



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

JÉSSICA STÉFANE VASCONCELOS SERAFIM

COMPORTAMENTO SILVICULTURAL E DA QUALIDADE DA
MADEIRA DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS
EM SISTEMAS INTEGRADOS

Palmas -TO
2018

JÉSSICA STÉFANE VASCONCELOS SERAFIM

**COMPORTAMENTO SILVICULTURAL E DA QUALIDADE DA MADEIRA DE
EUCALIPTO SOB DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS EM SISTEMAS
INTEGRADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins para obtenção do grau de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Solange Aparecida Ságio

Coorientador: Alisson Moura Santos

PALMAS -TO

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S481c SERAFIM, JÉSSICA STÉFANE VASCONCELOS.
COMPORTAMENTO SILVICULTURAL E DA QUALIDADE DA
MADEIRA DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS EM
SISTEMAS INTEGRADOS. / JÉSSICA STÉFANE VASCONCELOS
SERAFIM. – Palmas, TO, 2018.

69 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Agroenergia, 2018.

Orientadora : Solange Aparecida Ságio

Coorientador: Alisson Moura Santos

1. Integração Lavoura Pecuária Floresta. 2. Eucalyptus. 3. MATOPIBA. 4.
Energia. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

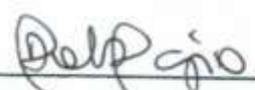
FOLHA DE APROVAÇÃO

JÉSSICA STÉFANE VASCONCELOS SERAFIM

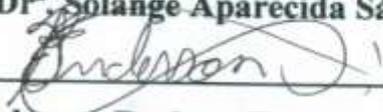
**COMPORTAMENTO SILVICULTURAL E DA QUALIDADE DA MADEIRA DE
EUCALIPTO SOB DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS EM SISTEMAS
INTEGRADOS**

Data de Aprovação: 28/03/2018

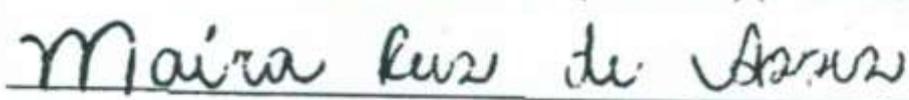
Banca Examinadora:



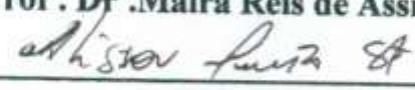
Prof. Dr. Solange Aparecida Ságio (Presidente da comissão)



Prof. Dr. Anderson Barbosa Evaristo (UNITINS) (Examinador Externo)



Prof. Dr. Maira Reis de Assis (UFLA) (Examinadora Externa)



Prof. Dr. Alisson Moura Santos (Examinador Interno).

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista à Fernanda Oliveira, minha irmã. Para que a realização deste trabalho possa servir-lhe de exemplo durante a sua trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por ser meu direcionamento, ao longo desta jornada e por todo o encorajamento e força.

Aos meus Pais, pela compreensão, paciência, torcida e infinito amor.

Aos meus avós, que sofreram com a distância, mas estiveram em oração pela minha vida.

À minha orientadora, Profa. Dra. Solange Ságio, pela confiança depositada em mim, para a realização deste trabalho, pelos ensinamentos e por todo o apoio dentro e fora da Universidade.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Alisson Santos, Embrapa, que desde o primeiro contato me recebeu bem, compartilhou o seu conhecimento e sempre esteve à disposição.

Ao Prof. Dr. Paulo Trugilho, Universidade Federal de Lavras, que é referência na área florestal e por ser o responsável para que eu pudesse realizar as análises de laboratório.

À Maíra, Universidade Federal de Lavras, pelo suporte que foi a base para meu desenvolvimento, ao longo deste trabalho, agindo com toda a paciência e carinho.

A todos os professores e amigos do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da UFT e Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA.

Ao proprietário da Fazenda Nova Zelândia, Cledson Alves Evangelista e toda a sua equipe.

Ao Dr. Marcos Teixeira, Embrapa Meio-Norte, pela oportunidade à realização deste trabalho.

À equipe de campo: Bené, Jessivan, Vital, Arlete e Domingos.

A Rodrigo Simetti e à Ana Clara Caxito, por todo o apoio na realização da análise estatística.

À Geliane, Max e Cayne por todo apoio presente.

À Rose que retirava os rastros de sujeira de carvão que eu deixava no laboratório.

À minha família de Tocantins, por me recebeu em Palmas.

Aos meus amigos, Otávio e Preta, por serem meu esteio durante a minha estadia em Lavras.

À Rede de Fomento TT iLPF e SEG-Embrapa, financiadores deste trabalho.

À CAPES, pela bolsa oferecida durante o curso.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram para realização e concretização desta dissertação.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho silvicultural, da qualidade da madeira e do carvão vegetal do clone H105 (*Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*), aos 84 meses de idade, em cinco distintos arranjos no sistema integração lavoura pecuária e floresta (ILPF), no estado do Piauí para fins energéticos. O estudo foi conduzido, na fazenda Nova Zelândia, município de Uruçuí/PI. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições e cinco tratamentos. Os tratamentos se constituíram de cinco arranjos espaciais, com linhas triplas (1,5mx1,5m) +14m; (3mx1,5m) +14m e linhas quádruplas (1,5mx1,5m) +14m; (3mx1,5m) +14m; (3mx2m) +14m. Determinou-se o diâmetro à altura do peito (DAP), volume, massa seca, estoque de energia densidade básica da madeira, densidade energética, poder calorífico superior e os teores de lignina, extrativos totais, cinzas, holocelulose. Procederam-se também às análises do carvão vegetal, com temperatura a 450°C, taxa de aquecimento de 1,67°C min, determinando o seu potencial energético. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados permitiram avaliar, de maneira geral, o efeito do espaçamento no desempenho silvicultural do eucalipto, em diferentes arranjos espaciais, bem como da qualidade da madeira e do carvão vegetal. O clone H105 apresentou alta produtividade da madeira e o arranjo espacial influenciou no crescimento do eucalipto. As características avaliadas na madeira, em especial, o teor de lignina apresentaram 31,89%, identificando o potencial desse clone, quanto à sua finalidade energética. Tem-se que a espécie estudada apresentou potencial para a produção de energia via combustão direta e comercialização de carvão vegetal.

Palavras-chave: Integração Lavoura Pecuária Floresta, *Eucalyptus*, espaçamento de plantio, MATOPIBA, Energia

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate the silvicultural performance, wood and charcoal quality of the clone H105 (*Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*), at 84 months of age in five distinct spatial arrangements in the crop and forest integration system (ILPF), in the state of Piauí for energy purposes. The study was conducted at the Nova Zelandia farm, in the municipality of Uruçuí / PI. A randomized complete block design with three replicates and five treatments was used. The treatments consisted of five spatial arrangements, with triple lines (1.5mx1.5m) + 14m; (3mx1.5m) + 14m and quintuple lines (1.5mx1.5m) + 14m; (3mx1.5m) + 14m; (3mx2m) + 14m. Diameter at breast height (DAP), volume, dry mass, energy stock, basic density of wood, energy density, calorific value and lignin contents, total extractives, ashes, holocellulose were determined. Charcoal analyzes were also carried out, with a temperature at 450 ° C, heating rate of 1.67 ° C min, determining its energy potential. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Scott-Knott test at 5% probability. The results allowed to evaluate, in a general way, the effect of spacing on the silvicultural performance of eucalyptus in different spatial arrangements, as well as the quality of wood and charcoal. Clone H105 showed high wood productivity and spatial arrangement influenced the growth of eucalyptus. The characteristics evaluated in the wood, in particular the lignin content, presented 31.89%, identifying the potential of this clone as to its energetic purpose. It has been that the studied species presented potential for the production of energy through direct combustion and commercialization of charcoal.

Keywords: Integration Livestock Livestock Forest, *Eucalyptus*, planting spacing, Matopiba, Energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação territorial do MATOPIBA e as 31 microrregiões geográficas do IBGE que o compõem.....	9
Figura 2. Rendimento em carvão vegetal (kg/st) x Teor de umidade da madeira (%)	19
Figura 3. Localização da região do MATOPIBA, com destaque em vermelho para o município de Uruçuí/PI, onde se localiza a Fazenda Nova Zelândia.	22
Figura 4. Esquema de amostragem em forma de disco ao longo da altura comercial das árvores amostradas em campo	25
Figura 5. Valores médios para diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores-amostra do clone de eucalipto (H105), em função dos cinco tratamentos avaliados	30
Figura 6. Volume individual da madeira do clone H105, em cinco arranjos espaciais de plantio, em sistema integrado aos 84 meses de idade em Uruçuí/PI.....	30
Figura 7. Incremento médio anual de madeira do clone H105 sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados em Uruçuí/PI.....	31
Figura 8. Comportamento da densidade básica da madeira de eucalipto (clone H105), em cinco arranjos espaciais, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF	33
Figura 9. Comportamento do PCSm - Poder calorífico superior da madeira de eucalipto (clone H105) e seu respectivo desvio-padrão, em cinco arranjos espaciais, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF.....	35
Figura 10. Teores médios de Extrativos, Lignina Total, Cinzas e Holocelulose da madeira de eucalipto (clone H105) em cinco arranjos espaciais em sistemas integrados.	37
Figura 11. Rendimento gravimétrico em carvão vegetal – RGC. Rendimento em licor pirolenhoso - RLP e Rendimento em gases não condensáveis – RGNC. Do carvão vegetal do eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF	39
Figura 12. Densidade Relativa Aparente do Carvão Vegetal de eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF	40
Figura 13. Poder calorífico superior do carvão vegetal - (PCSc) do eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF	41
Figura 14. Avaliação dos Teores de Carbono Fixo, Materiais Voláteis e Cinzas. Madeira de eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF. TCF – Teor de carbono fixo, MV – materiais voláteis, CzC – cinzas do carvão vegetal	43

Figura 15. Avaliação do rendimento em carbono fixo e eficiência energética. Clone H105, em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF. RCF – rendimento em carbono fixo, ET – eficiência da transformação..... 45

Figura 16. Densidade Energética da Madeira e Densidade Energética do Carvão Vegetal do clone de eucalipto H105, em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF. DEm – densidade energética da madeira, DEc – densidade energética do carvão vegetal..... 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Arranjos espaciais das árvores de eucalipto e área por planta em Uruçuí/PI. ..**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2 - Análise de variância para diâmetro altura do peito (DAP) e volume individual de madeira do clone H105 sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados em Uruçuí/PI. **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 3 - Resumo da análise de variância do poder calorífico superior da madeira, oriundo do clone H105..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 4 - Resumo da análise de variância do teor de lignina total (TLT) e teor de holocelulose (TH) do clone de eucalipto H105 sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados. **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 5 – Quando resumo da análise de variância dos rendimentos em carbono fixo (RCF) e eficiência da transformação (ET), do clone de eucalipto H105. **Erro! Indicador não definido.**

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	2
2.1 Objetivos geral	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1 Integrações lavoura pecuária e floresta (ILPF)	3
3.2 Cultivo do eucalipto no sistema ILPF	6
3.3 Silvicultura na região do MATOPIBA	8
3.4 Qualidade tecnológica da madeira	12
3.4.1 Densidade básica.....	13
3.4.2 Poder calorífico	14
3.4.3 Teor de extrativos e cinzas	15
3.4.4 Teor de lignina	16
3.5 Carvão vegetal	17
3.6 Espécies arbóreas usadas na produção de carvão no Brasil	18
3.7 Características que influenciam a qualidade do carvão vegetal	18
3.7.1 Umidade da madeira em função do rendimento do carvão vegetal	18
3.7.2 Propriedades químicas e físicas da madeira para produção do carvão vegetal	19
3.7.3 Propriedades do carvão vegetal	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Descrição do local e condições climáticas	22
4.2 Condução do experimento	22
4.3 Delineamento experimental e avaliações dendrométricas	23
4.4. Cubagem e coleta de material em campo	24
4.5 Características da qualidade da madeira	26
4.5.1 Densidade básica.....	26
4.5.2 Teor de lignina	26
4.5.3 Teor de extrativos e Cinzas.....	26

4.5.4 Poder Calorífico Superior (PCS).....	26
4.5.5 Densidade energética da madeira.....	27
4.6 Carbonização da madeira de eucalipto	27
4.6.2 Densidade relativa aparente	27
4.6.3 Análise química imediata	27
5.1. AVALIAÇÕES DO COMPORTAMENTO SILVICULTURAL	29
6.CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

As plantações florestais do Brasil têm merecido cada vez mais atenção, principalmente, em função do aumento na demanda por produtos advindos de fontes renováveis. As demandas econômicas têm sido pautadas na implementação de sistemas que buscam maior crescimento econômico com o menor impacto possível ao ambiente.

O novo ciclo de desenvolvimento do agronegócio brasileiro direciona para a intensificação de cultivo nas regiões Centro-Norte do país. Esse desenvolvimento tem-se dado de maneira muito acelerada, em especial, na região do MATOPIBA. Localizada na área de confluência dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, tem a vegetação de cerrado como característica predominante. Adicionalmente, é caracterizada também pela grande heterogeneidade ambiental, em especial, das condições edáficas e climáticas.

Associadas a isso, as perspectivas de inserção de novos cenários agrícolas, como modelos de cultivo e desenvolvimento agrário, têm ganhado destaque nas diversas regiões do Brasil, especialmente, pelos incentivos advindos de órgãos do governo, em virtude de compromissos internacionais assumidos para a diminuição de emissão gases de efeito.

Os novos cenários agrícolas têm-se direcionado para o cultivo em sistemas integrados, também conhecidos como sistemas de integração lavoura pecuária floresta (ILPF). É um modelo de cultivo que constitui a exploração florestal, pecuária e agrícola numa mesma área (HENDRICKSON et al. 2008, MORAES, 2016). Tais modelos de cultivo têm sido incentivados, por meio de projetos de Lei (12.805/2013), nos quais se estabelece uma política de um modelo econômico menos danoso ao meio ambiente (PLANALTO, 2013).

É uma tecnologia que tem sido muito difundida para promover benefícios econômicos e ambientais. Todavia os sistemas integrados não são suficientemente desenvolvidos, principalmente, nas regiões de fronteira agrícola. No âmbito florestal, são carentes estudos que forneçam parâmetros de desenvolvimento florestal nesse sistema de cultivo. Apesar do grande arcabouço tecnológico, desenvolvido no setor florestal, observa-se uma real necessidade de desenvolvimento de tecnologias aplicáveis às condições existentes nessa região, bem como a realização de ajustes nas técnicas de manejo.

Esses fatores têm colocado um grande desafio aos pesquisadores e técnicos do setor florestal, para o desenvolvimento de um conjunto de técnicas, que propicie um

manejo adequado nessas condições ambientais. Verifica-se que a produtividade das plantações florestais é muito dependente do material genético e das condições ambientais (ZOBEL e TALBERT, 1984). Assim, para obter povoamentos florestais com alta produtividade, faz-se necessário o desenvolvimento de um conjunto de atividades, com especial foco no produto final, a madeira.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos geral

Avaliar o comportamento silvicultural e qualidade da madeira do eucalipto sob diferentes arranjos espaciais, no sistema integração lavoura pecuária e floresta, em Uruçuí/PI, aos 84 meses de idade com foco na obtenção de biomassa energética.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho dos caracteres de crescimento do clone H105 (*Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*), em cinco arranjos de espaçamento, em sistema de integração lavoura, pecuária e floresta em Uruçuí/PI.

- Avaliar a densidade básica, poder calorífico e análise química estrutural da madeira do clone H105, submetido a cinco arranjos espaciais de plantio, em sistema integração lavoura, pecuária e floresta.

- Avaliar a qualidade do carvão vegetal da madeira de eucalipto, sob cinco arranjos espaciais, em sistemas integrados em Uruçuí/PI.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Integrações lavoura pecuária e floresta (ILPF)

A partir da preocupação com questões ambientais, como a preservação ambiental, diversas iniciativas passaram a ser tomadas com o objetivo de desenvolver a importância de serviços que respeitem o meio ambiente (REIS et al., 2016).

Ultimamente, a utilização de diferentes tipos de sistema de produção tem sido cada vez mais empregada na agricultura brasileira. Progressivamente, tem se buscado realizar um conjunto de ações ao desenvolvimento de sistemas de produção com alta eficiência e menor impacto ao meio ambiente. Nesta lógica, o uso dos sistemas integrados, também conhecidos como sistemas ILPF, tem sido apontado como uma alternativa, para intensificação do uso da terra de maneira mais sustentada e, também, por ser uma modalidade que contempla a diversificação da produção e agregação de valor econômico na propriedade rural por meio da exploração da madeira (RIBASKI e MONTOYA, 2001; DIAS-FILHO, 2007; RIBASKI, 2008; SILVA et al., 2009).

Os sistemas ILPF, apesar de serem vistos com atuação recente para a agricultura brasileira, trata-se de um sistema que já era conhecido na Europa desde a Idade Média, em que os agricultores já realizavam a produção de variadas culturas de maneira associada. Há comentários de que havia integrações de árvores frutíferas associadas à criação de animais, por volta do século XVI, porém, em consequência do monocultivo e mecanização, houve a substituição da colheita manual, sendo um dos fatores responsáveis pela diminuição desse sistema (MACHADO, 2011).

Os sistemas de produção integrada congregam, numa mesma área, os cultivos de espécies florestais, agrícolas, forrageiras e criação animal simultaneamente. Fundamentado no consórcio espacial e temporal entre os seus diferentes componentes, o sistema preconiza a intensificação do uso do solo para alcance de patamares elevados de produtividade em cada componente (CORDEIRO et al., 2015).

De acordo com Cordeiro et al., 2015, a classificação das diferentes modalidades de cultivo, nos sistemas de integração, é distribuída da seguinte forma:

- i) integração lavoura pecuária ou sistema agropastoril (ILP) – sistema que contempla o cultivo de componentes agrícolas e pecuária em consórcio ou sucessão numa mesma área;
- ii) integração pecuária floresta (IPF) ou silvipastoril – integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, numa mesma área;

- iii) integração lavoura-floresta (ILF) ou sistema silviagrícola – congrega a consorciação dos componentes agrícolas e florestal na mesma área;
- iv) integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou sistema agrossilvipastoril – é o componente que contempla todos os componentes, como o agrícola, florestal e pecuário, numa mesma área, porém com diferença espaço-temporal entre alguns dos componentes.

Com base em estudos avaliados, constatou-se que o aumento da produtividade, no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), propicia uma melhoria nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, intensifica a ciclagem e a aplicabilidade de utilização dos nutrientes, diminui custos de produção, varia e consolida a renda na propriedade rural e promove a recuperação de áreas com pastagens degradadas (ALVARENGA et al., 2010).

Estes sistemas são aconselháveis, quando se têm como objetivo, além de recuperar áreas degradadas, especificamente, as áreas de amplas pastagens subutilizadas, como também estimular resultados que compõem as diversas espécies vegetais e a criação de animais, viabilizando maior eficiência no uso da área (REIS et al., 2016).

Diante disso, a ILPF se comporta como um método de produção que não expressa limitação quanto ao tamanho da área de uma determinada propriedade e do grau tecnológico do produtor rural. As expectativas de combinação entre os elementos do sistema são diversas e as reparações se fazem necessárias, de acordo com o interesse do produtor, dos aspectos edafoclimáticos e mercadológicos (GONTIJO NETO et al., 2014).

Nos sistemas de ILPF, são alocados em propriedades o povoamento florestal, agricultura de grãos e pasto. A ILPF concilia a junção de tecnologias importantes, como o Sistema Bragantino, que objetiva o cultivo contínuo de diversas culturas, em rotação e consórcio, com a prática do Sistema de Plantio Direto - SPD, o que proporciona o aumento da produtividade das culturas, mão de obra na região, durante todo o ano, renda e também qualidade de vida ao produtor rural, dentro dos parâmetros condicionados à sustentabilidade (CRAVO et al., 2005).

Porém, previamente, os primeiros passos são a análise da propriedade e a elaboração de um planejamento, a fim de que cada um dos procedimentos aconteça no tempo correto. Nesse caso, algumas possibilidades existem, considerando a vocação e a experiência do produtor, suas seleções e a realidade dos mercados local e regional (ALVARENGA et al., 2010).

Para isso o produtor deve ter um projeto, em relação ao uso da terra, de maneira que ele a intensifique e cultive variadas culturas, conforme a aptidão da terra e a procura por mercadoria da região, motivando a agricultura familiar. Os agrossistemas do século XXI têm de ser qualificados a ampliar a quantia de alimentos que geram, como também a preservar os recursos desse sistema (BALBINO et al., 2012).

Em um sistema integrado, as razões incumbidas pelo desenvolvimento, produção dos vegetais e andamento da produção agrícola e florestal compreendem também os fatores abióticos que inferem diretamente (MACEDO, et al., 2010).

Ao estudar a produção de madeira, o estoque de carbono e a rentabilidade econômica, inserindo a venda de créditos de carbono, de sistemas silvipastoris com *E. grandis* e *Pinus elliottii*, em consórcio com pastagens, demonstraram que as árvores asseguram retorno econômico aos mais diversos sistemas testados, com rentabilidade, a partir do desbaste ao sétimo ano de idade. A venda de créditos de carbono permite ao componente florestal o seu destaque (OLIVEIRA et al., 2008).

Apesar dos benefícios gerados pela implantação do sistema ILPF, ainda há algumas dificuldades de adoção dos ILPF, a maioria relacionada à complexidade de gestão e aos aspectos relacionados à produção diária em uma propriedade inserida neste sistema de produção. Isso gera uma necessidade cada vez maior de assistência técnica, no que diz respeito à extensão rural, aprimoramento dos conhecimentos existentes e incentivo às pesquisas na área. Essas dificuldades interferem na implantação do sistema ILPF muitas vezes, mas, ainda assim, têm gerado cada vez mais ações que facilitam e aceleram a introdução, por meio de treinamento de agentes, aumento do financiamento e capacitação do produtor pela instalação de unidades de treinamento em zonas institucionais e em propriedades agrícolas (FRANCO e SILVA, 2017),

A assistência técnica oficial e privada tem executado bem essa responsabilidade, comumente há circunstâncias em que o produtor, por costume ou por falta de atenção, favorece aquele sistema ao qual tem maior afinidade. Se um dos pilares da ILPF é obter o sinergismo entre os segmentos vegetal e animal, deve-se avaliar o indispensável planejamento, em longo prazo, que atenda todo o sistema, desde o momento de sua implantação até o seu propósito. Determinados produtores são qualificados a fazer esse projeto sem assistência técnica no assunto (ALVARENGA e GONTIJO NETO, 2011).

As práticas usuais, para a implantação do sistema, regem de acordo com cada região; na ocasião da implantação, também denominada Ano zero, é iniciado o plantio, com culturas agrícolas, seja arroz, soja, milho, sorgo, feijão, dentre outras, na área

intercalar, a espécie florestal. A seleção da espécie florestal é de acordo com o uso final da madeira, bem como características de rápido crescimento, fuste alto, copa pouco densa e adaptação às condições edafoclimáticas da região.

O cultivo das culturas agrícolas no sistema, normalmente, ocorre até o 3º ano, após a implantação, ocasião em que o componente pecuário permanece com o crescimento das árvores até a ocasião da colheita da madeira.

O tempo de aproveitamento da lavoura, da pecuária ou da floresta tem um enorme impacto no agroecossistema e nas taxas de retorno dos investimentos efetuados. Os determinados sistemas podem fazer uso da pecuária por períodos menores, de três a cinco meses até cinco anos que, logo após, voltam com lavouras que preenchem a área por cinco meses ou até mesmo cinco anos. Quanto ao elemento florestal, pode-se fazer uso por intervalo de seis, doze ou mais anos, para um ou mais cortes, de acordo com a espécie que será empregada (KICHEL et al., 2014).

Apesar de se encontrarem exemplos de utilização da ILPF, no Brasil, a variabilidade de condições regionais do país aponta a necessidade de estudos regionalizados sobre a viabilidade da combinação de diferentes espécies. Há necessidade de uma estrutura de políticas públicas, para que os agricultores suportem os entraves econômicos, como de um investimento prévio, como também utilidade de conhecimento tecnológico e de empregar profissionais aptos a trabalhar na área agropecuária. Diante disso, estudos multidisciplinares e o ingresso de disciplinas, com foco em sistemas de agrossilvipastoril, proporcionam melhor entendimento das relações solo-planta-animal-ambiente, assegurando manejo de forma sustentável nas distintas modalidades do sistema (BALBINO, 2011).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) desempenha estudos de sistemas integrados de produção, objetivando a aceitação, comprovação e desenvolvimento de tecnologias. O estudo é realizado de acordo com as necessidades regionais, apresentadas em unidades de referência e tecnologia (EMBRAPA, 2015)

3.2 Cultivo do eucalipto no sistema ILPF

Provenientes da Oceania, as espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido grandemente empregadas em plantios florestais, em razão da diversidade de usos e do desenvolvimento do material genético e das práticas silviculturais, possibilitando um acréscimo relevante de produtividade, fato esse que colabora para a prestígio mundial do Brasil no setor florestal (PAIVA et al., 2013). Nos últimos anos, a evolução da produtividade florestal

sucedida no Brasil colocou o país entre os maiores produtores de matéria-prima de eucalipto. O desenvolvimento da clonagem e dos programas de melhoramento, fundamentado na hibridação, tem se tornado um dos motivos resultantes do aumento constante em relação à produtividade. No entanto o aperfeiçoamento das técnicas de manejo, ao serem elaborados ambientes apropriados à expressão máxima do potencial genético dos clones operacionais, é também um elemento significativo na evolução positiva dos níveis de produtividade atuais (ASSIS, 2014).

O setor de árvores plantadas engloba uma série de empresas, investidores e empreendedores que representam desde o fornecimento de insumos e máquinas específicas para a atividade florestal, passando pelo fornecimento de serviços especializados como a produção e plantio de mudas, colheita de árvores e carregamento de madeira até a conversão da madeira em bens intermediários e finais (IBÁ, 2015).

Na propriedade rural, o componente florestal é viável economicamente e se torna tão competitivo quanto a produção de grãos e a pecuária (DOSSA e MONTOYA VILCAHUAMAN, 2001).

No sistema ILPF, o componente florestal inserido proporciona vantagens que vão desde a preservação do solo, viabilização de nutrientes e matéria orgânica no solo, ocasionados pela deposição de folhas e galhos das árvores (XAVIER et al., 2011).

As árvores privilegiam as pastagens, especialmente, quanto à proteção de solo e à disponibilidade de nutrientes, por suas raízes, sendo profundas ou não, alocadas ao solo, que possibilitam o firmamento físico da massa do solo (BALIEIRO et al, 2005; 2004).

A altura mínima prevista, para que uma espécie arbórea possa constar em um sistema agrossilvipastoril, procede da atribuição de se obter um fuste de pelo menos 3,5 m, o que permite o fluxo de maquinários nas operações agrícolas sob as copas e a incidência direta de luz solar sob as copas nos horários matutinos e vespertinos (PORFÍRIO da SILVA, 2013)

O sistema integração lavoura pecuária floresta possibilita ao pequeno, médio e grande produtor rural diversas vantagens e várias ocasionadas pela inserção do componente florestal. As espécies do gênero *Eucalyptus* têm se destacado dentre as outras espécies florestais, graças às vantagens que essa espécie oferece, seja pelo arcabouço tecnológico já desenvolvido e aplicado no manejo da espécie e/ou pelo fato de reunir vários aspectos favoráveis como rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e aplicação para as diversas finalidades (MORA: GARCIA, 2000). Por se tratar de uma espécie florestal de rápido crescimento,

o eucalipto também tem sido muito utilizado para compor sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta – ILPF (MACEDO et al., 2010).

Os programas de melhoramento das principais empresas do setor florestal objetivam aumentar a produtividade dos clones plantados, associados com a qualidade da madeira, a fim de alcançar uma produção habituada às exigências tecnológicas da siderurgia. O desenvolvimento em melhoramento genético e em práticas silviculturais, ao longo do tempo, consentiram ganhos consideráveis nas plantações industriais do eucalipto no Brasil (BRITO e BARRICHELO, 2006).

A inovação tecnológica promove o cultivo de árvores, propriedades específicas, sendo elas de maior produtividade, forma mais satisfatória, densidade mais elevada, maior proporção de fibras e resistência a pragas e doenças, à seca, ao frio ou à salinidade, essencialmente importante pelos efeitos das mudanças climáticas (IBÁ, 2015).

No Brasil, os sistemas silvipastoris foram planejadas para o aprimoramento da utilização da área e para o combate e controle ao crescimento de herbáceas no terreno sob plantações comerciais de eucalipto e pinheiros. Pesquisas demonstram que o consórcio entre ovinos e/ou bovino com eucalipto não afetou negativamente o crescimento e nem o índice de sobrevivência das árvores, além de ter reduzido o risco de incêndios, a necessidade de capinas e o custo de manutenção do plantio entre 50 e 90% (GARCIA e COUTO, 1997).

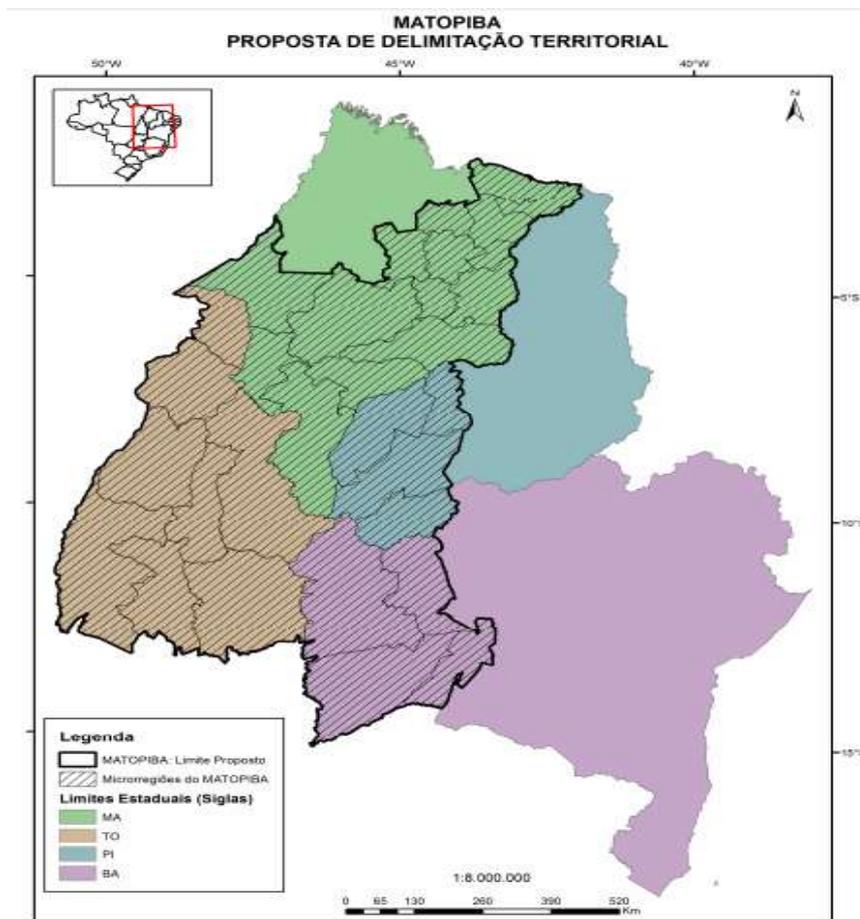
A floresta de eucalipto, em sistemas integrados, pode ser considerada de múltiplos usos. A sua madeira em sistemas integrados é direcionada para produtos de maior valor agregado, até mesmo por causa da quantidade de madeira produzida nesse sistema. Assim, sua madeira pode ser usada tanto na forma sólida, como também matéria-prima para a indústria de siderurgia (carvão) e para a fabricação de painéis reconstituídos. Além de fornecer madeira de qualidade, a casca dos eucaliptos é geralmente rica em tanino, podendo ser utilizada na indústria de couro e também para produção de adesivos. As folhas contêm óleos essenciais, com numerosas aplicações nas indústrias. E as flores são utilizadas como alimentação pelas abelhas com a produção de mel (MORA, 2000).

3.3 Silvicultura na região do MATOPIBA

O termo MATOPIBA é o resultado de um acrônimo formado pelas sílabas iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Essa região já é denominada como a nova fronteira agrícola brasileira, em decorrência da grande expansão no meio rural, que se expandiu e incorpora hoje regiões de todos esses estados (MIRANDA et al., 2014).

O MATOPIBA abrange 31 microrregiões geográficas do IBGE, reúne 337 municípios e uma área total de 73.173.485 ha. Engloba um universo com cerca de 324.326 estabelecimentos agrícolas. A repartição aproximada do MATOPIBA entre os quatro Estados é a seguinte: 33% no Maranhão (15 microrregiões, 135 municípios, 23.982.346 ha); 38% no Tocantins (8 microrregiões, 139 municípios e 27.772.052 ha); 11% no Piauí (4 microrregiões, 13 municípios e 8.204.588 ha) e 18% na Bahia (4 microrregiões, 30 municípios e 13.214.499 ha).

Figura 1. Delimitação territorial do MATOPIBA e as 31 microrregiões geográficas do IBGE que o compõem.



Fonte: EMBRAPA, 2014

Na região do MATOPIBA, as características do uso da terra são diferentes em relação ao que foi, por exemplo, a expansão da agricultura na calha sul da Amazônia, que ocorreu entre as décadas de 70 e 80, caracterizadas pelo desmatamento e pelo uso de terras de baixa produtividade para grandes, médios e pequenos agricultores e pecuaristas.

O MATOPIBA utiliza outro tipo de política de produção, em que o desmatamento não ocorre de forma tão expressiva, visto que se baseia nas mudanças no uso do solo e na

condição fundiária das terras. Um exemplo são as grandes áreas de pastagens nativas tradicionais e extensivas que, em áreas de campos e cerrados, são substituídas por culturas anuais. Essa substituição é intensificada com novas tecnologias de produção incluindo a irrigação, a produção pelo melhoramento genético, intensificação de técnicas de silvicultura, nutrição de plantas, etc (EMBRAPA, 2014).

A intensificação das técnicas silviculturais, principalmente, as do campo do melhoramento genético e da nutrição de árvores possibilitou que as plantações de eucalipto se estabeleçam com grande predominância em diversas regiões do Brasil. Com o início da silvicultura clonal, resultou em consideráveis aumentos de produtividade florestal, viabilizando financeiramente o cultivo em regiões com restrições edafoclimáticas. O aumento na exploração dessa técnica é, sem dúvida, por avanços obtidos por meio da pesquisa na área florestal, fato que possibilitou uma série de vantagens, dentre elas, a uniformidade nos plantios e aumento na produtividade (XAVIER et al., 2009).

Todos os marcos históricos da eucaliptocultura brasileira revelam o sucesso alcançado, ao longo do tempo, que é relativamente curto. Os pesquisadores, instituições de pesquisa, empresários e produtores rurais do setor florestal, bem como as instituições públicas sempre acreditaram no referido sucesso e não deixaram de envidar esforços para os alcances dos objetivos e metas previamente definidos. Hoje, por essas razões, o Brasil detém um alto nível de tecnologia florestal que o coloca em posição de vanguarda e de destaque no cenário internacional.

No atual avanço silvicultural, além do incremento em produtividade, pode-se constatar o aumento da área brasileira reflorestada com espécies de eucalipto, incluindo tanto as do gênero *Eucalyptus* quanto do *Corymbia*. Estatísticas do setor florestal apontam que, no Brasil, existam 5.630.607 ha plantados com eucalipto (IBÁ, 2016). No MATOPIBA, encontram-se, aproximadamente, 454.133 ha plantados com eucalipto. Deste total, o Maranhão apresenta maior área, em um total de 262.638 ha plantados com eucalipto. Correspondente a 57,8% das florestas no Matopiba, o Maranhão tem-se destacado, em virtude da implantação da fábrica de celulose da Suzano papel e celulose em Imperatriz/MA (SANTOS, 2017 – Comunicação pessoal).

O Maranhão foi o Estado onde iniciaram os primeiros plantios de eucalipto no MATOPIBA. Os plantios iniciaram-se, na década de 80, com foco na produção de madeira para siderurgia. Os principais povoamentos florestais se encontram no eixo Imperatriz/MA e Açailândia/PA (SANTOS, 2017 – Comunicação pessoal).

Atualmente a Suzano é a empresa que detém maior área plantada com eucalipto no MATOPIBA. A empresa possui três polos de produção, sendo os polos de Cidelândia e Porto Franco/MA na região do Matopiba. As áreas com cultivo de eucalipto, nessas duas áreas, somam 98.089 ha e, aproximadamente, 46.000 ha são certificados. No polo de Porto Franco, estão também contabilizadas áreas plantadas no Estado de Tocantins (SANTOS, 2017 – Comunicação pessoal).

O Estado do Tocantins apresenta a segunda maior área cultivada com eucalipto no Matopiba. Atualmente o Estado possui, aproximadamente, 180.000 ha de florestas plantadas e 160.737 ha são de florestas de eucalipto. A região de abrangência do Matopiba, no Piauí e Bahia, ocupa uma área de, aproximadamente, 8.944 ha e 21.814 ha, respectivamente (SANTOS, 2017 – Comunicação pessoal).

Considerando os anos de 2010 a 2016, a expansão com cultivo de eucalipto no Matopiba apresentou aumento de, aproximadamente, 49%. Em termos absolutos, observa-se uma média de 38.100 ha/ano de aumento (SANTOS, 2017 – Comunicação pessoal).

Apesar do expressivo aumento, num pequeno espaço de tempo, ainda não dispõe de todo o arcabouço tecnológico desenvolvido para cultivo nesta vasta região. Tem realizado é uso de técnicas de cultivo já consolidadas para outras regiões e adaptando-as conforme conveniência e necessidade em cada local. A principal demanda, para essa região, é a obtenção de genótipos adaptados para essa condição edáfica e climática. Por se tratar de uma região que apresenta praticamente seis meses de seca e grande variação edáfica, é urgente o desenvolvimento de trabalhos que possam fornecer parâmetros técnicos para o aumento da produtividade no cultivo florestal e, conseqüentemente, promover menor risco.

Nesta vasta região, têm-se utilizado clones de eucalipto desenvolvidos para outras regiões, em sua maioria, clones híbridos intra ou interespecíficos. Os híbridos *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* são predominantes, até mesmo porque a maioria dos clones comerciais disponíveis foram desenvolvidos para outras regiões, como, por exemplo, Goiás e Minas Gerais. No entanto já se observam também híbridos envolvendo as espécies *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. brassiana*, *E. pellita*, *E. platyphylla* e também os alguns híbridos de Corimbias, como, por exemplo, o *Corymbia citriodora* x *C. torelliana*.

3.4 Qualidade tecnológica da madeira

A madeira é um recurso natural renovável indispensável, aplicado nas diferentes partes do mundo, sendo capaz de oferecer matéria-prima para as mais diversas finalidades (MIRANDA et al., 2013). Para o aproveitamento racional desses recursos florestais, é preciso compreender as características químicas e anatômicas das espécies e a sua influência em propriedades distintas (ALMEIDA et al., 2015).

De acordo com ABRAF (2013), todo o processo histórico das civilizações, a madeira e o seu uso determinaram a qualidade de vida da humanidade. A força do fogo criou a lenha, a pedra foi repartida, polida e, em seguida, substituída pela madeira como matéria-prima para seu determinado uso em quase todos os segmentos.

ANEEL (2008) assegura que os produtos e os subprodutos dos recursos florestais englobam essencialmente biomassa lenhosa, produzida sustentavelmente a partir de florestas plantadas ou nativas.

No decorrer dos avanços tecnológicos obtidos, tanto na área de conversão de matéria-prima em energia, a partir de biomassa florestal, quanto nas atividades silviculturais brasileiras, é possível avistar um cenário promissor na evolução de florestas para fins energéticos em um menor espaço de tempo. O aproveitamento dessa biomassa como insumo energético é uma orientação mundial e a motivação vem da utilidade de reduzir a uso de derivados de fontes fósseis, para que, assim, diminuam as emissões de gases nocivos na atmosfera (CARON et al., 2012).

Quando se trata do processo de seleção para fins energéticos, características como densidade básica, poder calorífico, constituição química e umidade estão entre os principais requisitos a serem avaliados (BALBINOT JUNIOR et al., 2015).

No que diz respeito ao eucalipto, é fundamental conhecer as propriedades da madeira em várias idades e, assim, definir a idade ótima de corte, objetivando obter produtos de melhor qualidade, visto que a definição da idade ideal de corte interfere nas vantagens econômicas (MORAIS, 2008).

Compreende-se que a madeira é um material bastante heterogêneo, fundamentado em suas características anatômicas e químicas e nas propriedades físicas e mecânicas. A heterogeneidade está associada com as variações nos sentidos radial, longitudinal e tangencial que a madeira comumente apresenta; essa variação possibilita que se encontrem outros materiais que satisfaçam especificamente determinados usos (NEVES et al., 2011).

Durante a sua fase juvenil até adquirir a maturidade, a madeira demonstra uma acelerada elevação de alguns caracteres como os valores de densidade e comprimento de fibra. Ao atingir a fase adulta, os valores se conservam mais ou menos constantes. Durante sua fase juvenil, o índice de incorporação de biomassa é gradual, buscando-se estabilizar quando a árvore se encontra na fase adulta. O índice de variação da matéria seca sintetizada com a idade é designado como ritmo de crescimento e depende dos aspectos genéticos, edáficos e climáticos (TRUGILHO et al., 1996).

Pesquisas contribuem, para o desenvolvimento do conhecimento da variabilidade natural da madeira, possibilitando a identificação de material que possui a madeira mais homogênea e sem defeitos internos, o que contribui na sua utilização mais adequada (GOUVÊA et al., 2011).

3.4.1 Densidade básica

A densidade básica refere-se à massa de madeira seca e ao seu volume verde. Geralmente, as unidades físicas utilizadas, para simbolizar a densidade básica, são quilos para massa seca e metro cúbico para o volume da madeira (PÁDUA et al., 2009). No decorrer dos anos, a densidade básica foi-se estabelecendo como índice universal de representação da qualidade da madeira pelas infinitas facilidades que retratam sua determinação e pelas excepcionais relações que mostram com o uso da madeira (FOELKEL et al., 1990).

A densidade básica é a interação entre massa seca em estufa a 0% (ms) de teor de umidade e volume (vv) verde (saturado). Este índice é bastante utilizado na comparação entre propriedades de espécies e na condução de programas de secagem (MELO, 2013).

De acordo com Silva (2014), a densidade básica da madeira possui também outros fatores indiretos, como a idade, procedência, índice de sitio, topografia, posição do tronco, entre outros.

Obter a densidade básica é fundamental, para a exploração sustentável de madeira, tal como o uso de novas técnicas e métodos que simplifiquem os levantamentos do potencial madeireiro da floresta. Apesar disso, a densidade básica pode sofrer a influência de múltiplos fatores como a idade da árvore, o espaçamento e área do plantio do indivíduo, a posição radial e longitudinal em uma mesma árvore e divergências entre árvores intra e interespecíficas (MOKFIENSKI et al., 2003). A variabilidade normalmente encontrada dentro de uma árvore individual ocorre, provavelmente, por

alterações sofridas pelo câmbio no decorrer do envelhecimento e modificações devido às condições ambientais (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

Para se obter madeiras destinadas, para fins energéticos com maiores densidades, regem as seguintes características: a) menor área de estocagem e manuseio da madeira; b) maior rendimento energético no transporte; c) maior rendimento das caldeiras para queima direta da madeira; e) maior rendimento dos gaseificadores da madeira para produção de gasogênio ou gás de síntese do metanol; f) maior rendimento dos reatores para hidrólise ácida (PEREIRA et al., 2000)

Já o uso das madeiras com baixa densidade, para a produção direta de energia na forma de calor, realiza uma queima rápida, porém com menor produção de energia por unidade de volume, o que difere das madeiras com maior densidade. No entanto densidade muito alta provoca dificuldade de iniciar a queima do material. Para a queima direta na cocção de alimentos, propõe-se a faixa intermediária entre madeiras médias e madeiras duras, variando a densidade básica de 0,65 a 0,80 g/cm³, esperando, com isso, facilitar o início da queima (VALE et al., 2002). Soares et al., (2014) constataram uma ligação entre a densidade básica e a idade da árvore e concluíram que, com a maturidade da árvore, houve um aumento na densidade básica da madeira.

3.4.2 Poder calorífico

A biomassa é todo o material orgânico que, quando queimado, fornece determinada forma de energia. Diante disso, quanto ao uso da biomassa, faz-se necessário compreender o seu poder calorífico que está diretamente associado com o teor de umidade (MUZEL et al., 2014). Para um melhor aproveitamento e satisfatório uso do material, é imprescindível conhecer as suas propriedades energéticas. Um interessante parâmetro, para se avaliar o poder energético de combustíveis, é o poder calorífico (PROTÁSIO et al., 2011)

O poder calorífico da madeira está ligado à quantidade de energia liberada (kcal) por unidade de massa (kg) da matéria quando submetida ao processo de combustão. Portanto, como a madeira possui hidrogênio, um dos produtos da combustão é a formação de água na forma gasosa que libera calor no processo da condensação (SANTOS, 2008).

O potencial energético da madeira depende da massa e do poder calorífico (LIMA et al., 2011). Algumas características influenciam o valor do poder calorífico, como a umidade, a composição química elementar e os constituintes químicos da madeira, como a lignina, celulose, hemicelulose e os extrativos (BARREIROS, 2005). Para queima

direta, a melhor forma de uso são madeiras com maior poder calorífico, pois essa propriedade está relacionada com o rendimento energético que, também, está relacionado com a sua constituição química, cujos teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e substâncias minerais variam de uma espécie para outra (QUIRINO et al., 2005). Entre as variáveis que fazem uso, para estimar os parâmetros de avaliação da qualidade da madeira, para fins energéticos, juntamente com o potencial de biomassa, o poder calorífico superior (PCS) é um dos processos mais estudados na literatura (SILVA et al., 2012).

Já o poder calorífico inferior (PCI) é decorrente da combustão sob pressão constante, ao ar livre, sem a condensação da água formada (DOAT, 1977) É a energia real disponível por unidade de massa de combustível, após concluir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

3.4.3 Teor de extrativos e cinzas

Os compostos químicos constituintes da madeira são possíveis de serem identificados da seguinte forma: (1) celulose: substâncias que se constituem em largas cadeias de polissacarídeos, identifica-se na ordem de 40 a 45% da substância madeira; (2) hemiceluloses: substâncias que montam uma matriz envolvendo a celulose, identificando-se na ordem de 20 a 30% da substância madeira; (3) lignina: substâncias incrustantes, que preenchem os espaços vazios na parede celular, constitui cerca de 18 a 25% e de 25 a 35% da substância madeira em folhosas e coníferas, respectivamente; (4) extrativos: compostos solúveis em água e solventes orgânicos, encontrados nos lumens celulares, nas paredes celulares e nas células parenquimáticas da madeira, expõem-se na ordem de 2 a 25% da substância madeira (FOELKEL, 1977)

Conforme Barreiros (2006), os extrativos de madeira correspondem a um enorme número de componentes, que diferente da maioria dos polissacarídeos e da lignina. Estes componentes podem ser extraídos da madeira, por meio de solventes orgânicos, como o etanol, acetona, diclorometano, éter, etílico e tetracloreto de carbono. A classe dos extrativos também pode abranger os componentes solúveis em água, como alguns carboidratos, compostos fenólicos e sais orgânicos.

Os extrativos mais significativos, em relação à qualidade e importância econômica, são as resinas da madeira e os polifenóis Barreiros (2006). A resina da madeira obtém cerca de 25% de compostos voláteis chamados de terebintina e 75% de um resíduo não volátil, nomeado breu. Os polifenóis são característicos em madeiras de

coníferas e integram outros compostos, como os taninos, os flavonoides, as ligninas e os fenóis simples. Os extrativos são os responsáveis pela resistência ao apodrecimento e ao ataque de insetos pela cor, odor e também influenciam nas propriedades da madeira como permeabilidade, densidade e dureza (PETTERSEN, 1984).

Uma avaliação realizada por Trugilho et al., (1996) identificou que a madeira, ao atingir a maturidade, apresenta redução no teor de extrativos totais e na quantidade de cinzas.

3.4.4 Teor de lignina

A lignina é um polímero de natureza aromática e tridimensional, com grande peso molecular e, como base em sua estrutura, possui unidades de fenil-propano, conectadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, de acordo com o tipo de madeira. Após a celulose, a lignina é a substância orgânica com maior frequência nos tecidos vegetais, com grande quantidade de carbonos aromáticos (TRUGILHO, 1996).

Grande parte das ligninas se encontra na parede secundária da planta, contudo, na lamela média, em maior proporção. Ampliam a rigidez da parede celular, funcionam como agente cimentante entre as células, restringem a permeabilidade da parede, resguardam a madeira contra micro-organismos, intensifica a resistência da planta à compressão e permite o crescimento longitudinal (WILLFÖR et al., 2006 e WARDROP, 1971).

Para fins energéticos, a lignina é por muitos autores considerada o constituinte mais significativo, fato que se deve à sua resistência e à degradação térmica. Trugilho *et al.*, (1996) afirmam que, de acordo com a idade da árvore, a lignina pode diminuir e isso ocorre quando a madeira está mais madura. A resistência atribuída à lignina consiste de polímeros fenilpropanoides, da parede celular muito condensada. Elas são constituídas de unidades p-hidroxifenila (H), guaiacila (G) e siringila (S), em fração diferente, conforme sua origem. As madeiras duras, ou angiospermas possuem ligninas formadas especialmente de unidades G e S. As madeiras moles, ou gimnospermas apresentam ligninas feitas essencialmente de unidades G. Ligninas de gramíneas contêm unidades G-S-H. Há, porém ligninas de algumas espécies de gimnospermas e de gramíneas que possuem abundância de unidades G e S. O grupo metoxílico é considerado um grupo funcional caracterizante de ligninas e seus derivados (BUDZIAK et al., 2004). Na madeira de eucalipto, ela é comumente formada pelas unidades siringila e guaiacila (lignina S-G) (BARBOSA et al., 2008).

Ao estudar a madeira de *Eucalyptus saligna*, foi demonstrado que existe uma aptidão de estabilização nos valores de extrativos totais, lignina e holocelulose com a idade. Isso representa que as características químicas estão propensas a grandes variações iniciais na madeira juvenil, tendendo a valores estáveis na madeira adulta (TRUGILHO et al., 1996). A lignina é o constituinte da madeira mais estável termicamente, quando comparada com a holocelulose e com a própria madeira. Em virtude da relação com a complexidade de sua estrutura química, a quantidade disposta contida na madeira pode modificar de 15 a 30%, variando de espécie para espécie, sendo as ligninas obtidas em larga escala, em todo o mundo (SANTOS, 2008).

3.5 Carvão vegetal

A lenha é a fonte energética mais antiga da humanidade. A evolução humana fez do carvão vegetal uma grande fonte de riqueza e prosperidade, queimando lenha para movimentar locomotivas, barcos e carros a vapor, gerando energia elétrica que abastece, entre outras coisas, os sistemas de aquecimento (JUVILLAR, 1980).

Atualmente, o carvão é uma matéria importante no crescimento econômico, visto que a siderurgia depende diretamente dele, para a fabricação de ferro fundido, que precisa de matéria livre de enxofre. O Brasil produz 1/3 de todo o carvão do mundo, sendo praticamente tudo absorvido na indústria siderúrgica. Apesar destes valores, é preciso investir em florestas plantadas que funcionem de maneira ecológica e sustentável para que a produção de carvão seja benéfica ao meio ambiente e funcione como fonte de energia limpa gerando benefícios socioeconômicos OLIVEIRA e SANTOSA, 2012. O uso energético da biomassa está cada vez mais se consolidando como uma forma alternativa ao uso de combustíveis fósseis, especialmente, por ser uma fonte renovável (OLIVEIRA e SANTOSA, 2012).

O uso da madeira, para a produção de energia, apesar de não ser restritiva, decorre de algumas das suas características internas, como o teor de lignina e a densidade básica. Para determinada finalidade, os estudos e as tecnologias inseridas buscam melhorar as propriedades da madeira, quanto ao poder calorífico superior, ao teor de lignina, ao rendimento em carbono fixo, ao incremento médio anual, à produção de massa seca e à densidade básica, além de outras propriedades mecânicas necessárias à produção de carvão para os altos-fornos (TRUGILHO, 1995).

O carvão vegetal pode ser obtido com a carbonização da madeira, em condições controladas, ou seja, a madeira é queimada em um ambiente cujo fornecimento de ar é

controlado. Desta forma, a pressão faz com que a água e os demais compostos voláteis e orgânicos sejam expulsos da madeira sem que ela queime totalmente pela pouca quantidade de oxigênio dentro no ambiente controlado MEIRA (2002).

3.6 Espécies arbóreas usadas na produção de carvão no Brasil

A cobertura florestal do território brasileiro, agregada às excelentes condições edafoclimáticas para a silvicultura, proporciona ao país grandes vantagens para a atividade florestal, contraste a outras partes do mundo. Como consequência, a participação, no contexto da geração de energia procedente de fontes renováveis, ressalta-se com a mesma magnitude (SANTOS, 2010).

Segundo os dados do Balanço Energético Nacional, entre os anos de 1970 e 1988, o consumo de madeira para energia expressou-se em torno dos 170 milhões de metros cúbicos por ano. Marcou a década de 80 como referência, com consumo nacional de madeira como matéria-prima para indústrias de serrarias, carvão vegetal e indústrias de celulose e papel com, aproximadamente, 40 milhões de metros cúbicos (BRITO, 1990).

A produção de carvão vegetal, a partir da biomassa proveniente da madeira, possibilita que a lenha seja a quarta fonte primária de energia de maior uso na matriz energética brasileira (MANZONI e BARROS, 2010). A acácia-negra e os eucaliptos são as espécies mais usadas para a produção de carvão (BRAND et al., 2015).

Porém o eucalipto é uma das melhores opções, para a produção de carvão vegetal pela rusticidade, produtividade e pelas características da madeira. Os reflorestamentos de eucalipto, planejados e manejados adequadamente, produzem árvores de troncos retos, uniformes e de madeira com massa específica adequada para a obtenção de carvão de boa qualidade (PINHEIRO et al., 2006).

O eucalipto é uma das mais vantajosas opções, para a produção de carvão vegetal por suas características, como rusticidade, produtividade e pelas propriedades da madeira. Os reflorestamentos de eucalipto, planejados e manejados, adequadamente, fornecem árvores de troncos retos, uniformes e madeira com massa específica propícia para a obtenção de carvão de boa qualidade (PINHEIRO et al., 2006).

3.7 Características que influenciam a qualidade do carvão vegetal

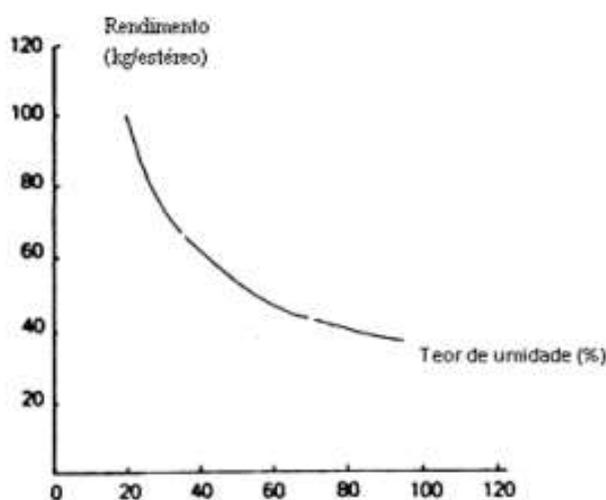
3.7.1 Umidade da madeira em função do rendimento do carvão vegetal

Segundo CUNHA et al., (1989), quanto maior o conteúdo de umidade da madeira menor é o seu poder de combustão, em virtude do processo de evaporação da água, o qual

consome grande quantidade energia. O teor de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor decorrente da presença de água na madeira, pois sua evaporação absorve energia térmica (JARA, 1989).

Ao carbonizar diferentes espécies de madeira com diferentes teores de umidade, é possível verificar que quanto maior for a porcentagem de umidade menor será o rendimento em KG de carvão, fato que leva a concluir que quanto mais umidade menos carvão e mais tempo de processo de carbonização, representada abaixo na Figura 2.

Figura 2. Rendimento em carvão vegetal (kg/st) x Teor de umidade da madeira (%).



Fonte: VALENTE e LELLES (1979).

3.7.2 Propriedades químicas e físicas da madeira para produção do carvão vegetal

Uma madeira com alto teor de massa específica terá uma queima melhor, pois ela apresenta uma maior quantidade de matéria lenhosa. A queima e a absorção de calor são demasiadamente influenciadas pelo teor de lignina presente na madeira, bem como a presença de materiais inflamáveis como resinas, ceras e óleos, que influenciam diretamente na queima e na absorção de calor, influenciando na forma como a madeira irá queimar (BURGER E RICHTER, 1991).

Não existe correlação entre densidade básica e o poder calorífico. Porém, em relação ao volume de madeira no processo de combustão, a densidade está positivamente ligada com o conteúdo calórico da madeira, determinando a procura por madeiras pesadas para a queima, de acordo com (CUNHA et al., 1989).

Brito e Barrichelo, (1982) afirmam que a densidade da madeira é item de máxima importância na produção de carvão vegetal, pois esta densidade influencia diretamente a densidade do carvão. Gomes e Oliveira (1982) afirmam o mesmo e ainda relatam que uma madeira mais densa produzirá um carvão de melhor qualidade, mais denso e menos quebradiço, o que é considerado uma característica muito importante em sua utilização posterior.

3.7.3 Propriedades do carvão vegetal

Silva e Brito (1985) pontuam que as propriedades químicas e físicas de um carvão vegetal variam, de acordo com a matéria-prima que lhe deu origem e, também, em relação ao processo de carbonização. Tem que haver uma interação bastante equilibrada entre estas duas vertentes para que se possa produzir um carvão de boa qualidade, além disso, o tipo de carvão que se pretende obter deve estar condicionado ao seu processo de carbonização. Deste modo, entende-se que o processo de queima da madeira, para a obtenção do carvão, é um grande influenciador no tipo de carvão que se terá ao final do processo.

O carvão vegetal é composto basicamente de carbono, apresentando uma pequena parte de oxigênio e uma quantidade muito pequena de nitrogênio. Esta composição está relacionada a três fatores básicos: técnica de carbonização, temperatura da carbonização e matéria-prima utilizada no processo de obtenção deste elemento (MARCOS, 1997).

Mendes et al, (1992) afirmam que a composição química do carvão pode ser determinada em duas análises:

- Química elementar, em que se determinam as quantidades de carbono, oxigênio e hidrogênio.
- Química imediata, em que se determinam os teores de materiais voláteis, cinza, carbono fixo e da umidade presentes no carvão.

A análise química elementar da madeira demonstra que, sem considerar as quantidades mínimas de nitrogênio e de outros elementos como o enxofre, a constituição da madeira, resume-se, aproximadamente, por 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio. Independente da espécie, das diferenças genéticas ou da idade, essa composição se mantém aproximadamente permanente (PENEDO, 1980).

A análise imediata de um combustível determina a percentagem de material volátil, carbono fixo e cinza. Ou seja, ela oferece a percentagem do material que se

queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo) e, a partir disso, dá uma indicação do material residual (cinzas) (BRITO e BARRICHELO, 1978).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do local e condições climáticas

A área em estudo é uma Unidade de Referência Tecnológica (URT), em sistemas integrados de produção da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizada na Fazenda Nova Zelândia no município de Uruçuí – PI. O local da experimentação situa-se nas coordenadas de 07°33'08 S e 44°36'45 O, numa altitude de 378 metros. Na Figura 3, é apresentada a delimitação da área do MATOPIBA, com destaque para a localização do município de Uruçuí/PI.

Figura 3. Localização da região do MATOPIBA, com destaque em vermelho para o município de Uruçuí/PI, onde se localiza a Fazenda Nova Zelândia.



Fonte: Dalton, 2015.

O clima da região, conforme classificação proposta por Köppen e Geiger, é Aw, temperatura média de 27,2 °C e a pluviosidade média anual de 1069 mm (CLIMATE-DATA, 2014). Os solos da região são classificados como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 1999).

4.2 Condução do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Nova Zelândia no município de Uruçuí/PI. A área experimental consta de 14 ha, em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta. O sistema foi implantado em novembro/dezembro de 2009 numa área com sucessivos cultivos de soja.

Na ocasião da implantação do sistema, realizou-se preparo da área e subsolagem na linha de plantio. A correção e adubação foram realizadas conforme necessidade apontada em análise do solo. Em janeiro 2010, a cultura do eucalipto foi implantada em

renques espaçados de 14 metros. Os tratamentos silviculturais utilizados foram os usuais empregados no monocultivo do eucalipto em plantios comerciais. O eucalipto inserido foi o clone H105 (*Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*) em renques constituídos de cinco linhas e três linhas.

Nos primeiros três anos, realizaram-se cultivos de grãos nas áreas entre os renques, sendo soja, nos anos 2010 e 2011 e cultivo de milho e forrageira, em sobresemeadura, no ano de 2012. Neste mesmo ano, após a formação da pastagem, houve a inserção do componente animal (bovino de corte) o qual permanece até o presente momento.

4.3 Delineamento experimental e avaliações dendrométricas

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com três repetições. O experimento consta de cinco arranjos espaciais (tratamentos), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Arranjos espaciais das árvores de eucalipto e área por planta em Uruçuí/PI.

Tratamentos	Arranjo Espacial	Número de árvores por hectare
1	3 (1,5m x 1,5m) + 14m	1176
2	3 (3 x 1,5m) + 14m	1000
3	5 (1,5m x 1,5m) + 14m	1667
4	5 (3m x 1,5 m) + 14m	1282
5	5 (3m x 2m) + 14m	962

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aos 84 meses (7 anos), após o plantio do eucalipto, foram conduzidas avaliações do diâmetro à altura do peito (DAP) e cubagem rigorosa dos indivíduos em campo. A cubagem (amostragem destrutiva) foi realizada em seis indivíduos por tratamento, conforme descrição, a seguir, no item 4.4. A altura total foi obtida com base na altura média de cada tratamento com base nos dados de cubagem.

Para estimativa de volume individual de madeira com casca, foi utilizada a equação do volume do cilindro, adotando-se o fator de forma igual a 0,45 (PORFÍRIO DA SIVA et al., 2009). Para cálculo do incremento médio anual (IMA), foi utilizada a

razão entre o volume estimado pelo número de anos de idade da plantação, conforme expressão:

$$V_{est} = \frac{DAP * H_t}{40000} * \pi * ff$$

em que:

V_{est} : Volume individual estimado por planta (m³).

DAP: Diâmetro à altura do peito (cm).

H_t : altura total das árvores (m).

ff: fator de forma de 0,45.

4.4. Cubagem e coleta de material em campo

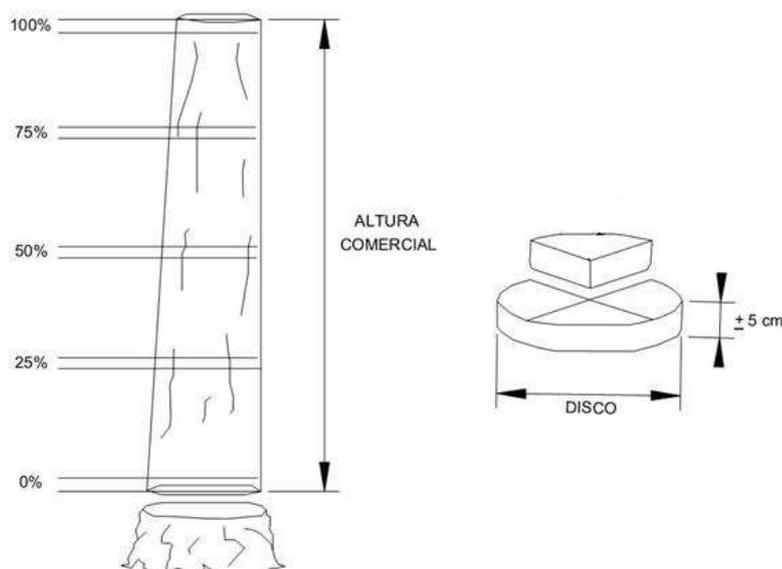
Realizou-se uma amostragem destrutiva de duas árvores por bloco, totalizando seis amostras por tratamento. Para estimar o volume de cada árvore, utilizou-se a metodologia de Smalian, conforme proposto por COUTO e BASTOS (1987).

De cada árvore foram obtidas medidas da circunferência do tronco, em posições longitudinais da base da árvore (40 cm altura), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Nesta ocasião, coletaram-se medidas da circunferência do tronco com casca e sem casca, por meio de uma fita métrica em cada posição longitudinal e, posteriormente, as medidas foram convertidas para diâmetro. De acordo com Soares et al (2011), uma unidade de circunferência (C) corresponde a 3,1416 (p) unidades de diâmetro (d); diante disso, realizou-se a seguinte conversão da circunferência em diâmetro:

$$d = \frac{C}{\pi}$$

Nestas posições longitudinais, foram retirados discos de, aproximadamente, 5 cm de espessura, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Esquema de amostragem em forma de disco ao longo da altura comercial das árvores amostradas em campo.



Fonte: Adaptado de Arruda et al., 2013.

Os discos de madeira foram devidamente identificados, embalados e encaminhados para o Laboratório Multiusuário de Biomateriais do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado em Lavras, Minas Gerais. Foram descascados e seccionados em quatro cunhas, passando pela medula. Duas cunhas opostas foram utilizadas, para a determinação da densidade básica da madeira, conforme a Norma NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003). O restante de cada disco seccionado foi destinado parte, para a produção do carvão vegetal, e outra, plainado e peneirado, visando às análises da composição química e poder calorífico superior.

As análises foram realizadas sob amostragem composta. Considerou-se cada amostra como uma repetição e os discos amostrados, nos cinco pontos longitudinais de cada árvore, como uma amostra composta.

4.5 Características da qualidade da madeira

4.5.1 Densidade básica

Para determinação da densidade básica da madeira foram utilizadas duas cunhas opostas, conforme descrito na NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003). Utilizou-se o método de imersão em água que consiste em saturar a amostra e determinar o volume por meio do empuxo.

4.5.2 Teor de lignina

O teor de lignina solúvel (Klason) em ácido sulfúrico foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Goldschimid (1971). Para a obtenção do teor de lignina insolúvel (Klason), a metodologia utilizada seguiu o protocolo descrito por Gomide e Demuner (1986). Os valores do teor de lignina total foram obtidos pelo somatório dos teores de lignina solúvel e insolúvel.

4.5.3 Teor de extrativos e Cinzas

Trabalhos recentes têm apostado em alternativas diferenciadas, para a obtenção do teor de extrativos em madeira, realizando o uso das misturas de solventes como tolueno:etanol (2:1), clorofórmio:metanol (2:1), até mesmo de outros solventes como tert-butil metil éter (MTBE), hexano e éter de petróleo (RICHTER et al., 1996; TAPPI, 1997; WALLIS e WEARNE, 1999; SUN e SUN, 2002; SUN e TOMKINSON, 2003). No presente trabalho, foi realizada a extração adaptada tolueno/etanol. Foram consideradas as metodologias previstas nas normas M11/77 e M3/69 (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1974)

O teor de Holocelulose foi alcançado por diferença, de acordo com a Equação Holocelulose (%) = 100 – Lignina (%) – Extrativos (%) – Cinzas (%).

4.5.4 Poder Calorífico Superior (PCS)

Para a determinação do poder calorífico superior (PCS), procedeu-se à fração da amostra moída e peneirada. O poder calorífico superior foi determinado em calorímetro digital IKA C-200, conforme a norma NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984).

4.5.5 Densidade energética da madeira

A densidade energética (DEM) foi determinada pelo produto do poder calorífico superior (PCS) e da densidade básica média da madeira (DBM).

4.6 Carbonização da madeira de eucalipto

As carbonizações foram geradas em forno elétrico (mufla). Utilizou-se, em cada ensaio, cerca de 300g de madeira, totalizando as cinco secções dos discos por árvore. Inicialmente as amostras foram secas em estufa de 105 °C, sendo cada árvore de um determinado espaçamento. A princípio, obteve a temperatura a 100 °C e, ao fim, com temperatura a 450° C, considerando-se uma taxa de aquecimento de 1,67 C min. A mufla permaneceu com temperatura estável a 450° C por 30 min (BOTREL et al., 2007, TRUGILHO et al., 2001, TRUGILHO et al., 2005).

Após carbonizar as amostras, foram determinados os rendimentos em carvão vegetal, líquido pirolenhoso e por diferença os rendimentos em gases não condensáveis.

4.6.2 Densidade relativa aparente

A densidade relativa aparente do carvão vegetal foi obtida, de acordo com o método hidrostático, mediante a imersão em água, segundo exposto por VITAL (1984).

4.6.3 Análise química imediata

A análise química imediata foi representada com base NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983), visando assim à determinação dos teores de materiais voláteis e cinzas e, resultando por diferença, o teor de carbono fixo. Foram utilizadas amostras compostas moídas que passaram pela peneira de 40 mesh e subsequente ficarem retidas na de 60 mesh.

Souza (2008) assevera que o teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo foram calculados, conforme formulas abaixo:

$$TMV (\%) = (1,0 - Pa) * 100$$

Em que: TMV = Teor de materiais voláteis, em porcentagem; e Pa= Peso da amostra de carvão vegetal após duração na mufla, em gramas.

$$TCZ (\%) = Pr * 100$$

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

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

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

O rendimento em carbono fixo resultou da multiplicação do teor de carbono fixo pelo rendimento gravimétrico do carvão.

4.7 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados, utilizou-se o programa R versão 3.3.2 (R CORE TEAM, 2016). Conduziram-se análise de variância e médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Dessa forma, a observação admite a influência dos seguintes elementos:

$$Y_{ij} = m + b_j + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

Em que:

Y_{ij} : é o valor observado na unidade experimental que recebeu o tratamento i , repetição j ;

m : é o efeito da média geral;

b_j : efeito do j ésimo bloco;

t_i : é o efeito do i ésimo tratamento;

e_{ij} : é o erro aleatório.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. AVALIAÇÕES DO COMPORTAMENTO SILVICULTURAL

Pela análise de variância, verificou-se diferença significativa para os caracteres DAP e volume, conforme apresentado na Tabela 2. São apresentados os resultados da análise de variância dos valores médios para o diâmetro a altura do peito (DAP) e volume comercial individual com casca, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo Teste F, avaliando, assim, a influência desses parâmetros no comportamento do clone de eucalipto H105 cultivado em sistema integrado.

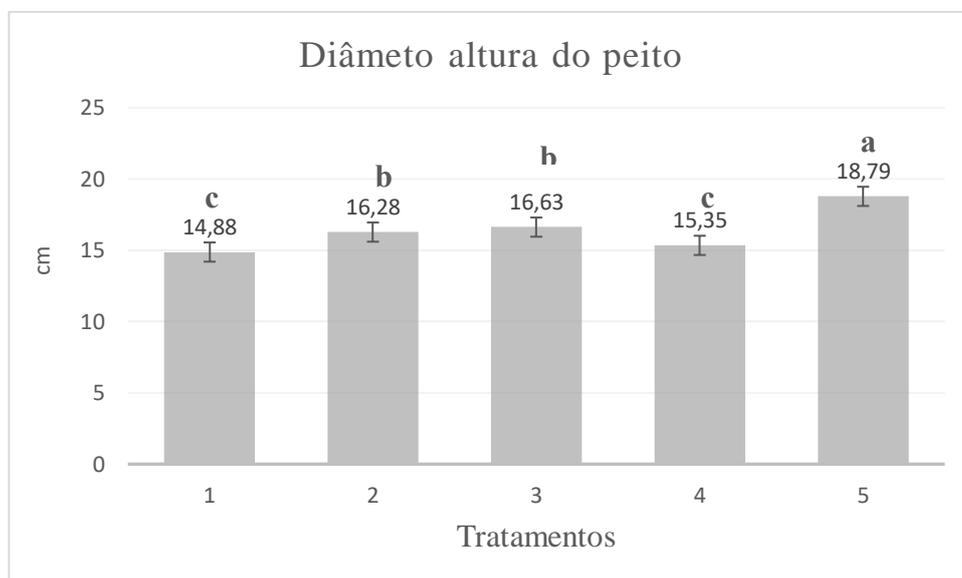
Tabela 2 - Análise de variância para diâmetro altura do peito (DAP) e volume individual de madeira do clone H105 sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados em Uruçuí/PI.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	
		DAP (cm)	Volume (m ³)
Tratamento	4	328,70*	0,221021*
Bloco	2	6,89 ^{ns}	0,004607 ^{ns}
Resíduo	900	12,48	0,007624
Média		16,386	0,2226
Coeficiente de variação experimental (%)		21,7	39,69

^{ns}. Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

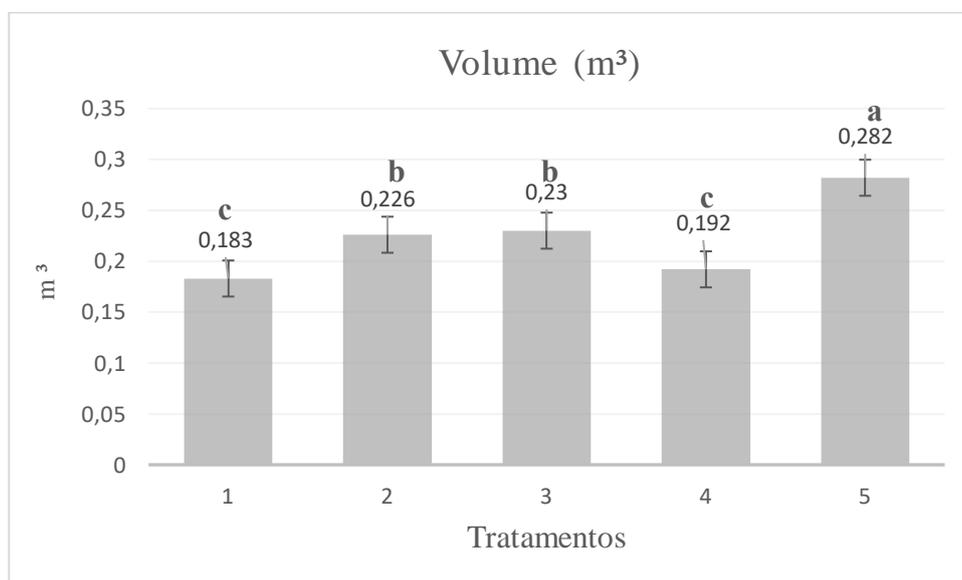
Os valores médios observados para DAP e volume são apresentados na Figura 5 e na Figura 6.

Figura 5. Valores médios para diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores-amostra do clone de eucalipto (H105), em função dos cinco tratamentos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6. Volume individual da madeira do clone H105, em cinco arranjos espaciais de plantio em sistema integrado, aos 84 meses de idade em Uruçuí/PI.



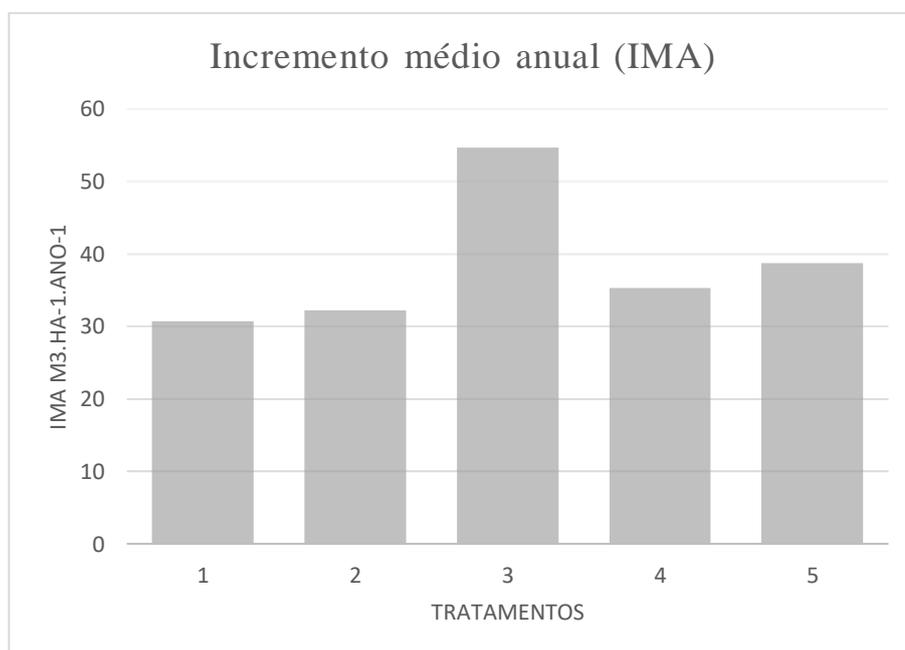
Fonte: Elaborado pelo autor.

O volume individual com casca dos indivíduos apresentou valores médios entre 0,183 m³ e 0,282 m³, tendo o tratamento 5 a maior média. De acordo com a análise de variância, os tratamentos avaliados diferem estatisticamente entre si. Assim, como a característica DAP, no tratamento 5, a densidade populacional é de 962 indivíduos por

hectare, considerando a densidade populacional do tratamento 3, o qual apresenta maior densidade populacional dentre os tratamentos avaliados. Observa-se que o volume de madeira produzido por área foi maior no tratamento 3, mesmo o volume individual por árvore ter sido maior no tratamento 5.

Considerando os valores de incremento médio anual, apresentados na Figura 7, observa-se que a produtividade de madeira por hectare apresentou valores de alta magnitude. Estimando que a produtividade média nacional de madeira em monocultivo é por volta de 37 m³/ha/ano, depreende-se uma alta adaptação do clone em estudo para as condições edafoclimáticas da região de avaliação. Além disso, verifica-se que o cultivo de eucalipto em sistema integrados ser uma possibilidade para obtenção de madeira na região com alta produtividade.

Figura 7. Incremento médio anual de madeira do clone H105 sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados em Uruçuí/PI.



Drumond et al (2015), ao avaliarem híbrido de *Eucalyptus*, *E.grandis* x *E. camaldulensis*, *E. brassiana* x *E. urophylla*, na Chapada do Araripe, Pernambuco, encontraram DAP médio entre 10,6 e 11,8 cm, utilizando espaçamento 3 x 3, m aos 72 meses de idade, valor abaixo do que foi identificado neste estudo.

Baliza (2014) estudou a madeira do clone GG 100, proveniente de sítios florestais

localizados no município de Três Marias – MG. O plantio do clone representava o espaçamento 3,0 m x 3,0 m e as árvores avaliadas estavam em diferentes idades: quatro, cinco, seis, sete, oito e nove anos. Foram identificados valores médios de DAP entre 13,16 cm e 17,44 cm. Aos sete anos, apresentou média de 16,50 cm, corroborando com o que foi identificado neste trabalho, com a mesma idade.

Júnior José (2015), avaliando *Eucalyptus urograndis* de seis anos de idade, identificou as características do inventário florestal dos eucaliptos no Sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta de Cachoeira Dourada, Goiás. Encontrou valor médio para estimativa de DAP de 16,63 cm e para o parâmetro de volume médio de 0,378 m³.

Ferreira et al (2012) avaliaram a produtividade e o potencial do componente arbóreo em dois arranjos espaciais. O experimento foi implantado na Embrapa Gado de Corte, (arranjo espacial com 357 árvores/ha e 227 árvores/ha em sistema integrado), com eucalipto “urograndis” (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), clone H 13. No sistema 14m x 2m, apresentou média de DAP de 16,50 cm e, no sistema 22 x 2, média de 16 cm. Foi possível também obter as médias para estimativa de volume individual de 0,20 cm³ e 0,17 cm³, respectivamente. Notou-se a influência do número de árvores por unidade de área, visto que, para o arranjo mais adensado (14m x 2m), foi encontrada maior produtividade em volume de madeira quando comparado ao espaçamento menos adensado (22m x 2m).

Ribeiro et al (2017), analisando o modelo de Champman-Richard ajustado, identificaram que o volume por árvore foi superior nos maiores espaçamentos, ou seja, proporcionou maior espaço vital às árvores (15,75 m²) as quais apresentaram indivíduos com maior volume (0,5178 m³).

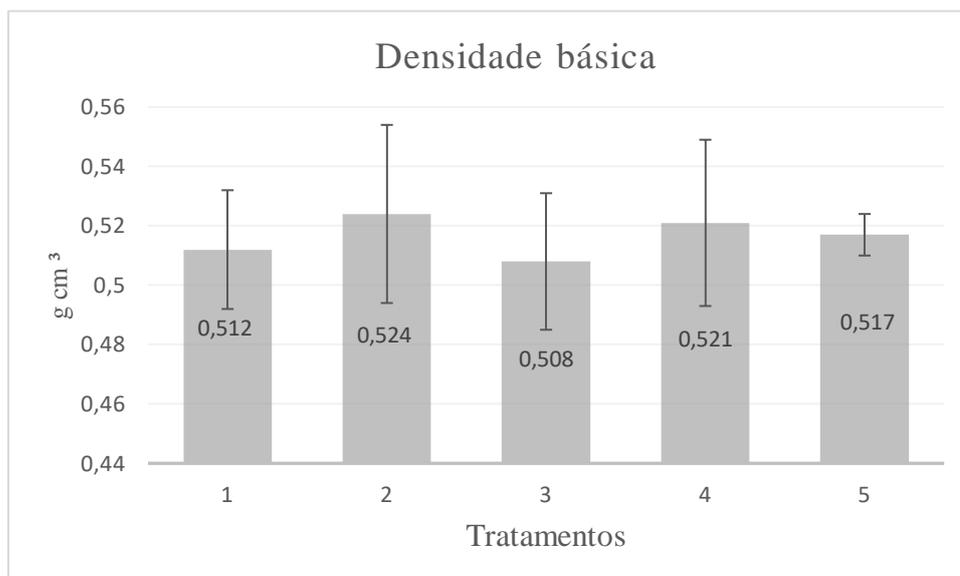
Sereghetti et al (2015) objetivaram, no trabalho, avaliar o desenvolvimento inicial de um clone de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio. O tratamento 4 x 1,5 m apresentou o maior volume por planta (0,0061 m³), enquanto o tratamento 2 x 1 m promoveu o menor volume por planta (0,0036 m³).

A diferença entre espaçamentos foi observada por Santos (2011), que, ao estudar a produção de *E. grandis* e *E. urophylla*, aos 72 meses, identificou que espaçamentos maiores tendem a possuir maiores diâmetros e volumes individuais. Guedes et al (2017), ao avaliarem o desempenho dos clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, de 7 anos de idade, identificaram volume por árvore de 0,313 m³.

Segundo Martins et al (2009), a escolha de maiores espaçamentos acarreta em volumes individuais maiores.

Na Figura 8, são apresentados os resultados de densidade básica da madeira nos cinco tratamentos avaliados.

Figura 8. Comportamento da densidade básica da madeira de eucalipto (clone H105), em cinco arranjos espaciais, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A densidade básica dos cinco tratamentos avaliados não apresentou diferença significativa entre si.

Vale et al (1995) encontraram valores de densidade básica média variando de 0,504 a 0,521 g cm³, para *Eucalyptus grandis*, aos 96 meses de idade, valores similares aos encontrados neste trabalho, com *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*, aos 84 meses de idade. Sereghetti (2012) não constatou influência do espaçamento na densidade da madeira do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* com 12 meses de idade, corroborando com o resultado do presente trabalho.

Silva et al (2015) avaliaram o potencial energético da madeira de *Eucalyptus benthamii* e constataram que a densidade básica média da madeira determinada foi de 0,471 g cm⁻³, resultado menor que ao encontrado neste estudo, em que se avaliaram *E. grandis* e *E.camaldulensis*. Soares et al (2015), estudando madeiras de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, em três diferentes idades, identificaram

densidades variando de 0,37 g cm³ aos três anos, 0,44 g cm³ aos cinco anos e 0,54 g cm³ aos sete anos de idade.

Torres et al (2016) realizaram um estudo e encontraram valores médios de densidade básica da madeira, para híbridos de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* de 0,430 g.cm³, aos 32 meses. Souza et al (2017), em relação à densidade básica, de acordo com o que foi encontrado pelos autores, notaram, na classe dos híbridos de *E. urophylla x E. grandis*, valores na faixa de 0,376 g cm⁻³ a 0,451 g cm⁻³.

Conforme Vale et al (2010) expõem, existe uma relação entre densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão, isto é, de acordo com a quantidade da densidade da madeira, identifica-se que é possível obter um material mais denso quanto ao carvão vegetal, produzindo uma maior quantidade de energia por unidade de volume desse biocombustível, desempenhando menores custos referentes ao carregamento da madeira e também do carvão.

O resultado da análise de variância realizada para o parâmetro do poder calorífico superior da madeira do clone H105 está apresentado na Tabela 3.

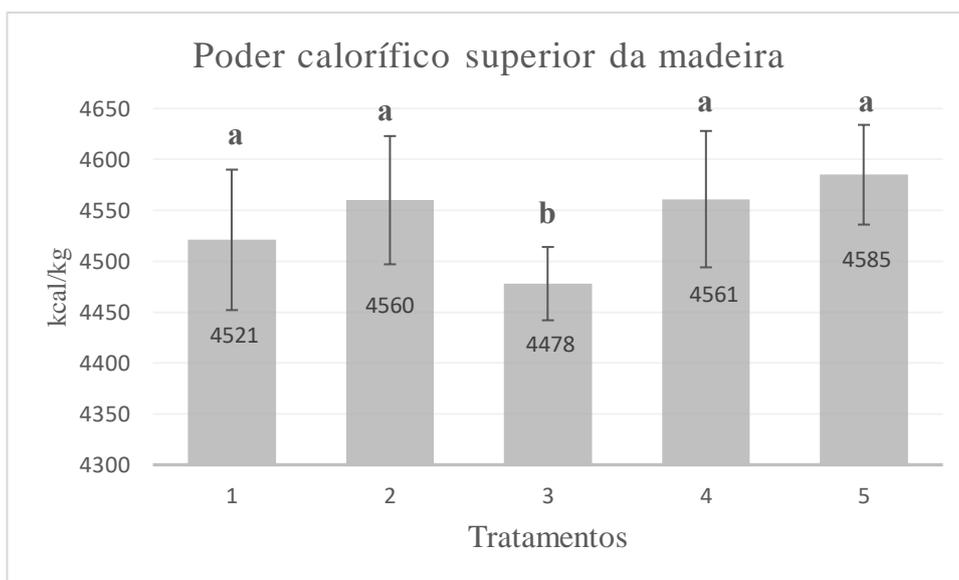
Tabela 3 - Resumo da análise de variância do poder calorífico superior da madeira, oriundo do clone H105.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
		PCSm
Tratamento	4	10632,70*
Bloco	2	242,80 ^{ns}
Resíduo	23	3659,20
Coeficiente de variação experimental (%)		1,33

^{ns}. Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. PCSm = Poder calorífico superior da madeira.

De acordo com exposto na Tabela 3, houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados. O poder calorífico superior da madeira apresentou valores médios entre 4478 kcal/kg a 4585 kcal/kg, referenciando o tratamento 3 e o tratamento 5, respectivamente.

Figura 9. Comportamento do PCSm - Poder calorífico superior da madeira de eucalipto (clone H105) e seu respectivo desvio-padrão, em cinco arranjos espaciais, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Carneiro et al (2014), avaliando três clones de *Eucalyptus* sp., em quatro idades diferentes, os valores médios de poder calorífico superior da madeira obtidos foram de 4633 kcal/kg, 4660 kcal/kg e 4542 kcal/kg, assemelhando-se aos valores observados neste trabalho. Jesus et al. (2017) realizaram a caracterização energética das espécies de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus botryoides*, para a produção de carvão vegetal. Identificaram que o valor do poder calorífico do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foi semelhante às demais espécies de eucalipto, correspondendo a 4538 kcal/kg, valor aproximado aos cinco tratamentos avaliados neste estudo.

Juizo et al (2017), avaliando a qualidade da casca e da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. robusta*, *E. phaeotrica*, *E. deanei*, *E. pellita*, *E. grandis* e *E. saligna*, para carbonização em indústria siderúrgica, identificaram valores médios para o poder calorífico superior na casca de Eucalipto entre 3307 kcal/kg a 4669 kcal/kg, e, na madeira, entre 4632 kcal/kg a 4820 kcal/kg.

Carneiro et al (2017) avaliaram o efeito do material genético e do local de plantio na qualidade da madeira de eucalipto, provenientes de sistemas de curta rotação, para fins energéticos. Avaliaram-se cinco clones de *Eucalyptus* spp. As médias obtidas, para o poder calorífico superior, foram entre 4600 kcal/kg a 4750 kcal/kg.

Soares et al (2014), ao estudarem madeiras de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, em três idades diferentes, observaram que o poder calorífico superior da madeira foi de 4454 kcal/kg aos 3 anos, 4547 kcal/kg aos 5 anos e 4385 kcal/kg aos 7 anos, valor abaixo do que foi encontrado no presente trabalho com o clone H105 aos 7 anos de idade. Silva et al (2015), ao avaliarem o poder calorífico superior na madeira de *Eucalyptus benthami*, identificaram o valor médio de 4679 kcal/kg.

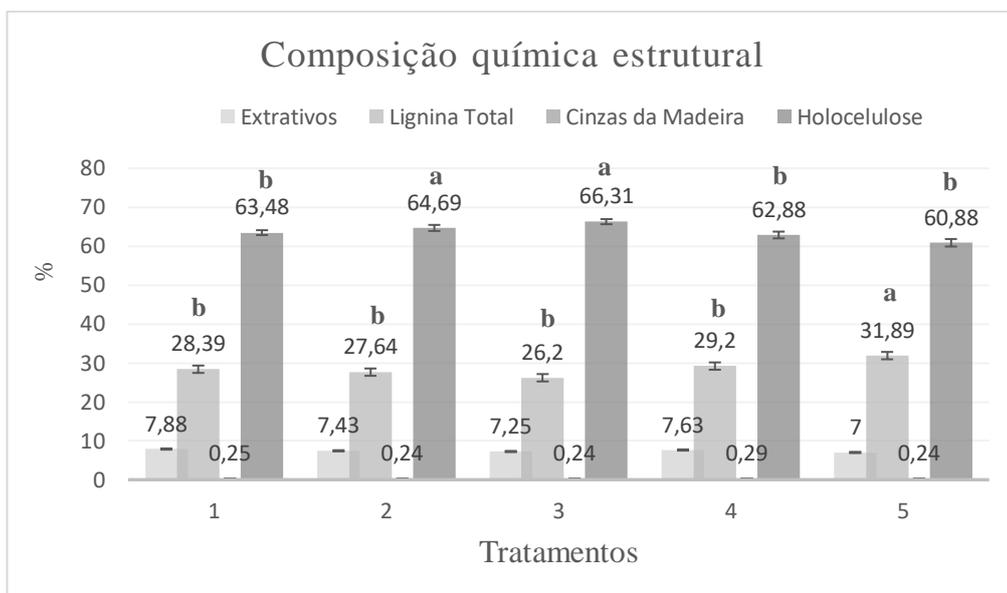
Na Figura 10, estão os valores médios de teor de extrativos e teor de cinzas do clone H105 nos diferentes arranjos espaciais. Conforme resultado de análise de variância, eles não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto os resultados, observados na madeira, indicaram que somente o teor de lignina total e teor de holocelulose apresentaram diferenças significativas, como observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância do teor de lignina total (TLT) e teor de holocelulose (TH) do clone de eucalipto H105 sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	
		TLT	TH
Tratamento	4	26,812*	24,675 *
Bloco	2	9,132 ^{ns}	9,079 ^{ns}
Resíduo	23	5,4823	6,430
Coeficiente de variação experimental (%)		8,17	3,98

^{ns}. Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. TLT – Teor de Lignina Total. TH – Teor de Holocelulose.

Figura 10. Teores médios de Extrativos, Lignina Total, Cinzas e Holocelulose da madeira de eucalipto (clone H105), em cinco arranjos espaciais, em sistemas integrados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi constatada diferença significativa para as propriedades de lignina total e holocelulose, nos diferentes arranjos espaciais. Os teores de holocelulose apresentaram médias de 60,88% a 66,31% para o tratamento 5 e 3, respectivamente. Já para o teor de lignina total, o tratamento 5 apresentou uma média superior ao tratamento 3, com cerca de diferença de 5,69%.

Os teores de extrativos obtiveram valores médios entre 7,00% a 7,88%. No que se refere às médias avaliadas quanto ao teor de cinzas, foi observado que os tratamentos apresentaram porcentagens relativamente próximas, pois estiveram entre 0,24 % a 0,29%.

De acordo com os resultados médios dos extrativos, observou-se que não houve grande variação, em função do arranjo espacial em sistema integrado. A depender da composição química dos extrativos, é uma importante característica, para a produção de carvão, uma vez que o teor de extrativo está diretamente relacionado ao rendimento de carvão Gomes Costa et al (2014). Adicionalmente, pode contribuir de maneira positiva no potencial do poder calorífico a depender do teor de carbono Frederico (2009). Trugilho et al (2014), avaliando cinco árvores por clone e espécie, em três e quatro classes

diamétricas, respectivamente, identificaram que o *Eucalyptus urophylla* (1 e 2) apresentaram diferentes teores de extrativos totais entre 7,45% e 4,40%.

De acordo com Klock et al (2005), a madeira é um material orgânico e os seus componentes químicos estão associados com as suas particularidades. O entendimento e determinação da composição química da madeira é importante, para definir o melhor aproveitamento da madeira, seja como lenha, carvão ou outro uso. Quimicamente, a madeira é constituída por substâncias de menor massa molar, designada extrativos e cinzas e também por substâncias macromoleculares que englobam a celulose, hemicelulose e a lignina.

Santos et al (2016), em um estudo de quatro clones híbridos de *Eucalyptus*, aos 7 anos de idade, sendo três de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e um *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, identificaram que os valores médios encontrados para o teor de lignina total para os quatro clones foram cerca de 32%.

Gomide et al (2005) afirmam que teores de lignina acima de 30% são mais frequentes em madeiras de coníferas. Nesse sentido, vários estudos com avaliação da madeira de eucalipto de diferentes espécies apresentam teores de lignina variando de 27% a 35% (TRUGILHO et al., 2001; PROTÁSIO et al., 2013), resultados que corroboram o presente trabalho, o qual apresentou valores médios variando entre 26,2 e 31,89%.

A lignina, por se tratar de elemento substancial quanto à conversão da madeira em carvão, destaca-se quanto à sua percentagem, pois se espera que essa conversão progrida com a proporção de lignina total e a diminuição da relação siringila:guaiacila da lignina, visto que isso propiciaria maior resistência à degradação térmica, em razão da presença de estruturas mais condensadas Castro et al (2013).

Pereira et al (2013) ressaltam que a madeira mais lignificada garantirá uma maior produção em carvão vegetal e elevado poder calorífico, em consequência da degradação dos componentes químicos ricos em oxigênio (celulose e hemiceluloses), em um menor espaço de tempo.

Soares et al (2015), estudando madeiras de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, em três diferentes idades, obtiveram valores médios para cinzas da madeira, resultados entre 0,41 com três anos, 0,31 com cinco anos e 0,18 com sete anos. Ainda afirmaram que o teor de cinzas diminuiu significativamente com a maturidade da árvore, conseqüentemente, por ter uma menor atividade fisiológica da árvore com a idade, exigindo, portanto menor presença de componentes minerais.

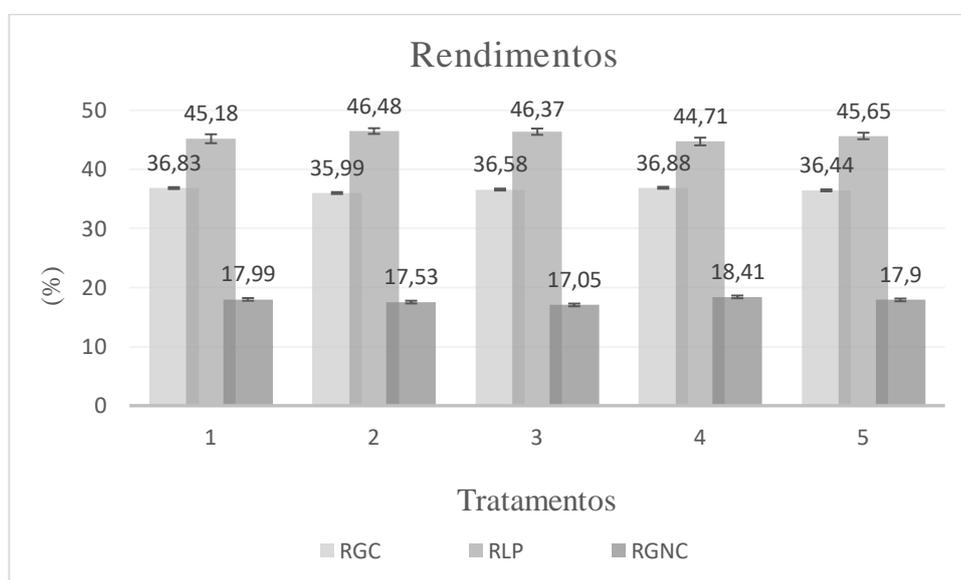
Salienta-se que o elevado teor de cinzas não é benéfico, uma vez que terá maior teor de conteúdo minerais, bem como influenciar negativamente na quantidade de cinzas produzida por unidade de madeira (GOMES COSTA et al., 2014).

Em decorrência dos teores de holocelulose serem obtidos por diferença, por consequência, maiores teores de holocelulose promovem um menor rendimento em carvão vegetal PROTÁSIO et al (2014). Diante do exposto, se a finalidade for produzir carvão vegetal, orienta-se que o material de estudo expresse um menor teor de holocelulose PROTÁSIO et al (2012a). Neste trabalho, o tratamento 5 apresentou um menor teor de holocelulose, como pode ser observado.

CARVÃO VEGETAL DO CLONE DE EUCALIPTO H105

Os resultados médios de rendimento gravimétrico em carvão vegetal, licor pirolenhoso, gases não condensáveis do clone H105 (*Eucalyptus grandis x Eucalyptus camaldulensis*), em cinco arranjos espaciais distintos, encontram-se na Figura abaixo.

Figura 11. Rendimento gravimétrico em carvão vegetal – RGC. Rendimento em licor pirolenhoso - RLP e Rendimento em gases não condensáveis – RGNC. Do carvão vegetal do eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Não houve diferença estatística, para os parâmetros de rendimento gravimétrico em carvão vegetal (RGC), rendimentos em licor pirolenhoso (RLP) e rendimento em gases não condensáveis (RGNC).

De acordo com Vieira et al (2013), os rendimentos do carvão vegetal e a sua heterogeneidade são consequentes das alterações do lenho e do processo de carbonização. Reis et al (2012) encontraram rendimentos em líquido pirolenhoso de 45,25% e gases não condensáveis em 18,14%, corroborando com o que foi identificado neste estudo.

Neves et al (2011), estudando clones de *Eucalyptus*, na fazenda Areão e Ponte, identificaram valores médios para rendimento em licor pirolenhoso 45,43% e 41,70%.

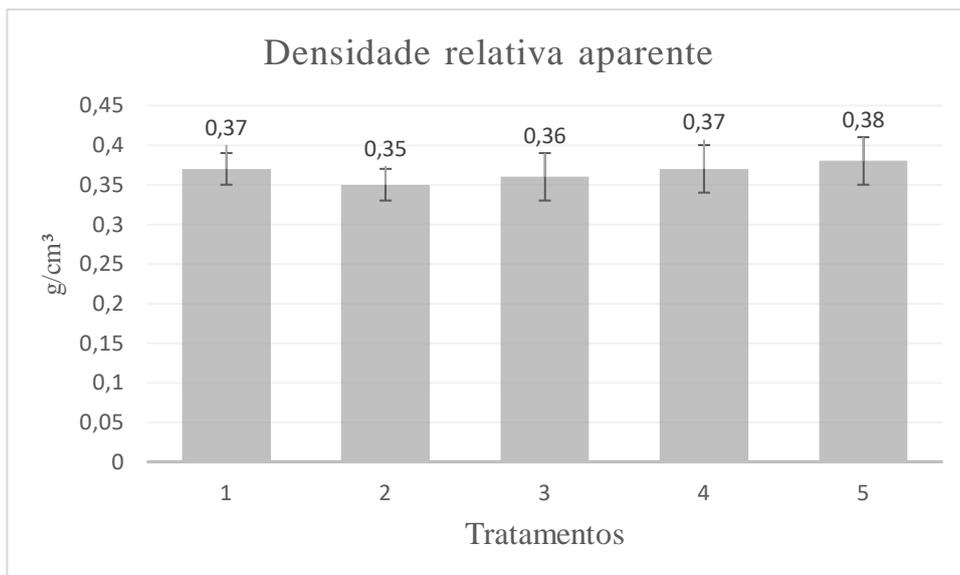
O rendimento gravimétrico em carvão decorre também das variáveis características da própria madeira como das circunstâncias do processo de carbonização Cardoso et al (2016). À medida que o material de estudo foi empregado com, aproximadamente, a mesma proporção e foi carbonizado no mesmo requisito e taxa de temperatura, neste trabalho, não houve diferença identificada no rendimento, que, por conseguinte, justifica que não há alteridade da composição química da madeira em relação aos seus espaçamentos Trugilho e Silva (2001).

Conforme Valente (1986), um fator que influencia diretamente no rendimento gravimétrico é o teor de umidade da madeira. Altos teores, além de prolongar o tempo de carbonização, delimitam o rendimento gravimétrico, ao absorver fração da carga da madeira para evaporar a água, ocasionando a redução do rendimento em base seca.

Assis et al (2012), ao analisarem a qualidade e os rendimentos do carvão vegetal de um clone híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, denominado comercialmente de GG100, para uso siderúrgico, em diferentes idades, espaçamentos e locais de plantio, identificaram valores médios de RGC entre 30% e 32,97 %.

Na Figura 12, estão dispostos os valores médios da densidade aparente do carvão em diferentes arranjos espaciais.

Figura 12. Densidade Relativa Aparente do Carvão Vegetal de eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

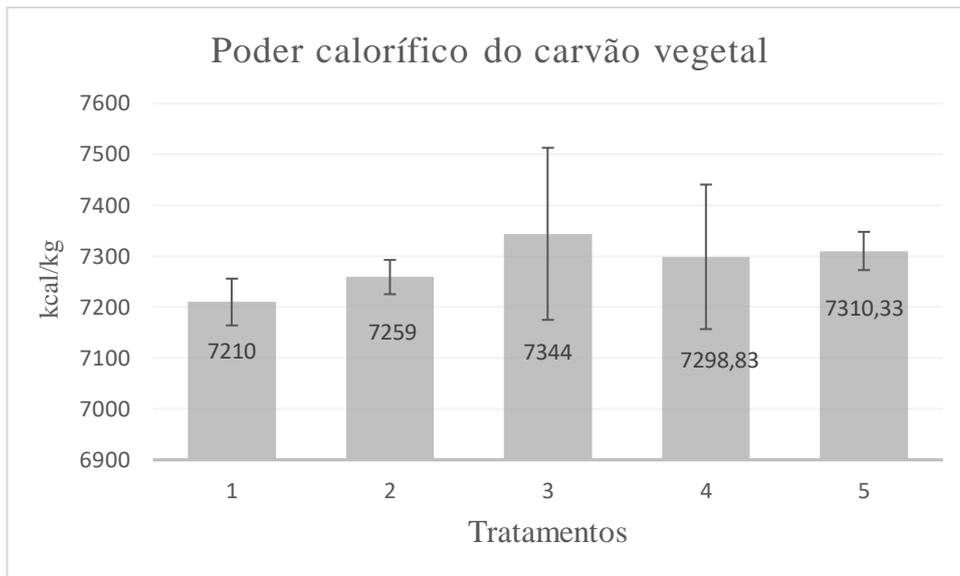
No que se refere à densidade relativa aparente do carvão vegetal, constatou-se, por meio da análise de variância, que não houve diferença estatística entre os cinco tratamentos estudados.

Neste trabalho, foram observados valores médios superiores a $0,35\text{g/cm}^3$, para densidade aparente do carvão vegetal, o que é adequado e representa uma boa qualidade. Essa propriedade concede ao carvão maior eficácia calorífica por volume, potencializando, por exemplo, a câmara de combustão de fornalhas para a secagem de grãos (VALENTE, 1986).

Santos et al (2016) estudaram quatro clones híbridos de *Eucalyptus* aos 7 anos de idade. Os valores médios encontrados para a densidade relativa aparente do carvão variaram entre $0,266$ e $0,345\text{g/cm}^3$,

Botrel et al (2007) relatam que madeiras que possuem maior densidade geram carvão com maior densidade aparente. O mesmo autor, ao avaliar as propriedades do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus*, identificaram carvões com densidade relativa aparente média entre $0,280\text{g/cm}^3$ e $0,402\text{g/cm}^3$, valores aproximados com o que foi identificado nos cinco tratamentos avaliados neste estudo.

Figura 13. Poder calorífico superior do carvão vegetal - (PCSc) do eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado na Figura 13, os valores médios para a propriedade poder calorífico superior do carvão vegetal apresentaram entre 7210 kcal/kg e 7344 kcal/kg.

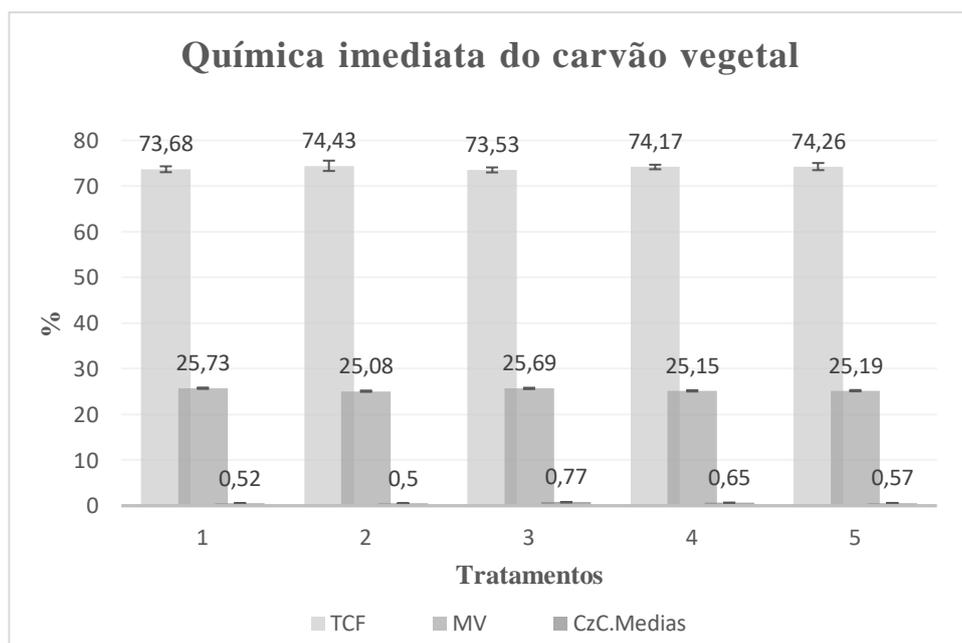
Soares et al (2014), estudando madeiras de híbridos de *E. grandis x E. urophylla*, em três idades diferentes, encontraram valores médios para poder calorífico de 7062 kcal/kg aos 3 anos de idade, 7215 kcal/kg aos 5 anos e 7193 kcal/kg aos 7 anos. Buttini (2013), em seu material de estudo, avaliou a influência da posição longitudinal na qualidade do carvão de *E. benthamii*, carbonizada à temperatura máxima de 500°C e os valores para base e topo foram, respectivamente, 7091 kcal/kg e 7200 kcal/kg.

Reis et al (2012) encontraram poder calorífico superior do carvão vegetal, média igual a 7086 kcal/kg e densidade relativa aparente do carvão média igual a 0,326 g/cm³.

Thomaz et al (2007), analisando o carvão do *E. badjensis* (10 anos de idade) e *E. benthamii* (18 anos), identificaram que o *E. badjensis* apresentou poder calorífico de 7390 kcal/kg, sendo maior que o carvão de *E. benthamii*, que foi de 6570 kcal/kg.

A análise química imediata avaliou os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas de uma amostra composta do carvão vegetal e os dados referentes à essa análise não demonstraram diferença estatística entre os diferentes tratamentos analisados. Os valores médios com os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas dos diferentes tratamentos são apresentados abaixo.

Figura 14. Avaliação dos Teores de Carbono Fixo, Materiais Voláteis e Cinzas. Madeira de eucalipto (clone H105), em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF. TCF – Teor de carbono fixo, MV – materiais voláteis, CzC – cinzas do carvão vegetal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os teores de carbono fixo entre os tratamentos apresentaram valores próximos entre si, com média entre 74,3% e 73,5%, como também a avaliação do teor de materiais voláteis, que foram estatisticamente iguais. O teor de cinzas, o tratamento 3, obteve 0,8%, seguido do tratamento 4 com 0,7%, posteriormente, o tratamento 2 e o tratamento 1, nessa ordem.

Souza et al (2016) afirmam que o teor de carbono fixo é um dos fatores indispensáveis quanto à qualidade do carvão vegetal, pois constatam que quanto mais elevado este for, melhor será a aplicabilidade quanto ao uso do carvão.

Cruz et al (2015) avaliaram a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus spp.* plantados em 1964 e cultivado no campus da UFRB, no município de Cruz das Almas – BA. Constataram resultados médios das análises químicas imediatas avaliadas no carvão, sendo o teor de materiais voláteis entre 19,3% a 20,9, cinzas 0,93% a 1, 66% e carbono fixo entre 77,1% a 78,9%, similar aos identificados neste trabalho. Brand (2010) assevera que este resultado é interessante quanto ao potencial energético do carvão vegetal, em virtude de que quanto menor o teor de materiais voláteis, maior será o teor de carbono fixo, proporcionando uma queima mais lenta, necessitando de um longo período de permanência na fornalha para a queima total, quando comparados com combustíveis com baixo índice de carbono fixo, corroborando com Santos, et al. (2012), ao estudarem quatro materiais genéticos de eucalipto e obtiveram teores de cinzas entre 0,4% e 0,8%, matérias voláteis entre 11% e 15% e carbono fixo entre 85% e 88%.

Neste trabalho, no que tange ao teor de materiais voláteis, não diferiu estatisticamente, sendo a média entre os tratamentos de 25,07% a 25,72%, porém contrastante aos valores identificados por Trugilho et al (2005) que fizeram uso da mesma temperatura final de carbonização (450 °C) e perceberam que os valores médios de materiais voláteis se apresentaram entre 29,19% e 31,77% para o carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp.*

Em referência às cinzas do carvão, de acordo com Vital et al (1989), esta variável é também relevante para o processo de carbonização e combustão da madeira. Teores de cinza, parcialmente altos, consistem em um aspecto indesejável e restritivo para a sua utilização residencial urbana e rural. Machado et al (2014) relatam que a escolha de um determinado material, com menor teor de inorgânicos, resulta na produção de baixo teor de cinzas, favorecendo a carbonização e, principalmente, seu determinado uso. No presente trabalho, foram encontradas médias quanto ao teor de cinzas do carvão entre 0,5% e 0,8%.

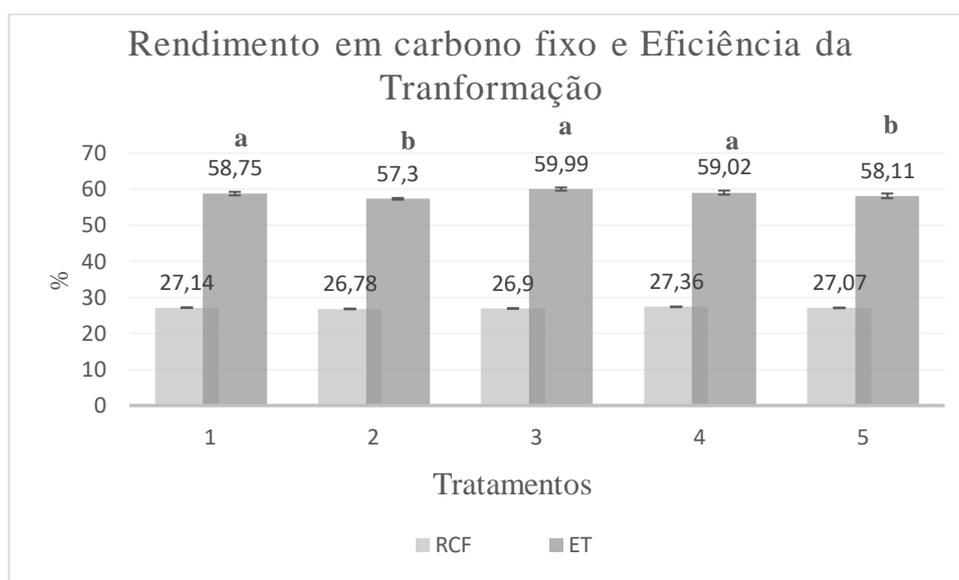
Na Tabela 5, é apresentado o resumo da análise de variância dos rendimentos de carbono fixo e eficiência da transformação dos cinco tratamentos avaliados.

Tabela 5 – Quando resumo da análise de variância dos rendimentos em carbono fixo (RCF) e eficiência da transformação (ET) do clone de eucalipto H105.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	
		RCF	ET
Tratamento	4	0,29728 ^{ns}	6,0975 [*]
Bloco	2	0,28264 ^{ns}	0,2124 ^{ns}
Resíduo	23	0,24431	1,1816
Coeficiente de variação experimental (%)		1,83	1,85

^{ns}. Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. ^{*} Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. PCSm = Poder calorífico superior da madeira.

Figura 15. Avaliação do rendimento em carbono fixo e eficiência energética. Clone H105, em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF. RCF – rendimento em carbono fixo, ET – eficiência da transformação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O rendimento em carbono fixo apresentou médias entre 26,78% e 27,36%. Já os resultados da avaliação da eficiência da transformação foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos, possivelmente, pela interferência do poder calorífico da madeira, que também apresentou diferença estatística. Os valores médios encontrados, para eficiência da transformação, estiveram entre 57,3% a 59,99%.

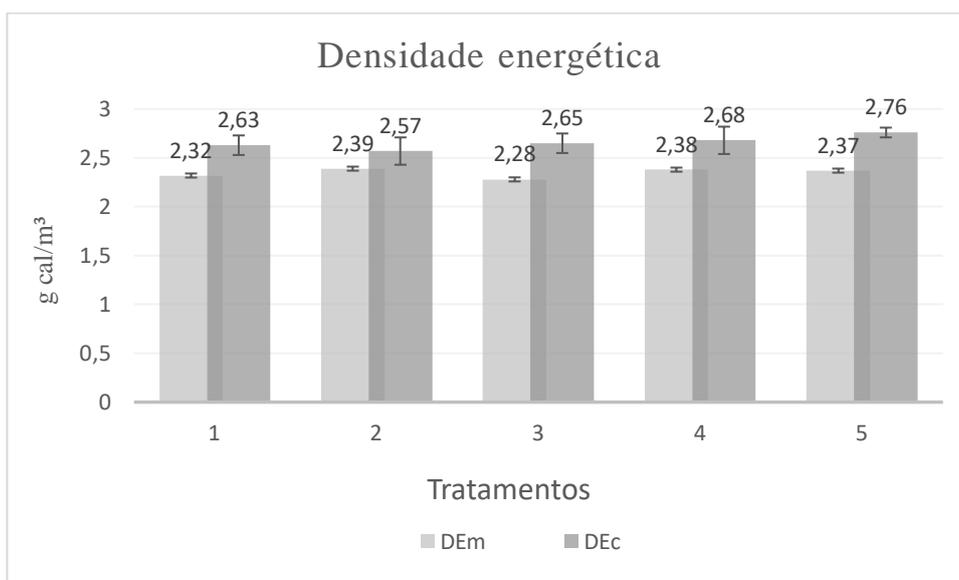
O rendimento de carbono fixo não apresentou diferença significativa entre si nos diferentes arranjos espaciais.

Figueiredo et al (2018) estudaram o potencial da madeira *Pterogyne nitens* para produção de carvão vegetal. Analisaram árvores com 9 anos de idade. As madeiras foram

fragmentadas e carbonizadas em forno mufla, com aquecimento elétrico a temperaturas finais de 300°C, 450°C e 600°C; foram encontrados valores para rendimento em carbono fixo a 300°C com 23,12%, a 450°C com 23,26% e a 600°C com 23,34%.

Arruda et al (2017) analisaram as variáveis da produção do carvão vegetal da madeira de *E. grandis* e verificaram rendimento em carbono fixo a 400°C de 23,18%, a 500°C de 24,39% e a 600°C de 24,80%.

Figura 16. Densidade Energética da Madeira e Densidade Energética do Carvão Vegetal do clone de eucalipto H105, em cinco tratamentos distintos, no sistema integração lavoura pecuária e floresta – ILPF. DEm – densidade energética da madeira, DEc – densidade energética do carvão vegetal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 16, estão dispostas as médias dos tratamentos da densidade energética da madeira e densidade energética do carvão. Não se observou diferença estatística pela análise de variância dentre os cinco tratamentos avaliados. Valores médios de densidade energética da madeira e densidade energética do carvão estiveram entre 2,28 Gcal/m³ e 2,39 Gcal/m³ e 2,57 Gcal/m³ e 2,76 Gcal/m³.

A densidade energética é atribuída à energia disposta em um determinado volume de madeira (LIMA et al., 2007).

Neves et al (2013), avaliando clones de *Eucalyptus spp.* nas idades de 55 e 67 meses, identificaram densidades energéticas da madeira de 2,05 Gcal/m³ e 2,08 Gcal/m³,

respectivamente. Porém Protásio et al. (2013a), avaliando três clones de *Eucalyptus urophylla* e quatro de *Eucalyptus grandis*, encontraram, para densidade energética da madeira, valores na faixa de 2,16 a 2,38 Gcal m⁻³, valores próximos aos obtidos neste trabalho.

Barbosa (2014), comparando a qualidade do carvão vegetal de um clone de *E. urophylla* com diferentes posições axiais do tronco, obteve densidade energética do carvão na Base, com 3,124 Gcal m⁻³. E Topo com 2,89 Gcal m⁻³.

6. CONCLUSÃO

O clone H105 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresentou altas produtividades de madeira em integração lavoura, pecuária e floresta, revelando boa adaptação para as condições edafoclimáticas da região em estudo.

O arranjo espacial de plantio influenciou no crescimento do clone H105 em sistemas integrados.

O clone H105 cultivado em integração lavoura, pecuária e floresta apresentou propriedades satisfatórias, para produção de biomassa energética, seja na forma de lenha ou carvão vegetal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941:** madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT 2003.

ALMEIDA, A. M. C. de; OLIVEIRA, E. de; CALEGARI, L.; NETO, P. N. de. M;

PIMENTA, A. S; Avaliação Físico-Química E Energética Da Madeira Das Espécies *Piptadenia Stipulacea* (Benth.) Ducke E *Amburana Cearensis* (Allemão) A. C. Smith De Ocorrência No Semiárido Nordeste Brasileiro; **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 165-173, jan.-mar., 2015.

ALVARENGA, R. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. *Informe Agropecuário*, v. 31, n. 257, p. 59-67, 2010.

ALVARENGA, R., & GONTIJO NETO, M. M. (2011). Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: produção de alimentos, agroenergia e madeira.

ANNEL: Atlas de Energia. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf

ARRUDA, T. P. M., HEIN, P. R. G., FONSECA, A. D. S., & CASTRO, J. P. PROPRIEDADES DA MADEIRA DO HÍBRIDO *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* PARA USO ENERGÉTICO NO MATO GROSSO. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, MT, v.11, n.2, p.127-136, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio.** 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL/ABTCP, **Normas técnicas.** São Paulo, ABTCP, 1974.

BALBINO, L. C., CORDEIRO, L. A. M., PORFÍRIO-DA-SILVA, V., MORAES, A. D., MARTÍNEZ, G. B., ALVARENGA, R. C., ... & GALERANI, P. R. (2011). Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil; **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n10, p.0-0, 2011.

BALBINO, L. C.; MACHADO, L. A. Z.; CECCON G. Integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF): Região Sul. Brasília: EMBRAPA, 2012. 83.

BALBINOT JUNIOR, A. A., DE OLIVEIRA PROCÓPIO, S., COSTA, J. M., KOSINSKI, C. L., PANISON, F., DEBIASI, H., & FRANCHINI, J. C. Espaçamento reduzido e plantio cruzado associados a diferentes densidades de plantas em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, 2015.

BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; DIAS, P.F. et al. Sistemas Agrossilvipastoris: a Importância das Leguminosas Arbóreas para as Pastagens da Região Centro-Sul. NUTRIR, Depto Melhoramento e Nutrição Animal, FCA-FMVZ-Unesp Botucatu, 2005.

BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; PEREIRA, M.G.; CAMPELOO, E.F.C.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M.; ALVES, B.J.R. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p.597-601, 2004

BALIZA, A. E. R. **PRODUTIVIDADE E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE UM**

CLONE HÍBRIDO DE *Eucalyptus urophylla* PLANTADO EM MINAS GERAIS, 2014. 73p. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Minas Gerais, 2014.

BARBOSA, L. C. A; CÉLIA, R. A. M; SILVA, V. L; COLODETTE, J. L; Determinação da relação siringila/guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (pi-cg/em); **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 8, 2035-2041, 2008.

BARREIROS, R. M. **Modificações na qualidade da madeira *Eucalyptus grandis* causadas pela fertilização com lodo de esgoto**. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BARREIROS, R. M; **Modificações na qualidade de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado**; Tese apresentada para obtenção de título de Doutor em Recursos Florestais, Piracicaba, 2005.

BOTREL, G. M. C., TRUGILHO, P. F., DA SILVA ROSADO, S. C., MOREIRA DA SILVA, J. R. Melhoria genética das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, 2007.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRAND, MARTHA ANDREIA ET AL BRAND, M. A., ALMADA RODRIGUES, A., DE OLIVEIRA, A., SILVEIRA MACHADO, M., & ZEN, L. R. comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, 2015.

BRITO, J. O. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. **Documentos florestais**, v. 9, p. 1-19, 1990.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, 1978.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Comportamento isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização. **Piracicaba: ESALQ**, 2006.

BRITO, JO de; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. **Seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais**, v. 2, p. 101-137, 1982.

BUDZIAK, C. R., MAIA, C. M. B. F., & MANGRICH, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2004.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. Anatomia da madeira, 154 pp. **Nobel, São Paulo**, 1991.

CAPOTE, F. G. **Caracterização e classificação de co-produtos compactados da biomassa para fins energéticos**. 2012. 73 p. Dissertação de mestrado- Interinstitucional em bioenergia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CARDOSO, L. J., DA SILVA XAVIER, E., DE PAULA, N. F., & DE PAULA, R. C. EFEITO DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO NA DENSIDADE E NO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO DE CARVÃO DE CLONES DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciência & Tecnologia Fatec-JB**, v. 8, 2016.

CARNEIRO, A. D. C. O, NEVES MENDES CASTRO, A. F., VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO, R., CAVALCANTE DOS SANTOS, R., PAPASPYROU FERREIRA, L.,

- PEREIRA DAMÁSIO, R. A., ROCHA VITAL, B. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus sp.* em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore** 2014; 38(2): 375-381. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000200019>.
- CASTRO, A. F. N. M., CASTRO, R. V. O., CARNEIRO, A. D. C. O., DE LIMA, J. E., DOS SANTOS, R. C., PEREIRA, B. L. C., & ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 2013; 48(6): 627-635. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600008>.
- CORDEIRO, L. A. M., BALBINO, L. C., GALERANI, P. R., DOMIT, L. A., SILVA, P. C., KLUTHCOUSKI, J., VILELA, L., MARCHÃO, R. L., SKOPURA, L. A., WRUCK, F. J. (2015). Transferência de Tecnologias para Adoção da Estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 377-393.
- COUTO, H. D., & BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF, Piracicaba**, n. 37, p. 33-44, 1987.
- CRAVO, M. D. S., CORTELETTI, J., NOGUEIRA, O. L., SMYTH, T. J., & De Souza, B. D. L. (2005). Sistema Bragantino: agricultura sustentável para a Amazônia. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).
- CUNHA, P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. de A.; CABRAL, M. T. de F. D.; NETO Z. B. da C.; BARBOSA, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1989. v. 2, p. 95-121.
- da CRUZ, C. R., FERREIRA, R. S., & ALMEIDA, J. M. Propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus sp.* cultivados na região do Recôncavo da Bahia. **MAGISTRA**, v. 27, n. 2, p. 188-198, 2015.
- de ASSIS, M. R., DE PAULA PROTÁSIO, T., DE ASSIS, C. O., TRUGILHO, P. F., & SANTANA, W. M. S. (2012). Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 291, 2012.
- de ASSIS, T. F. (2014). Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas.
- DIAS-FILHO, M. B. (2007). Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Embrapa Amazônia Oriental.
- DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Bois et Forêts des tropiques**, n. 172, p. 33-55, 1977.
- DOSSA, D.; MONTOYA VILCAHUAMAN, L. J. A atividade florestal e agroflorestal como alternativas de renda aos produtores rurais. **Embrapa Florestas. Circular Técnica**, 2001.
- DRUMOND, M., RIBASKI, J., TAVARES, J., de OLIVEIRA, V. R., SA, I., PEREIRA, P., NASCIMENTO, C. D. S. Influência do preparo de solo no crescimento de híbridos de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe, Pernambuco. In *Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso*. In: **SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**, 4., 2015, Petrolina.

Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015.

EMBRAPA, SOJA. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000. **Londrina: EMBRAPA-CNPSO**, 1999.

FERREIRA, A. D., ALMEIDA, R. G., MACEDO, M. C. M., LAURA, V. A., BUNGENSTAB, D. J., & MELOTTO, A. M. Arranjos espaciais sobre a produtividade eo potencial de prestação de serviços ambientais do eucalipto em sistemas integrados. In: **CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA A PRODUÇÃO PECUÁRIA SUSTENTÁVEL**. 2012. p. 5.

FIGUEIREDO, M. E. O., LONGUE JÚNIOR, D., PEREIRA, S., KATIUSSYA, A., DE CÁSSIA OLIVEIRA CARNEIRO, A., DA SILVA, S., & MIGUEL, C. POTENCIAL DA MADEIRA DE *Pterogyne nitens* Tul.(MADEIRA-NOVA) PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL. **Ciência Florestal (01039954)**, v. 28, n. 1, 2018.

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: **Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**. 1997. p. 15-22.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO**, v. 1, p. 447-471, 1997.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Eds.) **Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions**. New York: WileyInterscience, 1971. p.241-266.

GOMES COSTA, T., BIANCHI, M. L., DE PAULA PROTÁSIO, T., TRUGILHO, P. F., & JÚNIOR PEREIRA, A. QUALIDADE DA MADEIRA DE CINCO ESPÉCIES DE OCORRÊNCIA NO CERRADO PARA PRO-DUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL. **Cerne**, v. 20, n. 1, 2014.

GOMIDE, J. L., & DEMUNER, B. J.. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 129-137, jan./fev. 2005.

GONTIJO NETO, M. M., Viana, M. C. M., Alvarenga, R. C., dos SANTOS, E. A., SIMÃO, E. D. P., & Campanha, M. M. (2014). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado.

GOUVÊA, A, de. F. G; TRUGILHO, P. F; GOMIDE, J. L; SILVA, J. R. M. da, ANDRADE, C. R; ALVES, I. C. N; Determinação Da Densidade Básica Da Madeiras De *Eucalyptus* Por Diferentes Métodos Não Destrutivos; **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.349-358, 2011.

GUEDES, I. L., DO AMARAL, E. J., DA SILVA LEITE, E., FERNANDES, H. C., DE MELLO SANT'ANNA, C. Avaliação do desempenho e custos de dois sistemas de cabos aéreos na extração de madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, 2017.

HENDRICKSON, J. R.; HANSON, J. D.; TANAKA, D. L.; SASSENATH, G. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 23, n. 4, p.265-271, 2008.

- IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual** 2016. São Paulo; 2016.
- JARA, Elias RP. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. **São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas–IPT**, 1989.
- JESUS, M. S., COSTA, L. J., FERREIRA, J. C., FREITAS, F. P., SANTOS, L. C., ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de eucalyptus. **FLORESTA**, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.
- JUIZO, C. G. F., LIMA, M., & DA SILVA, D. A. (2017). Qualidade da casca e da madeira de nove espécies Eucalipto para produção de carvão vegetal; **Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n. 3, p. 386-389.
- JUVILLAR, J. B. Tecnologias da transformação da madeira em carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Comp.). Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: CETEC, 1980. 158 p. (Série Publicações Técnicas, n. 1.
- KICHEL, A. N., da COSTA, J. A. A., de ALMEIDA, R. G., & Paulino, V. T. (2014). Sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)-Experiências no BRASIL. Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em periódico indexado.
- KLOCK, U., MUÑIZ, G. D., HERNANDEZ, J. A., & ANDRADE, A. D. Química da madeira. **Curitiba: UFPR**, v. 3, 2005.
- LEMONS JUNIOR, J. E. M., DE MELO, C., DE SOUZA, K. R., GUIMARÃES, L. E., OLIVEIRA, F. D., GONÇALVES, R. A., MONTEIRO, M. M., LIMA, N. L., VENTUROLI, F., CALIL, F. N. Volumetric models for *Eucalyptus grandis x urophylla* in a crop-livestock-forest integration (CLFI) system in the Brazilian cerrado. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 15, p. 1336-1343, 2016.
- LIMA, E. A. de; SILVA, H. D. da; LAVORANTI, O. J; Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*.; **Pesq. flo. bras.**, Colombo, v.31, n.65, p. 09-17, jan/mar. 2011.
- LIMA, E. A., DA SILVA, H. D., MAGALHÃES, W. L. E., & LAVORANTI, O. Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. 2007.
- MACEDO, R.L.G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas agroflorestais. 1 ed. Lavras: UFLA, 2010, 331p.
- MACHADO, G. O., VOGEL, F., & MORAES, M. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas, químicas e energéticas do carvão de cinamomo (*Melia azedarach L.*) Influence of temperature carbonization in physical, chemical and energy of charcoal from cinamomo. **AMBIÊNCIA**, v. 10, n. 1, p. 83-96, 2014.
- MACHADO, L. A. Z. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 46 p.
- MANZONI, L. P. & BARROS, T. D. Carvão Vegetal. AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. [2010]. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000gc6fompl02wx5ok01dx9lc67w62o0.html>> Acesso em: 16/10/2017
- MARCOS MARTÍN, F.: Otros aprovechamientos forestales. Ed. Fernando Martín Asín. Madrid, 62 p. 1997.
- MARTINS, R. J.; SEIXAS, Fernando; STAPE, José Luis. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio

em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis, Piracicaba**, v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

MEIRA, A. M. Diagnóstico sócio-ambiental e tecnológico da produção de carvão vegetal no município de Pedra Bela. Estado de São Paulo. 2002. 99 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba - SP, 2002.

MELO, J. E. de; DISCIPLINA: Sistemas Estruturais Em Madeira; Universidade De Brasília Faculdade De Arquitetura E Urbanismo Departamento De Tecnologia; Brasília, 2013. Disponível em:< http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/Julio-Apostila%20Uso%20da%20Madeira%20em%20Estruturas%201aApostilaSEM_I2014.pdf > Acesso em: 15/10/2016

MENDES, M. G.; GOMES. P. A.; OLIVEIRA, J.P. Propriedades e Controle de Qualidade de Carvão Vegetal. In: Produção e Utilização de Carvão Vegetal. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. – CETEC; p. 75-89. 1982.

MIRANDA, E. E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de; Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA; Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA; **Nota 1 Técnica**, Campinas, SP Maio, 2014. Disponível em:< https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf> Acesso em: 05/11/2017

MOKFIENSKI, A; GOMIDE, J. L; COLODETTE, J. L; OLIVEIRA, R. C; **Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibras**. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO. 2003, Viçosa. **Colóquio...** Viçosa: 2003. p15-38.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. A. Cultura do Eucalipto no Brasil. São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 114 p. 2000.

MORAIS, P. H. D; **Efeitos da Idade da Madeira de Eucalipto na sua Química e Polpabilidade, e Branqueabilidade e Propriedades Físicas da Polpa**; Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós Graduação em Agroquímica, Viçosa-MG, 2008.

MÜZEL, S. D., DE OLIVEIRA, K. A., HANSTED, F. A. S., PRATES, G. A., & GOVEIA, D. PODER CALORÍFICO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* E DA Hevea brasiliensis WOOD CALORIFIC POWER FROM *Eucalyptus grandis* AND Hevea brasiliensis SPECIES. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 166-172, 2014.

NEVES, T. A., DE PAULA PROTÍ, T., TRUGILHO, P. F., VALLE, M. L. A., DE SOUSA, L. C., & VIEIRA, C. M. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. de. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M.; Avaliação de Clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal; **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, out/dez. 2011.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

- OLIVEIRA, E.B. de; RIBASKI, J.; ZANETTI, É.A.; PENTEADO JÚNIOR, J.F. Produção, carbono e rentabilidade econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.57, p.45-56, 2008.
- OLIVEIRA, J. T. D. S., & SILVA, J. D. C. (2003). Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm.
- OLIVEIRA, S. DE F. DE; SANTOSA, M.: Produção, v. 22, n. 2, p. 309-321, mar./abr. 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132012005000010>> Acesso em: 16/10/2017.
- OTOMAR CARON, B., QUEIRÓZ DE SOUZA, V., CORRÊA COSTA, E., ELOY, E., BEHLING, A., & TREVISAN, R. Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, 2012.
- PAIVA, H.N. DE; JACOVINE, L.A.G; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G.T. 2013. Cultivo de Eucalipto: Implantação e Manejo. Editora Aprenda Fácil, Viçosa, MG, Brasil.
- PENEDO, W. R. (1980). Uso da madeira para fins energéticos.
- PEREIRA, B. L. C., CARNEIRO, A. D. C. O., CARVALHO, A. M. M. L., COLODETTE, J. L., OLIVEIRA, A. C., & FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal properties **BioResources**, v. 8, n. 3, p. 4574-4592, 2013. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.8.3.4574-4592>.
- PEREIRA, J. C. D; STURION, J. A; HIGA, A. R; HIGA, R. C. V; SHIMIZU, J. Y; Características Da Madeira De Algumas Espécies De Eucalipto Plantadas No Brasil; Embrapa Florestas. **Documentos 38**; Colombo, PR. 2000.
- PINHEIRO, P. C. C., REZENDE, M. E. A., & SAMPAIO, R. S. A produção de carvão vegetal: teoria e prática. Belo Horizonte, 2006.
- PORFÍRIO-da-SILVA, V. Ideótipo de espécie arbórea para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In *Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso*. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. Anais...[Campo Grande, MS: sn, 2013]..
- PROTÁSIO, T. DE. P., BUFALINO, L., TONOLI, G. H. D., COUTO, A. M., TRUGILHO, P. F., & JÚNIOR, M. G. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 113, 2011.
- PROTÁSIO, T. DE. P., COUTO, A. M., DOS REIS, A. A., TRUGILHO, P. F., GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp* aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 137-149, 2013.
- QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.
- R CORE TEAM, R; A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: www.R-project.org
- REIS, J., RODRIGUES, R., CONCEIÇÃO, M., & MARTINS, C. (2016). Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: uma estratégia de agricultura sustentável baseada

nos conceitos da Green Economy Initiative. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 1, p. 58-73, 2016.

RIBASKI, J. Cultivo do Eucalipto. **Sistemas de Produção**, v. 4, 2008.

RIBASKI, J., & MONTOYA, L. J. (2001). Sistemas silvipastoris desenvolvidos na região Sul do Brasil: a experiência da Embrapa Florestas. Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Embrapa Gado de Leite. Juiz de Fora. FAO. Brasília.

RIBEIRO, M. D. DOS. S. B., BLANCO JORGE, L. A., MISCHAN, M. M., DOS SANTOS, A. L., & WAGNER BALLARIN, A. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DO FUSTE DE UM CLONE HÍBRIDO DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, 2017.

RICHTER, B. E. et al. Accelerated solvent extraction: a technique for sample preparation. **Analytical Chemistry**, v. 68, n. 6, p. 1033-1039, 1996.

SANTOS, I. D; **Influência dos Teores de Lignina, Holocelulose e Extrativos na Densidade Básica e Contração da Madeira e nos Rendimentos e Densidade do Carvão Vegetal de Cinco Espécies Lenhosas Do Cerrado**; Dissertação do Mestrado em Ciências Florestais; Brasília, 2008.

SANTOS, L. L., SEABRA JÚNIOR, S., & NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

SANTOS, M.D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, SP.

SANTOS, R. C., CARNEIRO, A. D. C. O., VITAL, B. R., CASTRO, R. V. O., VIDAURRE, G. B., TRUGILHO, P. F., & CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SANTOS, R. D., CARNEIRO, A. D. C., TRUGILHO, P. F., MENDES, L. M., & CARVALHO, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 143-151, 2012.

SEREGHETTI, G.C. **Biomassa inicial do híbrido *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos** [dissertação]. Botucatu: Universidade Estadual de São Paulo; 2012.

SILVA, D. A. da; CARON, B. O; BEHLING. A; SOUZA, V. Q. de; ELOY. E; Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira; **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1588-1595, set, 2012.

SILVA, D. A., MULLER, B. V., KUIASKI, E. C., ELOY, E., BEHLING, A., & COLAÇO, C. M. (2015). Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 35(84), 481-485.

SILVA, R. A. de; CRESTE, J. E; MEDRADO, M. J. S; RIGOLIN, I. M. Sistemas integrados de produção – o novo desafio para a agropecuária brasileira; **Colloquium Agrariae**, v. 10, n.1, Jan-Jun. 2014, p.55-68.

- SOARES, C.V., BIANCHI, M. L., TRUGILHO, P. F., JÚNIOR PEREIRA, A., & HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, 2014.
- SOARES, V. C., BIANCHI, M. L., TRUGILHO, P. F., HÖFLER, J., & PEREIRA, A. J. (2015). Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, 21(2), 191-197.
- SOUZA, N.D.; AMODEI, J.B.; XAVIER, C.N.; DIAS JÚNIOR, A.F.; CARVALHO, A.M. Estudo de caso de uma planta de carbonização: avaliação de características e qualidade do carvão vegetal visando uso siderúrgico. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 270-277, 2016.
- SUN, R. C.; TOMKINSON, J. Comparative study of organic solvent and water-soluble lipophilic extractives from wheat straw I: yield and chemical composition. **Journal of Wood Science**, v. 49, p. 47-52, 2003.
- SUN, X.; SUN, R. Spectroscopic characterization of extractives isolated with MTBE from straws. **Tappi Journal**, v. 2, n. 11, p. 23-26, 2002.
- TAPPI T 264 cm-97. Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Press, 1997.
- THOMAZ, D. T. Avaliação da madeira e do carvão de *Eucalyptus badjensis* e *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Monografia, PUC-PR**, 2007.
- TORRES, C. M. M. E., OLIVEIRA, A. C., PEREIRA, B. L. C., JACOVINE, L. A. G., OLIVEIRA NETO, S. N. D., CARNEIRO, A. D. C. O., TORRES, C. M. M. E. Estimativas da produção e propriedades da madeira de eucalipto em Sistemas Agroflorestais. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 137-148, mar. 2016.
- TRUGILHO, P. F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus**. 1995. 160 f. 1995. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- TRUGILHO, P. F., & DA SILVA, D. A. . 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, p. 45-53, 2001.
- TRUGILHO, P. F., LIMA TARCÍSIO, J., MORI AKIRA, F., & LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 7, n. 2, 2001.
- TRUGILHO, P. F., SILVA J.R.M., MORI, F.A., LIMA, J.T., MENDES, L.M., MENDES, L.F.B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne** 2005; 11(2): 178-186
- TRUGILHO, P.F., LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; Influência da idade nas características físico-química e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p 94-111, 1996.
- VALE, A. T. do; BRASIL, M. A. M; LEÃO, A. L; Quantificação E Caracterização Energética Da Madeira E Casca De Espécies Do Cerrado; **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.
- VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n.1, p. 137- 145, 2010.

- VALE, A. T.; MOURA, V. P. G.; MARTINS, I. S.; REZENDE, D. C. A. Densidade básica média, em função da profundidade de penetração do pino do “Pilodyn” e da classe diamétrica, e da variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p. 80-91, 1995.
- VALENTE, A.F. **Carbonização da Madeira de Eucalipto**. Informe Agropecuário 141 : p. 74-79. 1986.
- VALENTE, O. F.; LELLES, A. R. Carbonização da madeira. **Associação Brasileira de Metais-ABM. Carvão e coque aplicados à metalurgia, 2^a. ed. São Paulo**, v. 1, p. 85-151p, 1979.
- VIEIRA, R. S.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; SELVATTI, T. S.; BARAÚNA, E. E. P.; NAPOLI, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, set. 2013.
- VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF, 1984. 21p. **Boletim técnico**, v. 2.
- VITAL, B.R.; ANDRADE, A.M.; VALENTE, O.F.; CAMPOS, J.C.C. Influência da casca no rendimento e qualidade de carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 41/42, p 44-49, 1989. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr41-42/cap06.pdf>. 11 Fev. 2018.
- WALLIS, A. F. A.; WEARNE, R. H. Analysis of resin in eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, v. 52, n. 4, p. 255-299, 1999.
- WARDROP, A. B. Occurrence and formation in plants. **Sarkanen, KV Lignins**, 1971.
- WILLFÖR, S. M.; SMEDS, A. I.; HOLMBOM, B. R. Chromatographic analysis of lignans. **Journal of Chromatography A**, v. 1112, n. 1-2, p. 64-77, 2006.
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 272 p.
- XAVIER, D. F.; LÉDO, F. J. S.; PACIULLO, D. S.; de. C.; PIRES, M. de. F. Á.; BODDEY, R, M. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema
- ZOBEL, B., & TALBERT, J. (1984). *Applied forest tree improvement*. John Wiley & Sons.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTES DE MÉDIAS DE SCOTT-KNOTT

DENSIDADE BÁSICA (g/cm³)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0,0009399	0,00023498	0,43172	0,78425
Bloco	2	0,0006585	0,00032926	0,60494	0,55457
Resíduo	23	0,0125186	0,00054429		
Total	29	0,0141171			

CV = 4,52 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,9225999

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

Níveis	Medias
1	0,5123732
2	0,5236057
3	0,5081163
4	0,5208373
5	0,5168622

PODER CALORIFICO DA MADEIRA (kcal/kg)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	42531	10632,7	2,90573	0,04404
Bloco	2	486	242,8	0,06635	0,93598
Resíduo	23	84162	3659,2		
Total	29	127179			

CV = 1,33 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,8603601

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

Teste de Scott-Knott

Grupos	Tratamentos	Medias
1	a	5 4585,333
2	a	4 4560,833

3	a	2 4560,167
4	b	1 4521,167
5	b	3 4478,000

 EXTRATIVOS (%)

 Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	2,7835	0,69587	1,2520	0,31719
Bloco	2	2,8794	1,43972	2,5903	0,09670
Resíduo	23	12,7837	0,55581		
Total	29	18,4466			

 CV = 10,02 %

 Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,101553

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os re
 síduos podem ser considerados normais.

 De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas dife
 rentes.

	Níveis	Medias
1	1	7,879669
2	2	7,433462
3	3	7,247822
4	4	7,629231
5	5	6,995182

 LIGNINA TOTAL (%)

 Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	107,249	26,8123	4,8907	0,005301
Bloco	2	18,263	9,1317	1,6657	0,211071
Resíduo	23	126,093	5,4823		
Total	29	251,605			

 CV = 8,17 %

 Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,01365526

ATENCAO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser consider
 ados normais!

 Teste de Scott-Knott

 Grupos Tratamentos Medias

1	a	5	31,88963
2	b	4	29,19692
3	b	1	28,39237
4	b	2	27,64085
5	b	3	26,20117

 CINZAS DA MADEIRA (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0,014429	0,0036073	0,79461	0,54082
Bloco	2	0,007859	0,0039296	0,86561	0,43406
Resíduo	23	0,104413	0,0045397		
Total	29	0,126702			

 CV = 26,82 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,2424885

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	0,2466903
2	2	0,2400256
3	3	0,2397768
4	4	0,2944908
5	5	0,2352290

 HOLOCELULOSE (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	98,701	24,6753	3,8371	0,015674
Bloco	2	18,159	9,0796	1,4119	0,264017
Resíduo	23	147,906	6,4307		
Total	29	264,766			

 CV = 3,98 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,1368284

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

Teste de Scott-Knott

```

-----
-----
  Grupos  Tratamentos  Medias
1         a           3 66,31124
2         a           2 64,68566
3         b           1 63,48127
4         b           4 62,87936
5         b           5 60,87996
-----
-----

```

RENDIMENTO EM CARVÃO (%)

Quadro da análise de variância

```

-----
-----
  Tratamento  GL      SQ      QM      Fc      Pr>Fc
Bloco         2      0,0568  0,02841  0,0725  0,93028
Resíduo       23     9,0133  0,39188
Total         29    12,2036
-----
-----

```

CV = 1,71 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,265032

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os re
síduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas dife
rentes.

```

-----
-----
  Níveis  Medias
1         1 36,83455
2         2 35,98650
3         3 36,58320
4         4 36,88407
5         5 36,44466
-----
-----

```

RENDIMENTO EM LICOR (%)

Quadro da análise de variância

```

-----
-----
  Tratamento  GL      SQ      QM      Fc      Pr>Fc
Bloco         2      0,847  0,4237  0,26626  0,76857
Resíduo       23     36,597  1,5912
Total         29     51,340
-----
-----

```

CV = 2,76 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,3719976

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os re
síduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	45,17784
2	2	46,48212
3	3	46,36804
4	4	44,70725
5	5	45,65115

-----RENDIMENTO EM GASES (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	6.301	1.57533	1.47177	0.24322
Bloco	2	0.708	0.35391	0.33064	0.72182
Resíduo	23	24.618	1.07037		
Total	29	31.628			

CV = 5.82 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0.6753099

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	17.98761
2	2	17.53138
3	3	17.04875
4	4	18.40868
5	5	17.90419

DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO (g/cm³)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0.0018564	0.00046411	0.65404	0.62997
Bloco	2	0.0014695	0.00073477	1.03548	0.37103
Resíduo	23	0.0163208	0.00070960		
Total	29	0.0196468			

CV = 7.3 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0.8090508

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	0.3650336
2	2	0.3539343
3	3	0.3603158
4	4	0.3675355
5	5	0.3775956

MATERIAIS VOLATEIS (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	2.4129	0.60323	1.3351	0.286973
Bloco	2	3.3298	1.66492	3.6849	0.040905
Resíduo	23	10.3918	0.45182		
Total	29	16.1346			

CV = 2.65 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0.006507807

ATENCAO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	25.72963
2	2	25.07614
3	3	25.69232
4	4	25.14864
5	5	25.18661

CINZAS DO CARVÃO (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0.29716	0.074291	1.76451	0.17044
Bloco	2	0.05828	0.029142	0.69217	0.51062
Resíduo	23	0.96837	0.042103		
Total	29	1.32382			

CV = 33.99 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0.02565538

ATENCAO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	0.5236846
2	2	0.4983580
3	3	0.7729207
4	4	0.6520291
5	5	0.5711926

CARBONO FIXO (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	3,5414	0,88534	1,8454	0,154513
Bloco	2	3,2449	1,62244	3,3818	0,051582
Resíduo	23	11,0345	0,47976		
Total	29	17,8207			

CV = 0,94 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,003108003

ATENCAO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	73,68467
2	2	74,42550
3	3	73,53476
4	4	74,17075
5	5	74,25524

PODER CALORIFICO DO CARVÃO (kcal/kg)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	63681	15920	1,44065	0,25258
Bloco	2	12928	6464	0,58494	0,56522
Resíduo	23	254168	11051		
Total	29	330777			

CV = 1,44 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,01947725

ATENCAO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	7210,000
2	2	7259,000
3	3	7344,000
4	4	7298,833
5	5	7310,333

DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (Gcal/m³)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0,05453	0,0136333	1,05550	0,40077
Bloco	2	0,01294	0,0064688	0,50082	0,61249
Resíduo	23	0,29708	0,0129165		
Total	29	0,36455			

CV = 4,85 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,1898302

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	2,316897
2	2	2,387701
3	3	2,275061
4	4	2,375896
5	5	2,370096

DENSIDADE ENERGÉTICA DO CARVÃO (Gcal/m³)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0,11775	0,029438	0,75015	0,56805
Bloco	2	0,06170	0,030848	0,78608	0,46749
Resíduo	23	0,90260	0,039243		
Total	29	1,08205			

CV = 7,45 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,8495102

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes.

	Níveis	Medias
1	1	2,631592
2	2	2,569408
3	3	2,647212
4	4	2,681866
5	5	2,759950

-----EFICIÊNCIA DA TRANSFORMAÇÃO (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	24,390	6,0975	5,1602	0,00407
Bloco	2	0,425	0,2124	0,1797	0,83667
Resíduo	23	27,177	1,1816		
Total	29	51,992			

CV = 1,85 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,5982224

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significância, os resíduos podem ser considerados normais.

Teste de Scott-Knott

	Grupos	Tratamentos	Medias
1	a	3	59,98835
2	a	4	59,01774
3	a	1	58,74632
4	b	5	58,10583
5	b	2	57,29537

RENDIMENTO EM CARBONO FIXO (%)

Quadro da análise de variância

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	1,1891	0,29728	1,2168	0,33087
Bloco	2	0,5653	0,28264	1,1569	0,33210
Resíduo	23	5,6191	0,24431		
Total	29	7,3735			

CV = 1,83 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0,04811501

ATENCAO: a 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais!

De acordo com o teste F, as medias não podem ser consideradas diferentes,

Níveis	Medias
1	27,13932
2	26,77948
3	26,90147
4	27,35781
5	27,06500

Quadro da análise de variância DAP

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	1314.8	328.70	26.329	0.00000
Bloco	2	13.8	6.89	0.552	0.57597
Residuo	900	11235.7	12.48		
Total	906	12564.3			

CV = 21.7 %

Teste de normalidade dos residuos

valor-p: 4.191991e-07

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

Teste de homogeneidade de variancia

valor-p: 0.1184431

De acordo com o teste de oneillmathews a 5% de significancia, as variancias podem ser consideradas homogeneas.

Teste de Scott-Knott

Grupos	Tratamentos	Medias
1	a	5 18.79253
2	b	3 16.62958
3	b	2 16.28349
4	c	4 15.34566
5	c	1 14.87868

Quadro da análise de variância VOLUME

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	0.8841	0.221021	28.9902	0.00000
Bloco	2	0.0092	0.004607	0.6043	0.54668
Residuo	900	6.8616	0.007624		
Total	906	7.7549			

CV = 39.69 %

Teste de normalidade dos residuos
valor-p: 6.612638e-06
ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser conside
rados normais!
Teste de homogeneidade de variancia
valor-p: 0.111516
De acordo com o teste de oneillmathews a 5% de significancia, as
variancias podem ser consideradas homogeneas.

Teste de Scott-Knott

	Grupos	Tratamentos	Medias
1	a	5	0.2817378
2	b	3	0.2297783
3	b	2	0.2257024
4	c	4	0.1925534
5	c	1	0.1826914

