



xi ebramem

XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA LONDRINA –
JULHO 2008.

AVALIAÇÃO DO CARVÃO DE *Eucalyptus benthamii* IMPREGNADO COM LICOR PIROLENHOSO.

Daniel Tonial Thomaz (danieltonial@gmail.com), Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais. **Washington Luiz Esteves Magalhães** (wmagalha@cnpf.embrapa.br), Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – Centro Nacional de Pesquisas Florestais – Departamento de Tecnologia da Madeira.

RESUMO: O interesse pela utilização de novas espécies de eucalipto para produção de energia e carvão vegetal vem aumentando significativamente em decorrência da necessidade da busca de melhores rendimentos de produção e melhores propriedades da madeira destinada a esses fins. Um problema relacionado à produção de carvão vegetal é seu baixo rendimento gravimétrico. Com o objetivo de analisar o comportamento e as propriedades do carvão vegetal tratado com impregnação de licor pirolenhoso e novamente carbonizado, este trabalho foi desenvolvido com árvores da espécie *Eucalyptus benthamii*, esta espécie vem mostrando potencial de desenvolvimento e tolerância ao frio em regiões com ocorrência de geadas severas. As carbonizações ocorreram à temperatura de 500 °C durante oito horas. Para os testes foram adotados quatro tratamentos: T1 – carvão carbonizado uma vez sem licor impregnado; T2 – carvão carbonizado duas vezes sem licor impregnado; T3 – carvão carbonizado uma vez com licor impregnado; e T4 – carvão carbonizado uma vez com licor impregnado e novamente carbonizado. Os resultados deste trabalho mostram que esta espécie apresenta um carvão com ótimas propriedades para ser utilizado como fonte energética, no entanto, os tratamentos realizados nos carvões não surtiram o esperado. O tratamento que apresentou melhora nas características do carvão foi o qual passou por duas carbonizações e sem licor pirolenhoso impregnado.

Palavras-chave: *Eucalyptus benthamii*, carvão vegetal, licor pirolenhoso, rendimento gravimétrico.

EVALUATION OF THE CHARCOAL OF *Eucalyptus benthamii* IMPREGNATED WITH LIQUOR PYROLIGNEOUS.

ABSTRACT: The interest in the use of new species of eucalyptus for the production of energy and charcoal has been increasing significantly as a result of the necessity of the search for better incomes of production and better properties of the wood destined to these ends. A problem related to the production of charcoal is its low yield. With the objective to analyze the behavior and the properties of the charcoal treated with pyroligneous liquor impregnation and carbonized again, this work was developed with trees of the *Eucalyptus benthamii* species, this species has been showing potential of development and tolerance to the cold in regions with occurrence of severe frosts. The carbonizations had occurred to the temperature of 500 °C during eight hours. For the tests four treatments had been adopted: T1 – charcoal carbonized once without impregnated liquor; T2 – charcoal carbonized two times without impregnated liquor; T3 – charcoal carbonized once with impregnated liquor; and T4 – charcoal carbonized once with impregnated liquor and carbonized again. The results of this work show that this species presents a charcoal with excellent properties to be used as energy source, however, the treatments conducted in the coals had not occasioned the expected result. The treatment that presented improvement in the characteristics of the coal was the one which passed for two carbonizations and without pyroligneous liquor impregnated.

Key-words: *Eucalyptus benthamii*, charcoal, pyroligneous liquor, yield.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um componente essencial no atendimento da demanda energética do Brasil, e mesmo com a possibilidade de usos diversos, o energético continuará sendo predominante por longo prazo. A maioria da produção irá abastecer um segmento tradicional que é a produção de carvão vegetal para cocção de alimentos e aquecimento domiciliar, além de nichos de consumo energético industrial e agropecuário (BRITO e CINTRA, 2004; BOTREL et al., 2007).

A rápida combustão da madeira é a base do uso da madeira como combustível. O aquecimento ou a queima da madeira na ausência de oxigênio, conduz a pirólise (KLOCK et al., 2005).

A pirólise é um processo físico-químico no qual a madeira é aquecida a temperaturas que variam de 400 a 700 °C em atmosfera não oxidante, dando lugar à formação de um resíduo sólido rico em carbono, o carvão, e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis, o licor pirolenhoso, além de gases incondensáveis (LUENGO et al., 2007).

A pirólise é um processo de termo conversão que implica na ruptura de ligações carbono-carbono e na formação de ligações carbono-oxigênio. Mais apropriadamente, a pirólise é um processo de oxidação-redução onde uma parte da madeira é reduzida a carbono, enquanto a outra é oxidada e hidrolisada dando origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. Esses produtos primários combinam-se entre si para dar moléculas mais complexas, tais como ésteres, produtos poliméricos, dentre outros (GÓMEZ et al., 2007).

Em épocas contemporâneas, verifica-se um interesse crescente no desenvolvimento de formas diferentes de pirólise. Com o estudo dos mecanismos da pirólise sugeriu-se a modificação substancial das proporções de gases, líquidos e sólidos produzidos, através do aumento das taxas de aquecimento e variações da temperatura final de pirólise (LUENGO et al., 2007).

Além do mais, com a obrigatoriedade da auto-suficiência, as empresas estão dando uma maior importância ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção de madeira, avaliação de sua qualidade, bem como da sua transformação em carvão vegetal. Avaliações que levam em consideração o potencial produtor de carvão e a sua qualidade têm se tornado uma rotina para as empresas que necessitam dessa matéria-prima. Nesse sentido, a busca por matéria-prima mais homogênea quanto às características favoráveis à produção de carvão vegetal é importante, pois permitirá aumentar o rendimento do processo de carbonização, bem como melhorar significativamente a qualidade do carvão produzido (TRUGILHO et al., 2001).

O carvão vegetal tem sido um componente importante na matriz energética nacional, sendo grande parte do seu consumo realizado na indústria de ferro e aço. O desenvolvimento tecnológico deverá ser feito na direção de identificar melhores processos de carvoejamento, com maiores eficiências e menores custos, além da busca de processos para utilização integral dos subprodutos (alcatrão e gases) (MACEDO, 2003).

O interesse pela utilização de novas espécies de eucalipto para produção de energia e carvão vegetal vem aumentando significativamente em decorrência da necessidade da busca de melhores rendimentos de produção e melhores propriedades da madeira destinada a esses fins. Um problema relacionado à produção de carvão vegetal é seu baixo rendimento gravimétrico, ou seja, de cada 1.000 Kg de madeira carbonizada, à temperatura de 500 °C, obtêm-se em

média 350 Kg de carvão, enquanto que outros processos que priorizam a obtenção de licor pirolenhoso e gases, tais como, pirólise rápida e gaseificação, respectivamente, o rendimento gravimétrico gira em torno de 70%.

Com o objetivo de analisar o comportamento e as propriedades do carvão vegetal tratado com impregnação de licor pirolenhoso e novamente carbonizado, este trabalho foi desenvolvido com árvores da espécie *Eucalyptus benthamii*, esta espécie vem mostrando potencial de desenvolvimento e tolerância ao frio em regiões com ocorrência de geadas severas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada no presente trabalho, a espécie *Eucalyptus benthamii*, com 18 anos de idade, proveniente de sítio pertencente à Embrapa Florestas, localizado em Colombo, no Estado do Paraná.

Foram escolhidas ao acaso quatro árvores, onde foi medido o DAP (diâmetro a altura do peito, 1,30 m do solo), para sua posterior derrubada. Após, foi registrada a altura total e a altura comercial, definida como aquela onde o diâmetro da tora é de 8,0 cm com casca.

De cada árvore retirou-se seis discos de 5,0 cm de espessura localizados em diferentes alturas: base (0%), DAP, 25%, 50%, 75% e a 100% do fuste comercial. Posteriormente, na marcenaria da Embrapa Florestas, trabalhou-se esses discos para obtenção de corpos de provas.

De cada disco retirou-se uma cunha, da medula central até a casca, com ângulo interno de 30°. Estas cunhas foram transformadas em corpos de prova medindo 2,0 cm de base, por 2,0 cm de altura, por 3,0 cm de comprimento, estes foram alojados em uma estufa a temperatura de 105 ± 3 °C para secagem até peso constante.

As carbonizações destes corpos de prova foram desenvolvidas em forno mufla, com aquecimento elétrico programado para aumentar 1 °C por minuto, com ciclo total de oito horas de carbonização, partindo da temperatura ambiente de 20 °C até a temperatura final de 500 °C. Ao forno foram adaptados quatro tubos independentes de carbonização, à semelhança do modelo "B" de Petroff e Doat (1978). A cada um desses tubos foi acoplado um condensador para a obtenção do licor pirolenhoso bruto, correspondente aos produtos condensáveis, à temperatura média de refrigeração de 18 °C. Para cada amostra, determinaram-se os rendimentos gravimétricos em carvão, em licor pirolenhoso e em gases não condensáveis.

Para os experimentos foram determinados quatro tipos de tratamentos: tratamento 01 (T1) – carvão carbonizado uma vez à temperatura de 500 °C sem licor impregnado; tratamento 02 (T2) – carvão carbonizado duas vezes à temperatura de 500 °C sem licor impregnado; tratamento 03 (T3) – carvão carbonizado uma vez à temperatura de 500 °C com licor impregnado; e tratamento 04 (T4) – carvão carbonizado uma vez à temperatura de 500 °C com licor impregnado e novamente carbonizado à temperatura de 500 °C. A Figura 1 ilustra a seqüência dos tratamentos.

Após as carbonizações, os corpos de prova foram agrupados em uma amostra composta, desta foram selecionados, ao acaso, alguns corpos de prova para serem impregnados com o licor pirolenhoso. Estes foram pesados antes do processo de impregnação, logo após o processo de

impregnação e após secagem até peso constante em estufa à temperatura de $60 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, obtendo-se com isto, o quanto de licor pirolenhoso ficou impregnado nos carvões. O processo de impregnação ocorreu em um dessecador de 5 litros acoplado a uma bomba de vácuo. Primeiramente aplicou-se vácuo durante oito horas, nos corpos de prova carbonizados. Em seguida, foi adicionado 1.500 ml de licor pirolenhoso por processo de sucção. Logo após, aplicou-se vácuo durante dezesseis horas para ocorrer a impregnação do licor pirolenhoso nos carvões. Posteriormente, estes corpos de prova impregnados foram alojados em estufa à temperatura de $60 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ para secagem.

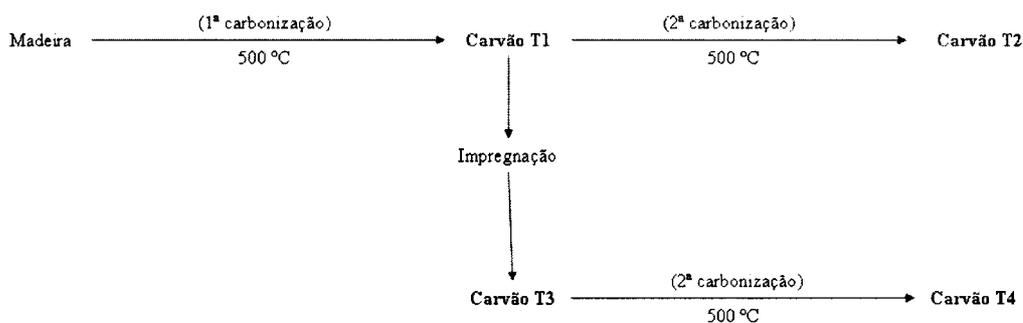


Figura 1 – Diagrama da seqüência dos tratamentos.

Foram selecionados, ao acaso, a metade destes corpos de prova impregnados para serem novamente carbonizados à temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Assim também, como foram selecionados, ao acaso, alguns corpos de prova carbonizados e sem licor pirolenhoso impregnado para serem novamente carbonizados à temperatura de $500 \text{ }^\circ\text{C}$ como parâmetro de comparação com os corpos de prova impregnados e carbonizados novamente.

Os carvões provenientes dos quatro tratamentos adotados foram moídos em moinho tipo Wiley para determinação de poder calorífico e análise química imediata, de acordo com a norma NBR 8633/84 e NBR 8112/86, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentadas as médias dos dados silviculturais e da densidade básica das árvores de *Eucalyptus benthamii* utilizadas neste trabalho.

A densidade elevada indica uma característica física positiva ao tratar-se da produção de carvão vegetal, considerando-se que uma maior massa de material lenhoso poderá ser carbonizada por fornada.

PEREIRA et al. (2000) trabalhando com árvores de *Eucalyptus benthamii* plantadas no mesmo sítio que as árvores utilizadas neste trabalho, encontraram densidade básica para esta espécie, aos sete anos de idade, de $0,477 \text{ g/cm}^3$, esta mesma espécie apresenta densidade básica de $0,553 \text{ g/cm}^3$ aos dezoito anos de idade. Este fato corrobora alguns autores, tais como PALERMO et al. (2006) e TRUGILHO et al. (1996), de que a madeira torna-se mais densa conforme sua idade, ou seja, árvores com idades superiores apresentam densidade básica maior.

Tabela 1 – Valores médios dos dados silviculturais e da densidade básica de *E. benthamii*.

Dados silviculturais	<i>E. benthamii</i>
Espaçamento do plantio	3,0 m x 3,0 m
Idade do povoamento	18 anos
Altura total	36,63 m
Altura comercial	31,85 m
Diâmetro DAP	35,85 cm
Densidade básica	0,553 g/cm ³

De acordo com PALERMO et al. (2006), o maior valor de densidade encontrado em árvores com mais de quinze anos pode ser explicado com base na formação do lenho adulto, ou seja, a medida que se processa o crescimento, a maturação cambial é alcançada e as árvores passam a produzir células com paredes mais espessas, lumens menores e maior comprimento, aumentando desta forma a densidade da madeira.

Os fatores diâmetro (35,85 cm), altura total (36,63 m) e altura comercial (31,85 m) são expressivamente elevados nos indivíduos estudados, em virtude da idade das árvores amostradas, com dezoito anos. O espaçamento de plantio também é um parâmetro que interfere diretamente sobre as características anatômicas das árvores. ANDRADE e CARVALHO (1998), afirmam que árvores pertencentes às classes de maior diâmetro possuem, conseqüentemente, maior área de cerne e, portanto, maior será a região sujeita à formação de trincas e fissuras internas. Desta forma, sendo desejável um carvão vegetal que apresente uma menor geração de finos, deve-se usar, de preferência, as árvores de menor diâmetro, as quais fornecem madeira com menor percentagem de cerne.

No entanto, árvores que possuem diâmetros menores, normalmente são árvores mais jovens. A idade apropriada para o primeiro corte raso do eucalipto, visando obtenção de matéria-prima para transformação em carvão vegetal, gira em torno dos sete anos. Conseqüentemente, árvores com sete anos de idade possuem densidade básica, altura total e altura comercial menores.

A Tabela 2 apresenta os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, licor pirolenhoso e gases não-condensáveis dos tratamentos T1, T2 e T4. O tratamento T3 não consta na tabela, pois, é o tratamento que consistiu em impregnar o licor pirolenhoso no carvão e avalia-lo sem passar por uma segunda carbonização.

Tabela 2 – Média dos rendimentos gravimétricos em carvão vegetal (RGC), licor pirolenhoso (RGL) e gases não-condensáveis (GNC) dos tratamentos T1, T2 e T4.

Tratamentos	RGC %	RGL %	GNC %
T 1	34,78	42,54	22,68
T 2	86,12	2,79	11,10
T 4	84,26	5,97	9,76

O tratamento T1 é o tratamento que caracteriza o rendimento gravimétrico do processo de carbonização da madeira. Este rendimento gravimétrico de carvão (34,78 %) significa que 65,22 % da madeira utilizada neste processo de carbonização foi transformada em produtos líquidos (42,54 %) e gasosos (22,68 %). Ou seja, o processo de carbonização que objetiva a

geração de produto sólido, acaba gerando uma quantidade de produto líquido superior ao produto sólido.

Os tratamentos T2 e T4 correspondem às segundas carbonizações, isto é, a carbonização do carvão sem licor pirolenhoso impregnado e carvão com licor pirolenhoso impregnado, respectivamente.

Como podemos observar os dois tratamentos ainda geram licor pirolenhoso e gases não condensáveis, em quantidades baixas. O rendimento elevado de carvão vegetal, 86,12 % do tratamento T2 e 84,26 % do tratamento T4 demonstram que ocorrem reações de carbonização nestes carvões durante a segunda carbonização. Uma explicação hipotética pode ser de que as reações que não foram finalizadas durante a primeira carbonização, tiveram a energia necessária durante a segunda carbonização para serem finalizadas, gerando assim, gases condensáveis e não-condensáveis. Estas reações secundárias contribuem para uma maior pureza dos carvões, ou seja, estes carvões terão maior teor de carbono fixo em sua constituição.

O superior rendimento em licor pirolenhoso do tratamento T4 (5,97 %) comparado ao do tratamento T2 (2,79 %) pode ser explicado pela impregnação de licor pirolenhoso no carvão do tratamento T4. No entanto, o rendimento em carvão do tratamento T2 (86,12 %) foi superior ao rendimento do tratamento T4 (84,26 %), ou seja, o tratamento T4 tem maior tendência para perder massa de seu carvão impregnado com licor pirolenhoso. Uma hipótese para este acontecimento, é a de que o licor pirolenhoso reage com componentes do carvão fazendo com que este ceda massa para formação de gases condensáveis originando assim uma maior quantidade de licor pirolenhoso.

Na Tabela 3 podemos observar as características químicas e do poder calorífico dos carvões dos quatro tratamentos.

Analisando o tratamento T1, que caracteriza o carvão vegetal usual, ou seja, o carvão vegetal obtido por processo único de carbonização à temperatura de 500 °C sem licor pirolenhoso impregnado, podemos considerá-lo como um carvão com ótimas características quando comparado a outros trabalhos tais como, VALE et al. (2002); TRUGILHO e SILVA (2001); VITAL et al. (1989); VELLA et al. (1989), para ser utilizado como fonte energética residencial, comercial e industrial.

Tabela 3 – Valores das médias das características dos carvões dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 para matérias voláteis (MV), cinzas (CZ), carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS).

Tratamentos	MV %	CZ %	CF %	PCS cal/g
T 1	14,60	0,75	84,65	7475
T 2	9,01	0,68	90,31	8159
T 3	22,32	0,64	77,04	6871
T 4	13,05	0,68	86,27	7659

As características químicas do carvão do tratamento T2 podem ser consideradas como as melhores dentre os quatro tratamentos adotados. Este carvão possui baixa quantidade de matérias voláteis (9,01 %), as matérias voláteis compreendem a parte do carvão que iniciam a

combustão do mesmo, ou seja, as quais primeiras são queimadas, de forma muito rápida. Após esta parte ser queimada, o que resta no carvão é o que chamamos de carbono fixo, ou seja, é o total de carbono que ficou no produto sólido após a carbonização da madeira e após a queima das matérias voláteis, é a parte do carvão que irá se queimar lenta e gradativamente, gerando muita energia. O carbono fixo no carvão do tratamento T2 (90,31 %) foi superior aos outros tratamentos, consequência de baixa quantidade de matérias voláteis. O carbono fixo é um parâmetro muito importante, pois esta propriedade está diretamente relacionada com o poder calorífico do carvão. Pode-se corroborar este fato através do poder calorífico do carvão do tratamento T2 (8.159 cal/g) que é o maior poder calorífico dentre os quatro tratamentos. TRUGILHO e SILVA (2001) encontraram valores semelhantes para matérias voláteis (6,74 %), carbono fixo (92,22 %) e poder calorífico (8.175 cal/g) do carvão de Jatobá (*Himenea courbaril* L.) carbonizado à temperatura de 900 °C, em estudo realizado com carbonizações em diferentes temperaturas.

Este tratamento adotado de duas carbonizações seguidas a 500 °C deu origem a um carvão com melhores características comparado ao carvão carbonizado uma única vez a 500 °C, no entanto, semelhantes às características encontradas em carvões carbonizados a 900 °C.

Ao analisarmos o carvão do tratamento T4 observamos que possui características superiores ao carvão do tratamento T1. Menor quantidade de matérias voláteis (13,05 %; 14,60 %), maior quantidade de carbono fixo (86,27 %; 84,65 %) e maior poder calorífico (7.659 cal/g; 7.475 cal/g) para o T4 e T1, respectivamente. O carvão do tratamento T4, assim também como o carvão do tratamento T2, passaram por um segundo processo de carbonização a 500 °C, este processo ocasionou reações que não haviam sido completadas durante a primeira carbonização, originando assim, carvões com melhores características quando comparados aos tratamentos T1 e T3.

Não obstante, o carvão do tratamento T2, que não passou pelo processo de impregnação de licor pirolenhoso, apresentou características superiores ao carvão do tratamento T4, o qual passou pelo processo de impregnação. Uma explicação hipotética para este evento singular, é a de que o licor pirolenhoso que possui, entre demais componentes, matérias voláteis condensadas, durante o processo da segunda carbonização, estas matérias voláteis, que haviam sido impregnadas no carvão, reagiram e evaporaram do mesmo, assim também, como as reações que não haviam sido finalizadas durante a primeira carbonização liberaram mais matérias voláteis. Este carvão impregnado continuou, durante a segunda carbonização, com a quebra de ligações carbono-carbono e formação de ligações carbono-oxigênio, os carbonos presentes no licor pirolenhoso também participaram destas reações, causando desta forma, maior perda de massa.

O carvão do tratamento T2, que não foi impregnado com licor pirolenhoso, reiniciou, durante a segunda carbonização, as reações que não haviam sido finalizadas. Durante a segunda carbonização, as reações que ocorreram neste carvão não tiveram que dispensar suas energias para reações paralelas, ou seja, reações com o licor pirolenhoso como no carvão do tratamento T4. Em virtude disto, estas reações exclusivas originaram um carvão com baixíssimo teor de matérias voláteis e muito rico em carbono fixo.

Analisando o carvão do tratamento T3, o qual foi impregnado com licor pirolenhoso sem passar por uma segunda carbonização, observamos que suas características, quanto à insumo energético, tiveram uma perda de qualidade, pois, originou um carvão com alto teor de

matérias voláteis (22,32 %), baixo teor de carbono fixo (77,04 %) e consequentemente um baixo poder calorífico (6.871 cal/g).

As cinzas dos quatro tratamentos não diferem significativamente entre si, 0,75 % (T1); 0,68 % (T2); 0,64 % (T3) e 0,68 % (T4). Podemos observar que os tratamentos T2 e T4, que sofreram duas carbonizações, tiveram o mesmo valor para a porcentagem de cinzas (0,68 %). Os tratamentos carbonizados apenas uma vez, T1 e T3 apresentaram uma pequena diferença entre seus percentuais de cinzas (0,75 % e 0,64 %), respectivamente. VALE et al. (2002) explicam que este comportamento está ligado diretamente com a constituição do carvão vegetal, onde o carbono fixo e o hidrogênio, presentes em matérias voláteis, têm variações distintas com o aumento da temperatura.

Os principais componentes das cinzas do carvão são óxidos de cálcio, de potássio, de sódio, de magnésio, de silício, de ferro e de fósforo (GÓMEZ et al., 2007; KLOCK et al. 2005).

Segundo ANDRADE e CARVALHO (1998), esses elementos minerais, detectados na forma de cinzas, quando em altos teores, reduzem significativamente as qualidades físicas e químicas do carvão vegetal.

Os valores encontrados nos quatro tratamentos para o percentual de cinzas nos carvões são baixos, e correspondem aos valores apropriados para serem utilizados na indústria siderúrgica, a qual necessita de carvões com porcentagem de cinzas abaixo de 1,50 %.

Na figura 2 é possível analisar o ganho e a perda de massa dos tratamentos T1, T2, T3 e T4.

Corroborando a vasta literatura que trata do assunto de carbonização de madeira, o rendimento em carvão vegetal, à temperatura de 500 °C, gira em torno de 35 %, ou seja, de 100 Kg de madeira carbonizada, obtemos, em média, 35 Kg de carvão e 45 Kg de licor pirolenhoso e, os gases não-condensáveis, que ficam por volta de 20 % do peso total da madeira (tratamento T1).

O processo de impregnação de licor pirolenhoso no carvão acarreta um ganho de massa, imediato, de quase 40 %. No entanto, após secagem em estufa, para evaporar a água presente no licor, este ganho de massa cai, para, perto de 8 % (tratamento T3). O licor pirolenhoso é constituído principalmente por água, em torno de 75 % de seu total. Isto explica esta diferença de ganho de massa no carvão após a secagem. Apesar disto, a quantidade de licor pirolenhoso que ficou impregnado no carvão foi pequena.

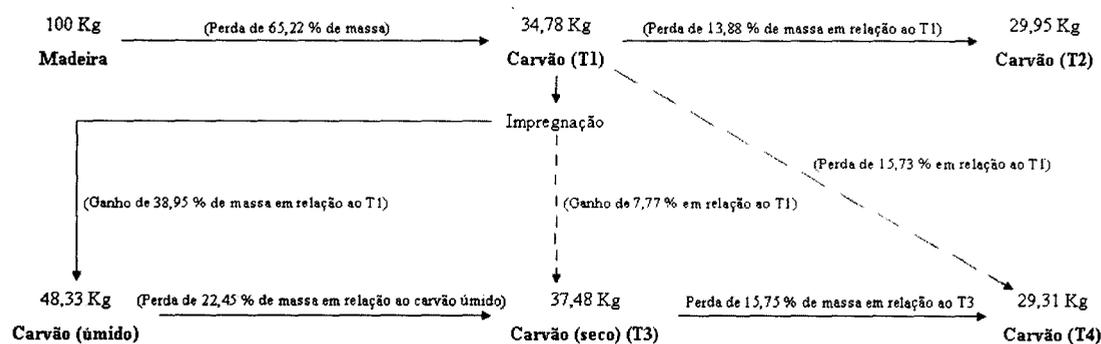


Figura 2 – Diagrama com o percentual do ganho e da perda de massa nos tratamentos T1, T2, T3 e T4.

Comparando os tratamentos T2 e T4, os quais sofreram duas carbonizações, observamos que no carvão do tratamento T4 existe uma tendência para perder maior quantidade de massa, conforme já discorrido.

4. CONCLUSÕES

A espécie *Eucalyptus benthamii*, relativamente nova em projetos de reflorestamento no Brasil, apresentou, aos dezoito anos de idade, características muito favoráveis para ser utilizada como fonte energética. As propriedades de seu carvão, carbonizado a 500 °C, comparados a outras espécies de eucalipto, ou são superiores, ou são iguais.

A impregnação de licor pirolenhoso em carvão vegetal não apresentou os resultados esperados. O carvão do tratamento T3, impregnado com licor pirolenhoso, não teve uma melhora em suas propriedades, ao invés, apresentou propriedades não satisfatórias para sua utilização como fonte energética.

Os carvões dos tratamentos T2 e T4, os quais passaram por um segundo processo de carbonização, foram os que apresentaram as melhores propriedades de seus carvões entre os quatro tratamentos. No entanto, o carvão do tratamento T4, que era o tratamento que se esperava apresentar as melhores características, foi inferior ao tratamento T2.

O tratamento T2, considerado como o tratamento que apresentou o melhor carvão vegetal, pode ser comparado à carvões carbonizados a temperatura de 900 °C, no entanto deve-se analisar qual a melhor viabilidade para se obter um carvão com tais características.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANDRADE, A. M. de; CARVALHO, L. M. de (1998). Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 5, p. 24-42. Rio de Janeiro, RJ. Jan/Dez. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). **NBR 8633 – Carvão Vegetal: Determinação do Poder Calorífico: Método de Ensaio**. ABNT. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). **NBR 8112 – Carvão Vegetal: Análise Imediata: Método de Ensaio**. ABNT. Rio de Janeiro, RJ.

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. (2004). Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demanda de ações. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 157-163. 2004.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; SILVA, J. R. M. da (2007). Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 391-398. Viçosa, MG. Mai/Jun. 2007.

GÓMEZ, E. O.; PÉREZ, J. M. M.; PÉREZ, L. E. B. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. (2007). **Biomassa para Energia**. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/biomassaenergia/cap11.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2007.

KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B. de; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. (2005). **Química da madeira**. Curitiba, PR. Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências Agrárias – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal.

LUENGO, C. A.; FELFLI, F. E. F.; BEZZON, G. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. (2007). **Biomassa para Energia**. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/biomassaenergia/cap10.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2007.

MACEDO, I (2003). **Estado da arte e tendências das tecnologias para energia**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 91 p. Natal, RN. 2003.

PALERMO, G. P. de M.; LATORRACA, J. V. de F.; REZENDE, M. A. de; NASCIMENTO, A. M. do; SEVERO, E. T. D.; ABREU, H. dos S. (2006). Análise da densidade da madeira de *Pinus elliottii* engelm. **Revista da Madeira**, n. 99, ano 16, p. 58-63. Curitiba, PR. Set. 2006.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. (2000). **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PETROF, G.; DOAT, J. (1978). Pyrolyse des bois tropicaux; influence de la décomposition chimique des bois sur les produits de distillation. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 177, p. 51-64. Montpellier, FR. 1978.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. (1996). Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-116. Lavras, MG. 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. (2001). Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, v. 7, n. 2, p. 104-114. Lavras, MG. 2001.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. da. (2001). Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1-2, p. 45-53. Curitiba, PR. 2001.

VALE, A. T. do; ABREU, V. L. S. GONÇALEZ, J. C.; COSTA, A. F. da (2002). Estimativa do poder calorífico superior do carvão vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do teor de carbono fixo e do teor de matérias voláteis. **Brasil Florestal**, n. 73, p. 47-52. Brasília, DF. Abr. 2002.

VELLA, M. M. C. F.; VALENTE, O. F.; VITAL, B. R.; LELLES, J. G. (1989). Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido. **IPEF**, n. 41, p. 64-76. Piracicaba, SP. 1989.

VITAL, B. R.; ANDRADE, A. M. de; VALENTE, O. F.; CAMPOS, J. C. C. (1989). Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, n. 41, p. 44-49. Piracicaba, SP. 1989.