

JOSÉ GERALDO VIEIRA JÚNIOR

**ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE CINCO CLONES
COMERCIAIS DE *Eucalyptus***

CURITIBA

2013

JOSÉ GERALDO VIEIRA JÚNIOR

**ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE CINCO CLONES
COMERCIAIS DE *Eucalyptus***

Trabalho apresentado para obtenção parcial do título de em Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Dimas Agostinho da Silva.

Co-orientador: Elder Eloy

CURITIBA

2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente neste momento da pós-graduação, mas que, em todos os momentos é o maior mestre que uma pessoa pode conhecer.

Ao meio orientador Dr. Dimas Agostinho da Silva, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Agradeço aos meus pais José Geraldo e Solange pelo apoio, incentivo, confiança, aos meus irmãos Diogo e Sheila pela Ajuda e conselhos e aos primos Cristiane e Vítor pelo recebimento e apoio dado.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
3 MATERIAIS E MÉTODOS	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5 CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Constituição dos tratamentos por material genético	12
Tabela 2 - Média do tempo de carbonização (TC) e tempo de resfriamento (TR) em horas, volume de madeira enfiada (VE) em m ³ , massa de madeira enfiada (ME) em toneladas, volume de carvão (VC) em metros de carvão, massa de carvão (MC) em toneladas e tico gerado (TG) em estéreo	16
Tabela 3 - Análise de variância para o teor de carbono fixo (TCF); teor de cinzas (TCZ); teor de umidade em base seca (UBS); teor de umidade em base úmida (UBU); teor de materiais voláteis (TMV); rendimento gravimétrico (RG) e densidade do carvão (DC)	17
Tabela 4 - Médias das características de qualidade de carvão	17

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE CINCO CLONES COMERCIAIS DE *EUCALYPTUS*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar atributos químicos e físicos relacionado às características do carvão vegetal proveniente de cinco clones híbrido de *Eucalyptus*, para uso siderúrgico. O estudo foi desenvolvido no setor de produção de carvão vegetal da empresa Aperam Bioenergia, localizado na cidade de Turmalina MG. O experimento foi constituído de um delineamento inteiramente casualizado, caracterizado por apresentar 5 clones dispostos em 3 repetições. Após cada carbonização, foi determinado o rendimento gravimétrico do carvão, os teores de umidade em base seca e base úmida, a densidade a granel e a análise química imediata do carvão, que determina os teores de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo. Os clones AEC0044 e AEC0296 possuem os maiores teores de carbono fixo, demonstrando serem superiores ao demais avaliados, sendo que a destinação final do carvão vegetal que necessitar de maior valor desta característica para uso. Em termos de rendimento gravimétrico de carvão em relação à madeira enfiada, o melhor material genético entre os avaliados foi o clone AEC1528. O clone que apresentou melhor qualidade do carvão vegetal dentre os avaliados foi o clone AEC0044, que também apresentou o menor teor de cinzas.

Palavra-chave: Carbonização, Qualidade do carvão, Rendimento gravimétrico.

ABSTRACT

ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF CHARCOAL CLONES OF FIVE COMMERCIAL *EUCALYPTUS*

The aim of this study was to analyze chemical and physical attributes related to the characteristics of charcoal from five clones of *Eucalyptus* hybrid, for steelmaking. The study was developed in the sector of production of charcoal company Aperam Bioenergia, located in Turmalina MG. The experiment consisted of a completely randomized design, characterized by presenting five clones arranged in three replicates. After each carbonization was determined charcoal yield, the moisture content on a dry basis and wet basis, the bulk density and chemical analysis of coal, which determines the concentrations of volatiles, ash and fixed carbon for use. Clones AEC0044 AEC0296 and have the highest levels of fixed carbon, proving to be superior to the other evaluated, and the final destination of charcoal, which require higher value of this feature. In terms of gravimetric yield of coal in relation to wood put into the furnace, the best genetic material between the clone was evaluated AEC1528. The clone that showed the best quality charcoal from the clone was evaluated AEC0044, which also had the lowest ash content.

Keywords: Carbonization, Quality coal, Gravimetric yield.

1 INTRODUÇÃO

A introdução comercial do eucalipto no Brasil ocorreu em 1904, com a finalidade de atender a demanda de lenha e postes, além de servir como matéria prima na construção das estradas de ferro na Região Sudeste (FREITAS *et al.*, 2009). Quando se refere à siderurgia nacional, a empresa fundadora da primeira usina integrada da América do Sul em 1925, foi pioneira também ao iniciar na década de 1940 um programa de reflorestamento baseado no gênero *Eucalyptus*, visando produzir madeira para suprir a demanda de carvão vegetal da usina. O Brasil é o único a possuir siderurgia a carvão vegetal no mundo, aliada à sua dependência de cadeia produtiva ser originalmente de base florestal, representa importante fator de inclusão social, gerando empregos e renda que abrangem diversas classes sociais (CALAIS, 2009).

O uso da madeira no país, para geração de energia, tem sido relacionado à produção de carvão, em decorrência da demanda existente pelo produto junto ao setor siderúrgico e, em sua grande maioria, são espécies do gênero *Eucalyptus*. Devido à grande variedade de materiais genéticos comercializados, faz-se necessário estudá-las a fim de melhorar a eficiência dos processos de conversão energética, obter um material genético de rápido crescimento e que proporcione qualidade e rendimento do carvão vegetal a fim de atender a demanda dos alto-fornos siderúrgicos.

O nosso país se tornou um dos maiores produtores mundiais de carvão vegetal e também um dos maiores consumidores. Houve um crescimento expressivo nos últimos anos, na ordem de 61,4% entre 2009 e 2012. O aumento do consumo de carvão de vegetal, em especial originado das florestas plantadas, decorreu de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar as exigências e a pressão constante dos grandes consumidores nacionais e internacionais de ferro-gusa para redução ou até eliminação da utilização de carvão de áreas nativas, aliado às exigências ambientais nacionais, cada vez mais intensas, por meio de leis e regulamentos (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF, 2013).

O termo florestas energéticas surgiu durante a década de 80, para definir as plantações florestais com grande número de árvores por hectare e,

conseqüentemente, de curta rotação, que tinham como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo (MAGALHÃES, 2001). Nesse contexto, os estudos que visam à seleção de espécies em florestas energéticas de eucalipto propõem homogeneizar as propriedades da madeira e melhorar, além da eficiência de queima direta, rendimentos em carvão, teor de carbono e outras propriedades desejadas na sua utilização como termorreductor.

Mesmo o Brasil tendo uma grande área plantada, as espécies de eucalipto introduzidas tiveram objetivo básico apenas para a produção de lenha. Estas espécies foram selecionadas obedecendo somente ao zoneamento ecológico para reflorestamento proposto por Golfari & Pinheiro Neto (1970). Com o passar dos anos as espécies inicialmente plantadas foram sendo substituídas por outras, geralmente clones, e a produtividade volumétrica foi à característica de maior importância. Seleção com base nas características de qualidade da madeira só foi considerada mais tarde, especialmente para atender à produção de carvão vegetal e de celulose e papel. Vários trabalhos foram realizados visando obter maiores informações com relação à influência da qualidade da madeira e do processo de obtenção do carvão vegetal. Citam-se, dentre vários, os trabalhos realizados por Almeida (1983), Oliveira (1988) e Trugilho (1995).

O interesse pela utilização de madeira de novas espécies e clones do gênero *Eucalyptus*, 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. São vários trabalhos publicados neste intuito, além de várias pesquisas não divulgadas pelas empresas do setor de carvão vegetal.

As características usualmente determinadas no carvão vegetal, para definir sua qualidade são os teores de umidade, de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo; densidade; porosidade; poder calorífico superior; resistência mecânica; reatividade; e rendimento gravimétrico (OLIVEIRA *et al.*, 1982a). O carbono fixo corresponde à quantidade de carbono presente no carvão vegetal e está relacionado com o poder calorífico, sendo uma das características químicas de maior influência na sua utilização (OLIVEIRA *et al.*, 1982b; BRITO, 1993). As cinzas são provenientes dos componentes minerais da madeira e da casca e podem ser prejudiciais no processo siderúrgico de alguns metais (VITAL *et al.*, 1986).

Pinheiro *et al.* (2008) afirmam que a produção de carvão vegetal e sua composição dependem da espécie de madeira, da carga do forno, da temperatura final de carbonização e de outras condições operacionais utilizadas. O conhecimento dos fundamentos da carbonização permite aumentar a produtividade, bem como produzir um carvão vegetal com as características necessárias para uma aplicação específica.

Reconhecendo a importância e as potencialidades relativas ao carvão vegetal dos vários clones híbridos existentes, este trabalho teve como objetivo analisar atributos químicos e físicos relacionado às características do carvão vegetal proveniente de cinco clones híbrido de *Eucalyptus*, para uso siderúrgico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, tem sua origem na Austrália, exceto pelas espécies *E. urophylla* e *E. deglupta* que ocorrem em ilhas na Oceania. O *Eucalyptus* é dividido em oito subgêneros: *Blakella*, *Eudesmia*, *Gaubaea*, *Idiogenes*, *Telocalyptus*, *Monocalyptus*, *Symphyomyrtus* e *Corymbia*. Atualmente, tem-se de 600 a 700 espécies já identificadas, com diferentes exigências quanto à fertilidade de solo, tolerância a geadas e à seca, possibilitando seu plantio em mais de 100 países, todos com importância econômica (VITAL, 2007). No Brasil, as principais espécies plantadas são o *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *C. citriodora* e *E. camaldulensis*, entre outros (Centro de Inteligência em Florestas - CIFLORESTAS, 2013).

Adaptados a praticamente a todas as condições climáticas, os eucaliptos caracterizam a paisagem da Oceania de uma forma que não é comparável a qualquer outra espécie, em outro continente. Algumas das suas espécies foram exportadas para outros continentes, onde têm ganhado importância econômica, devido ao fato de crescerem rapidamente e sua madeira ser destinada a vários usos além da siderurgia, como a pasta de celulose, usada no fabrico de papel, e madeira para indústria e movelaria (ANDRADE, 1932).

Brito *et al.* (1983), estudando várias espécies de eucalipto a fim de definir resultados quanto as suas qualidades do carvão, concluiu que sob o aspecto da produtividade energética por unidade de área plantada, os melhores resultados foram apresentados, em ordem decrescente, pelo *E. pilularis*, *E. grandis* e *E. saligna*. Dentre estas três espécies, o mesmo autor destaca o *E. pilularis*, devido aos maiores valores das características relacionadas a qualidade do carvão vegetal. Apesar de apresentarem menores produtividades energéticas por unidades de área, devem ser ressaltados os maiores valores de teor de carbono fixo das madeiras do *E. pellita*, *E. triantha* e *E. microcorys*, consideradas como as melhores em termos de valor energético de fuste.

Brito *et al.* (1983), ainda destaca as espécies *E. pilularis*, *E. grandis* e *E. saligna* com relação à produtividade de carvão vegetal por unidade de área. Com relação à qualidade do carvão vegetal destas três espécies, as melhores foram o *E.*

pilularis e o *E. saligna*. Mais uma vez, obtendo menores produtividades por unidade de área apresentaram as melhores qualidades de carvão vegetal, sendo elas *E. pellita*, *E. triantha* e *E. microcorys*.

Um dos principais usos da madeira é para a produção de carvão vegetal, assim, a sua qualidade e a quantidade sofrerão significativa modificação em relação à madeira de origem, pois esse produto está intimamente relacionado com as características químicas, anatômicas e físicas da madeira (TRUGILHO *et al.*, 2005). Para o mesmo autor, um problema relacionado ao uso do carvão vegetal é a sua variabilidade em qualidade, uma vez que esse produto sofre grande influência da qualidade da madeira e do processo de produção. A variabilidade ocasiona desperdício do material, podendo, inclusive, dificultar a operação dos altos fornos siderúrgicos. Para Trugilho (1995), a utilização da madeira para a produção de energia, apesar de não ser restritiva, depende de algumas características internas da madeira, como, por exemplo, o teor de lignina e a densidade básica.

As grandes consumidoras de carvão vegetal são as indústrias independentes ou integradas de produção de ferro-gusa e ferro-ligas e estas estão aumentando a eficiência do processo de carbonização da madeira e o processo industrial, com a finalidade de aprimorar a sustentabilidade ambiental, econômica e social da produção de carvão vegetal e siderúrgica. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do país, abrigando o maior parque siderúrgico da América Latina; tendo na atividade carvoeira uma das maiores geradoras de mão-de-obra e significativa fonte de renda para a sua economia (GUIMARÃES NETO *et al.*, 2007).

Segundo Pinheiro *et al.* (2008), as propriedades mais importantes do carvão vegetal para a operação do alto-forno e uso industrial geral são a resistência à compressão e a composição química. Para o mesmo autor, os principais fatores que influenciam a densidade relativa aparente e a resistência mecânica do carvão vegetal são: espécie de madeira, dimensões da madeira e parâmetros da carbonização. Uma madeira densa produz carvão vegetal denso, portanto, deve ser preferida para a produção de carvão metalúrgico.

Schneider *et al.* (1998), afirma que se a densidade do povoamento for muito baixa, pode-se não aproveitar todo o potencial do local, em termos de luz, nutrientes e água. Por outro lado, se a densidade for muito alta, a quantidade destes elementos disponíveis no local pode não ser suficiente para garantir o bom

desenvolvimento das árvores. A diferenciação do crescimento das árvores em locais e espaçamentos distintos, segundo um mesmo padrão silvicultural, resulta em propriedades diferentes na madeira oriunda do fuste dessas árvores, sendo que isso pode influenciar diretamente a qualidade e a produção do carvão vegetal.

O teor de materiais voláteis pode afetar a estrutura do carvão vegetal, pois a porosidade, o diâmetro médio dos poros, a densidade e outras características físicas do carvão podem ser alterados com a eliminação destes (OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Uma característica importante quando se avalia materiais distintos para a produção de carvão vegetal é o rendimento gravimétrico que é um parâmetro quantitativo que possui a finalidade de representar quanto carvão por unidade de massa é gerado a partir de certa quantia de madeira seca, seus teores estão diretamente associados à matéria-prima, temperatura final e taxa de aquecimento utilizado na produção (ANDRADE, 2010). Trugilho *et al.* (2005) afirma que o efeito do clone apresenta diferença significativo para as variáveis rendimento gravimétrico, densidade relativa aparente, teor de carbono fixo e rendimento em carbono fixo e o efeito de posição radial da madeira apresentou diferença significativa nas características densidade relativa aparente, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e rendimento em carbono fixo.

Outra variável do carvão vegetal é o teor de cinzas, resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca. O carvão para fins siderúrgicos deve ter uma menor proporção de materiais minerais, pois, quanto maior a proporção de materiais minerais na madeira, maior a produção de cinzas no carvão (COLLET, 1955).

Através de diferentes marchas de carbonização podem-se analisar as reações da madeira perante temperatura e velocidade com que esta é carbonizada e como estes parâmetros influenciam no rendimento gravimétrico e nas propriedades do carvão vegetal. O aumento de temperatura em dado intervalo de tempo é expressa pela taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C min}^{-1}$), maiores taxas de aquecimento, acarretam no aumento dos valores de carbono fixo e cinzas (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no setor de produção de carvão vegetal da empresa Aperam Bioenergia, localizado na cidade de Turmalina, bacia hidrográfica do Araçuaí, Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Clima tropical com estação seca bem definida, classificação climática de Köppen-Geiger Aw.

O experimento constitui-se em um delineamento inteiramente casualizado, sendo 5 tratamentos (clones) e 3 repetições. Os clones trabalhados neste estudo são resultantes de melhoramento genético para madeira destinada a produção de carvão vegetal, na Tabela 1 são descritos os tratamentos e sua origem genética.

Tabela 1 – Constituição dos tratamentos por material genético

Tratamento	Clone	Espécie
01	AEC 044	<i>Eucalyptus urophylla</i>
02	AEC 144	<i>Eucalyptus urophylla</i>
03	AEC 220	<i>Eucalyptus urophylla</i>
04	AEC 296	<i>Eucalyptus urophylla</i>
05	AEC 1528	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>

Fonte: APERAM BIO ENERGIA (2013).

A Umidade da madeira foi obtida no momento da carga do forno, retirando os discos e levando ao laboratório de análises. As madeiras adquiridas estavam com umidade média de 30% e idade dos povoamentos florestais de aproximadamente 7 anos.

Esses materiais foram carbonizados em fornos retangulares de alvenaria denominado RAC 700. Forno de alta produtividade, com controle de temperatura e oxigênio, com capacidade de 700 st de madeira, funcionamento mensal girando em torno de 1,76 fornadas.

A carbonização foi totalmente controlada, mantendo um único nível para todos os tratamentos. O estoque de madeira para os fornos analisados foram pesados e mensurados (volume cúbico) antes e depois da entrada ao forno, para obter o rendimento gravimétrico. Durante a descarga do forno foram obtidas amostras, sendo as mesmas quarteadas e levadas ao laboratório de análises da Aperam Bioenergia para determinar o carbono fixo presente no carvão vegetal. O carvão resultante foi pesado e mensurado, em m³.

Neste estudo determinou-se a densidade a granel, carbono fixo e os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal de cada tratamento. O controle do aquecimento e oxigênio dentro do forno foi realizado de forma manual com uso de pirômetro seguindo a mesma metodologia para todos os tratamentos, ou seja, com oito horas de carbonização para levantar as três lajes.

Quando a chaminé atingiu 80 °C, foi realizada a vedação com barro na laje do meio e na laje do lado referente à chaminé que chegar na temperatura primeiro.

Assim que a chaminé atingiu 95 °C realizou a vedação na metade do orifício da laje, este controle corresponde a 50% de entrada de oxigênio. Realizar este controle na laje do meio e na laje do lado referente à chaminé que chegar primeiro na temperatura mencionada acima.

Quando a chaminé atingiu 115 °C foi vedado ainda mais o orifício da laje até 75%, restando apenas 25% do orifício para entrada de oxigênio. Houve o controle na laje do meio e na laje do lado referente à chaminé que chegar primeiro a temperatura.

Quando a chaminé atingiu a temperatura de 125 °C controlou com 90% na laje do meio e na laje do lado referente à chaminé que chegou primeiro a temperatura.

No momento em que atingiu a temperatura de 130 °C na chaminé, isolou-se a laje do meio e a laje do lado referente à chaminé que obteve primeiro a temperatura. Foi realizado este mesmo procedimento na outra chaminé, finalizando assim a carbonização.

Após cada carbonização, foi determinado o rendimento gravimétrico de carvão, em relação à madeira seca. Foi realizada a análise química imediata do carvão para determinar o teor de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo, por meio da Norma NBR 8112 (ABNT, 1983). O resultado final foi a média de cinco repetições. A densidade a granel do carvão vegetal foi determinada no momento da pesagem das carretas.

Toda a lenha utilizada na carbonização foi pesada antes de disposta no interior do forno e, após a carbonização, pesou-se o carvão e o líquido pirolenhoso para quantificação e cálculo de rendimento de cada produto.

Para a determinação do teor de umidade, foram utilizadas cinco gramas da amostra do carvão vegetal. Após a pesagem, a amostra foi conduzida à estufa

para secagem por 24 horas a 103 ± 2 °C e, posteriormente, foi pesada novamente. O teor de umidade foi calculado com base na Eq. 1.

$$TU (\%) = \frac{PU - PS}{PS} \times 100 \quad (1)$$

em que: TU = Teor de umidade, em porcentagem; PU = Peso da amostra, em gramas; e PS = Peso da amostra após estufa, em gramas

Para a determinação do teor de material volátil foram utilizados cadinhos de porcelana com tampa. Foi colocado um grama da amostra de carvão vegetal em cada cadinho, e estes foram conduzidos a mufla elétrica, regulada a 950 ± 10 °C, permanecendo por 2 min sobre a parte externa da porta aberta, 3 minutos na porta interna da porta aberta e 6 minutos no interior da mufla com a porta fechada. O teor de materiais voláteis foi calculado com base na Eq. 2.

$$TMV(\%) = (1,0 - PA) \times 100 \quad (2)$$

em que: TMV = Teor de materiais voláteis, em porcentagem; e PA= Peso da amostra de carvão vegetal após passagem pela mufla, em gramas.

Para a obtenção do teor de cinzas, foi colocado um grama da amostra de carvão vegetal em cada cadinho de porcelana sem tampa, e estes foram conduzidos ao interior da mufla elétrica regulada a 750 ± 10 °C e mantidos com a porta fechada, por 6 horas, para completa calcinação. O teor de cinzas e o teor de carbono fixo foram calculados com base nas Eq. 3 e 4, respectivamente.

$$TCZ (\%) = PR \times 100 \quad (3)$$

em que: TCZ = Teor de cinzas, em porcentagem; e PR = Peso do resíduo no interior do cadinho, em gramas

$$TCF (\%) = 100\% - (TMV + TCZ) \quad (4)$$

em que: TCF= Teor de carbono fixo, em porcentagem; TMV= Teor de materiais voláteis, em porcentagem

A densidade a granel do carvão vegetal foi determinada no momento da expedição do carvão, pela diferença de peso do veículo obteve-se a densidade em kg/m^3 .

A análise estatística dos dados foi processada por meio do Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), as médias dos tratamentos onde a análise de variância constatar diferença significativa ($P < 0,05$), foram comparadas pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentadas as médias por material genético (Tabela 2), das características relacionadas ao carvão vegetal oriundo do processo de carbonização industrial.

Tabela 2 – Média do tempo de carbonização (TC) e tempo de resfriamento (TR) em horas, volume de madeira enfiada (VE) em m³, massa de madeira enfiada (ME) em toneladas, volume de carvão (VC) em metros de carvão, massa de carvão (MC) em toneladas e tiço gerado (TG) em estéreo

CLONE	TC (h)	TR (h)	VE (m ³)	ME (ton)	VC (mdc)	MC (ton)	TG (st)
AEC0044	144,00	306,00	655,30	361,49	429,43	96,17	26,67
AEC0144	138,00	302,00	736,96	358,38	446,78	102,07	41,67
AEC0220	126,33	308,00	698,55	377,48	435,57	101,11	30,00
AEC0296	109,67	318,67	661,89	361,14	455,93	103,10	25,00
AEC1528	114,33	310,67	650,80	326,46	461,67	105,67	31,67

Todos os clones hoje cultivados pela empresa possuem alguma característica importante. Observando apenas esta Tabela 2, nota-se, por exemplo, o clone AEC0044 tem um tempo de carbonização maior que os demais clones e este tempo já é compensado pelo seu tempo de resfriamento e pelo baixo tiço gerado. O clone AEC0144, tem um fator de forma menor (mais cilíndrico), possibilitando enfiar uma maior quantidade de madeira. O clone AEC0220, por possuir uma densidade maior, sua produção massa de madeira submetida ao processo de produção de carvão é maior. O clone AEC0296, resultou em um reduzido tempo de carbonização e também resulta em pouco tiço gerado. Por fim, um dos últimos materiais genéticos desenvolvidos pela empresa o clone AEC1528, vem obtendo ótimos resultados, em suas características analisadas, percebe-se um bom intervalo de tempo entre a carbonização e o resfriamento, e principalmente resulta em um ótimo volume de carvão (mdc), tornando um clone com alta produção no processo de carbonização adotado pela empresa.

A Análise de Variância (ANOVA) foi realizada para as características de qualidade de carvão dos tratamentos em estudo, avaliando o teor de carbono fixo,

teor de cinzas, umidade (base seca e úmida), teor de materiais voláteis e rendimento gravimétrico. Na Tabela 3 são apresentados os resultados das ANOVA.

Tabela 3 – Análise de variância para o teor de carbono fixo (TCF); teor de cinzas (TCZ); teor de umidade em base seca (UBS); teor de umidade em base úmida (UBU); teor de materiais voláteis (TMV); rendimento gravimétrico (RG) e densidade do carvão (DC).

FV	GL	Quadrado Médio						
		TCF	TCZ	UBS	UBU	TMV	RG	DC
Tratamento	4	22,44**	0,669*	1,298 ^{ns}	1,051 ^{ns}	26,76 ^{ns}	17,7**	19,6 ^{ns}
Resíduo	10	1,25	0,20	1,39	1,16	12,69	1,98	18,20

Em que: **significativo a 1% de probabilidade de erro; *significativo a 5% de probabilidade de erro; ^{ns} não significativo; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade.

Foi constatada diferença significativa entre os clones analisados apenas para o teor de carbono fixo, rendimento gravimétrico e teor de cinzas. Para os teores de umidade (base seca e úmida), teor de materiais voláteis e densidade do carvão vegetal não houve diferença significativa entre os materiais genéticos avaliados. Na Tabela 4, são apresentadas as médias dos valores das características da qualidade do carvão vegetal avaliadas. Para as médias que apresentaram diferença estatística, foi realizado o Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tabela 4 – Médias das características de qualidade do carvão

CLONE	TCF	TCZ	UBS ^{ns}	UBU ^{ns}	TMV ^{ns}	RG	DC ^{ns}
AEC0044	80,41 a	0,98 b	5,17	4,89	28,83	36,57 b	221,31
AEC0144	75,92 b	2,31 a	5,98	5,63	37,08	38,60 ab	223,31
AEC0220	76,40 b	1,69 ab	5,10	4,85	33,23	35,74 b	218,95
AEC0296	81,33 a	1,59 ab	4,27	4,10	34,50	38,04 b	222,09
AEC1528	75,51 b	1,58 ab	4,54	4,34	33,34	42,04 a	216,95

CF: Teor de carbono fixo (%); TCZ: Teor de cinzas (%); UBS: Teor de umidade em base seca (%); UBU: Teor de umidade em base úmida (%); TMV: Teor de materiais voláteis (%); RG: Rendimento gravimétrico (%); DC: Densidade do carvão (Kg/m³).

Médias seguidas pela a mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Os clones AEC0044 e o AEC0296 apresentaram melhor TCF, cerca de 5 a 6% a mais em relação aos demais materiais genéticos analisados, sendo que os outros foram semelhantes não apresentando diferença significativa (Tabela 4). Assim, o plantio destes dois clones é os mais indicados na empresa florestal, pelo fato do seu produto final conter uma maior concentração de carbono fixo. Segundo Oliveira (1988), o efeito do teor de carbono fixo no carvão vegetal é o de aumentar a produtividade do alto-forno, de forma análoga a densidade, mesmo a densidade não diferir estatisticamente dos outros clones estudados, percebe-se pela média, uma relação entre estas duas variáveis.

Um dos motivos da empresa onde foi realizado este estudo ter optado pela implantação do material genético AEC1528, foi devido ao seu auto rendimento gravimétrico. Resultando numa maior produção de carvão, chegando a ser superior em até aproximadamente 7%, em relação aos outros materiais plantados. Quando realizamos uma análise do rendimento, este clone é uma ótima opção para as empresas do setor de carvão vegetal.

Oliveira (1998), afirma que o carvão vegetal que possui alto rendimento gravimétrico possui correlação positiva com o teor de lignina, teor de extrativos e densidade da madeira, em contra partida, possui correlação negativa entre largura e diâmetro dos lumens das fibras.

A densidade do carvão vegetal não apresentou diferença entre os materiais genéticos, pelo fato de serem resultantes da hibridação da mesma espécie que é o *Eucalyptus urophylla*, conforme explicado por Trugilho *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2011), que esta característica é mais afetada pela espécie do que entre outros fatores externos.

Avaliando a qualidade do carvão vegetal em quatro clones de eucalipto aos sete anos de idade, Santos *et al.* (2011), encontraram valores médios para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal variando entre 28,27 e 30,21%. Botrel *et al.* (2007), trabalhando com clones de *Eucalyptus* aos seis anos e meio, encontraram o valor médio para o rendimento gravimétrico em carbono fixo igual a 25,97%. Todos os clones deste estudo apresentaram valores superiores aos desses trabalhos, destacando o ótimo melhoramento genético feito pela empresa, quanto à produção de carvão vegetal dos clones cultivados.

Reis *et al.* (2012), estudando a variação do local e do espaçamento nas características do carvão vegetal, encontraram valores de rendimento gravimétrico

variando de 35 a 38%, valores semelhantes aos rendimentos dos clones AEC0044, AEC0144, AEC0220 e ao AEC0296, porém esta característica no clone AEC1528 é muito superior aos materiais genéticos deste estudo e do trabalho deste autor, enfatizando o ótimo rendimento gravimétrico obtido por esse clone.

Os teores de cinzas dos materiais avaliados foram considerados baixos, porém o clone AEC0144 possui um maior teor de cinzas, gerando uma maior quantidade de resíduos no final do processo de carbonização (Tabela 4). Na Tabela 2, percebe-se um maior teor de tiço gerado em relação aos demais materiais genéticos analisados, mesmo este clone possibilitando uma maior quantidade de madeira enfiada, ele resultada em uma maior quantidade de resíduo, como analisado neste trabalho, sendo representado pelo teor de cinzas e tiço. O clone AEC0044, apresenta-se resultados contrários ao clone AEC0144, pois gerando menor quantidade de tiço ele foi o que resultou no carvão vegetal com menor teor de cinzas.

Estudando três clones diferentes com a finalidade de produção de carvão vegetal, Neves *et al.* (2011) avaliou o clone AEC0144, equivalente ao clone denominado pela Aperam Bioenergia, sendo os teores de cinzas apresentados naquele trabalho inferiores ao deste estudo. O teor de cinzas é uma característica muito influenciada pela constituição de minerais do solo e o tipo de adubação mineral que o povoamento florestal recebeu, sendo em regiões distantes e se tratando de empresas diferentes é muito comum o teor de cinzas ter essa variação no mesmo clone, sendo cultivado em diferentes locais e recebendo tratamentos silviculturais distintos.

De acordo com Valente (1986), a fabricação de carvão com madeira úmida, origina um carvão friável e quebradiço, provocando a elevação do teor de fino durante o manuseio, transporte e recomendando carbonizar a madeira com umidade, base seca, entre 20-30%. A média da umidade da madeira carbonizada neste estudo foi controlada, na qual foi carbonizada com cerca de 30%, o conhecimento do teor de umidade para carbonização contribuiu para uma maior uniformidade da umidade do material resultante da carbonização.

O rendimento nos processos em que o carvão será utilizado, é altamente influenciado pelo teor de umidade. O carvão absorve umidade da atmosfera, principalmente durante as chuvas, período de alta umidade relativa do ar, perdendo esta umidade absorvida, com a exposição ao sol, tornando o carvão com maior

produção de finos (OLIVEIRA, 1982c). Para contornar o problema da umidade é necessária a produção do carvão vegetal com a mínima umidade possível. Dentre os clones avaliados, percebe-se um baixo conteúdo de umidade, tanto calculado pelo método de base seca, quanto por base úmida, o que enfatiza a boa qualidade dos materiais genéticos utilizados pela empresa em estudo.

Segundo Carmo (1988), os fatores que influenciam no teor de materiais voláteis no carvão vegetal são a temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira, sendo que a temperatura é a principal característica que regula o teor de materiais voláteis. Como as temperaturas e taxa de aquecimento foram semelhante para todos os clones, a não diferença significativa entre o teor de materiais voláteis nos clones estudados já era esperado.

Por ser um carvão vegetal produzido por híbrido de *Eucalyptus* sp., os materiais genéticos avaliados apresentaram bons resultados de densidade de carvão. Um fato muito importante, pois, uma densidade muito baixa do carvão vegetal acarreta menor utilização do volume do alto-forno e maior produção por unidade de volume. A densidade do carvão vegetal depende diretamente da madeira que lhe deu origem, assim, mantidas constantes outras propriedades, para usos siderúrgicos e metalúrgicos, a densidade do carvão vegetal deve ser a maior possível (MENDES *et al.*, 1982).

Dentre esse e outros estudos percebe-se que as espécies e clones de eucalipto possuem características relativas à qualidade do carvão vegetal, que variam muito, sejam influenciadas pelo manejo do povoamento, idade de plantio, local, etc. Cabe ao empreendedor florestal escolher o destino final do produto carvão vegetal, para definir qual melhor espécie/clone a ser implantado no determinado local, como por exemplo, se a matéria prima for comercializada em empresas siderúrgicas, no consumo doméstico, na indústria química, no gasogênio, etc.

4 CONCLUSÕES

Após a análise dos clones avaliados, pode-se concluir que:

Os clones plantados pela empresa Aperam Bioenergia apresentam boa qualidade nas características do carvão vegetal.

Os clones AEC0044 e AEC0296 possuem Teor de Carbono Fixo superiores ao demais avaliados, sobressaindo em relação aos demais avaliados, quando o consumidor final exigir um carvão vegetal contendo maiores valores desta característica, como é o caso do setor de siderurgia, o plantio destes clones são os mais recomendados, para a região onde foi realizado este estudo.

Em termos de rendimento de carvão (gravimétrico) em relação à madeira enfornada, o melhor material genético entre os avaliados é o clone AEC1528, sendo o mais recomendado para implantação, quando a destinação final não for muito exigente em relação a outras características do carvão vegetal.

O clone que apresentou melhor qualidade do carvão vegetal dentre os avaliados foi o clone AEC0044, além de possuir um maior Teor de Carbono Fixo, também apresentou um menor Teor de Cinzas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.

ANDRADE, C. A. Influência da temperatura de carbonização no rendimento gravimétrico em carvão vegetal de dois clones de *Eucalyptus* sp. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010. 2 p.

ANDRADE, E. N. de. **O eucalipto**. São Paulo: Chácara e Quintais, 1932. 124 p

APERAM BIO ENERGIA. Dados internos, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas NBR 8633**. Brasília, 1983. 6 p.

ALMEIDA, J. M. de. **Efeito da temperatura sobre rendimento e propriedades dos produtos da carbonização de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 1983. 40 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983

BOTREL, M. C. G. et al. da. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, 1993. Piracicaba, 6p. (Circular técnica nº 181).

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M. C. Análise da Produção Energética e de Carvão Vegetal de Espécies de Eucalipto. Piracicaba – SP, **IPEF**, 1983, n. 23, p. 53-56.

CALAIS, D. **Florestas energéticas no Brasil: Demanda e disponibilidade**. Associação Mineira de Silvicultura – MAS, 23 p., 2009. Disponível em: <<http://silviminas.com.br/wp-content/uploads/2012/12/publicacao585.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2013.

CARMO, J. S. **Propriedades Físicas e Químicas do Carvão Vegetal Destinado à Siderurgia e Metalurgia**. 1988. Viçosa - Minas Gerais, Brasil. (Monografia)

CIFLORESTAS, **Centro de Inteligência em Florestas**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/>> Acesso em: 20 Set. 2013.

COLLET, F. Estudos comparativos em escala de laboratório de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, São Paulo, 42(12): 5-14, 1955.

FREITAS, R. G. de. et al. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 255-263, 2009.

GOLFARI, L.; PINHEIRO NETO, F. A. Escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**. Rio de Janeiro, 6 (23):17-38, 1970.

GUIMARÃES NETO, R. M. et. al. Avaliação econômica e financeira de projetos de fornos dos tipos Container industrial e retangular de 40 estéreos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.709-715, 2007.

MAGALHÃES, J. R. A energia que vem da floresta. In: **Biomassa; energia que vem dos trópicos em Minas Gerais**. 2001. p. 133-144.

MENDES, M. G. et al. 1982. Propriedades e controle da qualidade do carvão vegetal. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. p.77-89.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

OLIVEIRA, E. de. 1988. **Correlação Entre Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. Viçosa Minas Gerais, UFV, 47 p. Tese Mestrado.

OLIVEIRA, J. B. de. et al. 1982 b. Propriedades do carvão vegetal. In: PENEDO, W.R. (ed) **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, controle de qualidade**. Belo Horizonte, CETEC. p.39-61.

OLIVEIRA, J. B. de. et al. 1982 a. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. (ed) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, CETEC. p.60-73.

OLIVEIRA, et al. Estudos preliminares de normatização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: Penedo, W. R. **CARVÃO VEGETAL**. Belo Horizonte, CETEC, p. 7-38, 1982 c. (Série de Publicações Técnica, 006).

OLIVEIRA, E. de. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no Semi-Árido Nordestino** (tese). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003. 122 p.

OLIVEIRA, E et al. Estrutura Anatômica da Madeira e Qualidade do Carvão de **Mimosa tenuiflora** (Willd.) Poir1. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.311-318, 2006.

OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PINHEIRO, P. C. C. et al. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. 2. ad. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2008. 120 p.

REIS, A. A. dos. et al. Efeito de Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 497-505, 2012.

SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.39, n.90, p.221-230, 2011.

SCHNEIDER P. R. et al. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, 1998. v. 8 n. 1 p. 129-140.

TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus***. 1995. 160 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

TRUGILHO, P.F. et al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n.2, p. 178-186, 2005.

TRUGILHO, P. F. et al. Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v.16, p.33-40, 2010.

VALENTE, A. F. Carbonização de Madeira de Eucalipto. **Informe Agropecuário** 1986. 141: 74-79.

VITAL, B. R. et al. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2: 151-160.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez., 2007.