05</b>	<b>29,55</b>	<b>28,83</b>	<b>26,05</b>	<b>25,74</b>	<b>22,95</b>

Através da Tabela 15, observa-se que há uma tendência do rendimento médio do carvão diminuir com o aumento da temperatura final de carbonização. No teor de umidade da madeira de 0% o rendimento médio variou de 33,05% na temperatura de 450°C para 29,55% na temperatura de 550°C. Para o teor de umidade de 15% de umidade, o rendimento

variou de 28,83% para 26,05% com respectivo aumento da temperatura. A mesma tendência foi verificada para o teor de 30% de umidade onde a variação foi de 25,74% para 22,95%.

Em relação à influência da umidade, pode-se observar que com o aumento desta ocorre uma redução significativa do rendimento para as duas temperaturas finais, onde o valor médio mais alto do rendimento foi obtido na temperatura de 450<sup>o</sup>C a 0% de umidade. Já o menor valor para o rendimento foi observado na temperatura final de 550<sup>o</sup>C a 30%. (Tabela 15).

Os valores encontrados estão de acordo com os estudos realizados por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), que obtiveram resultados semelhantes quanto a influência da temperatura final de carbonização e do teor de umidade sobre o rendimento do carvão. Porém, com respeito à idade os autores não encontraram influência significativa desta sobre o rendimento do carvão.

A temperatura afetou inversamente o rendimento em carvão. Pode-se observar que o mesmo diminui a medida que a temperatura é aumentada, confirmando os resultados obtidos por ALMEIDA (1983); FARIA (1984); NUMAZAWA (1986) e MIRANDA (1989), entre outros.

### 5.2.1 Rendimento do Carvão

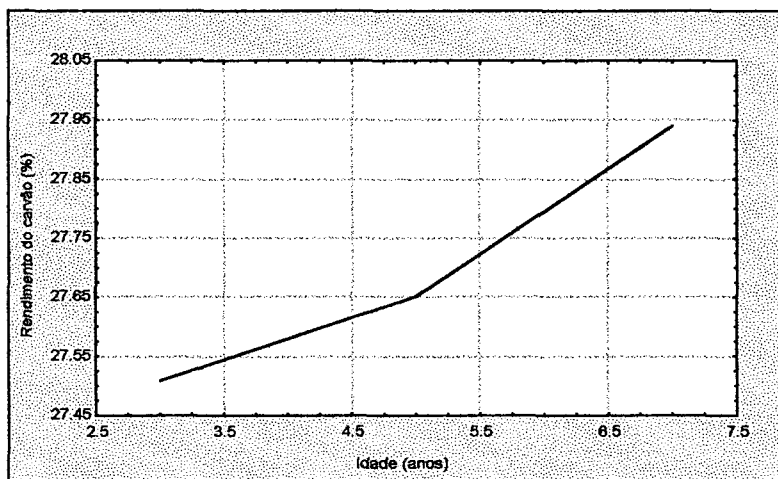
- Influência da idade no rendimento em carvão

Os valores médios obtidos para o rendimento em carvão, para as idades 3, 5 e 7 anos, foram respectivamente 27,51; 27,65 e 27,94% (Figura 16, Anexo 2), sendo que, nas idades 3 e 5, apresentaram-se estatisticamente iguais entre si, enquanto que a idade 7, foi diferente das demais. Pode-se observar através dos valores médios plotados, que há uma tendência clara de aumento no rendimento em carvão à medida que aumenta a idade. Apesar desta tendência ser bastante pronunciada, os valores são muito próximos, o que na prática inviabiliza a indicação de uma determinada idade para a produção de carvão.

Em estudos conduzidos por BRITO & BARRICHELO (1977) e OLIVEIRA *et al.* (1989), entre outros autores, estes constataram que o teor de lignina na madeira está intimamente relacionado com o rendimento gravimétrico em carvão.

ROCHADELLI (1997), em estudos sobre o teor de lignina em diferentes idades da bracatinga, concluiu que o teor desta apresenta uma tendência significativa de acréscimo com o aumento da idade.

FIGURA 16 – RENDIMENTO MÉDIO DO CARVÃO EM RELAÇÃO ÀS IDADES DE 3, 5 E 7 ANOS.



Com base nestas informações, pode-se constatar que o teor de lignina provavelmente contribuiu para o aumento do rendimento do carvão, já que existe uma correlação positiva entre o teor de lignina e a idade da árvore.

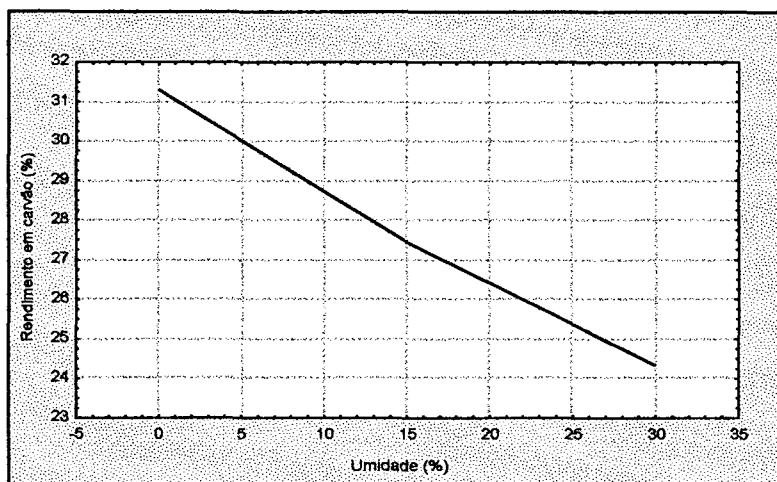
- Influência da umidade no rendimento em carvão

Os valores médios obtidos para o rendimento do carvão nos teores de umidade de 0, 15 e 30% foram respectivamente 31,30; 27,45 e 24,35% (Figura 17, Anexo 2). O teste de comparação de médias mostrou que o fator umidade apresentou-se estatisticamente diferente entre os 3 níveis testados.

Pode-se observar que há uma tendência do rendimento em carvão de diminuir com o aumento do teor de umidade da madeira. Isto comprova o efeito negativo da umidade sobre o rendimento em carvão. Segundo OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), foram observadas variações significativas nos rendimentos em carvão vegetal, na base úmida, em relação às idades 6, 8 e 10 anos. O mesmo não acontecendo em relação a madeira seca (base seca). Isto pode ser explicado devido ao fato que quando se corrige os valores para 0% de umidade é eliminado o efeito da umidade sobre o rendimento.



FIGURA 17 – RENDIMENTO DO CARVÃO DE BRACATINGA EM RELAÇÃO AOS TEORES UMIDADE DE 0, 15 E 30%.



Os resultados encontrados estão de acordo com os autores FOREST PRODUCTS LABORATORY (1961); BRIANE & DUAT (1985); VALENTE & LELLES (1979); OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), entre outros.

A umidade da madeira afeta significativamente o rendimento em carvão, causando uma diminuição do mesmo com o aumento do seu teor, pois a água contida na madeira irá fazer parte do líquido condensado, tendo como consequência um aumento deste. Na prática, quanto maior a umidade mais material lenhoso é consumido no forno para a secagem da mesma, reduzindo com isso seu rendimento em carvão.

- Influência da Temperatura no Rendimento em Carvão

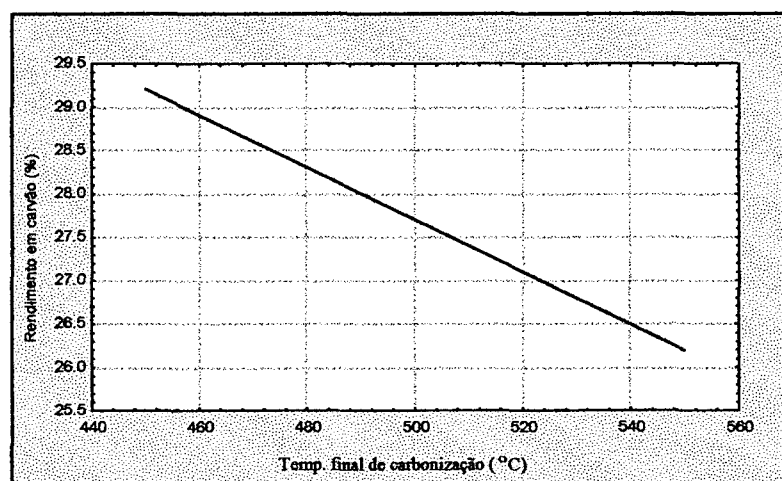
O valor médio para o rendimento do carvão nas duas temperaturas finais de carbonização (450 e 550°C) para os três teores de umidade, foram 29,21 e 26,19% respectivamente (Figura 18, Anexo 2).

Os resultados médios para o rendimento em carvão da madeira com 0% de umidade, carbonizadas a 450°C foi de 33,05%, sendo superior ao encontrado por BRITO *et al.* (1979) que encontrou 28,2% para a mesma espécie, carbonizada na mesma temperatura final. E foram praticamente os mesmos, que os encontrados por STURION & SILVA (1989), quando testaram 3 variedades de bracatinga (branca, vermelha e argentina), encontrando um valor médio de 33,3% no rendimento do carvão, numa temperatura final de carbonização de 500°C.

O teste de comparação de médias resultou estatisticamente diferente entre as duas temperaturas analisadas, havendo uma tendência de diminuição do rendimento em carvão com o aumento da temperatura final de carbonização, comprovando a existência de uma correlação negativa entre as referidas variáveis. Estes resultados estão de acordo com os de OLIVEIRA *et al.* (1982), FARIA (1984); (BRIANE & DOAT, 1985), entre outros pesquisadores que, comprovaram o mesmo efeito da temperatura sobre o rendimento do carvão.

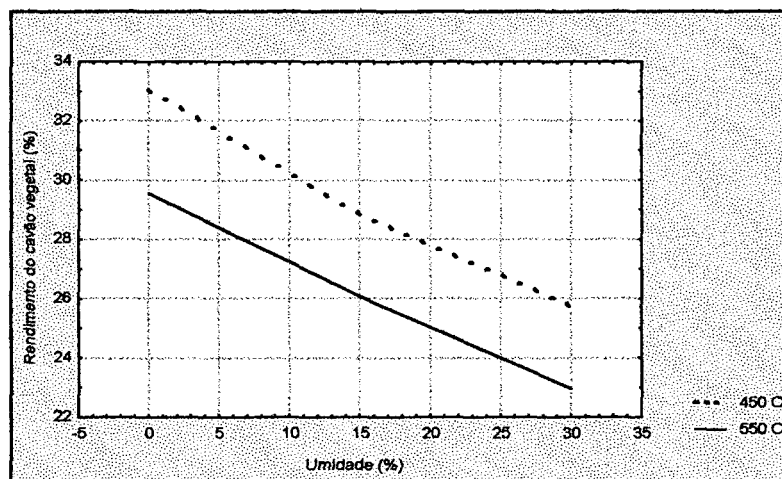
Segundo ALMEIDA (1983), um aumento da temperatura facilita a dissociação do carvão, liberando os gases nele contido, gaseificando parte de sua estrutura sólida. Quanto maior for a temperatura final de carbonização, maior será o grau de destilação da madeira, provocando uma perda de massa acentuada do material carbonizado, reduzindo seu rendimento.

FIGURA 18 – RENDIMENTO DO CARVÃO EM RELAÇÃO A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



Na Figura 19, observa-se que há uma forte interação entre os fatores temperatura final de carbonização e o teor de umidade da madeira. Onde, um aumento destes reduz significativamente o rendimento em carvão. OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), obtiveram resultados semelhantes quanto a influência da temperatura final de carbonização e do teor de umidade sobre o rendimento do carvão.

FIGURA 19 - VALORES MÉDIOS DA INTERAÇÃO ENTRE A UMIDADE E A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO SOBRE RENDIMENTO DO CARVÃO.



### 5.2.2 Rendimento do Licor Pirolenhoso

Os valores médios obtidos para o rendimento do licor pirolenhoso do material, nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 - RENDIMENTO MÉDIO DO LICOR PIROLENHOSO DAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS, COM 0, 15 E 30% DE UMIDADE, EM DUAS TEMPERATURAS DE CARBONIZAÇÃO.

Rendimento gravimétrico do Licor Pirolenhoso (%)						
Idade (anos)	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	48,67	49,58	54,46	55,30	56,94	58,82
5	47,19	48,30	54,07	54,96	58,07	59,02
7	46,14	47,22	53,31	52,37	57,70	59,36
<b>Média</b>	<b>47,33</b>	<b>49,37</b>	<b>53,95</b>	<b>54,21</b>	<b>57,57</b>	<b>59,07</b>

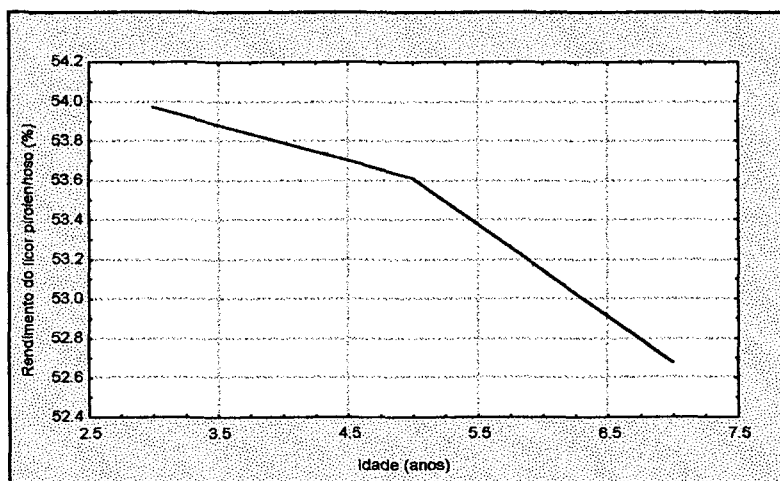
Observa-se na Tabela 16, que o rendimento do licor pirolenhoso apresenta uma tendência de aumentar com a temperatura. Em 0% de umidade o rendimento médio variou

de 47,33% a 450<sup>0</sup>C para 49,99% a 550<sup>0</sup>C. em 15% esta variação foi de 53,95% para 54,21%, respectivamente e com 30% de umidade esta variação foi de 57,57% para 59,07%.

GOMES & OLIVEIRA (1980) e FARIA (1984), pesquisando o rendimento do licor pirolenhoso, também obtiveram resultados semelhantes a estes. Outros autores no entanto, como MIRANDA (1989) e BARBOSA (1986), não encontraram esta tendência, possivelmente porque o sistema utilizado para a condensação dos gases não tenha sido apropriado. A análise estatística (Anexo 3) comprovou que os fatores influenciaram significativamente no rendimento do licor pirolenhoso.

O rendimento do licor pirolenhoso apresentou uma tendência de redução com aumento da idade (Figura 20), sendo que, os valores médios nas idades de 3 e 5 anos apresentaram-se iguais estatisticamente e a idade de 7 anos foi diferente das demais. Este fato se deve provavelmente pelo aumento do teor de lignina ao longo da idade, detectada por ROCHADELLI (1997). A lignina em maior quantidade na madeira, torna mais difícil a sua degradação na carbonização.

FIGURA 20 – RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO DA BRACATINGA EM RELAÇÃO AS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.



Para o fator umidade, à medida que este aumentou na madeira, o rendimento do licor pirolenhoso cresceu significativamente, estando este resultado em consonância com os encontrados por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), pois a água contida na madeira, após o processo de carbonização, passou a fazer parte do líquido condensado, tendo como consequência um aumento deste (Tabela 17).

TABELA 17 – RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO EM RELAÇÃO A UMIDADE.

<b>Rendimento do Licor Pirolenhoso (%)</b>		
0% de umidade	15% de umidade	30% de umidade
47,849	54,079	58,322

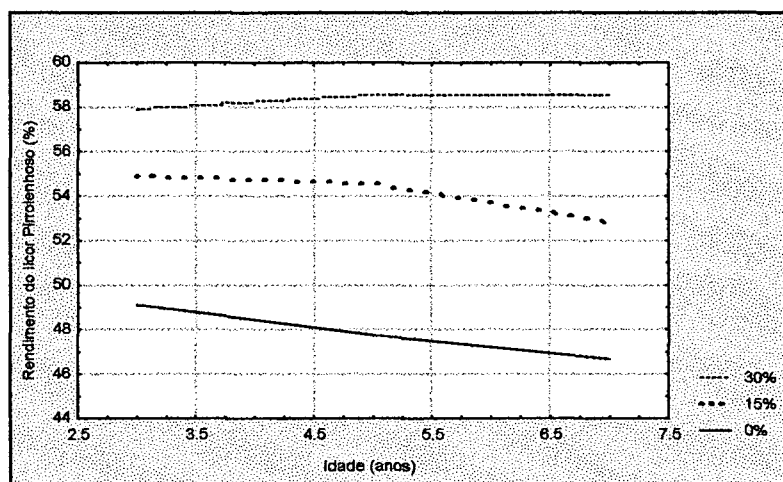
Na Tabela 18 observa-se que os valores médios dos rendimentos do licor pirolenhoso para as temperaturas finais de carbonização mostram-se diferentes, indo de encontro com estudos realizados por OLIVEIRA *et al.* (1982), em que, aumentos na temperatura final de carbonização, geralmente, aumentam os rendimentos de líquido e gás, com conseqüente diminuição no rendimento em carvão. Apesar destes valores serem diferentes estatisticamente, eles estão muito próximos, não sendo uma referência prática.

TABELA 18 - RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO DE MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3,5 E 7 ANOS.

<b>Rendimento do Licor Pirolenhoso (%)</b>	
450°C	550°C
52,952	53,882

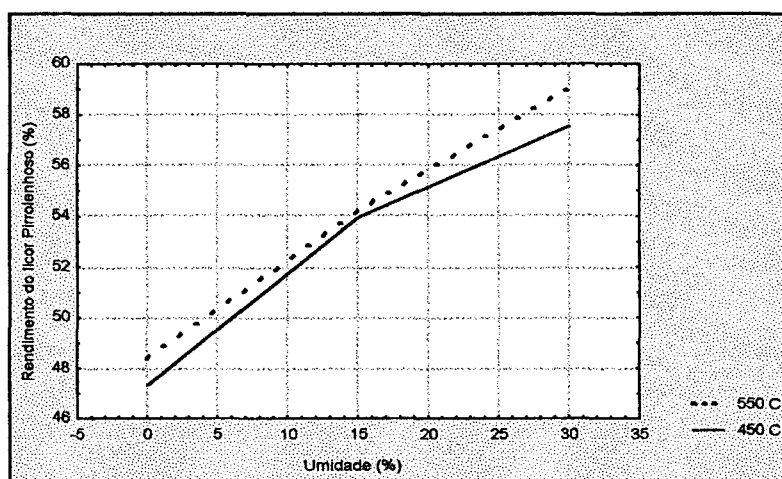
Na Figura 21, observa-se que a interação dos fatores idade/umidade afetam o rendimento do licor pirolenhoso, mostrando uma tendência de diminuição do mesmo em maiores idades no seu respectivo teor de umidade. No teor de 30% de umidade os valores não apresentam a mesma tendência, mantendo-se praticamente constantes nas diferentes idades.

FIGURA 21 – RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO DO CARVÃO DE BRACATINGA EM RELAÇÃO AS IDADES E À UMIDADE DA MADEIRA.



Finalmente, a interação significativa ocorrida entre a umidade/temperatura mostrou que os dois fatores apresentam uma forte influência no rendimento do licor pirolenhoso (Figura 22), havendo uma tendência de aumento do mesmo com a elevação da temperatura e da umidade, estando de acordo com estudos de OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), os quais obtiveram resultados semelhantes para o efeito da umidade e da temperatura sobre o rendimento do licor pirolenhoso.

FIGURA 22 – RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO EM RELAÇÃO A UMIDADE DA MADEIRA E TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



### 5.2.3 Rendimento dos Gases Não Condensáveis

Os resultados médios obtidos para o rendimento dos gases não condensáveis do material nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 19.

**TABELA 19 - RENDIMENTO MÉDIO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS, OBTIDOS NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES 3, 5, E 7 ANOS, COM 0, 15 E 30% DE UMIDADE, EM DUAS TEMPERATURAS FINAIS DE CARBONIZAÇÃO.**

Rendimento dos gases não condensáveis (%)						
Idade (anos)	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	18,63	21,21	16,70	18,68	17,53	18,40
5	19,88	22,07	17,23	19,21	16,10	17,99
7	20,33	22,97	17,72	21,25	16,47	17,55
<b>Média</b>	<b>19,61</b>	<b>22,08</b>	<b>17,22</b>	<b>19,71</b>	<b>16,70</b>	<b>17,98</b>

De acordo com a Tabela 19, o rendimento médio dos gases não condensáveis apresenta uma tendência de acréscimo com a elevação da temperatura de carbonização. A 0% de umidade o rendimento médio aumentou de 19,61% a 450°C para 22,08% a 550°C. Em 15% de umidade a variação foi de 17,22% para 19,71% respectivamente, e a 30% de umidade foi de 16,70% para 17,98%.

A umidade da madeira afetou o rendimento médio dos gases não condensáveis de maneira inversa, onde o valor médio máximo encontrado foi de 22,08% para 0% de umidade a 550°C e o valor médio mínimo foi de 16,70% para 30% de umidade a 450°C.

Considerando o fator temperatura final de carbonização, o rendimento de gases não condensáveis, aumentou significativamente com aumento temperatura final de carbonização (Tabela 20). A mesma tendência foi encontrada por BARBOSA (1986), MIRANDA (1989), OLIVEIRA *et al.* (1982), entre outros. Isto ocorre porque elevadas temperaturas provocam a expulsão de grandes quantidades de voláteis pelo material carbonizado, gerando maior rendimento dos gases não condensáveis.

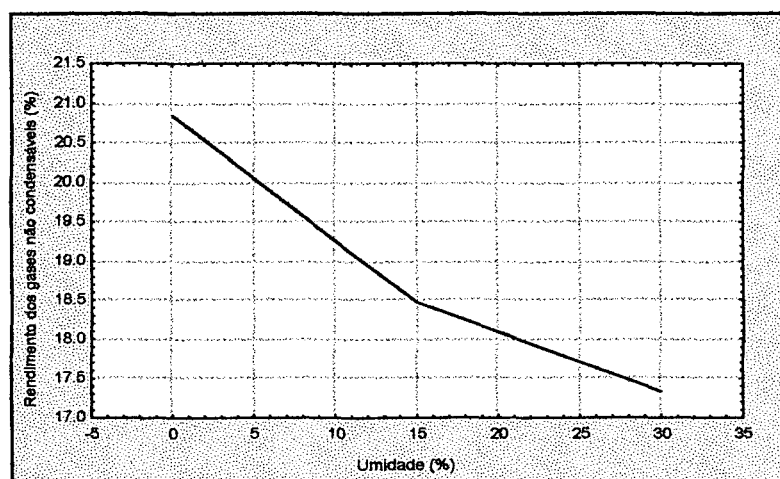
TABELA – 20 RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS NAS TEMPERATURAS FINAIS DE CARBONIZAÇÃO.

Rendimento dos Gases Não Condensáveis (%)	
450°C	550°C
17,841	19,9925

O rendimento dos gases não condensáveis nas idades 3 e 5 anos foram estatisticamente iguais e a idade 7 foi diferente das demais, mostrando que, quanto maior a idade maior o rendimento de gases não condensáveis. No entanto em estudos realizados por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), não foi detectada a influência deste fator sobre o rendimento. Apesar dos resultados apresentarem diferenças significativas entre as idades com relação ao rendimento dos gases não condensáveis, os resultados podem ser considerados iguais, por serem muito próximos.

O fator umidade influenciou inversamente e significativamente no rendimento dos gases não condensáveis. (Figura 23), isto é, com o aumento do teor de umidade ocorreu uma redução do mesmo, sendo esta tendência observada por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982). Isto se deve ao fato de que a água da madeira faz parte do licor, aumentando a sua porcentagem e conseqüentemente diminuindo as outras porcentagens (carvão e gases não condensáveis).

FIGURA 23 – RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS EM RELAÇÃO A UMIDADE.





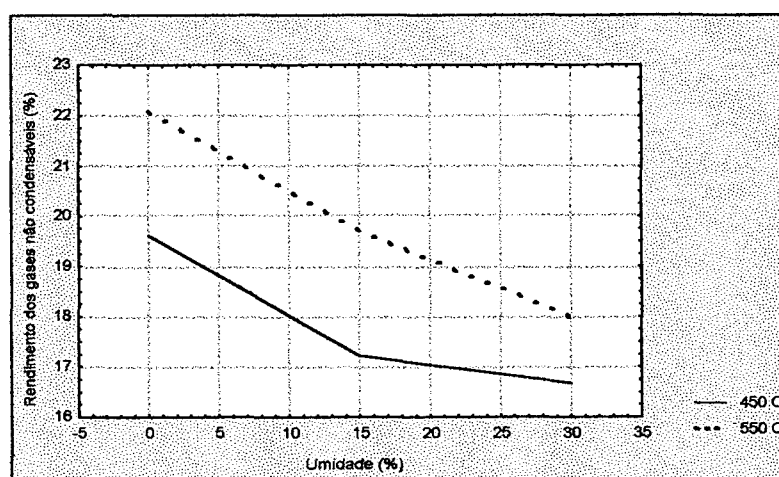
Na interação idade/umidade, o fator idade, afetou de maneira crescente o rendimento dos gases não condensáveis (Tabela 21). Nos teores de umidade de 0 e 15%, com o aumento da idade, mostrando que o fator idade influenciou provavelmente com maior intensidade. No teor de umidade de 30% ocorreu o contrário, ou seja, o rendimento dos gases não condensáveis diminuiu com o aumento da idade. Com respeito a umidade, os valores demonstram uma tendência de diminuir o rendimento dos gases não condensáveis nas idades 5 e 7 anos nos diferentes teores de umidade. Na idade 3 anos não houve uma tendência clara.

TABELA 21 – RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS EM RELAÇÃO À IDADE E A UMIDADE DE CARBONIZAÇÃO.

Idade (anos)	Rendimento dos Gases Não Condensáveis (%)		
	Umidade 0%	Umidade 15%	Umidade 30%
3	19,924	17,690	17,963
5	20,975	18,225	17,044
7	21,649	19,488	16,989

Na interação umidade/temperatura, observa-se na Figura 24, que o rendimento dos gases não condensáveis diminuiu com o aumento do teor de umidade da madeira, para as duas temperaturas. Sendo que na temperatura de 550<sup>0</sup>C o rendimento de gás é maior. Isto pode ser explicado pela maior liberação dos voláteis na carbonização.

FIGURA 24 – RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS EM RELAÇÃO A UMIDADE E A TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO.



### 5.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CARVÃO VEGETAL

#### 5.3.1 Densidade Aparente do Carvão

Os valores médios obtidos para a densidade aparente do carvão nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 22.

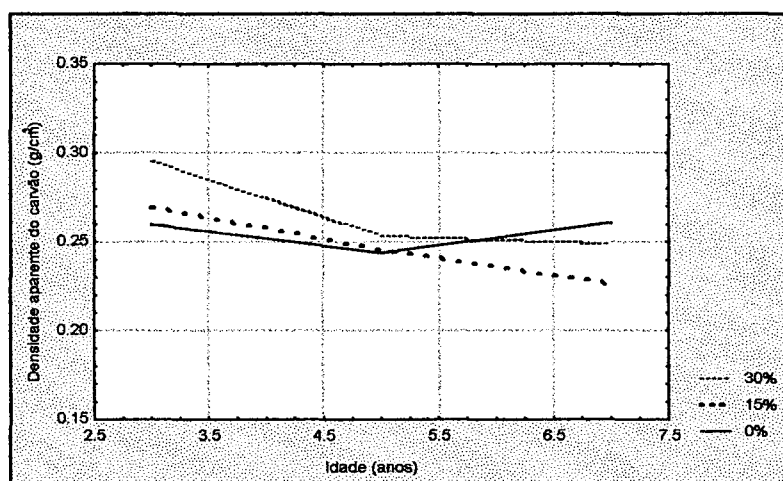
TABELA 22 – DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADE DE 3, 5, E 7 ANOS.

Densidade aparente do carvão (g/cm <sup>3</sup> )						
Idade (anos)	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	0,265	0,254	0,274	0,264	0,277	0,314
5	0,243	0,245	0,245	0,245	0,233	0,276
7	0,261	0,260	0,263	0,257	0,261	0,238
<b>Média</b>	<b>0,256</b>	<b>0,253</b>	<b>0,261</b>	<b>0,255</b>	<b>0,257</b>	<b>0,276</b>

Pode-se observar na Tabela 22, que não houve nenhuma tendência marcante na variação da densidade aparente do carvão nos três diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas de carbonização para as idades estudadas. Tais valores apresentam suas médias oscilando de 0,253 g/cm<sup>3</sup> a 0,276 g/cm<sup>3</sup>, o que comprova a baixa variação. OLIVEIRA *et al.* (1989), determinou a densidade aparente do *Eucalyptus grandis*, encontrando valores a partir de 0,24 até 0,36 (g/cm<sup>3</sup>). Pode-se constatar nos resultados obtidos, que a densidade aparente na bracatinga apresenta valores semelhantes aos encontrados para o *Eucalyptus grandis*.

Estes resultados estão de acordo com estudos realizados por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), os quais concluíram que a densidade aparente não sofre influência da idade, da umidade e da temperatura final de carbonização. Com relação a idade, pode-se observar na Figura 25, que a distribuição da densidade aparente do carvão não sofre praticamente influência da umidade da madeira.

FIGURA 25 – INFLUÊNCIA DA UMIDADE E DA IDADE NA DENSIDADE APARENTE.



Não ficou comprovado neste estudo, o efeito que a temperatura impõe sobre a densidade aparente do carvão. Vários autores encontraram este efeito, sendo ele negativo com acréscimo da temperatura. COUTINHO (1984), comprovou estatisticamente que a densidade do carvão vegetal decresce de forma linear com aumento da temperatura final de carbonização na faixa de 400 a 1000<sup>0</sup>C.

MIRANDA (1989), analisando a densidade aparente do carvão, também constatou a influência da temperatura, não apresentando-se de forma linear como anteriormente citado, mas ocorrendo um decréscimo da densidade aparente até 550<sup>0</sup>C e voltando a subir até 750<sup>0</sup>C, estando estes valores de acordo com BARBOSA (1986) e OLIVEIRA *et al.* (1982) e VALENTE *et al.* (1993).

Contudo em estudos realizados por BAILEYS & BLANKENHORN (1982), trabalhando com temperaturas menores, partindo de 100 até 500<sup>0</sup>C, concluiu-se que a densidade aparente não apresenta nenhuma tendência clara para as 4 espécies estudadas com a elevação da temperatura

De acordo com os resultados apresentados, pode-se dizer que não houve influência da temperatura na densidade aparente do carvão, provavelmente em função da faixa de temperatura utilizada.

### 5.3.2 Densidade Verdadeira do Carvão

Os resultados médios obtidos para a densidade verdadeira do carvão nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 – DENSIDADE VERDADEIRA DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADE DE 3, 5, E 7 ANOS.

Idade (anos)	Densidade Verdadeira (g/cm <sup>3</sup> )					
	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	1,422	1,419	1,427	1,467	1,429	1,455
5	1,455	1,487	1,442	1,436	1,450	1,444
7	1,461	1,503	1,459	1,468	1,472	1,473
<b>Média</b>	<b>1,446</b>	<b>1,470</b>	<b>1,443</b>	<b>1,457</b>	<b>1,450</b>	<b>1,457</b>

A densidade verdadeira do carvão de bracatinga variou sua média mínima de 1,443g/cm<sup>3</sup> até o valor médio máximo de 1,470 g/cm<sup>3</sup>. OLIVEIRA *et al.* (1978), determinaram a densidade verdadeira do *Eucalyptus grandis*, encontrando valores a partir de 1,26 até 1,36 g/cm<sup>3</sup>, sendo estes valores semelhantes aos encontrados nestes estudo.

De acordo com a Tabela 23, observa-se que a densidade verdadeira do carvão não apresentou variação definida em função da temperatura de carbonização e da umidade da madeira. BLANKENHORN *et al.* (1978), concluíram que os valores da densidade verdadeira não apresentam uma tendência clara de aumentar com a elevação da temperatura e BAILEYS & BLANKENHORN (1982), trabalhando com temperaturas menores, partindo de 100 até 500°C, concluíram que a densidade verdadeira também não aumenta com a temperatura. Somente o fator idade apresentou uma tendência de acréscimo da densidade verdadeira do carvão com o seu aumento variando de um valor mínimo de 1,419g/cm<sup>3</sup> para a idade de 3 anos até um valor máximo de 1,503g/cm<sup>3</sup> para a idade de 7 anos (Tabela 23).

OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), concluíram que a densidade verdadeira não foi influenciada significativamente pela idade, umidade e temperatura final de carbonização.

### 5.3.3 Porosidade do carvão

Os resultados médios obtidos para a porosidade do carvão nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 24.

**TABELA 24 - POROSIDADE DO CARVÃO, DAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.**

Porosidade do Carvão (%)						
Idade (anos)	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	81,334	82,062	80,626	81,959	80,551	78,236
5	83,295	83,517	83,016	82,891	83,913	80,876
7	82,165	82,670	81,921	82,477	82,247	83,807
<b>Média</b>	<b>82,265</b>	<b>82,750</b>	<b>81,854</b>	<b>82,442</b>	<b>82,237</b>	<b>80,973</b>

Na Tabela 24, pode-se observar que os valores médios mínimos e máximos encontrados para a porosidade do carvão de bracatinga variaram de 80,973% a 82,750% respectivamente. OLIVEIRA *et al.* (1989) determinaram a porosidade do carvão de *Eucalyptus grandis*, encontrando valores a partir de 71,57 até 83,21 (%), portanto os valores da bracatinga, aqui observados estão próximos aos do *E. grandis*. Como a porosidade do carvão é uma relação entre a sua densidade aparente e a sua densidade verdadeira, conseqüentemente esta também não apresentou variações significativas entre os valores médios observados nos diferentes fatores.

## 5.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO CARVÃO

### 5.4.1 Teor de Voláteis no Carvão

Os valores médios obtidos para os teores de materiais voláteis para as três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 25.

**TABELA 25 – TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.**

<b>Teor de Voláteis (%)</b>						
<b>Idade (anos)</b>	<b>0 % umidade</b>		<b>15% de umidade</b>		<b>30 % de umidade</b>	
	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>
<b>3</b>	23,54	15,63	24,63	13,36	23,84	15,18
<b>5</b>	24,15	14,92	26,78	13,80	23,77	13,85
<b>7</b>	24,09	15,12	23,29	15,27	24,37	14,48
<b>Média</b>	<b>23,93</b>	<b>15,22</b>	<b>24,90</b>	<b>14,14</b>	<b>23,99</b>	<b>14,50</b>

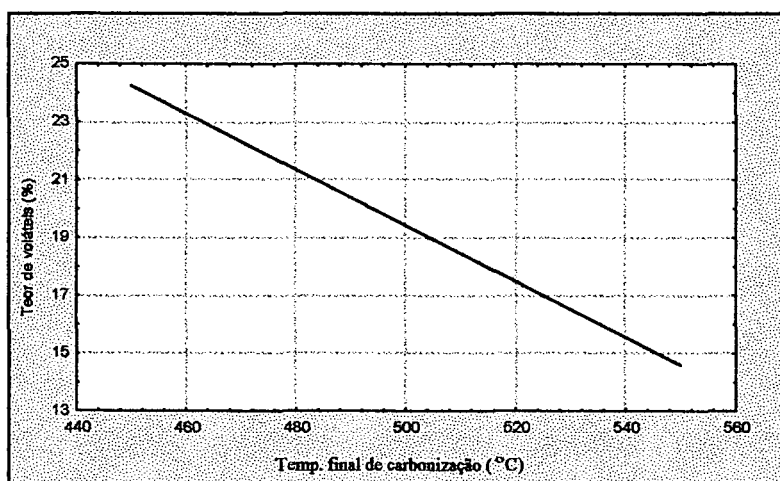
De acordo com a Tabela 25, pode-se observar que o teor de voláteis para o carvão de bracatinga variou de 13,36% para 26,78%, não apresentando uma tendência clara em relação aos fatores umidade e idade. Em estudos sobre a influência da idade, umidade e temperatura final de carbonização, sobre a análise química imediata do carvão (voláteis, cinza e carbono fixo), realizados por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), os autores não encontraram influência da umidade e da idade sobre o teor de materiais voláteis.

A temperatura final de carbonização afetou de forma significativa o teor de materiais voláteis. Na umidade de 0% o teor médio voláteis foi de 23,93% para a temperatura de 450°C, caindo vertiginosamente para 15,22% na temperatura de 550°C. O mesmo aconteceu para os teores de umidade de 15%, com uma variação de 24,90% (450°C) a 14,14% (550°C) e a 30%, variando de 23,99% (450°C) a 14,50% (550°C). Na Figura 26, é demonstrado claramente a tendência do decréscimo no teor de materiais voláteis do carvão

com o aumento da temperatura final de carbonização. Em estudo realizado por BRITO *et al.* (1979), com a bracatinga, carbonizada a 450<sup>o</sup>C, foram observados valores médios para o teor de materiais voláteis de 23,0%, próximos aos encontrados neste trabalho, enquanto que para o *Eucalyptus grandis* os autores encontraram um valor médio de 27,3%.

Em função das considerações anteriores, pode-se afirmar que a temperatura final de carbonização foi o principal fator, causando sobre os outros fatores um domínio facilmente observado através do que foi discutido até o momento. Este fator causou uma interação significativa entre os 3 fatores estudados (idade/umidade/temperatura).

FIGURA 26 – TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS EM RELAÇÃO À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



A tendência encontrada vem de encontro as pesquisas de WENZL (1970), BARBOSA (1986), OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), ALMEIDA (1983), FARIA (1984), NUMAZAWA (1986), MIRANDA (1989), OLIVEIRA (1989), VALENTE *et al.* (1993), entre outros, onde todos os autores concordaram que, proporcionando um aumento da temperatura ocorre um decréscimo no teor de voláteis, porque tais materiais são expulsos do interior do carvão durante a carbonização, diminuindo o seu teor no produto final.

#### 5.4.2 Teor de Cinza no Carvão

Os valores médios obtidos para o teor de cinza no carvão para as três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 26.

TABELA 26 – CINZA DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.

Idade (anos)	Teor de Cinza (%)					
	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	1,13	0,93	0,73	0,99	1,08	0,85
5	1,43	1,24	1,30	1,49	1,41	1,43
7	1,28	1,34	1,12	1,28	1,51	1,42
<b>Média</b>	<b>1,28</b>	<b>1,17</b>	<b>1,05</b>	<b>1,25</b>	<b>1,33</b>	<b>1,23</b>

Com relação a Tabela 26, verifica-se que os valores médios obtidos para o teor de cinza do carvão de bracatinga variaram de 1,05% a 1,33%. O teor de cinza médio encontrado no carvão de bracatinga produzido por BRITO *et al.* (1979), carbonizado a 450°C, foi de 1,9%. O mesmo resultado foi também encontrado por PEREIRA & LAVORANTI (1986), sendo que estes valores apresentaram-se superiores aos valores médios encontrados neste trabalho.

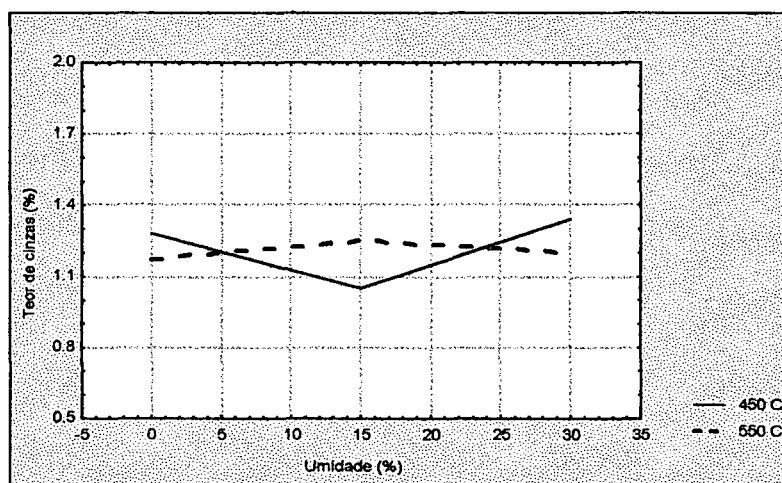
A média dos valores do teor de cinza no carvão, apresentados na Figura 27, com respeito à interação umidade/temperatura, não apresentaram nenhuma tendência em relação umidade ou a temperatura final de carbonização. O teste de comparação de médias (Anexo 13), mostrou que não houve diferenças significativas na maioria das comparações, não havendo portanto uma influência marcante destes fatores, quando analisados em conjunto, sobre o teor de cinza no carvão. Porém o fator idade mostrou uma pequena redução no teor de cinza para a idade de 3 anos.

Em estudos conduzidos por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), o teor de cinza não sofreu nenhuma influência em relação aos fatores idade, umidade e temperatura. ALMEIDA (1983), estudando o efeito da temperatura sobre as propriedades dos produtos da



carbonização não encontrou influência sobre o teor de cinza, o mesmo acontecendo com NUMAZAWA (1986), estudando 3 espécies da Amazônia.

FIGURA 27 – INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA NO TEOR DE CINZA DO CARVÃO.



#### 5.4.3 Teor de Carbono Fixo do Carvão

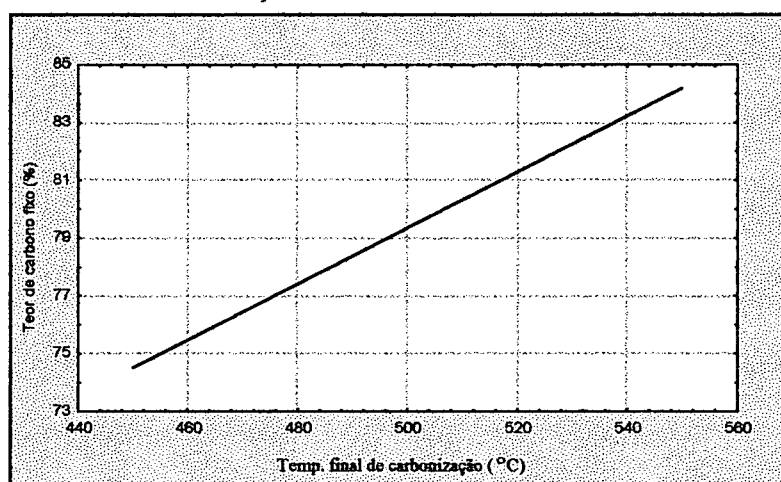
Os valores médios obtidos para o carbono fixo do carvão para as três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização, são apresentados na Tabela 27.

TABELA 27 – CARBONO FIXO DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.

Idade (anos)	Teor de Carbono Fixo (%)					
	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	75,33	83,44	74,64	85,65	75,09	83,97
5	74,42	83,84	71,92	84,70	74,82	84,73
7	74,63	83,54	75,59	83,45	74,12	84,11
Média	74,79	83,61	74,05	84,60	74,68	84,27

Em relação ao teor de carbono fixo, observou-se que os fatores idade e umidade não afetaram significativamente no mesmo. O principal fator que influenciou no teor de carbono fixo foi a temperatura, apresentando valores médios que variaram de 74,79% para 450<sup>0</sup>C a 83,61% para 550<sup>0</sup>C na umidade de 0%. Em 15% de umidade, os valores médios variaram de 74,05% (450<sup>0</sup>C) a 84,60% (550<sup>0</sup>C) e em 30%, a variação foi de 74,68% (450<sup>0</sup>C) a 84,27% (550<sup>0</sup>C). Em estudo realizados por BRITO *et al.* (1979), com bracatinga, carbonizada a 450<sup>0</sup>C, foram encontrados valores médios para o teor de carbono fixo de 75,1%, próximos aos encontrados neste trabalho, quando comparados na mesma temperatura final de carbonização. A Figura 28, mostra esta marcante influência da temperatura final de carbonização sobre o teor de carbono fixo do carvão.

FIGURA 28 – TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO EM RELAÇÃO A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



STURION & SILVA (1989), estudando a caracterização da madeira de bracatinga, realizando carbonizações a 500<sup>0</sup>C encontraram valores médios de carbono fixo de 85,0% , o mesmo acontecendo com PEREIRA & LAVORANTI (1986), que pesquisando 3 procedências de bracatinga, na mesma temperatura de carbonização, encontraram uma média para o teor de carbono fixo de 85,4%, da mesma forma próximos aos aqui encontrados.

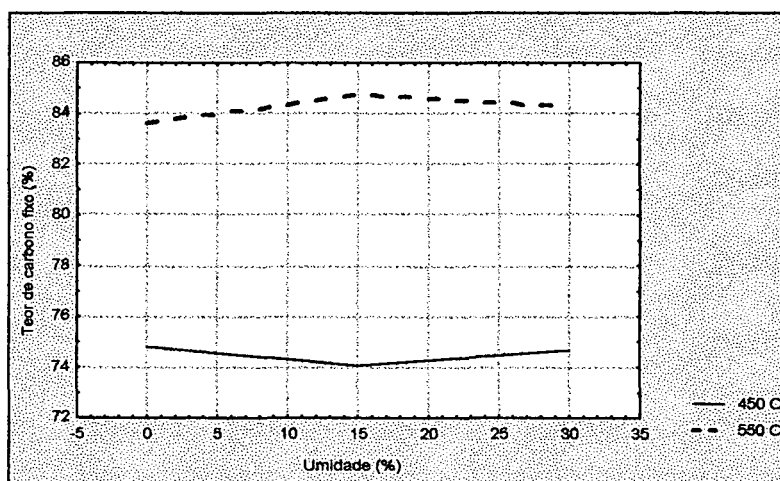
A mesma tendência foi encontrada anteriormente em trabalhos semelhantes conduzidos por COUTINHO (1984), OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982),

ALMEIDA (1983), FARIA (1984), NUMAZAWA (1986), MIRANDA (1989), OLIVEIRA (1989), VALENTE *et al.* (1993), entre outros.

Segundo a literatura acima citada, este fato se deve pela liberação de componentes gasosos, a partir da madeira durante a carbonização, sendo estes compostos formados basicamente por monóxido e dióxido de carbono e hidrocarbonetos, resultando em maior teor de carbono no produto final.

A Figura 29, apresenta os valores médios do teor de carbono fixo para as duas temperaturas de carbonização em relação ao aumento do teor de umidade. Pode-se observar que a influência da umidade foi bem menos acentuada que a da temperatura. Portanto em termos de carbono fixo o teor de umidade até 30%, praticamente não proporciona alterações no seu valor.

FIGURA 29 – TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO EM RELAÇÃO A UMIDADE E À TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



Um alto teor de carbono fixo é muito importante para a indústria siderúrgica, pois quanto maior o seu teor, maior será a quantidade de minério de ferro reduzida em alto forno na produção de aço, para uma mesma quantidade de carvão produzida em temperaturas diferentes e que apresentem a mesma densidade. Ao comparar neste trabalho o teor de carbono fixo obtido para as duas temperaturas pode-se dizer que a temperatura de 550°C é mais indicada para produção de aço, do que o carvão produzido em 450°C, por apresentar um aumento significativo no teor de carbono fixo.

## 5.5 RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO

Na tabela 28, pode-se observar os valores médios do rendimento em carbono fixo do carvão nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização.

**TABELA 28 – VALORES MÉDIOS DO RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA, NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.**

<b>Rendimento em Carbono Fixo no carvão (%)</b>						
<b>Idade (anos)</b>	<b>0 % umidade</b>		<b>15% de umidade</b>		<b>30 % de umidade</b>	
	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>
<b>3</b>	24,62	24,37	24,20	25,12	24,44	24,44
<b>5</b>	24,51	24,85	23,36	24,62	24,58	24,43
<b>7</b>	25,02	24,91	24,77	24,90	24,50	24,38
<b>Média</b>	<b>24,72</b>	<b>24,71</b>	<b>24,11</b>	<b>24,88</b>	<b>24,51</b>	<b>24,42</b>

Os valores médios da Tabela 28, para o rendimento em carbono fixo variaram entre 24,11% e 24,72%. Pode-se observar que os valores não estão apresentando praticamente nenhuma influência pelos fatores analisados, estando próximos aos encontrados por COUTINHO (1984), que determinou o rendimento em carbono fixo para o *Eucalyptus saligna* de 24,79%. PEREIRA & LAVORANTI e STURION & SILVA (1989), estudando a bracatinga, encontraram valores para o rendimento em carbono fixo em torno de 28,0%. Já BRITO *et al.* (1979) encontraram valores médios de 21,18%. Os resultados apresentam uma grande variação, quando comparados com os encontrados neste estudo. Porém, OLIVEIRA *et al.* (1989), pesquisando o *Eucalyptus grandis* encontraram valores médios de 25,14%, que estão muito próximos aos aqui encontrados.

Estes resultados estão de acordo com os estudos conduzidos por OLIVEIRA, GOMES & ALMEIDA (1982), quando não detectada influência significativa de diferentes

idades no rendimento em carbono fixo do carvão de três espécies (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus alba*), nas idades de 6, 8 e 10 anos.

OLIVEIRA *et al.* (1982), não encontraram nenhuma influência da temperatura final de carbonização sobre o rendimento de carbono fixo, justificando que o rendimento gravimétrico do carvão decresce proporcionalmente ao crescimento do teor de carbono fixo do mesmo. GOMES & OLIVEIRA (1980), chegaram a sugerir que o rendimento em carbono fixo é independente da temperatura final de carbonização.

## 5.6 PODER CALORÍFICO DO CARVÃO DA BRACATINGA

### 5.6.1 Poder Calorífico Superior do Carvão

Na Tabela 29, pode-se observar os valores médios do poder calorífico superior do carvão nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização.

TABELA 29 – VALORES MÉDIOS DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.

Poder Calorífico Superior do Carvão (kcal/kg)						
Idade (anos)	0 % umidade		15% de umidade		30 % de umidade	
	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C	450 °C	550 °C
3	7188,39	7946,71	7371,65	7627,55	7036,63	7539,34
5	7194,54	7757,28	7344,75	7934,92	7085,37	7522,92
7	7220,92	7832,42	7467,48	7820,71	6845,82	7427,11
<b>Média</b>	<b>7201,28</b>	<b>7845,47</b>	<b>7394,63</b>	<b>7794,39</b>	<b>6989,27</b>	<b>7496,46</b>

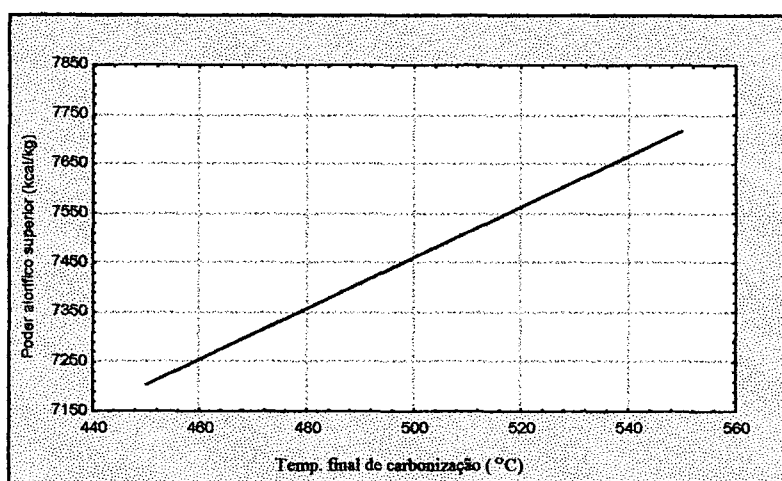
Na Tabela 29, observa-se que os valores para o poder calorífico superior do carvão de bracatinga variaram de 6989,27 kcal/kg a 7845,47 kcal/kg. Os valores médios

apresentados na mesma tabela, mostram que o poder calorífico é muito influenciado pela temperatura de carbonização e pela umidade da madeira.

Em estudos realizados por STURION e SILVA (1989), sobre a caracterização da madeira de bracinga para energia, determinaram um poder calorífico superior de 7434 kcal/kg, para uma temperatura final de carbonização de 500°C, estando este valor próximo ao encontrado neste estudo.

Os valores médios do poder calorífico superior estão representados na Figura 30. A tendência aqui encontrada em relação ao efeito da temperatura esta de acordo com os estudos realizados por PETROFF & DOAT (1978), BARBOSA (1986), FARIA (1984), NUMAZAWA (1986), VALENTE *et al.* (1993), COUTINHO (1984), entre outros. Segundo os autores o efeito da temperatura sobre o poder calorífico superior, na faixa de 400 a 700°C apresenta uma tendência acentuada de acréscimo, mantendo-se constante em temperaturas mais elevadas. Segundo os autores, este acréscimo acentuado se deve ao fato do carvão na faixa de 400 a 700°C apresentar os materiais voláteis na amostras, enquanto que nas temperaturas mais elevadas isso não ocorre, pela perda dos mesmos.

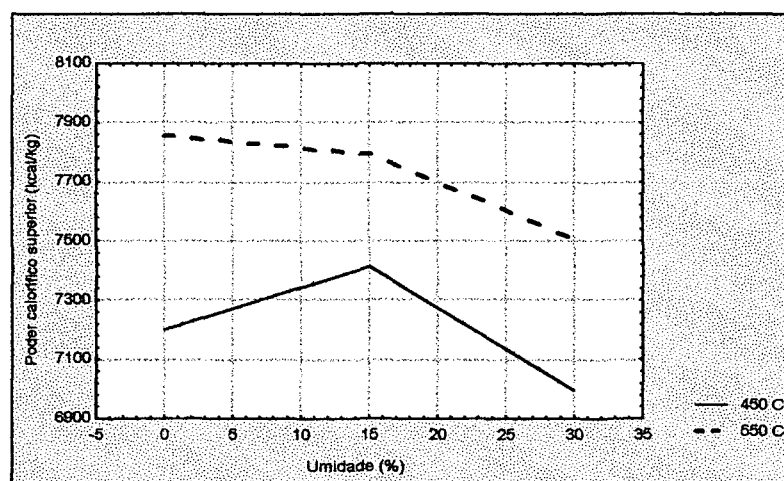
FIGURA 30 – PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO DA BRACATINGA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



O poder calorífico além de ser influenciado pelo teor de materiais voláteis, segundo a literatura, provavelmente sofre também influência do teor de carbono fixo, já que foi constatado que com o aumento da temperatura, ocorre um aumento significativo do mesmo.

Pode-se observar na Figura 31, a influência da umidade e da temperatura de carbonização no poder calorífico superior. Os valores médios plotados na figura, apresentam na temperatura de 550<sup>o</sup>C, uma redução do poder calorífico a medida que aumenta o teor de umidade, esta tendência não é observada na temperatura de 450<sup>o</sup>C, mas pode-se observar que os resultados obtidos para 30% de umidade são menores que os obtidos a 0%.

FIGURA 31 – PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO EM RELAÇÃO A UMIDADE E A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



Provavelmente a umidade contribua para a retirada dos voláteis, normalmente presentes no carvão, quando produzido em temperaturas inferiores a 600<sup>o</sup>C ou talvez a composição química do carvão produzido, seja afetada de alguma maneira pela umidade da madeira. Segundo NUMAZAWA (1986), o poder calorífico do carvão esta em função direta de sua composição química.

### 5.6.2 Poder Calorífico Inferior do Carvão

Segundo KOLLMANN (1959), em todos os processos técnicos somente interessa o poder calorífico inferior, porque o calor de condensação do vapor d'água contida nos gases de combustão não são utilizáveis. Em combustíveis com composição conhecida se pode deduzir um poder calorífico a partir do outro.

Em função destas afirmações, são apresentados os valores médios do poder calorífico inferior, calculados a partir da metodologia adotada por FARINHAQUE (1981), e utilizando o valor do teor de hidrogênio elementar para carvão vegetal, citado por MARCOS (1997), para as respectivas temperaturas finais de carbonização utilizadas neste trabalho.

Na Tabela 30, pode-se observar os valores médios do poder calorífico inferior do carvão nas três idades, nos diferentes teores de umidade e nas duas temperaturas finais de carbonização.

**TABELA 30 – VALORES MÉDIOS DO PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO, OBTIDO NAS CARBONIZAÇÕES DA MADEIRA DE BRACATINGA NAS IDADES DE 3, 5, E 7 ANOS.**

<b>Poder Calorífico Inferior do carvão (kcal/kg)</b>						
<b>Idade (anos)</b>	<b>0 % umidade</b>		<b>15% de umidade</b>		<b>30 % de umidade</b>	
	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>	<b>450 °C</b>	<b>550 °C</b>
<b>3</b>	6746,11	7492,34	6835,96	7179,38	6508,22	6903,47
<b>5</b>	6835,93	7276,11	6814,58	7443,11	6574,34	6970,56
<b>7</b>	6745,61	7350,33	6948,03	7322,43	6338,66	6951,34
<b>Média</b>	<b>6775,88</b>	<b>7372,93</b>	<b>6866,19</b>	<b>7314,97</b>	<b>6473,74</b>	<b>6941,79</b>

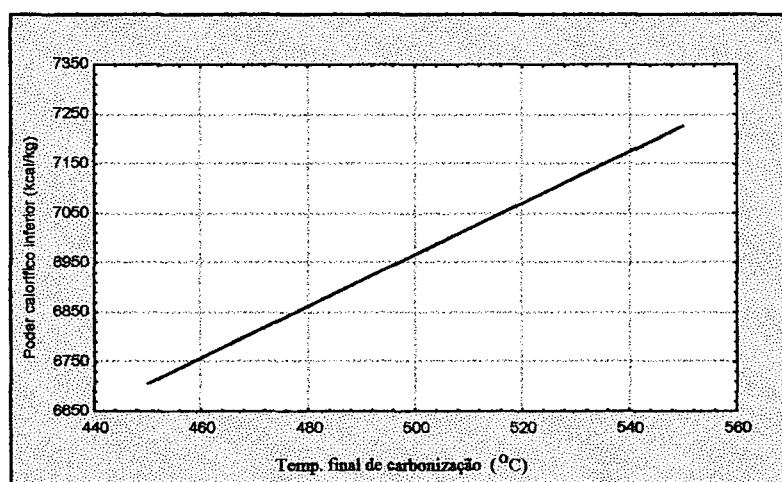
Os valores apresentados na Tabela 30, para o poder calorífico inferior do carvão a partir da madeira de bracatinga variaram de 6473,74 a 7372,27 kcal/kg.

Da mesma maneira como ocorreu no poder calorífico superior, somente os fatores temperatura de carbonização e umidade influíram de maneira significativa no poder calorífico inferior, sendo que, a temperatura de carbonização foi o fator que mais afetou.

Na Figura 32, observa-se que existe uma influência direta entre a temperatura final de carbonização e o poder calorífico inferior do carvão, ficando comprovado que o efeito da temperatura foi altamente significativo sobre esta variável.



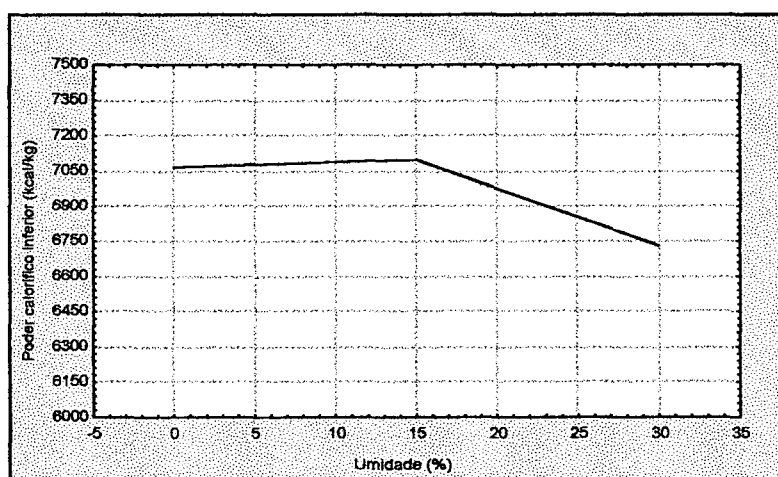
FIGURA 32 – PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO DE BRACATINGA EM RELAÇÃO A TEMPERATURA FINAL DE CARBONIZAÇÃO.



O efeito direto da temperatura final de carbonização sobre o poder calorífico inferior do carvão está de acordo com os resultados encontrados por MENDES *et al.* (1986), os quais obtiveram o poder calorífico inferior através da análise química elementar. Os resultados apresentados mostram uma tendência de aumento do poder calorífico inferior com a elevação da temperatura de carbonização. Ainda segundo MENDES *et al.* (1986), na prática é preferível utilizar o poder calorífico inferior, visto que o poder calorífico superior inclui o calor da água, da umidade do ar e da água gerada na combustão.

Com respeito ao fator umidade, pode-se observar na Figura 33, que no teor de 30% de umidade o valor médio do poder calorífico inferior foi menor que os demais, mostrando o provável efeito negativo da umidade da madeira sobre o poder calorífico do carvão.

FIGURA 33 – INFLUÊNCIA DA UMIDADE DA MADEIRA NO PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO.



## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados obtidos, conclui-se que:

A massa específica básica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), é considerada adequada para produção de carvão vegetal.

O rendimento do carvão vegetal da bracatinga aumentou com a idade e diminuiu com a umidade da madeira e com a temperatura final de carbonização.

O rendimento do licor pirolenhoso aumentou com a temperatura final de carbonização e com a umidade da madeira e diminuiu com a idade.

O rendimento dos gases não condensáveis aumentou com a temperatura final de carbonização e diminuiu com a umidade da madeira.

Nenhuma das propriedades físicas do carvão de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), com relação a densidade aparente, densidade verdadeira e a porosidade foram afetadas pelos fatores idade, umidade da madeira e temperatura final de carbonização.

O teor de materiais voláteis do carvão vegetal produzido diminuiu com a temperatura final de carbonização, enquanto que, a umidade da madeira e a idade não afetaram esta variável.

O teor de cinza da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), não sofreu influência de nenhum dos fatores analisados.

O teor de carbono fixo aumentou com a temperatura final de carbonização, enquanto que, a idade e a umidade da madeira não foram afetadas.

O rendimento em carbono fixo do carvão vegetal da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), não sofreu influência de nenhum dos fatores analisados.

O poder calorífico superior do carvão aumentou com a temperatura final de carbonização, enquanto que, a umidade da madeira e a idade não afetaram o mesmo.

O poder calorífico inferior do carvão aumentou com a temperatura final de carbonização, enquanto que, a umidade da madeira e a idade não afetaram o mesmo.

Através das características físico-químico determinadas neste estudo pode-se concluir que a bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), apresenta potencial técnico para produção de carvão vegetal.

Com base no estudo realizado, pode-se fazer as seguintes recomendações:

Realização de experimentos de campo em fornos convencionais, procurando correlacionar os resultados encontrados em laboratório, com relação a influência da umidade da madeira e da temperatura final de carbonização.

Analisar qualitativamente e quantitativamente os componentes do licor pirolenhoso obtidos nas carbonizações.

Desenvolver estudos com outras espécies nativas e/ou exóticas que apresentem provável potencial para produção de carvão vegetal.

Realizar estudos de viabilidade econômica com relação as variáveis estudadas, na produção de carvão vegetal em escala industrial.

**ANEXOS**

- ANEXO 1 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO DE CARVÃO DA BRACATINGA. .... 81
- ANEXO 2 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E PARA AS INTERAÇÕES UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO DO CARVÃO DE BRACATINGA. .... 82
- ANEXO 3 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO DA BRACATINGA. .... 84
- ANEXO 4 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E PARA AS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE E UMIDADE/TEMPERATURA DO LICOR PIROLENHOSO DO CARVÃO DE BRACATINGA. .... 85
- ANEXO 5 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS DA BRACATINGA. .... 87
- ANEXO 6 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, UMIDADE/TEMPERATURA E IDADE/UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS DO CARVÃO DE BRACATINGA. .... 88
- ANEXO 7 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA A DENSIDADE VERDADEIRA DO CARVÃO DA BRACATINGA. .... 91
- ANEXO 8 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA O FATOR IDADE DA DENSIDADE VERDADEIRA DO CARVÃO DE BRACATINGA. .... 92
- ANEXO 9 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA A DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO DA BRACATINGA. .... 93
- ANEXO 10 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA O FATOR IDADE DA DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO DE BRACATINGA. .... 94

ANEXO 11 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA A POROSIDADE DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	95
ANEXO 12 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA O FATOR IDADE DA POROSIDADE DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	96
ANEXO 13 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O TEOR DE CINZA DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	97
ANEXO 14 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E UMIDADE E DA INTERAÇÃO UMIDADE/ TEMPERATURA DE TEOR DE CINZA DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	98
ANEXO 15 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	99
ANEXO 16 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES TEMPERATURA E DAS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, IDADE/TEMPERATURA, UMIDADE/TEMPERATURA E IDADE/UMIDADE/TEMPERATURA DO TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	100
ANEXO 17 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	103
ANEXO 18 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES: TEMPERATURA, IDADE E DAS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, IDADE/TEMPERATURA, UMIDADE/TEMPERATURA E IDADE/UMIDADE/TEMPERATURA DO TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	104
ANEXO 19 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	108
ANEXO 20 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES TEMPERATURA, IDADE E DAS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, IDADE/TEMPERATURA, UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	109
ANEXO 21 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	112

ANEXO 22 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E PARA AS INTERAÇÕES UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	113
ANEXO 23 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO DA BRACATINGA.....	115
ANEXO 24 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES UMIDADE E TEMPERATURA DO PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO DE BRACATINGA.....	116

**ANEXO 1 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO DE CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
<b>CARVÃO</b>	17,18710 <sup>NS</sup>	17	0,441801

ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
<b>1-IDADE</b>	2	2,8905	162	0,298569	9,681**	0,000107
<b>2-UMIDADE</b>	2	728,4141	162	0,298569	2439,680**	0,000000
<b>3-TEMPERATURA</b>	1	408,9528	162	0,298569	1369,707**	0,000000
<b>1 x 2</b>	4	0,5842	162	0,298569	1,957 <sup>NS</sup>	0,103602
<b>1 x 3</b>	2	0,0028	162	0,298569	0,009 <sup>NS</sup>	0,990786
<b>2 x 3</b>	2	2,6098	162	0,298569	8,741**	0,000248
<b>1 x 2 x 3</b>	4	0,1729	162	0,298569	0,579 <sup>NS</sup>	0,678197

**ANEXO 2 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E PARA AS INTERAÇÕES UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - IDADE**

		<b>3 ANOS</b>	<b>5 ANOS</b>	<b>7 ANOS</b>
	<b>Medias</b>	27,50945	27,65086	27,94006
<b>7 ANOS</b>	27,94006	0,000066	0,010470	
<b>5 ANOS</b>	27,65086	0,331802		
<b>3 ANOS</b>	27,50945			

**FATOR - UMIDADE**

		<b>0%</b>	<b>15%</b>	<b>30%</b>
	<b>Medias</b>	31,30140	27,45296	24,34600
<b>30%</b>	24,34600	,000022	,000022	
<b>15%</b>	27,45296	,000022		
<b>0%</b>	31,30140			

**FATOR: - TEMPERATURA**

		<b>450°C</b>	<b>550°C</b>
	<b>Medias</b>	29,20743	26,19282
<b>550°C</b>	26,19282	,000009	
<b>450°C</b>	29,20743		



## INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		0%		15%		30%	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		33,04939	29,55343	28,83263	26,07330	25,74026	22,95173
<b>30%</b>	<b>550°C</b>	22,95173	,000020	,000020	,000020	,000020	,000020
	<b>450°C</b>	25,74026	,000020	,000020	,000020	,170315	
<b>15%</b>	<b>550°C</b>	26,07330	,000020	,000020	,000020		
	<b>450°C</b>	28,83263	,000020	,000024			
<b>0%</b>	<b>550°C</b>	29,55343	,000020				
	<b>450°C</b>	33,04939					

**ANEXO 3 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO DO LICOR PIROLENHOSO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
LICOR PIROLENHOSO	19,27683 <sup>NS</sup>	17	,312947

ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
1-IDADE	2	26,105	162	1,136106	22,978**	,000000
2-UMIDADE	2	1664,862	162	1,136106	1465,412**	0,000000
3-TEMPERATURA	1	38,951	162	1,136106	34,285**	,000000
1 x 2	4	15,284	162	1,136106	13,453**	,000000
1 x 3	2	1,430	162	1,136106	1,258 <sup>NS</sup>	,286885
2 x 3	2	5,791	162	1,136106	5,097**	,007134
1 x 2 x 3	4	2,632	162	1,136106	2,316*	,059496

**ANEXO 4 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E PARA AS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE E UMIDADE/TEMPERATURA DO LICOR PIROLENHOSO DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - IDADE**

		<b>3 ANOS</b>	<b>5 ANOS</b>	<b>7 ANOS</b>
<b>Medias</b>		53,96499	53,60105	52,68488
<b>7 ANOS</b>	52,68488	,000022	,000028	
<b>5 ANOS</b>	53,60105	,147396		
<b>3 ANOS</b>	53,96499			

**FATOR - UMIDADE**

		<b>0 %</b>	<b>15 %</b>	<b>30 %</b>
<b>Medias</b>		47,84943	54,07952	58,32196
<b>30 %</b>	58,32196	,000022	,000022	
<b>15 %</b>	54,07952	,000022		
<b>0 %</b>	47,84943			

**FATOR - TEMPERATURA**

		<b>450°C</b>	<b>550°C</b>
<b>Medias</b>		52,95179	53,88215
<b>550°C</b>	53,88215	,000009	
<b>450°C</b>	52,95179		

## INTERAÇÃO: 1 - IDADE X 2 - UMIDADE

		3 ANOS			5 ANOS			7 ANOS		
		0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%
<b>Medias</b>		49,1264	54,8828	57,8856	47,7424	54,5151	58,5454	46,6793	52,8405	58,5347
	<b>30%</b>	58,5347	,000010	,000010	,595674	,000010	,000010	1,00000	,000010	,000010
<b>7 ANOS</b>	<b>15%</b>	52,8405	,000010	,000010	,000010	,000010	,000033	,000010	,000010	
	<b>0%</b>	46,6793	,000010	,000010	,000010	,042691	,000010	,000010		
	<b>30%</b>	58,5454	,000010	,000010	,573274	,000010	,000010			
<b>5 ANOS</b>	<b>15%</b>	54,5151	,000010	,975703	,000010	,000010				
	<b>0%</b>	47,7424	001348	,000010	,000010					
	<b>30%</b>	57,8856	,000010	,000010						
<b>3 ANOS</b>	<b>15%</b>	54,8828	,000010							
	<b>0%</b>	49,1264								

## INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		0%		15%		30%	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		47,33385	48,36501	53,94711	54,21193	57,57440	59,06953
<b>30%</b>	<b>550°C</b>	59,06953	,000020	,000020	,000020	,000020	,000021
	<b>450°C</b>	57,57440	,000020	,000020	,000020	,000020	
<b>15%</b>	<b>550°C</b>	54,21193	,000020	,000020	,929794		
	<b>450°C</b>	53,94711	,000020	,000020			
<b>0%</b>	<b>550°C</b>	48,36501	,002475				
	<b>450°C</b>	47,33385					

**ANEXO 5 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
GASES NÃO CONDENSÁVEIS	27,21408 <sup>NS</sup>	17	,055075

ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
1 IDADE	2	11,6428	162	,820792	14,1849**	,000002
2 UMIDADE	2	193,3172	162	,820792	235,5253**	0,000000
3 TEMPERATURA	1	195,4824	162	,820792	238,1632**	0,000000
1 x 2	4	13,2475	162	,820792	16,1399**	,000000
1 x 3	2	1,5229	162	,820792	1,8554 <sup>NS</sup>	,159693
2 x 3	2	7,0393	162	,820792	8,5763**	,000288
1 x 2 x 3	4	2,1218	162	,820792	2,5851**	,039019

**ANEXO 6 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, UMIDADE/TEMPERATURA E IDADE/UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO DOS GASES NÃO CONDENSÁVEIS DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - IDADE**

		<b>3 ANOS</b>	<b>5 ANOS</b>	<b>7 ANOS</b>
<b>Medias</b>		18,52556	18,74809	19,37507
<b>7 ANOS</b>	19,37507	,000022	,000456	
<b>5 ANOS</b>	18,74809	,370058		
<b>3 ANOS</b>	18,52556			

**FATOR - UMIDADE**

		<b>0%</b>	<b>15%</b>	<b>30%</b>
<b>Medias</b>		20,84916	18,46751	17,33204
<b>30%</b>	17,33204	,000022	,000022	
<b>15%</b>	18,46751	,000022		
<b>0%</b>	20,84916			

**FATOR - TEMPERATURA**

		<b>450°C</b>	<b>550°C</b>
<b>Medias</b>		17,84079	19,92502
<b>550°C</b>	19,92502	,000009	
<b>450°C</b>	17,84079		

## INTERAÇÃO: 1 - IDADE X 2 - UMIDADE

		3 ANOS			5 ANOS			7 ANOS		
		0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%
<b>Medias</b>		19,9236	17,6902	17,9628	20,9751	18,2246	17,0444	21,6487	19,4876	16,9888
<b>7 ANOS</b>	<b>30%</b>	16,9888	,000010	,257844	,019456	,000010	,000566	1,00000	,000010	,000010
	<b>15%</b>	19,4876	,845613	,000010	,000013	,000017	,000381	,000010	,000010	
	<b>0%</b>	21,6487	,000010	,000010	,000010	,311485	,000010	,000010		
<b>5 ANOS</b>	<b>30%</b>	17,0444	,000010	,370365	,036456	,000010	,001274			
	<b>15%</b>	18,2246	,000010	,637922	,992263	,000010				
	<b>0%</b>	20,9751	,007468	,000010	,000010					
<b>3 ANOS</b>	<b>30%</b>	17,9628	,000010	,989911						
	<b>15%</b>	17,6902	,000010							
	<b>0%</b>	19,9236								

## INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		0%		15%		30%	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		19,61676	22,08156	17,22026	19,71477	16,68534	17,97874
<b>30%</b>	<b>550°C</b>	17,97874	,000020	,000020	,015046	,000020	,000020
	<b>450°C</b>	16,68534	,000020	,000020	,199353	,000020	
<b>15%</b>	<b>550°C</b>	19,71477	,998360	,000020	,000020		
	<b>450°C</b>	17,22026	,000020	,000020			
<b>0%</b>	<b>550°C</b>	22,08156	,000020				
	<b>450°C</b>	19,61676					

INTERAÇÃO: 1 - IDADE X 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

			3 ANOS						5 ANOS						7 ANOS						
			0%		15%		30%		0%		15%		30%		0%		15%		30%		
			450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	
<b>Medias</b>			18,63	21,21	16,70	18,67	17,53	18,39	19,88	22,06	17,23	19,21	16,09	17,98	20,33	22,96	17,72	21,25	16,42	17,4	
<b>7 ANOS</b>	<b>30%</b>	<b>550°C</b>	17,55	,399117	,000036	,822656	,328960	1,000000	,826512	,000036	,000036	,999999	,005245	,036575	,999840	,000036	,000036	1,000000	,000036	,327473	
		<b>450°C</b>	16,42	,000042	,000036	1,000000	,000039	,363024	,000195	,000036	,000036	,872009	,000036	,999998	,013764	,000036	,000036	,120207	,000036		
	<b>15%</b>	<b>550°C</b>	21,25	,000036	1,000000	,000036	,000036	,000036	,000036	,070461	,868238	,000036	,000100	,000036	,000036	,699437	,003151	,000036			
		<b>450°C</b>	17,72	,716400	,000036	,523469	,641679	1,000000	,973116	,000047	,000036	,999353	,025717	,007890	1,000000	,000036	,000036				
	<b>0%</b>	<b>550°C</b>	22,96	,000036	,002035	,000036	,000036	,000036	,000036	,000036	,738069	,000036	,000036	,000036	,000036	,000036					
		<b>450°C</b>	20,33	,003731	,769918	,000036	,005677	,000036	,000279	,999793	,002498	,000036	,342016	,000036	,000036						
<b>5 ANOS</b>	<b>30%</b>	<b>550°C</b>	17,98	,982623	,000036	,128995	,968016	,999696	,999943	,000432	,000036	,925611	,188407	,000460							
		<b>450°C</b>	16,09	,000036	,000036	,991200	,000036	,043582	,000037	,000036	,000036	,311489	,000036								
	<b>15%</b>	<b>550°C</b>	19,21	,994536	,000146	,000036	,997689	,004213	,859182	,974668	,000036	,000175									
		<b>450°C</b>	17,23	,05566	,00003	,99810	,04002	,99999	,27270	,00003	,00003										
	<b>0%</b>	<b>550°C</b>	22,06	,000036	,813482	,000036	,000036	,000036	,000036	,000045											
		<b>450°C</b>	19,88	,161566	,095548	,000036	,207813	,000036	,026656												
<b>3 ANOS</b>	<b>30%</b>	<b>550°C</b>	18,39	1,000000	,000036	,003952	1,000000	,795434													
		<b>450°C</b>	17,53	,361907	,000036	,851344	,295248														
	<b>15%</b>	<b>550°C</b>	18,67	1,000000	,000036	,000191															
		<b>450°C</b>	16,70	,000296	,000036																
	<b>0%</b>	<b>550°C</b>	21,21	,000036																	
		<b>450°C</b>	18,63																		



**ANEXO 7 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA A DENSIDADE VERDADEIRA DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

**TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS**

	<b>BARTLETT</b>		
	<b>Q<sup>2</sup></b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
<b>DENS. VERD.</b>	22,6588 <sup>NS</sup>	17	,160784

**ANÁLISE DE VARIÂNCIAS EM FATORIAL (ANOVA)**

<b>FONTES DE VARIACÃO</b>	<b>EFEITO</b>		<b>ERRO</b>		<b>F</b>	<b>p - valor</b>
	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>		
<b>1 IDADE</b>	1	,002041	36	,000841	2,426956 <sup>NS</sup>	,128013
<b>2 UMIDADE</b>	2	,000405	36	,000841	,481001 <sup>NS</sup>	,622080
<b>3 TEMPERATURA</b>	2	,006671	36	,000841	7,932529*	,001399
<b>1 x 2</b>	2	,000733	36	,000841	,872105 <sup>NS</sup>	,426716
<b>1 x 3</b>	2	,000358	36	,000841	,425915 <sup>NS</sup>	,656420
<b>2 x 3</b>	4	,001639	36	,000841	1,948641 <sup>NS</sup>	,123454
<b>1 x 2 x 3</b>	4	,000897	36	,000841	1,066858 <sup>NS</sup>	,387086

**ANEXO 8 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA O FATOR IDADE DA DENSIDADE VERDADEIRA DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

FATOR - IDADE

		3 ANOS	5 ANOS	7 ANOS
	<b>Medias</b>	1,435090	1,450428	1,473344
<b>7 ANOS</b>	1,435090	,001079	,058962	
<b>5 ANOS</b>	1,450428	,264428		
<b>3 ANOS</b>	1,473344			

**ANEXO 9 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA A DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
<b>DENSIDADE APAR.</b>	25,46671 <sup>NS</sup>	17	,084825

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS DE FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
<b>1 IDADE</b>	2	,010982	162	,000924	11,88489**	,000015
<b>2 UMIDADE</b>	2	,000609	162	,000924	,65864 <sup>NS</sup>	,518933
<b>3 TEMPERATURA</b>	1	,001317	162	,000924	1,42522 <sup>NS</sup>	,234291
<b>1 x 2</b>	4	,001354	162	,000924	1,46474 <sup>NS</sup>	,215325
<b>1 x 3</b>	2	,000308	162	,000924	,33336 <sup>NS</sup>	,716999
<b>2 x 3</b>	2	,000194	162	,000924	,20973 <sup>NS</sup>	,811022
<b>1 x 2 x 3</b>	4	,000320	162	,000924	,34620 <sup>NS</sup>	,846386

**ANEXO 10 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA O FATOR IDADE DA DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

FATOR - IDADE

		3 ANOS	5 ANOS	7 ANOS
	<b>Medias</b>	,2682407	,2411823	,2547883
<b>7 ANOS</b>	,2547883	,040691	,037836	
<b>5 ANOS</b>	,2411823	,000024		
<b>3 ANOS</b>	,2682407			

**ANEXO 11 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA A POROSIDADE DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

**TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS**

	<b>BARTLETT</b>		
	<b>Q<sup>2</sup></b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
<b>POROSIDADE</b>	24,39408 <sup>NS</sup>	17	,109207

**ANÁLISE DE VARIÂNCIAS EM FATORIAL (ANOVA)**

<b>FONTES DE VARIÂÇÃO</b>	<b>EFEITO</b>		<b>ERRO</b>		<b>F</b>	<b>p - valor</b>
	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>QM</b>		
<b>1 IDADE</b>	2	67,83221	162	4,332400	15,65696**	,000001
<b>2 UMIDADE</b>	2	3,00883	162	4,332400	,69450 <sup>NS</sup>	,500807
<b>3 TEMPERATURA</b>	1	12,83195	162	4,332400	2,96186 <sup>NS</sup>	,087159
<b>1 x 2</b>	4	4,69436	162	4,332400	1,08355 <sup>NS</sup>	,366489
<b>1 x 3</b>	2	3,01945	162	4,332400	,69695 <sup>NS</sup>	,499591
<b>2 x 3</b>	2	,19195	162	4,332400	,04431 <sup>NS</sup>	,956673
<b>1 x 2 x 3</b>	4	1,75330	162	4,332400	,40470 <sup>NS</sup>	,805076

**ANEXO 12 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA O FATOR IDADE DA POROSIDADE DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

FATOR - IDADE

		3 ANOS	5 ANOS	7 ANOS
	<b>Medias</b>	81,28795	83,37002	82,70364
<b>7 ANOS</b>	82,70364	,000585	,185508	
<b>5 ANOS</b>	83,37002	,000022		
<b>3 ANOS</b>	81,28795			

**ANEXO 13 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O TEOR DE CINZA DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
<b>CINZA</b>	21,61950 <sup>NS</sup>	17	,199890

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
<b>1 IDADE</b>	2	3,203127	162	,058083	55,14787**	,000000
<b>2 UMIDADE</b>	2	,224927	162	,058083	3,87254*	,022758
<b>3 TEMPERATURA</b>	1	,011064	162	,058083	,19050 <sup>NS</sup>	,663086
<b>1 x 2</b>	4	,129556	162	,058083	2,23055 <sup>NS</sup>	,067982
<b>1 x 3</b>	2	,021344	162	,058083	,36748 <sup>NS</sup>	,693051
<b>2 x 3</b>	2	,525377	162	,058083	9,04535**	,000189
<b>1 x 2 x 3</b>	4	,094289	162	,058083	1,62336 <sup>NS</sup>	,170829

**ANEXO 14 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E UMIDADE E DA INTERAÇÃO UMIDADE/ TEMPERATURA DE TEOR DE CINZA DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - IDADE**

		<b>3 ANOS</b>	<b>5 ANOS</b>	<b>7 ANOS</b>
<b>Medias</b>		,9527884	1,382585	1,314699
<b>7 ANOS</b>		,000022	,270917	
<b>5 ANOS</b>		,000022		
<b>3 ANOS</b>		,9527884		

**FATOR - UMIDADE**

		<b>0 %</b>	<b>15 %</b>	<b>30 %</b>
<b>Medias</b>		1,224714	1,151847	1,273511
<b>30 %</b>		,508488	,015722	
<b>15 %</b>		,222350		
<b>0 %</b>		1,224714		

**INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA**

		<b>0 %</b>		<b>15 %</b>		<b>30 %</b>	
		<b>450°C</b>	<b>550°C</b>	<b>450°C</b>	<b>550°C</b>	<b>450°C</b>	<b>550°C</b>
<b>Medias</b>		1,278844	1,170584	1,051989	1,251705	1,342759	1,204262
<b>30 %</b>	<b>550°C</b>	1,204262	,837776	,994466	,140299	,973715	,225815
	<b>450°C</b>	1,342759	,908991	,062883	,000061	,687817	
<b>15 %</b>	<b>550°C</b>	1,251705	,998011	,783209	,016760		
	<b>450°C</b>	1,051989	,003635	,398425			
<b>0 %</b>	<b>550°C</b>	1,170584	,505272				
	<b>450°C</b>	1,278844					



**ANEXO 15 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
<b>VOLÁTEIS</b>	20,73878 <sup>NS</sup>	17	,238280

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS DE FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
<b>1 IDADE</b>	2	,614	162	1,977321	,311 <sup>NS</sup>	,733378
<b>2 UMIDADE</b>	2	1,540	162	1,977321	,779 <sup>NS</sup>	,460614
<b>3 TEMPERATURA</b>	1	4212,218	162	1,977321	2130,266 <sup>**</sup>	0,000000
<b>1 x 2</b>	4	6,505	162	1,977321	3,290 <sup>*</sup>	,012679
<b>1 x 3</b>	2	12,287	162	1,977321	6,214 <sup>**</sup>	,002511
<b>2 x 3</b>	2	18,480	162	1,977321	9,346 <sup>**</sup>	,000144
<b>1 x 2 x 3</b>	4	9,501	162	1,977321	4,805 <sup>**</sup>	,001091



## INTERAÇÃO: 1 – IDADE X 3 - TEMPERATURA

		3 ANOS		5 ANOS		7 ANOS	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		24,00065	14,72269	24,90175	14,19106	23,90060	14,86436
<b>7 ANOS</b>	<b>550°C</b>	14,86436	,000020	,998836	,000020	,430631	,000020
	<b>450°C</b>	23,90060	,999787	,000020	,064515	,000020	
<b>5 ANOS</b>	<b>550°C</b>	14,19106	,000020	,687202	,000020		
	<b>450°C</b>	24,90175	,129395	,000020			
<b>3 ANOS</b>	<b>550°C</b>	14,72269	,000020				
	<b>450°C</b>	24,00065					

## INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		0%		15%		30%	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		23,92962	15,22401	24,89745	14,01169	23,97593	14,54241
<b>30%</b>	<b>550°C</b>	14,54241	,000020	,416198	,000020	,688777	,000020
	<b>450°C</b>	23,97593	,999995	,000020	,113169	,000020	
<b>15%</b>	<b>550°C</b>	14,01169	,000020	,010891	,000020		
	<b>450°C</b>	24,89745	,082232	,000020			
<b>0%</b>	<b>550°C</b>	15,22401	,000020				
	<b>450°C</b>	23,92962					

INTERAÇÃO: 1 - IDADE X 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

			3 ANOS						5 ANOS						7 ANOS					
			0%		15%		30%		0%		15%		30%		0%		15%		30%	
			450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>			23,5398	15,6280	24,6258	13,3609	23,8362	15,1790	24,1508	14,9204	26,7806	13,8045	23,7737	13,8482	24,0982	15,1235	23,2853	14,8696	24,3177	14,5999
<b>7 ANOS</b>	<b>30%</b>	550°C	14,5999	,000036	,977405	,000036	,883617	,000036	,999983	,000036	1,000000	,000036	,998749	,000036	,999389	,000036	,999996	,000036	1,000000	,000036
		450°C	24,3177	,999053	,000036	1,000000	,000036	,999999	,000036	1,000000	,000036	,011016	,000036	,999993	,000036	1,000000	,000036	,976559	,000036	
	<b>15%</b>	550°C	14,8696	,000036	,999314	,000036	,608698	,000036	1,000000	,000036	1,000000	,000036	,968140	,000036	,978848	,000036	1,000000	,000036		
		450°C	23,2853	1,000000	,000036	,798346	,000036	,999992	,000036	,996546	,000036	,000039	,000036	,999999	,000036	,998375	,000036			
	<b>0%</b>	550°C	15,1235	,000036	,999998	,000036	,310797	,000036	1,000000	,000036	1,000000	,000036	,818206	,000036	,856026	,000036				
		450°C	24,0982	,999990	,000036	,999996	,000036	1,000000	,000036	1,000000	,000036	,002673	,000036	1,000000	,000036					
<b>5 ANOS</b>	<b>30%</b>	550°C	13,8482	,000036	,293601	,000036	,999999	,000036	,807190	1,000000	,966069	,000036	1,000000	,000036						
		450°C	23,7737	1,000000	,000036	,997108	,000036	1,000000	,000036	1,000000	,000036	,000273	,000036							
	<b>15%</b>	550°C	13,8045	,000036	,252432	,000036	1,000000	,000036	,763493	,000036	,950994	,000036								
		450°C	26,7806	,000069	,000036	,060922	,000036	,000424	,000036	,003804	,000036									
	<b>0%</b>	550°C	14,9204	,000036	,999723	,000036	,545926	,000036	1,000000	,000036										
		450°C	24,1508	,999963	,000036	,999999	,000036	1,000000	,000036											
<b>3 ANOS</b>	<b>30%</b>	550°C	15,1790	,000036	1,000000	,000036	,257319	,000036												
		450°C	23,8362	1,000000	,000036	,998859	,000036													
	<b>15%</b>	550°C	13,3609	,000036	,034000	,000036														
		450°C	24,6258	,961728	,000036															
	<b>0%</b>	550°C	15,6280	,000036																
		450°C	23,5398																	

**ANEXO 17 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
<b>CARBONO FIXO</b>	21,03325 <sup>NS</sup>	17	,224895

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS DE FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
<b>1 IDADE</b>	2	5,779	162	1,807668	3,197 <sup>*</sup>	,043487
<b>2 UMIDADE</b>	2	1,158	162	1,807668	,64 <sup>NS</sup>	,528364
<b>3 TEMPERATURA</b>	1	4225,883	162	1,807668	2337,754 <sup>**</sup>	0,000000
<b>1 x 2</b>	4	7,765	162	1,807668	4,296 <sup>**</sup>	,002492
<b>1 x 3</b>	2	11,881	162	1,807668	6,573 <sup>**</sup>	,001800
<b>2 x 3</b>	2	13,302	162	1,807668	7,359 <sup>**</sup>	,000873
<b>1 x 2 x 3</b>	4	9,013	162	1,807668	4,986 <sup>**</sup>	,000814

**ANEXO 18 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES: TEMPERATURA, IDADE E DAS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, IDADE/TEMPERATURA, UMIDADE/TEMPERATURA E IDADE/UMIDADE/TEMPERATURA DO TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - IDADE**

		<b>3 ANOS</b>	<b>5 ANOS</b>	<b>7 ANOS</b>
<b>Medias</b>		79,68554	79,07101	79,30282
<b>7 ANOS</b>	79,30282	,263539	,612166	
<b>5 ANOS</b>	79,07101	,032938		
<b>3 ANOS</b>	79,68554			

**FATOR - TEMPERATURA**

		<b>450°C</b>	<b>550°C</b>
<b>Medias</b>		74,50780	84,19844
<b>550°C</b>	84,19844	,000009	
<b>450°C</b>	74,50780		



## INTERAÇÃO: 1 – IDADE x 3 - TEMPERATURA

		3 ANOS		5 ANOS		7 ANOS	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		75,01696	84,35413	73,71947	84,42255	74,78698	83,81866
<b>7 ANOS</b>	<b>550°C</b>	83,81866	,000020	,636627	,000020	,505408	,000020
	<b>450°C</b>	74,78698	,985946	,000020	,025675	,000020	
<b>5 ANOS</b>	<b>550°C</b>	84,42255	,000020	,999959	,000020		
	<b>450°C</b>	73,71947	,002564	,000020			
<b>3 ANOS</b>	<b>550°C</b>	84,35413	,000020				
	<b>450°C</b>	75,01696					

## INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		0%		15%		30%	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		74,79154	83,60541	74,05056	84,73660	74,68130	84,25333
<b>30%</b>	<b>550°C</b>	84,25333	,000020	,423059	,000020	,731878	,000020
	<b>450°C</b>	74,68130	,999573	,000020	,454686	,000020	
<b>15%</b>	<b>550°C</b>	84,73660	,000020	,014268	,000020		
	<b>450°C</b>	74,05056	,269414	,000020			
<b>0%</b>	<b>550°C</b>	83,60541	,000020				
	<b>450°C</b>	74,79154					



INTERAÇÃO: 1 - IDADE X 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		3 ANOS						5 ANOS						7 ANOS						
		0%		15%		30%		0%		15%		30%		0%		15%		30%		
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C	
<b>Medias</b>		75,3252	83,4382	74,6396	85,6527	75,0860	83,9713	74,4233	83,8384	71,9181	84,7025	74,8169	84,7265	74,6260	83,5395	75,5939	83,8544	74,1409	84,06	
<b>7 ANOS</b>	<b>30%</b>	550°C	84,0620	,000036	,999908	,000036	,419383	,000036	1,00000	,000036	1,00000	,000036	,999868	,000036	,999782	,000036	,999993	,000036	1,00000	,000036
		450°C	74,1409	,883866	,000036	,999996	,000036	,984862	,000036	1,00000	,000036	,024736	,000036	,999727	,000036	,999998	,000036	,595223	,000036	
	<b>15%</b>	550°C	83,8544	,000036	1,00000	,000036	,204353	,000036	1,00000	,000036	1,00000	,000036	,995378	,000036	,993649	,000036	1,00000	,000036		
		450°C	75,5939	1,00000	,000036	,983257	,000036	,999995	,000036	,893745	,000036	,000036	,000036	,998369	,000036	,980667	,000036			
	<b>0%</b>	550°C	83,5395	,000036	1,00000	,000036	,045962	,000036	1,00000	,000036	1,00000	,000036	,898959	,000036	,881778	,000036				
		450°C	74,6260	,999573	,000036	1,00000	,000036	,999999	,000036	1,00000	,000036	,000944	,000036	1,00000	,000036					
<b>5 ANOS</b>	<b>30%</b>	550°C	84,7265	,000036	,791055	,000036	,987752	,000036	,998853	,000036	,992224	,000036	1,00000	,000036						
		450°C	74,8169	,999995	,000036	1,00000	,000036	1,00000	,000036	1,00000	,000036	,000230	,000036							
	<b>15%</b>	550°C	84,7025	,000036	,815173	,000036	,983983	,000036	,999238	,000036	,994280	,000036								
		450°C	71,9181	,000037	,000036	,000854	,000036	,000053	,000036	,004058	,000036									
	<b>0%</b>	550°C	83,8384	,000036	1,00000	,000036	,191569	,000036	1,00000	,000036										
		450°C	74,4233	,990785	,000036	1,00000	,000036	,999790	,000036											
<b>3 ANOS</b>	<b>30%</b>	550°C	83,9713	,000036	,999990	,000036	,314974	,000036												
		450°C	75,0860	1,00000	,000036	,999999	,000036													
	<b>15%</b>	550°C	85,6527	,000036	,025977	,000036														
		450°C	74,6396	,999670	,000036															
	<b>0%</b>	550°C	83,4382	,000036																
		450°C	75,3252																	

**ANEXO 19 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
REND. CARB. FIX.	24,47939 <sup>NS</sup>	17	,107074

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
1 IDADE	2	1,845819	162	,392597	4,701557*	,010356
2 UMIDADE	2	1,108998	162	,392597	2,824774 <sup>NS</sup>	,062248
3 TEMPERATURA	1	2,402651	162	,392597	6,119888*	,014398
1 x 2	4	1,520580	162	,392597	3,873129**	,004943
1 x 3	2	1,071198	162	,392597	2,728491 <sup>NS</sup>	,068321
2 x 3	2	3,512201	162	,392597	8,946067**	,000206
1 x 2 x 3	4	,613211	162	,392597	1,561934 <sup>NS</sup>	,186957

**ANEXO 20 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES TEMPERATURA, IDADE E DAS INTERAÇÕES IDADE/UMIDADE, IDADE/TEMPERATURA, UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO EM CARBONO FIXO DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

FATOR - IDADE

		3 ANOS	5 ANOS	7 ANOS
	<b>Medias</b>	24,53195	24,39642	24,74439
<b>7 ANOS</b>	24,74439	,151381	,006654	
<b>5 ANOS</b>	24,39642	,462256		
<b>3 ANOS</b>	24,53195			

FATOR - TEMPERATURA

		450°C	550°C
	<b>Medias</b>	24,44205	24,67312
<b>550°C</b>	24,67312	,013377	
<b>450°C</b>	24,44205		

## INTERAÇÃO: 1 - IDADE X 2 - UMIDADE

		3 ANOS			5 ANOS			7 ANOS		
		0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%
<b>Medias</b>		24,49821	24,65936	24,43829	24,67540	24,01161	24,50225	24,96422	24,83356	24,43538
	<b>30%</b>	24,43538	,999997	,969745	1,000000	,954304	,446579	,999995	,158940	,536548
<b>7 ANOS</b>	<b>15%</b>	24,83356	,751427	,994051	,546907	,996947	,001131	,763798	,999224	
	<b>0%</b>	24,96422	,310965	,837380	,164509	,874965	,000062	,322945		
	<b>30%</b>	24,50225	1,000000	,997087	,999997	,994293	,243490			
<b>5 ANOS</b>	<b>15%</b>	24,01161	,253884	,029823	,436620	,022929				
	<b>0%</b>	24,67540	,993324	1,000000	,957451					
	<b>30%</b>	24,43829	,999998	,972066						
<b>3 ANOS</b>	<b>15%</b>	24,65936	,996521							
	<b>0%</b>	24,49821								

## INTERAÇÃO: 2 - UMIDADE X 3 - TEMPERATURA

		0%		15%		30%	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		24,71644	24,70878	24,10755	24,89547	24,50218	24,41511
<b>30%</b>	<b>550°C</b>	24,41511	,425479	,455767	,401367	,035385	,994609
	<b>450°C</b>	24,50218	,771581	,797712	,142823	,145539	
<b>15%</b>	<b>550°C</b>	24,89547	,878850	,858518	,000035		
	<b>450°C</b>	24,10755	,002319	,002782			
<b>0%</b>	<b>550°C</b>	24,70878	1,000000				
	<b>450°C</b>	24,71644					

## INTERAÇÃO: 1 – IDADE X 3 - TEMPERATURA

		3 ANOS		5 ANOS		7 ANOS	
		450°C	550°C	450°C	550°C	450°C	550°C
<b>Medias</b>		24,41985	24,64406	24,14559	24,64725	24,76073	24,72805
<b>7 ANOS</b>	<b>550°C</b>	24,72805	,398899	,995447	,004318	,996207	,999954
	<b>450°C</b>	24,76073	,283479	,979439	,001996	,981831	
<b>5 ANOS</b>	<b>550°C</b>	24,64725	,723702	1,000000	,023697		
	<b>450°C</b>	24,14559	,534897	,025198			
<b>3 ANOS</b>	<b>550°C</b>	24,64406	,735642				
	<b>450°C</b>	24,41985					

**ANEXO 21 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
PCS	11,06443 <sup>NS</sup>	17	,853159

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
1 TEMPERATURA	1	5944674,	72	32399,59	183,4799**	,000000
2 UMIDADE	2	1029611,	72	32399,59	31,7785**	,000000
3 IDADE	2	9763,	72	32399,59	,3013 <sup>NS</sup>	,740769
1 x 2	2	142878,	72	32399,59	4,4099*	,015608
1 x 3	2	5357,	72	32399,59	,1653 <sup>NS</sup>	,847919
2 x 3	4	55356,	72	32399,59	1,7085 <sup>NS</sup>	,157485
1 x 2 x 3	4	60493,	72	32399,59	1,8671 <sup>NS</sup>	,125538

**ANEXO 22 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE, UMIDADE, TEMPERATURA E PARA AS INTERAÇÕES UMIDADE/TEMPERATURA DO RENDIMENTO DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - TEMPERATURA**

		450°C	550°C
	<b>Medias</b>	7203,792	7717,804
<b>550°C</b>	7717,804	,000116	
<b>450°C</b>	7203,792		

**FATOR - UMIDADE**

		0%	15%	30%
	<b>Medias</b>	7527,757	7603,267	7251,370
<b>30%</b>	7251,370	,000111	,000111	
<b>15%</b>	7603,267	,241973		
<b>0%</b>	7527,757			

## INTERAÇÃO: 1 - TEMPERATURA x 2 - UMIDADE

		450°C			550°C		
		0%	15%	30%	0%	15%	30%
<b>Medias</b>		7200,829	7414,324	6996,224	7854,685	7792,209	7506,517
550°C	30%	7506,517	,000324	,725332	,000128	,000142	,000729
	15%	7792,209	,000128	,000130	,000128	,931733	
	0%	7854,685	,000128	,000128	,000128		
450°C	30%	6996,224	,030686	,000128			
	15%	7414,324	,021086				
	0%	7200,829					



**ANEXO 23 - TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS E ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) PARA O PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO DA BRACATINGA.**

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS

	BARTLETT		
	Q <sup>2</sup>	gl	p-valor
PCI	13,04752 <sup>NS</sup>	17	,732972

ANÁLISE DE VARIÂNCIAS EM FATORIAL (ANOVA)

FONTES DE VARIÂÇÃO	EFEITO		ERRO		F	p - valor
	gl	SQ	gl	QM		
1 TEMPERATURA	1	6080995	72	31351,61	193,9612 <sup>**</sup>	,000000
2 UMIDADE	2	1241860,	72	31351,61	39,6107 <sup>**</sup>	,000000
3 IDADE	2	6157,	72	31351,61	,1964 <sup>NS</sup>	,822132
1 x 2	2	77318,	72	31351,61	2,4661 <sup>NS</sup>	,092058
1 x 3	2	5437,	72	31351,61	,1734 <sup>NS</sup>	,841146
2 x 3	4	43269,	72	31351,61	1,3801 <sup>NS</sup>	,249389
1 x 2 x 3	4	72358,	72	31351,61	2,3079 <sup>*</sup>	,066170

**ANEXO 24 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES UMIDADE E TEMPERATURA DO PODER CALORÍFICO INFERIOR DO CARVÃO DE BRACATINGA.**

**FATOR - TEMPERATURA**

		450°C	550°C
	<b>Medias</b>	6706,084	7225,956
550°C	7225,956	,000116	
450°C	6706,084		

**FATOR - UMIDADE**

		0%	15%	30%
	<b>Medias</b>	7067,336	7098,928	6731,795
30%	6731,795	,000111	,000111	
15%	7098,928	,769570		
0%	7067,336			

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRACAWE, Associação Brasileira de Florestas Renováveis. **Anuário Estatístico/96**. Belo Horizonte – MG, 1996. 19p.
- ALMEIDA, M.R. & REZENDE, M.E.: O processo de carbonização contínua da madeira. In: CETEC. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1982. P. 142-156. (SPT 008).
- ALMEIDA, J.M.: **Efeito da temperatura sobre rendimentos e propriedades dos produtos da carbonização de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. Viçosa, 1983 Dissertação, Magister Scientiae (MSc), Universidade Federal de Viçosa. . 40p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL.: **Standard method of test for volume of cell of lump coke**. In: Annual Book os ASTM D 167 - 24; D 240 - 57T; D 1762 - 64. Philadelphia, 1968.
- ANDRADE, A. M.: **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade d carvão vegetal**. Viçosa, 1989 Dissertação, Magister Scientiae (MSc), Universidade Federal de Viçosa. 86p.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN/1997,: **Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético**, da Secretária de Energia – DNDE/SEM/MME. Brasília, 1997. 80p.
- BARICHELLO, L.E.G.: Celulose sulfato de bracinga. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Curitiba, **Anuais**, Curitiba, FIEP, 1968. p 43-46.
- BARBOSA, J.A.: **Avaliação qualitativa e quantitativa do carvão e condensados produzidos na carbonização da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* L.C.)**. Viçosa, 1986. Dissertação, Magister Scientiae (MSc), Universidade Federal de Viçosa. 52 p.
- BAILEYS, R.T. & ; BLANKENHORN, P.R.: Calorific and porosity development in carbonized wood. **Wood Science**. 15 (1): 19-28, july., 1982.
- BEALL, F.C.: Introduction to thermal analyses in the combustion of wood. **Wood Science**. 5 (2) : 102-108, oct. , 1972.

- BEALL, F.C. & EICKNER, H. W.: **Thermal degradation of wood components: a review of the literature.** Madison. Wis. , Forest Product Laboratory Forest Service. U.S. Department of Agricultura, 1970. 26p. (USDA FS Res. Pap. FPL 130).
- BEALL, F.C. ; BLANKENHORN, P.R. & MOORE, G.R.: Carbonized wood physical and as na SEM preparation. **Wood Science.** 6 (3) : 212-219. Jan. , 1974.
- BLANKENHORN, P.R.; BARNES, D.P. ; KLINE, D.E. & MURPHEY, W.K. : Porosity and pore size distribution of black cherry carbonized in na inert atmosphere. **Wood Science.** 11 (1) : 23-29. July. 1978.
- BRASIL, M.A.M. & FERREIRA, M.: Características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Aos 3 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba. (19): 80-97, 1979.
- BRIANNE, D. & DOAT. J.: **Guide technique de la carbonisation.** Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie – Association Bois de Feu – Centre techniqu forestier tropical, 1985. 180p.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G.: Correlações entre características físicas e químicas da madeira a produção de carvão: 1 Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, 14: 9-20, 1977.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G.: Correlações entre características físicas e químicas da madeira a produção de carvão: 2 Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, 20: 121-6, 1980.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G.: Correlação entre características física e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTIA, 2, São Paulo , 1982.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. & FONSECA S.: Bracatinga, características químicas do carvão vegetal. **Brasil Madeira**, Curitiba, 33: 3 – 9, set. 1979.
- BORGES, M. H. & COLOMBROLI,W.: **Opção energética para siderurgia dos países tropicais.** Belo Horizonte, Florestal Acesita S/A, 1978. 15p.
- CARPANEZZI, O.T.B.: **Produtividade florestal e agrícola em sistemas de cultivo de bracatinga (*mimosa scabrella* Bentham) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba - Paraná.** Dissertação de Mestrado-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994. 77p.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL – (CTFT): **Resultados de 20 estudos dos produtos da destilação das madeiras amazônicas**. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – Divisão de recursos Naturais. Jul. 1972. 38p.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICA – COPANT - 458: C 30 : 1. Selección y Colección de muestras - . Buenos Aires, 1973.

CORREA, R. M.: **Dados econômicos e históricos da siderurgia a carvão vegetal**. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE CARVÃOVEGETAL, 2. Belo Horizonte, 1979. Anais. Jornal dos Reflorestadores, São Paulo 1979.

COUTINHO, A. R. : **Qualidade do carvão vegetal correlacionada as características da madeira de *Eucalyptus saligna* e temperatura de carbonização**. Piracicaba, 1984. 76p. Dissertação, Magister Scientiae (MSc), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

DOAT, J. & PETROFF, G.: La carbonization des bois tropicaux. **Reveu bois et forêts des tropiques**. Nojent sur Marne/France. Centre Technique Forestier tropical – CTFT 159: 55-72, jan./fev., 1975.

EARL, D.E.: **Charcoal**. André Mayer Research Dellow. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 1974, 97p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.: **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth)**. Curitiba, 1988. 70p.

FARIA, W. L.: **A jurema-preta (*Mimosa hostiles*, Benth) como fonte energética do semi-árido do nordeste - Carvão**. Curitiba, 1984. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade Federal do Paraná. 113p.

FARINHAQUE, R.: **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) e aspectos gerais de combustão**. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais FUPEF-PR, 1 (6): 1981.14p.

FERREIRA, L. M. H. C. **Desenvolvimento de uma Retorta para Carbonização de Madeira**. Viçosa, 1988. Dissertação, Magister Scientiae (MSc), Universidade Federal de Viçosa. 48p.

FONTES, P. J.P., QUIRINO, W. F. & OKINO, E. Y. A.: **Aspectos técnicos da briquetagem do carvão vegetal no Brasil**. Brasília, D.F. 1989. 14p.

FORESTRY STATISTICS TODAY FOR TOMORROW. : Food and Agriculture Organization of the United Nations - **FAO**, Roma. 1993, 47p.

- FOREST PRODUCTS LABORATORY.: **Charcoal production, marketing and use.** Madison. 1961, 137p.
- GLESINGER, E.: **A próxima era da madeira.** Editorial Grijaldo Ltda. São Paulo, 1968.
- GOMES, P.A. & OLIVEIRA, J.B.: Teoria da carbonização da madeira, In: CETEC. **Uso da madeira para fins energéticos.** Belo Horizonte, 1980. P. 27-41. (SPT 001).
- KING, G.: **Wood for energy.** Commonw. For Rev. 59 (2):181- 199. 1981.
- KOLLMANN, F.: **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones.** Madrid, 1959. 675p.
- LELLES, J.G. de ; SILVA, F.P. da ; SILVA J. de C.: Caracterização do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Acacia maggium*. **Revista Árvore.** Viçosa, MG, 20 (1) 87-92, 1996.
- LISBÃO JUNIOR, L.: Bracatinga como fonte energética. In: 4º SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: bracatinga, uma a alternativa para reflorestamento. **Anais. EMBRAPA. URPFCs.** Curitiba, 21-23julho 1981.133-143p.
- MARCOS MARTÍN, F.: **Otros aprovechamientos forestales.** Ed. Fernando Martín Asín. Madrid, 1997. 62p.
- MARTINS, H.: Madeira como fonte de energia. In: CETEC. **Uso da madeira para fins energéticos.** Belo Horizonte, 1980. p. 11-26. (SPT 001).
- MENDES, M.G. ; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R.: propriedades do carvão vegetal. In: CETEC. **Produção e utilização de carvão vegetal.** Belo Horizonte. 1982. p. 75 – 89 (SPT 008).
- MINISTÉRIO DA INFRA-ESTRUTURA, (MINFRA) – SECRETARIA NACIONAL DE ENERGIA.: **Reexame da matriz energética nacional.** Brasília, 1991. 44p.
- MIRANDA, G.: **Potencial energético de três espécies florestais da Região Semi-Arida do Nordeste do Brasil.** Curitiba, 1989. Dissertação, (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade Federal do Paraná. 141 p.
- NANASSY, A. J. & FUNG,D.P.C.: pirolyses of wood studied by E.S.R. **Wood Science.** 7 (3) 232-239. Jan., 1975.

- NUMAZAWA, S.: **Aproveitamento de resíduos da exploração florestal em Curuá-Una/Pa., para Produção de Carvão Vegetal.** Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade Federal do Paraná. 126p.
- OLIVEIRA, E. de. : **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** Viçosa, 1988. Dissertação, Magister Scientiae, Universidade Federal de Viçosa. 47p.
- OLIVEIRA, E. de.; VITAL, B.R.; VALENTE, O.F.; GOMIDE, J.L.: Efeito da qualidade da madeira sobre o rendimento e qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis*. **Revista árvore**, 13 (1): 85-97, 1989.
- OLIVEIRA, J.B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, G.M. E GOMES, O. P. A.: Produção de carvão vegetal, aspectos técnicos. In: CETEC. **Carvão vegetal.** Belo Horizonte, 1982. p. 63-102. (SPT 006).
- OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R.: Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria. In: CETEC. **Carvão vegetal.** Belo Horizonte. 1982. p. 64-102 (SPT - 006).
- OVEREND, R. & SILVERSIDES, R.: **Energy from forest biomass.** A Canadian Perspective, In: Proceedings - IUFRO Division 5 Conference: 43-61. 1980.
- PARANÁ. Universidade Federal. Centro de pesquisas Florestais.: **Estudos das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná.** Sub-programa tecnologia. Curitiba, 1979. 335p.
- PEREIRA, J.C.D. & LAVORANTI, O.J.: Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Mimosa scabrella* Benth. para fins energéticos. **Boletim de pesquisa florestal - EMBRAPA**, (12): 30-34, jun. 1986.
- PETROFF, G. & DOAT, J.: Pirolyse des bois tropicaux – Influence de la composition chimique de bois sur les produits de distillation. **Revue Bois et Forêts des tropique.** Nojent sur Marne/France. Centre Technique Forestier Tropical – CTFT. 177:51-64. Já./fev., 1978.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M. & REIS, A.: **Projeto madeira de Santa Catarina.** Itajaí, Hebario Barbosa Rodrigues, 1978, 320p.
- REZENDE, J.G.: **Calor de reação de perólise da madeira – aplicação aos balanços de massa e energia da carbonização contínua.** Belo Horizonte, 1983. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. 154p.

- ROCHADELLI, R.: **Contribuição sócio-econômica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba – Norte (RMC-N)**. Curitiba, 1997. Dissertação (Mestrado em Economia e Política Florestal) – Universidade Federal do Paraná 83p.
- ROTTA, E. e OLIVEIRA, Y. M. M. de: Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). In: 4º SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: bracatinga, uma alternativa para reflorestamento. **Anais**. EMBRAPA. URPFCS. Curitiba, 1981. P.1-23.
- SANTANA, M. C. & ASSUMPÇÃO, R. M. V.: **Pirólise de madeiras, matérias primas, produtos, aplicações** Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT – SP. 1971, 55p.
- SILVA, D. A. da & BRITO, J. O.: Estudo comparativo da carbonização de três origens de turfas em relação a amdeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, (36) 21-26, ago. 1987.
- SLOCUM, D.H. ; McGINES Jr.; E.A. ; BEALL, F.C.: Charcoal yield shrinkage and density during carbonization of OAK and HICORY woods. **Wood Science**, 11(1): 42-47, july. 1978.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H.: **Principles and procedures of statistics**. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC, 1960.
- STURION, J. & SILVA, F.: Caracterizacion de la madera de bracatinga para energia. In: Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales com especies de uso multiple, Guatemala, 1989. p. 541-549.
- TROSSERO, M.A.: **Análisis de parametros de pirolisis de biomassa**. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnologia industrial, 1981.
- UHART, E.: **A floresta amazônica; Fontes de energia**. Belém. SUDAM. 1976. 114p.
- VALENTE, O. F. & VITAL, B. L.: A densidade da madeira e a produtividade em carvão vegetal. **Informativo SIF**, Viçosa, 01: p. 1-6, mai.. 1985.
- VALENTE, O. F.; BARBOSA, J. A. VITAL, B. R. & LELLES, J. G. de: Rendimento e qualidade do carvão produzido da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* DC.) **Revista Árvore**, 17 (1): 38-44, 1993.



VALENTE, O. F. & LELLES, A. R.: Carbonização da madeira. In: Associação Brasileira de Metais - ABM. **Carvão e coque aplicados à metalurgia**, 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo, 1: 85- 151p. 1979.

VITAL, B.R. ; ALMEIDA, J. de; VALENTE, O. F. ; PIRES, I.E.: Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **IPEF**, Piracicaba. (47): 22-28, mai. 1994.

WENZL, H.F.J.: **The chemical technology of wood**. Academic Press, New York, 1970. 692p.