

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

LETICIA MAYARA MAGNAGO

ESTIMATIVA ENERGÉTICA E ESTOQUE DE CARBONO EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO DE CURTA ROTAÇÃO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2014

LETICIA MAYARA MAGNAGO

ESTIMATIVA ENERGÉTICA E ESTOQUE DE CARBONO EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO DE CURTA ROTAÇÃO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dr. Marina Donária Chaves Arantes.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2014

LETICIA MAYARA MAGNAGO

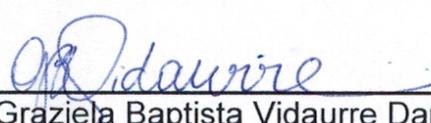
ESTIMATIVA ENERGÉTICA E ESTOQUE DE CARBONO EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO DE CURTA ROTAÇÃO

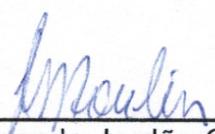
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 28 de novembro de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof^ª. Dr. Marina Donária Chaves Arantes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora


Prof^ª. Dr. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora


Doutorando Jordão Cabral Moulin
Universidade Federal de Lavras
Examinador

*“Se você tem metas para um ano, plante arroz.
Se você tem metas para dez anos, plante uma árvore.
Se você tem metas para cem anos então eduque uma criança.
Se você tem metas para mil anos, então preserve o meio ambiente.”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me abençoado com sabedoria e preparado meu caminho com tantos momentos e pessoas especiais.

Aos meus amados pais, Rubens e Maristela, pelo amor incondicional, apoio, ensinamentos e por terem feitos dos meus sonhos os seus próprios objetivos.

À minha irmã, Beatriz (Bibi), pela cumplicidade e carinho de todo o sempre.

Ao meu padrasto, Tuta, pelo cuidado e confiança em mim depositada.

Ao meu namorado, Igor, pelo amor, cuidado, compreensão, apoio na execução deste trabalho e por ter dividido comigo momentos tão lindos durante esses anos.

Aos melhores e amados amigos que a Engenharia Florestal me concedeu, Aninha, Marcos, Nathan, Taís e Mayara, amizade desde o início da graduação até o “sempre”. Muitos estudos, gordices, gargalhadas, viagens e situações indescritíveis.

Às minhas amigas queridas, Luciane e Mariza, pela amizade, carinho e momentos divertidos.

Aos amigos da turma de Floresta 2010/1, Raphael, Bárbara, Carla, Geanine, Lorena, Monique, Raquel, Gizele, Jéssica e Yanítssa. Obrigada por me proporcionarem momentos tão divertidos, vocês são pessoas inesquecíveis.

À minha orientadora e amiga, Marina D. C. Arantes, pelos conhecimentos repassados, confiança, respeito mútuo e dedicada orientação.

À Universidade Federal do Espírito Santo (Departamento de Ciências Florestais e da Madeira), por me conceder estrutura, funcionários e professores de excelente qualidade para poder me tornar Engenheira Florestal.

Aos membros da banca examinadora, Graziela Vidaurre e Jordão Moulin, por aceitarem participar desse momento e compartilhar suas ideias.

Aos outros amigos que conquistei durante esses cinco anos em Alegre, meu mais sincero carinho e amizade.

RESUMO

A utilização da biomassa como fonte de energia alternativa tem obtido destaque nas últimas décadas, sendo explicada, principalmente, por suas características energéticas, contribuição ambiental e por ser fonte de energia renovável em curto período de produção. Com isso, o trabalho objetivou avaliar a produção da biomassa de eucalipto com finalidade energética, como também, avaliar seu potencial de sequestro de carbono. Foram determinadas a densidade básica da madeira, volume individual com e sem casca, poder calorífico superior, composição elementar, biomassa seca, carbono acumulado, dióxido de carbono assimilado e estimativa energética dos componentes da parte aérea de dois clones do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis e doze meses de idade em diferentes espaçamentos e provenientes de duas áreas, uma irrigada e outra não irrigada. Foi possível observar a influência do espaçamento, irrigação e idade na quantidade de biomassa seca, carbono acumulado, dióxido de carbono assimilado e estimativa energética nos clones estudados. Sendo que os maiores valores, de modo geral, foram verificados no clone B com 12 meses na região irrigada e nos espaçamentos adensados. Em relação à composição elementar, os clones não obtiveram diferenças expressivas quando submetidos a diferentes espaçamentos, idades e regiões. Por fim, a biomassa advinda do clone B possui características mais indicadas para fins energéticos. Porém, vale ressaltar que para determinar o melhor material deve-se levar em consideração todas as características tecnológicas que afetam a produtividade energética final dos componentes da parte aérea das árvores.

Palavras- chave: *Eucalyptus*, manejo, energia renovável, biomassa, sequestro de carbono.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Mudanças climáticas	3
2.2	Contexto energético	4
2.2.1	Relevância socioeconômica da utilização de energia renovável	4
2.2.2	Propriedades energéticas da biomassa	6
2.3	Florestas plantadas de eucalipto para fins energéticos	7
2.4	Influência dos tratamentos silviculturais nas propriedades do eucalipto	7
3	METODOLOGIA	10
3.1	Caracterização da área	10
3.2	Descrição e amostragem do material	10
3.3	Determinação da densidade básica da madeira	12
3.4	Preparo das amostras, determinação do poder calorífico superior, análise elementar do fuste e dos demais componentes da parte aérea das árvores	13
3.5	Determinação da biomassa seca e estimativa energética do fuste e dos demais componentes da parte aérea das árvores	14
3.6	Análise estatística	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1	Acúmulo de biomassa seca nos componentes da parte aérea das árvores	16
4.2	Composição elementar dos componentes da parte aérea das árvores	20
4.3	Carbono acumulado em componentes da parte aérea das árvores	28
4.4	Quantidade de dióxido de carbono (CO ₂) assimilado nos componentes da parte aérea das árvores	31
4.5	Poder Calorífico Superior dos componentes da parte aérea das árvores	33
4.6	Estimativa energética dos componentes da parte aérea das árvores	36
5	CONCLUSÕES	39
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios da biomassa seca dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	17
Tabela 2 - Valores médios da composição elementar do fuste dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	22
Tabela 3 - Valores médios da composição elementar da folha dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	23
Tabela 4 - Valores médios da composição elementar do galho dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	24
Tabela 5 - Valores médios da composição elementar da casca dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	25
Tabela 6 - Valores médios de carbono acumulado nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	29
Tabela 7 - Valores médios de dióxido de carbono assimilado nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	32
Tabela 8 - Valores médios de poder calorífico superior nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	35
Tabela 9 - Valores médios de estimativa energética dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> com diferentes idades, espaçamentos e regiões	37

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Valores de biomassa seca dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* 20
- Figura 2 - Valores médios da composição elementar da fuste, folhas, galhos e cascas dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. (C= Carbono; H= Hidrogênio; N= Nitrogênio; S= Enxofre; O= Oxigênio; FU= Fuste; FO= Folha; GA= Galho; CA= Casca) 27
- Figura 3 - Valores de carbono acumulado nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* 30
- Figura 4 - Valores de dióxido de carbono assimilado pelos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* 33
- Figura 5 - Valores da estimativa energética dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* 38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Implantação dos povoamentos	11
--	----

1 INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura ocorrido nas últimas décadas no planeta, seja por fatores naturais ou antropogênicos é mundialmente conhecido como aquecimento global, sendo nesse sentido, caracterizado pela alta temperatura dos oceanos e do ar, ocasionado pelo acúmulo de gases liberados na atmosfera. O gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) emitidos na atmosfera são os principais responsáveis pelo aprisionamento do calor na superfície terrestre agravando o efeito estufa.

A preocupação, por parte de alguns países, com as mudanças climáticas no planeta resultou em discussões para solucionar ou amenizar a emissão dos gases na atmosfera. Nos últimos tempos, houve diversas reuniões que propuseram algumas medidas para a redução desses gases, sendo criados projetos que contribuíram para minimizar o efeito estufa e obter créditos de adequação ambiental.

Segundo Trugilho et al. (2010) para reduzir o aquecimento global, pode-se adotar como estratégia de ação o aumento das áreas com florestas, as quais colaboram de forma significativa para a absorção do CO₂ atmosférico, convertendo-o em matéria-prima para as indústrias de base florestal. A biomassa é a matéria orgânica armazenada no ecossistema, a qual é a principal responsável pela fonte e o fluxo de nutrientes e carbono da atmosfera (WINK, 2009). A capacidade de sequestro de carbono depende da variável biomassa, em que as florestas possuem papel significativo. O Brasil contribui de forma expressiva com a redução de dióxido de carbono da atmosfera, em função da sua abundância de biomassa, como a decorrência de vastas áreas florestais, tanto nativas como plantadas.

Considerando a importância das árvores para o ecossistema, torna-se necessário o conhecimento de suas características, sendo possível, assim, inferir sobre a qualidade do produto final, ou seja, as características de um determinado produto estão diretamente relacionadas com a qualidade do material de origem. A madeira de eucalipto tem elevado o interesse dos produtores no segmento florestal pela versatilidade de suas características, manejo e utilização final.

Diversos estudos têm sido realizados com objetivo de promover práticas adequadas na utilização de outras fontes de energia que não sejam os combustíveis fósseis. Assim, uma importante tarefa é avaliar a estimativa energética de florestas de eucaliptos, como também, sua capacidade de estoque de carbono.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a produção da biomassa de dois clones de eucalipto com finalidade energética, como também, avaliar seu potencial de sequestro de carbono.

1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar a influência do espaçamento, idade e irrigação nos seguintes fatores dos componentes da parte aérea das árvores;

- Produção de biomassa seca;
- Potencial de sequestro de carbono;
- Estimativa energética.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mudanças climáticas

Os gases atmosféricos responsáveis pelo efeito estufa permitem a passagem da radiação vinda do Sol e concentram aquela refletida pela Terra, resultando em um equilíbrio energético no planeta (MARQUES, 1992). Os gases formam uma camada isolante sobre a superfície e sem eles o clima na Terra seria frígido, pois a superfície não absorveria a energia advinda do Sol (SOUSA, 2008). Os principais gases que agravam o efeito estufa são o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

Segundo Ribeiro (2007), o aumento significativo da temperatura na superfície do planeta é oriundo de atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis e desmatamento florestal. Os impactos advindos dessa variação da temperatura afetarão diversos países não só de ordem ambiental, mas também a economia e a sociedade (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE /IPCC, 2001). Considerando apenas as emissões da queima dos combustíveis fósseis, o Brasil contribui pouco para o aquecimento global, mas se forem abrangidas as queimadas naturais das florestas e o desmatamento, ficará entre os dez países que mais colaboram para o efeito estufa (MOUTINHO; BUENO, 2002).

A preocupação com a significativa mudança climática incentivou diversos países na criação de um acordo, o Protocolo de Kyoto. Este foi assinado em 1997 com o objetivo de estabelecer metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) por parte dos países desenvolvidos (COTTA et al., 2008). Alguns mecanismos foram propostos para o efetivo cumprimento do Protocolo, como o Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

De acordo com o MDL, os países desenvolvidos deverão reduzir consideravelmente suas emissões de carbono durante uma década (GOLDEMBERG, 2000). Este mecanismo é o único que aceita a participação de países em desenvolvimento juntamente com os desenvolvidos (MOREIRA; GIOMETTI, 2008). O objetivo da redução de GEEs na atmosfera pode ser atingido por meio de investimentos em projetos de tecnologia, utilização de combustíveis renováveis e

sequestro de carbono por meio do reflorestamento (LOPES, 2002). Países desenvolvidos têm dificuldade em implantar os projetos de redução de emissão de GEEs em seu território, e, por meio do MDL estão sendo executados nos países em desenvolvimento (GOLDEMBERG, 2000). O aumento do estoque de carbono ou a efetiva redução de emissão de GEEs poderão conferir aos participantes do acordo os Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) (COTTA et al, 2008). Estes CERs poderão ser obtidos mediante a efetuação do registro dos projetos de MDL no Conselho Executivo do MDL da ONU e sua estruturação realizada em conformidade com o Protocolo de Kyoto (BRITO, 2009).

O Mercado de Carbono consiste na possibilidade da valoração econômica para cada quantidade de carbono não lançada na atmosfera (SILVA; ARAKAKI, 2012). A compra e venda de créditos de carbono é vista pelas empresas do setor florestal como um serviço ambiental, pois estas poderão negociar a fixação de carbono com setores industriais de outros países (COSTA, 1998).

A primeira iniciativa de projeto MDL no Brasil foi realizada por uma empresa do setor florestal, tendo como objetivo principal a redução de GEEs na atmosfera, mediante o estabelecimento de plantios de florestas de eucalipto sustentáveis e produção de carvão vegetal renovável que é utilizado na produção de ferro-gusa, ao invés de coque de carvão mineral. Os projetos de MDL empregados geram dois tipos de créditos: Reduções de emissões certificadas temporárias, relacionados ao reflorestamento e reduções de emissões de metano no processo de carbonização e uso adicional de carvão vegetal na siderurgia, como atividades industriais.

2.2 Contexto energético

2.2.1 Relevância socioeconômica da utilização de energia renovável

A mudança climática ocasionada como consequência da aceleração do efeito estufa não é o único motivo pelo qual a procura por fontes energéticas renováveis está sob grande atenção das grandes empresas, políticos e sociedade civil. Os combustíveis fósseis enfrentaram uma crise devido ao aumento da demanda energética e preço do petróleo (ESCOBAR et al., 2009; POMPELLI et al., 2011).

A utilização de energia limpa pode ser a saída frente à escassez de petróleo: não causam alterações no equilíbrio térmico do planeta; são provenientes de ciclos naturais e praticamente inesgotáveis; e são vantajosas, pois dão às empresas a oportunidade de negociar créditos no mercado de carbono (GOMES; MAIA, 2013).

O aumento da demanda por energia gera a necessidade de diversificação na matriz energética do Brasil. Segundo estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2014), a participação, no país, das hidrelétricas na produção de energia deve cair de 74,9% (novembro 2011) para 65% até 2016. De acordo com a mesma fonte, a diminuição da produção de hidrelétricas acarretará em um aumento da geração térmica, que abrange fontes como carvão mineral, gás natural, óleo combustível e biomassa, passando de 22,18% para quase 30% no período mencionado.

A elevação na utilização de tais fontes energéticas alternativas deve garantir maior segurança de abastecimento, uma vez que reduzirá a dependência de uma única fonte. Uma das fontes não poluentes para geração térmica em destaque no Brasil é a biomassa, e, nada mais é do que o material orgânico de origem animal ou vegetal que pode ser utilizado na produção de energia (GOMES; MAIA, 2013). O uso de biomassa florestal para a produção de energia gera menos poluição, se comparado com os combustíveis fósseis, pois libera menos enxofre e compensa a emissão de gás carbônico para a atmosfera durante o processo de queima da madeira pela sua absorção por povoamentos recém-plantados (ANDRADE et al., 2013).

Além disso, pode realizar o aproveitamento dos resíduos de madeira gerados por indústrias de base florestal, dando destino ao que antes era rejeitado, podendo assim ser uma alternativa economicamente viável. Estima-se que, no Brasil, a geração de resíduos das indústrias de celulose e papel, sem aproveitamento energético, é de aproximadamente 5 Mtoe (Milhões de toneladas equivalente de petróleo) (GOMES; MAIA, 2013).

Ainda no ponto de vista econômico, o carvão vegetal, fonte energética de origem florestal, tem custo pouco variável, diferentemente dos combustíveis fósseis, pois nesse setor há recursos abundantes e mais bem distribuídos geograficamente (LUCOM; GOLDEMBERG, 2009).

2.2.2 Propriedades energéticas da biomassa

A madeira é definida como um material orgânico, e as suas propriedades químicas, físicas e energéticas estão significativamente relacionadas com sua composição química elementar (SILVA et al., 2005). É importante que se tenha o conhecimento desta composição da madeira para definir corretamente o seu uso. Com isso, os ensaios de poder calorífico e análise elementar associados à análise dos teores de lignina, extrativos e cinzas, são fundamentais para a caracterização do potencial da madeira para produção energética (SANTANA, 2009).

A constituição elementar (CHNS-O) consiste na formação essencialmente orgânica da madeira, sendo fundamental para entender seu comportamento no processo de combustão (SANTANA, 2009). Quando há uma maior quantidade de hidrogênio e oxigênio em relação a proporção de carbono, o valor energético do combustível é menor, pois as ligações carbono – oxigênio e carbono – hidrogênio possuem menos energia do que em ligações carbono – carbono (MCKENDRY, 2002). A madeira é composta por 50% de carbono, 44% de oxigênio, 6% de hidrogênio e 0,4% de nitrogênio (PENEDO, 1980). Além desses elementos, são encontradas insignificantes quantidades de enxofre, conferindo assim menores problemas de poluição em relação aos combustíveis fósseis, quando usada para fins energéticos (CUNHA et al., 1989).

O poder calorífico superior expressa a quantidade de energia liberada por um material seco e em condições ideais de queima, sendo dado em calorias por grama (cal g^{-1}) ou quilocaloria por quilograma (kcal kg^{-1}) e é influenciado pela composição química e umidade do material (FURTADO et al., 2012). Quanto maior for este parâmetro, maior será a energia armazenada no combustível (CARVALHO JÚNIOR, 2010). Desse modo, a análise energética da madeira torna-se uma ferramenta importante para definir o valor econômico, ambiental, utilização final e, especialmente, relacionada à resistência térmica da madeira produzida, para caracterizá-la como um material disponível para a produção de energia (SANTOS et al., 2012).

2.3 Florestas plantadas de eucalipto para fins energéticos

O *Eucalyptus* é originário da Oceania, reúne mais de 600 espécies diferentes e foi implantado no Brasil e assim encontrou ótimas condições edafoclimáticas para seu desenvolvimento, com rápido crescimento e alto índice de produtividade (BRACELPA, 2014). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores/IBÁ (2014) as áreas de florestas plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil acumularam, em 2013, o total estimado de 7,6 milhões de hectares, sendo 72% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus*. O clima tropical e a grande extensão territorial do Brasil colaboram para que as florestas plantadas demonstrem altas taxas de crescimento, adicionadas, ainda, inovação das técnicas e disponibilidade de mão de obra (STAPE; BINKLEY; RYAN, 2008).

Florestas plantadas por clones e espécies do gênero *Eucalyptus*, têm sido uma alternativa relevante para minimizar a utilização inadequada das matas nativas (PROTÁSIO et al., 2014). Para cada 1,0 ha de florestas plantadas, as empresas florestais contribuíram para a preservação de 0,97 ha de matas nativas (IBÁ, 2013).

O interesse pelos estudos de biomassa florestal aumenta consideravelmente, pois as florestas contribuem para o equilíbrio ambiental, por exemplo, atenuando a temperatura, aumentando as precipitações, prevenindo a erosão e desgaste do solo e tendo papel essencial no ciclo do carbono (SILVEIRA et al., 2008). Segundo Trugilho et al. (2010) as áreas com florestas plantadas colaboram de forma significativa para a absorção do CO₂ atmosférico, convertendo-o em matéria-prima para as indústrias de base florestal. O CO₂ será absorvido pelas folhas no momento da fotossíntese permitindo a conversão de elementos como o carbono, oxigênio e hidrogênio em fibras de madeira (BRITO; BARRICHELO, 1978). De acordo com Galvão (2000) as florestas em crescimento inicial consomem mais CO₂ e liberam mais O₂ por unidade de área do que florestas que atingiram o equilíbrio na fase madura.

2.4 Influência dos tratos silviculturais nas propriedades do eucalipto

Os estudos sobre florestas plantadas e seus tratos silviculturais têm sido ampliado em diversos países que detém alto conhecimento do setor florestal, por

exemplo Estados Unidos, Canadá e alguns países Europeus (MOULIN, 2013). A implantação de florestas com fins energéticos envolve a utilização de material genético adequado e adoção de tratamentos silviculturais, resultando em uma qualidade adequada da madeira e produtividade das florestas (OLIVEIRA, 2010). Segundo Binkley e Stape (2004) florestas energéticas de eucalipto têm obtido, por meio do melhoramento genético, melhorias significativas no incremento médio anual em volume e também nas características energéticas.

As florestas plantadas de eucaliptos devem ser bem conduzidas para poder produzir madeira em curtos ciclos de rotação (MELLO et al, 1976). No Brasil, às condições climáticas adequadas ao rápido crescimento acarretam em ciclos mais curtos dos povoamentos (VIDAURRE et al., 2012). Florestas plantadas de curta rotação é baseada na implantação de espécies de rápido crescimento em espaçamentos mais adensados. A escolha do espaçamento é fundamental para produção de biomassa florestal, tendo como objetivo principal proporcionar espaço suficiente para que cada árvore possa se desenvolver ao máximo com a melhor qualidade e menor custo (CHIES, 2005).

O desenvolvimento e a produtividade das florestas plantadas de rápido crescimento é afetada pelo espaçamento (LELES et al, 1998), pois as árvores competem por nutrientes, luz, água e espaço com plantas da mesma espécie e plantas indesejáveis (ANDRAE, 1978). As árvores plantadas em espaçamentos mais amplos acarretará em um maior diâmetro e conicidade dos fustes, galhos mais grossos e copas mais avantajadas com o acréscimo da idade do que em plantios adensados (CHIES, 2005).

Oliveira Neto et al. (2003), verificaram que a produtividade de biomassa da parte aérea e, principalmente, do fuste, por árvore, é elevada em razão do maior desenvolvimento do diâmetro da copa e do fuste em espaçamentos mais amplos, ao contrário de espaçamentos mais adensados onde ocorre aumento da biomassa por unidade de área, devido ao maior número de indivíduos.

A idade de corte da floresta também é influenciada pelo espaçamento, pois a densidade populacional para uma mesma espécie e sítio é diretamente proporcional à precocidade e frequência da exploração, ou seja, quanto maior o número de indivíduos por área mais precoce e frequente será o desbaste (SCOLFORO, 1997).

As propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira também são influenciadas pela idade de corte (VITAL et al, 1984). De modo geral, a madeira possui

tendência de aumentar os valores de densidade, comprimento de fibras, e outros, da fase inicial de crescimento até atingirem a idade madura, quando os valores tendem permanecerem constantes (ROCHA, 2011).

Outro trato silvicultural que pode ser utilizado nos plantios florestais é a irrigação, tendo como objetivo principal melhorar as condições locais para um bom desenvolvimento das plantas e conseqüentemente elevar o seu potencial produtivo (HAYGREEN; BOWYER, 1989). Sabendo-se da influência dos fatores externos e internos na produção da madeira, deve-se enfatizar a susceptibilidade das plantas juvenis ao meio, por isso a utilização da irrigação nos primeiros períodos após o plantio é um eficiente mecanismo para garantir o sucesso destas plantas aos possíveis déficits hídricos (JUNG, 2013). A irrigação confere taxas de sobrevivências das plantas em campo (PAIVA et al., 2001) e deve ser compreendida não somente como uma alternativa contra secas ou veranicos, mas como uma técnica que dê condições para que o material genético expresse sua capacidade produtiva em campo (HERNANDEZ, 2004).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área

O material em estudo foi proveniente da Empresa Fibria Celulose S.A, unidade de Aracruz, estado do Espírito Santo. O município localiza-se na região nordeste do estado, nas coordenadas geográficas 19°49'15" de latitude sul e 40°05'20" latitude oeste. Os solos predominantes na região são classificados como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e Podzólicos Vermelho e Amarelo (INCAPER, 2011). O clima, segundo Köppen, é definido com Aw e Am caracterizando-se por verão chuvoso e inverno seco, sendo a temperatura média anual do ar de 23°C.

3.2 Descrição e amostragem do material

Foram utilizados dois clones do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade de seis e doze meses. Estes foram plantados em cinco espaçamentos diferentes e em duas áreas, uma irrigada e outra não irrigada de aproximadamente dois hectares cada uma. A irrigação foi realizada pela primeira vez quando o povoamento estava com três meses de idade, sendo uma irrigação no plantio e quatro após o plantio até os doze meses. As adubações de cobertura efetuadas pela Empresa foram distribuídas juntamente com as irrigações realizadas. Em área sem irrigação, a adubação de cobertura foi realizada em período chuvoso ou com solo úmido. A precipitação variou de 0,01 a 0,22 mm, com média de 0,12 mm (FIBRIA, 2013).

Foram amostradas três árvores, com o diâmetro médio, de cada clone, espaçamento, idade e região irrigada e não irrigada, totalizando 120 árvores. Encontra-se no Quadro 1 o esquema de implantação dos povoamentos. As amostras foram divididas em fuste, casca, galhos e folhas, ou seja, foi avaliada toda a parte área das árvores.

Quadro 1 – Implantação dos povoamentos

Material Genético	Espaçamento (m)	Irrigação (S/I)	Plantas/há	
A	3x3	I	1.111	
B			1.111	
A	3x2		1.667	
B			1.667	
B	3x1		3.333	
A			3.333	
A	1,5x2		3.333	
B			3.333	
A	3x0,5		6.666	
B			6.666	
A	3x3		S	1.111
B				1.111
A	3x2	1.667		
B		1.667		
B	3x1	3.333		
A		3.333		
A	1,5x2	3.333		
B		3.333		
A	3x0,5	6.666		
B		6.666		

I: Irrigada; S: Não irrigada

Após a derrubada das árvores, foram mensuradas as alturas totais e a altura do fuste de cada indivíduo e em seguida submetidas à cubagem rigorosa, para o cálculo do volume individual, utilizando o método de Smalian. A altura do fuste foi considerada até o diâmetro mínimo de 2 cm para as árvores com idade de seis meses e 5 cm para as árvores de 12 meses, com casca. Para determinação do volume do fuste e da casca foram mensuradas as espessuras do fuste com e sem casca, além das estimativas de incremento volumétrico das árvores. Os valores de volume utilizados neste trabalho são provenientes do estudo de Moulin (2013), pois foi utilizado o mesmo clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

Após a derrubada das árvores, cada uma foi totalmente desfolhada e suas folhas pesadas e distribuídas em uma lona. Em seguida retirou-se uma amostra homogênea das folhas as quais foram devidamente identificadas e armazenadas em sacos plásticos.

Após da desfolha, cada árvore foi desganhada e todos seus galhos pesados. Sendo retirada, identificada e armazenadas em sacos plásticos uma amostra composta dos mesmos.

Após a cubagem rigorosa das árvores, estas foram descascadas e suas cascas pesadas. Assim como nas outras partes, obteve-se amostras da casca que foram identificadas e armazenadas.

Para determinar a biomassa seca, as amostras de folhas, galhos e cascas foram pesadas antes de serem conduzidas à estufa em uma temperatura de 100°C obtendo assim a massa úmida das mesmas. Após a secagem, estas foram pesadas novamente para determinar sua massa seca. Ao final do processo, as amostras foram conduzidas para o processo de trituração.

3.3 Determinação da densidade básica da madeira

Para determinação da densidade básica da madeira foram retirados seis discos inteiros com 2,5 cm de espessura, nas posições de 1,30 m do solo (DAP), 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do fuste das árvores com seis e doze meses.

Os corpos de prova provenientes dos discos foram inseridos em um dessecador e saturados com água a vácuo. Em seguida, pelo método de deslocamento descrito por Vital (1984), os corpos de prova tiveram seus volumes determinados com o auxílio de uma balança de precisão. As amostras foram secas ao ar durante 72 horas e em seguida foram dispostas em uma estufa a 103 ± 2 °C até atingir massa constante para que pudesse obter os valores de massa seca e por fim determinar a densidade básica da madeira, por meio da relação massa seca e volume saturado.

Após a determinação da densidade básica da madeira nas posições de 1,30 m do solo, 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do fuste foi obtida a densidade básica média ponderada pela Equação 1 sugerida por Trugilho (2009).

$$DbmP = \frac{(DBm_{(0-25\%)} \times V_{(0-25\%)}) + \dots + (DBm_{(75-100\%)} \times V_{(75-100\%)})}{V_{(0-25\%)} + V_{(25-50\%)} + V_{(50-75\%)} + V_{(75-100\%)}} \quad (1)$$

em que:

DbmP: Densidade básica média ponderada (g cm^{-3});

DBm: Densidade básica média entre as posições da base 0% e 25%; 25% e 50%; 50% e 75%; 75% e 100% (g cm^{-3});

V: Volume das seções entre as posições da base 0% e 25%; 25% e 50%; 50% e 75%; 75% e 100% (m^3).

Os valores de densidade utilizados neste trabalho são provenientes do estudo de Moulin (2013), pois foi utilizado o mesmo clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

3.4 Preparo das amostras, determinação do poder calorífico superior, análise elementar do fuste e dos demais componentes da parte aérea das árvores

Para preparação das amostras utilizadas na determinação do poder calorífico superior (PCS) e análise elementar da madeira obteve-se uma amostra composta dos discos inteiros nas posições ao longo do fuste de cada árvore. Os discos foram triturados em um moinho de facas tipo Willye para a diminuição das partes da amostra.

Após trituradas, as amostras foram peneiradas para selecionar o material que passou pela peneira de granulometria de 40 mesh e ficou retido na de 60 mesh. O mesmo procedimento foi adotado para os demais componentes da parte aérea das árvores. Para a análise elementar, foi utilizado o material classificado em peneira de 270 mesh.

Para determinação do poder calorífico superior utilizou-se um calorímetro digital e os procedimentos descritos na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8633/84 (ABNT, 1984), sendo este realizado no Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

Para a análise elementar, ou seja, a determinação dos teores de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e por diferença o teor de oxigênio (O) foram pesadas 3 mg secas de cada amostra e conduzidas a um analisador elementar. Os

procedimentos descritos anteriormente foram realizados no Laboratório de Análise Elementar da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

3.5 Determinação da biomassa seca e estimativa energética do fuste e dos demais componentes da parte aérea das árvores

A biomassa do fuste foi obtida por meio da seguinte expressão descrita por Soares (1996a).

$$BS_F = V \times DBM \quad (2)$$

em que:

BS_F = biomassa seca do fuste das árvores (kg);

V = volume rigoroso do fuste sem casca das árvores (m^3);

DBM = densidade básica ponderada da madeira do fuste das árvores ($kg\ m^{-3}$).

A biomassa seca dos galhos, folhas e casca foi obtida por meio da expressão a seguir descrita por Soares (1996a):

$$BS = Pu(a) \times Ps(b) / Pu(c) \quad (3)$$

em que:

BS = biomassa total (kg);

$Pu(a)$ = massa úmida total no campo (kg);

$Ps(b)$ = massa seca da amostra (kg);

$Pu(c)$ = massa úmida da amostra (kg).

A quantidade de calor liberada por cada componente da parte aérea da árvore foi obtida em função da biomassa seca (kg), com o respectivo poder calorífico superior (kcal/kg), segundo a expressão a seguir (SANTANA, 2009):

$$EE = BS \times PCS \quad (4)$$

em que:

EE = estimativa energética (Kcal);

BS = biomassa seca (kg);

PCS = poder calorífico superior.

3.6 Análise estatística

Para a região irrigada e não irrigada foi realizada uma análise inicial para cada área, sendo 20 tratamentos e 3 repetições em um delineamento inteiramente casualizado, considerando os 20 tratamentos como um fatorial de 2 clones x 2 idades x 5 espaçamentos. Posteriormente foi realizada uma análise conjunta considerando as duas regiões, uma vez que a interação entre os quatro fatores foi significativa ($P < 0,05$), optou-se em ignorar a estrutura fatorial, sendo assim, as médias dos 40 tratamentos foram comparadas pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

O teste de agrupamento é indicado quando há um elevado número de tratamentos e quando deseja-se separar os resultados em grupos de médias semelhantes, eliminando a ambiguidade que existe em outros testes de comparação de médias (SANTOS, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Acúmulo de biomassa seca nos componentes da parte aérea das árvores

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios de biomassa seca dos componentes da parte aérea dos dois clones nas diferentes idades, espaçamentos e região irrigada e não irrigada, submetidos ao teste de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

Ao comparar os dois clones com a mesma idade, espaçamento e região, foi verificado que os valores de biomassa seca do fuste do clone B foram superiores aos do clone A. O maior valor de biomassa seca do fuste encontrado foi do clone B com 12 meses no espaçamento 1,5x2 m na região irrigada, sendo 15,72 toneladas por hectare.

Foi possível observar que os valores de biomassa seca do fuste aumentou com o adensamento do espaçamento, sendo explicado pela ocorrência de um maior número de indivíduos por hectare em espaçamentos menores. Os maiores valores de biomassa seca do fuste foram verificados na região irrigada nos dois clones e duas idades.

Tabela 1 - Valores médios da biomassa seca dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

Clone	Idade (meses)	Espaçamento (m)	Região	Fuste (ton ha ⁻¹)	Folha (ton ha ⁻¹)	Galho (ton ha ⁻¹)	Casca (ton ha ⁻¹)		
A	6	3x3	Irrigada	0,83 j	1,29 d	1,39 d	0,21 f		
			Não irrigada	0,42 j	0,70 d	0,34 d	0,08 f		
		3x2	Irrigada	1,05 j	1,17 d	1,62 d	0,18 f		
			Não irrigada	0,79 j	0,87 d	1,24 d	0,15 f		
		3x1	Irrigada	1,50 i	1,02 d	1,51 d	0,27 f		
			Não irrigada	1,53 i	1,16 d	2,16 d	0,28 f		
		1,5x2	Irrigada	1,14 j	1,18 d	2,08 d	0,27 f		
			Não irrigada	1,75 j	1,74 d	2,07 d	0,37 f		
		3x0,5	Irrigada	2,15 i	1,26 d	2,38 d	0,29 f		
			Não irrigada	0,97 j	0,99 d	1,46 d	0,21 f		
		12	3x3	Irrigada	5,06 g	3,23 a	5,96 a	1,06 e	
				Não irrigada	2,42 i	1,54 c	3,51 c	0,51 f	
	3x2		Irrigada	7,26 f	2,88 b	6,93 a	1,11 d		
			Não irrigada	4,57 g	2,44 b	4,80 b	1,20 d		
	3x1		Irrigada	8,44 e	2,03 c	2,32 d	1,32 d		
			Não irrigada	7,32 f	2,02 c	3,49 c	1,17 d		
	1,5x2		Irrigada	7,12 f	1,92 c	4,52 c	1,22 d		
			Não irrigada	9,17 d	2,67 b	5,09 b	1,80 b		
	3x0,5		Irrigada	6,71 f	1,22 d	2,25 d	1,06 e		
			Não irrigada	3,50 h	0,98 d	1,68 d	0,67 f		
	B		6	3x3	Irrigada	0,90 j	1,06 d	1,31 d	0,36 f
					Não irrigada	0,55 j	0,64 d	0,34 d	0,15 f
		3x2		Irrigada	0,95 j	1,05 d	1,43 d	0,30 f	
				Não irrigada	0,93 j	1,52 c	1,67 d	0,21 f	
3x1		Irrigada		1,68 i	1,20 d	2,06 d	0,35 f		
		Não irrigada		1,78 i	1,39 d	1,97 d	0,38 f		
1,5x2		Irrigada		2,34 i	1,89 c	2,37 d	0,92 e		
		Não irrigada		2,14 i	2,05 c	2,59 d	0,44 f		
3x0,5		Irrigada		2,53 i	1,09 d	1,64 d	0,44 f		
		Não irrigada		1,32 j	0,77 d	1,24 d	0,28 f		
12		3x3		Irrigada	8,76 e	3,93 a	3,84 c	1,41 d	
				Não irrigada	5,02 g	2,41 b	2,45 d	0,88 e	
		3x2	Irrigada	10,82 c	3,72 a	4,06 c	1,53 c		
			Não irrigada	6,61 f	2,90 b	3,21 c	1,12 d		
		3x1	Irrigada	10,08 c	2,86 b	5,20 b	1,54 c		
			Não irrigada	10,36 c	2,03 c	3,49 c	1,17 d		
		1,5x2	Irrigada	15,72 a	3,70 a	3,87 c	2,28 a		
			Não irrigada	14,48 b	3,40 a	2,78 d	2,23 a		
		3x0,5	Irrigada	11,20 c	2,08 c	1,73 d	1,59 c		
			Não irrigada	5,48 g	1,21 d	1,14 d	0,89 e		

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

Os maiores valores de biomassa seca das folhas foram do clone B com 12 meses no espaçamento 3x3 m e 3x2 m na região irrigada e no espaçamento 1,5x2 m

nas duas regiões, sendo 3,93, 3,72, 3,70, 3,40 toneladas por hectare respectivamente. Os resultados de biomassa seca dos galhos do clone A foram superiores aos do clone B, havendo os maiores valores do clone A nos espaçamentos 3x2 m e 3x3 m com 12 meses na região irrigada, sendo eles, respectivamente, 6,93 e 5,96 toneladas por hectare. Mesmo com um maior número de árvores por hectare, os valores de biomassa seca das folhas e dos galhos em plantios mais adensados foram similares aos observados em espaçamentos mais amplos. Isto ocorre por causa do maior espaço para o desenvolvimento das folhas e dos galhos das árvores, ou seja, não há elevada competição entre estes componentes para esta idade. Segundo Caldeira et al (2000) e Soares (2006b), na fase inicial do desenvolvimento de um povoamento, uma elevada parte de carboidratos é direcionada para a produção de biomassa da copa, porém com o passar do tempo as copas começam a competir entre si, o desenvolvimento do tronco aumenta e a de folhas e galhos diminui.

Foi observado para o clone B com 12 meses no espaçamento 1,5x2 m nas duas regiões maiores valores de biomassa seca da casca, sendo eles 2,28 e 2,23 toneladas por hectare.

Oliveira Neto et al. (2003), constataram que em maiores espaçamentos, a produção de biomassa seca da parte aérea e, principalmente do fuste, por árvore, é elevada por causa do seu maior desenvolvimento em diâmetro, enquanto em espaçamentos mais adensados ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão do maior número de indivíduos. Autores como, Guimarães (1961) e Chaves (1997) ao realizarem estudos sobre a influência dos espaçamentos mais adensados e amplos em plantios de *Eucalyptus* sp com diversas idades, relataram maior competição e maior mortalidade de árvores com o acréscimo da idade em espaçamentos reduzidos, porém em espaçamentos mais amplos, não houve aumento na produtividade do eucalipto.

Segundo Carvalho et al. (2000) a irrigação utilizada no cultivo de diversas espécies é uma prática muito recomendada, pois influencia positivamente no crescimento, desenvolvimento e até produtividade das plantas. Santana et al. (2002) verificaram maior produtividade nas regiões de maior precipitação e menor déficit hídrico ao avaliarem a produção de biomassa de *E. grandis* e *E. saligna*, aos 78 meses de idade em cinco regiões do estado de São Paulo, sendo 141 toneladas por hectare na região de maior precipitação e menor déficit hídrico e 110 toneladas por hectare em região de menor precipitação e maior déficit hídrico. Os valores encontrados pelos

autores citados anteriormente são maiores aos verificados neste trabalho devido à diferença de idade dos povoamentos.

Na Figura 1 é possível visualizar os valores totais de biomassa seca dos clones e verificar que o maior resultado foi do clone B no fuste, sendo aproximadamente 7 toneladas por hectare. Schumacher e Caldeira (2001) encontraram 58 toneladas por hectare para *Eucalyptus globulus* com 4 anos cultivados em um espaçamento 3x2 m, valor acima ao encontrado neste trabalho. Esta diferença pode ser explicada pela utilização de povoamentos com idade de 6 e 12 meses, sendo que se a floresta continuar com essa média de desenvolvimento semestral é possível estimar que a mesma atingirá uma produção de biomassa seca semelhante à encontrada pelos autores citados anteriormente.

Ao comparar as quantidades de biomassa seca da junção de folhas, cascas e galhos dos clones A e B, os valores não tiveram diferenças abruptas entre eles sendo em média 5 toneladas por hectare. Em um estudo realizado por Alves (2007), em povoamentos de diferentes clones de *Eucalyptus* com 4,5 anos, foi verificado um acúmulo de biomassa na ordem fuste>galhos>casca>folhas, sendo que neste trabalho foi fuste>galhos>folhas>casca, a menor quantidade de casca pode ser explicada pela precocidade da idade dos povoamentos.

Os valores de biomassa seca de todos os componentes da parte aérea do clones A e B são respectivamente, 9 e 12 toneladas por hectare. Considerando que ao analisar os componentes da parte aérea de clones de *Eucalyptus* com 4,5 anos plantados em um espaçamento 3x2 m, Alves (2007) encontrou em média 88 toneladas por hectare de biomassa total, sendo também um valor acima ao deste trabalho por causa da idade inicial dos povoamentos.

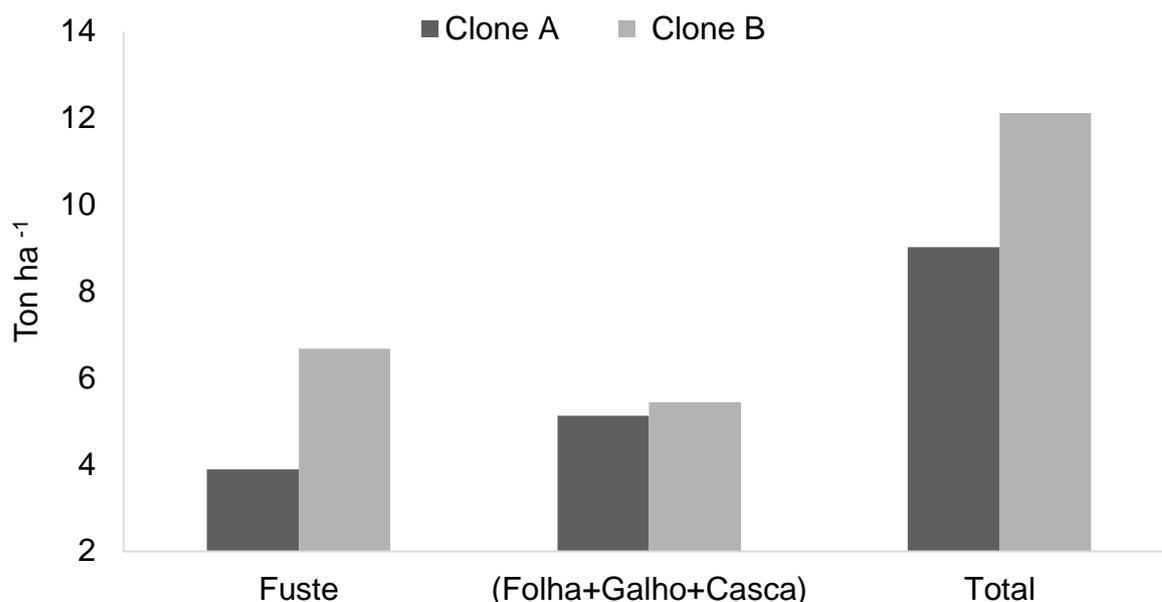


Figura 1 - Valores de biomassa seca dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

4.2 Composição elementar dos componentes da parte aérea das árvores

Os valores médios da composição elementar do fuste, folhas, galhos e casca, submetidos ao teste de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade, estão na Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente.

Ao comparar os resultados da composição elementar dos componentes da parte aérea da árvore, notou-se que não houve grandes variações entre eles. De modo geral, a quantidade percentual de carbono não foi influenciada pelo espaçamento e nem pela irrigação, sendo que os clones com 12 meses de idade possuem os maiores valores médios. Em relação ao hidrogênio, este obteve maiores valores com idade de 6 meses nos diferentes espaçamentos e regiões, exceto no componente galho, pois não houve diferença estatística significativa. Foi possível observar que o percentual de nitrogênio dos componentes da parte aérea apresentou pouca influência do espaçamento, idades e regiões. Os componentes da parte aérea possuem quantidades irrisórias de enxofre, sendo os maiores valores da folha. Foram observados maiores valores da relação carbono/nitrogênio no fuste e menores na folha em diferentes espaçamentos, idades e regiões. Os valores de

carbono/hidrogênio são similares entre os componentes, sendo possível verificar maiores valores em espaçamentos mais adensados e pouca influência da idade e irrigação. Segundo alguns autores, como DOAT (1977); PENEDO (1980); OLIVEIRA et al. (1982); KLOCK et al. (2005), a composição elementar não apresenta elevada variação, e os valores médios são: 50% de carbono; 6% de hidrogênio; 43% de oxigênio; e 0,5% de nitrogênio. No presente trabalho foi possível identificar que valores como carbono e hidrogênio foram menores e nitrogênio e oxigênio maiores do que os encontrados pelos autores citados, isto pode estar relacionado com a idade precoce do material.

Tabela 2 - Valores médios da composição elementar do fuste dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

CL	I	ESP	R	C	H	N	S	O	C/N	C/H
A	6	3x3	Irrigada	45,56 b	5,82 a	0,74 c	0,00 b	61,00 a	61,83 b	7,83 b
			Não irrigada	45,64 b	5,99 a	0,94 b	0,01 b	61,32 a	47,62 b	7,62 c
	3x2	Irrigada	45,05 b	5,97 a	1,05 b	0,03 b	63,00 a	42,90 b	7,37 d	
		Não irrigada	45,29 b	5,91 a	0,86 c	0,00 b	61,49 a	52,75 b	7,66 c	
	3x1	Irrigada	44,59 b	5,91 a	0,99 b	0,01 b	62,32 a	45,07 b	7,54 c	
		Não irrigada	45,23 b	6,06 a	0,90 b	0,01 b	61,74 a	50,40 b	7,47 d	
	1,5x2	Irrigada	44,37 b	6,03 a	1,13 a	0,02 b	62,82 a	39,63 b	7,36 d	
		Não irrigada	44,89 b	6,01 a	0,97 b	0,01 b	62,10 a	46,96 b	7,47 d	
	3x0,5	Irrigada	44,94 b	6,07 a	0,97 b	0,01 b	62,10 a	47,19 b	7,42 c	
		Não irrigada	45,69 b	5,95 a	0,86 c	0,00 b	61,12 a	53,56 b	7,68 c	
	12	3x3	Irrigada	43,41 b	5,55 c	0,26 e	0,16 a	62,56 a	170,08 a	7,82 b
			Não irrigada	46,90 b	5,90 a	0,53 d	0,02 b	59,55 b	88,16 b	7,95 b
	3x2	Irrigada	45,44 b	5,78 b	0,44 d	0,01 b	60,80 b	118,92 a	7,86 b	
		Não irrigada	45,61 b	5,77 b	0,70 c	0,01 b	60,87 b	66,10 b	7,91 b	
	3x1	Irrigada	46,66 a	5,88 a	0,68 c	0,01 b	59,90 b	69,53 b	7,94 b	
		Não irrigada	46,51 a	5,96 a	1,27 a	0,00 b	60,72 b	36,75 b	7,81 b	
	1,5x2	Irrigada	47,32 a	6,00 a	0,72 c	0,00 b	59,40 b	66,03 b	7,89 b	
		Não irrigada	46,37 a	5,79 b	0,44 d	0,00 b	59,86 b	127,45 a	8,02 a	
	3x0,5	Irrigada	47,87 a	5,92 a	0,81 c	0,00 b	58,87 b	59,29 b	8,08 a	
		Não irrigada	46,09 a	5,69 b	0,33 e	0,00 b	59,94 b	139,59 a	8,10 a	
B	6	3x3	Irrigada	45,16 b	5,87 a	0,86 c	0,00 b	61,58 a	53,19 b	7,68 c
			Não irrigada	45,10 b	5,89 a	0,91 b	0,00 b	61,70 a	50,32 b	7,66 c
	3x2	Irrigada	44,85 b	5,88 a	0,92 b	0,01 b	61,96 a	49,44 b	7,63 c	
		Não irrigada	45,42 b	5,98 a	0,88 c	0,00 b	61,45 a	52,23 b	7,59 c	
	3x1	Irrigada	44,70 b	5,96 a	0,93 b	0,01 b	62,20 a	49,30 b	7,51 d	
		Não irrigada	45,25 b	6,11 a	0,97 b	0,00 b	61,83 a	47,05 b	7,41 d	
	1,5x2	Irrigada	43,72 b	5,92 a	1,01 b	0,01 b	63,21 a	43,80 b	7,38 d	
		Não irrigada	45,31 b	6,02 a	0,98 b	0,00 b	61,70 a	47,55 b	7,52 d	
	3x0,5	Irrigada	44,88 b	5,90 a	0,84 c	0,01 b	61,86 a	53,99 b	7,61 c	
		Não irrigada	45,74 b	5,95 a	0,84 c	0,00 b	61,05 a	55,21 b	7,69 c	
	12	3x3	Irrigada	45,91 a	5,88 a	0,26 e	0,02 b	60,25 b	179,89 a	7,81 b
			Não irrigada	46,99 a	5,94 a	0,53 d	0,01 b	59,49 b	90,79 b	7,92 b
	3x2	Irrigada	45,22 b	5,80 b	0,29 e	0,00 b	60,87 b	155,84 a	7,80 b	
		Não irrigada	45,25 b	5,71 b	0,59 d	0,00 b	61,06 a	128,25 a	7,92 b	
	3x1	Irrigada	46,80 a	5,96 a	0,60 d	0,00 b	59,76 b	89,87 b	7,85 b	
		Não irrigada	46,17 a	5,90 a	0,98 b	0,00 b	60,72 b	47,15 a	7,83 b	
	1,5x2	Irrigada	46,49 a	5,86 a	0,72 c	0,00 b	60,09 b	64,70 b	7,93 b	
		Não irrigada	44,00 b	5,43 c	0,31 e	0,00 b	61,73 a	145,90 a	8,11 a	
	3x0,5	Irrigada	46,87 a	5,91 a	0,93 b	0,00 b	59,97 b	50,60 b	7,92 b	
		Não irrigada	46,02 a	5,62 c	0,32 e	0,00 b	59,91 b	144,05 a	8,20 a	

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade. (CL= clone; I=idade (meses); ESP=espaçamento (metros); R= região; C= carbono (%); H= hidrogênio (%); N= nitrogênio (%); S= enxofre (%); O= oxigênio (%)).

Tabela 3 - Valores médios da composição elementar da folha dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

CL	I	ESP	R	C	H	N	S	O	C/N	C/H		
A	6	3x3	Irrigada	50,82 a	6,46 a	3,03 b	0,14 b	58,81 b	16,78 a	7,86 c		
			Não irrigada	50,00 b	6,38 a	2,81 b	0,13 b	59,11 b	17,99 a	7,88 c		
		3x2	Irrigada	49,38 b	6,22 b	3,00 b	0,14 b	59,98 a	16,65 a	7,93 c		
			Não irrigada	49,00 b	6,24 b	2,79 b	0,13 b	60,12 a	17,64 a	7,86 c		
		3x1	Irrigada	51,35 a	6,61 a	3,31 a	0,17 b	58,74 b	15,57 b	7,77 c		
			Não irrigada	49,33 b	6,28 b	2,88 b	0,14 b	60,17 a	17,06 a	7,82 c		
	1,5x2	Irrigada	51,22 a	6,47 a	3,36 a	0,17 b	58,78 b	15,26 b	7,91 c			
		Não irrigada	48,67 b	6,24 b	3,33 a	0,16 b	61,02 a	14,64 b	7,81 c			
	3x0,5	Irrigada	50,02 b	6,29 b	3,24 a	0,16 b	59,66 b	15,45 b	7,96 c			
		Não irrigada	48,67 b	6,20 b	3,36 a	0,14 b	61,10 a	14,49 b	7,84 c			
	12	3x3	Irrigada	50,33 b	6,15 b	2,94 b	0,14 b	58,73 b	17,05 a	8,22 b		
			Não irrigada	50,67 a	6,09 b	2,98 b	0,14 b	58,68 b	16,95 a	8,30 b		
		3x2	Irrigada	50,67 a	6,23 b	3,20 a	0,15 b	58,76 b	15,88 b	8,15 b		
			Não irrigada	50,33 b	6,15 b	3,16 b	0,15 b	59,02 b	15,95 b	8,20 b		
		3x1	Irrigada	49,67 b	6,03 b	3,39 a	0,16 b	59,86 a	15,70 b	8,25 b		
			Não irrigada	52,00 a	6,44 a	3,36 a	0,21 b	58,18 c	15,42 b	8,04 c		
		1,5x2	Irrigada	51,33 a	6,21 b	3,61 a	0,18 b	58,96 b	14,17 b	8,21 b		
			Não irrigada	52,00 a	6,41 a	3,39 a	0,16 b	58,15 c	15,38 b	8,09 b		
		3x0,5	Irrigada	51,00 a	6,21 b	3,21 a	0,16 b	58,67 b	15,99 b	8,19 b		
			Não irrigada	52,67 a	6,44 a	3,03 b	0,12 b	56,85 c	17,41 a	8,19 b		
		B	6	3x3	Irrigada	50,41 b	6,34 a	3,07 b	0,14 b	59,15 b	16,46 a	7,94 c
					Não irrigada	50,33 b	6,33 a	2,86 b	0,13 b	59,16 b	17,61 a	7,93 c
	3x2			Irrigada	51,15 a	6,47 a	3,06 b	0,16 b	58,54 b	16,75 a	7,90 c	
				Não irrigada	50,33 b	6,38 a	2,82 b	0,13 b	58,96 b	17,98 a	7,89 c	
3x1	Irrigada			51,34 a	6,57 a	3,27 a	0,17 b	58,68 b	15,70 b	7,81 c		
	Não irrigada			49,33 b	6,36 a	3,10 b	0,14 b	60,10 a	15,97 b	7,78 c		
1,5x2	Irrigada		50,05 b	6,32 a	3,09 b	0,16 b	59,52 a	16,19 a	7,92 c			
	Não irrigada		50,00 b	6,36 a	3,48 a	0,15 b	60,25 a	14,31 b	7,82 c			
3x0,5	Irrigada		48,61 b	6,18 b	2,94 b	0,14 b	60,65 a	16,60 a	7,87 c			
	Não irrigada		49,33 b	6,25 b	3,76 a	0,15 b	60,80 a	13,13 b	7,90 c			
12	3x3		Irrigada	51,00 a	6,19 b	3,04 b	0,14 b	58,48 b	16,72 a	8,22 b		
			Não irrigada	50,00 b	6,07 b	2,99 b	0,13 b	59,00 b	16,80 a	8,27 b		
	3x2		Irrigada	50,00 b	6,13 b	3,18 a	0,14 b	59,26 b	15,78 b	8,19 b		
			Não irrigada	50,67 a	6,01 b	3,02 b	0,15 b	59,95 b	16,71 a	8,35 b		
	3x1		Irrigada	50,33 b	6,24 b	3,31 a	0,15 b	59,21 b	15,24 b	8,10 b		
			Não irrigada	51,00 a	6,15 b	3,38 a	0,36 a	59,13 b	15,03 b	8,28 b		
	1,5x2		Irrigada	50,00 b	6,09 b	3,37 a	0,17 b	59,62 a	14,89 b	8,20 b		
			Não irrigada	52,33 a	6,48 a	3,53 a	0,15 b	57,59 c	14,92 c	8,12 b		
	3x0,5	Irrigada	51,67 a	6,04 b	3,29 a	0,14 b	57,67 c	15,77 b	8,58 a			
		Não irrigada	52,67 a	6,43 a	3,39 a	0,14 b	57,42 c	15,53 b	8,17 b			

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade. (CL= clone; I=idade (meses); ESP=espaçamento (metros); R= região; C= carbono (%); H= hidrogênio (%); N= nitrogênio (%); S= enxofre (%); O= oxigênio (%)).

Tabela 4 - Valores médios da composição elementar do galho dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

CL	I	ESP	R	C	H (*)	N	S	O	C/N	C/H		
A	6	3x3	Irrigada	45,47 b	5,66	1,04 a	0,02 a	61,24 a	44,97 b	8,04 d		
			Não irrigada	45,85 b	5,60	1,22 a	0,01 b	60,98 a	37,75 b	8,19 b		
		3x2	Irrigada	45,80 b	5,70	0,90 b	0,01 b	60,82 a	52,98 a	8,04 d		
			Não irrigada	46,91 a	5,74	0,79 b	0,00 b	59,63 b	61,92 a	8,18 b		
		3x1	Irrigada	46,53 a	5,75	1,31 a	0,02 a	60,54 a	35,86 b	8,09 c		
			Não irrigada	46,39 a	5,71	0,79 b	0,00 b	60,11 b	60,16 a	8,13 c		
	1,5x2	Irrigada	46,84 a	5,78	1,42 a	0,02 a	60,38 b	33,29 b	8,10 c			
		Não irrigada	45,59 b	5,61	1,15 a	0,01 a	61,18 a	39,57 b	8,13 c			
	3x0,5	Irrigada	45,43 b	5,65	1,24 a	0,01 a	61,47 a	35,83 b	8,04 d			
		Não irrigada	44,73 b	5,56	0,81 b	0,00 b	61,64 a	55,83 a	8,05 d			
	12	3x3	Irrigada	47,54 a	5,73	0,26 c	0,01 b	59,28 b	43,92 b	8,30 a		
			Não irrigada	45,82 b	5,63	1,22 a	0,02 a	61,05 a	37,60 b	8,14 c		
		3x2	Irrigada	47,35 a	5,84	0,44 c	0,01 b	59,68 b	40,02 b	8,10 c		
			Não irrigada	47,22 a	5,65	1,16 a	0,02 a	59,61 b	40,71 b	8,36 a		
		3x1	Irrigada	47,32 a	5,83	0,68 b	0,01 b	59,62 b	43,37 b	8,12 c		
			Não irrigada	47,32 a	5,74	1,22 a	0,02 a	59,66 b	38,78 b	8,25 b		
		1,5x2	Irrigada	46,94 a	5,72	0,72 b	0,02 a	59,97 b	40,43 b	8,20 b		
			Não irrigada	47,25 a	5,69	1,20 a	0,01 a	59,66 b	39,66 b	8,30 a		
		3x0,5	Irrigada	46,99 a	5,79	0,81 b	0,02 a	59,97 b	41,15 b	8,11 c		
			Não irrigada	47,32 a	5,72	1,15 a	0,01 b	59,56 b	41,34 b	8,27 a		
		B	6	3x3	Irrigada	45,09 b	5,61	1,05 a	0,01 a	61,59 a	44,31 b	8,04 d
					Não irrigada	46,34 b	5,73	1,12 a	0,01 a	60,52 a	41,97 b	8,09 d
	3x2			Irrigada	45,76 b	5,65	1,31 a	0,02 a	61,22 a	35,00 b	8,04 d	
				Não irrigada	45,61 b	5,60	0,88 b	0,01 b	60,88 a	57,28 a	8,15 c	
3x1	Irrigada			46,15 b	5,73	1,20 a	0,02 a	60,80 a	38,74 b	8,06 d		
	Não irrigada			46,26 a	5,76	0,94 a	0,01 b	60,45 b	50,07 a	8,03 d		
1,5x2	Irrigada		46,56 b	5,72	1,24 a	0,02 a	60,43 b	37,68 b	8,14 c			
	Não irrigada		46,01 b	5,66	1,13 a	0,01 b	60,79 a	41,11 b	8,13 c			
3x0,5	Irrigada		45,59 b	5,62	0,88 b	0,00 b	60,91 a	53,86 a	8,12 c			
	Não irrigada		45,02 b	5,58	0,82 b	0,00 b	61,39 a	55,46 a	8,06 d			
12	3x3		Irrigada	47,23 a	5,81	0,26 c	0,01 a	59,83 b	38,26 b	8,13 c		
			Não irrigada	46,58 a	5,71	1,11 a	0,02 a	60,18 b	42,23 b	8,15 c		
	3x2		Irrigada	46,88 a	5,78	0,29 c	0,01 b	50,95 b	45,85 b	8,11 c		
			Não irrigada	46,81 a	5,68	1,14 a	0,02 a	60,03 b	41,98 b	8,25 b		
	3x1		Irrigada	47,00 a	5,76	0,60 b	0,01 b	59,83 b	44,66 b	8,16 c		
			Não irrigada	46,83 a	5,70	1,29 a	0,02 a	60,18 b	36,35 b	8,22 b		
	1,5x2		Irrigada	46,92 a	5,79	0,72 b	0,02 a	60,12 b	38,15 b	8,11 c		
			Não irrigada	47,09 a	5,72	1,15 a	0,01 a	59,79 b	41,61 b	8,23 b		
	3x0,5		Irrigada	46,67 a	5,78	0,93 a	0,02 a	60,24 b	41,60 b	8,08 d		
			Não irrigada	47,21 a	5,76	1,18 a	0,01 b	59,74 b	40,05 b	8,20 b		

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade. (CL= clone; I=idade (meses); ESP=espaçamento (metros); R= região; C= carbono (%); H= hidrogênio (%); N= nitrogênio (%); S= enxofre (%); O= oxigênio (%)).

Tabela 5 - Valores médios da composição elementar da casca dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

CL	I	ESP	R	C	H	N	S	O	C/N	C/H	
A	6	3x3	Irrigada	44,15 b	5,17 c	0,95 b	0,01 c	61,97 d	50,14 b	8,55 a	
			Não irrigada	44,69 b	5,15 c	0,77 c	0,02 c	61,24 d	57,95 a	8,69 a	
		3x2	Irrigada	43,12 c	5,26 b	0,72 c	0,00 c	62,86 b	60,37 a	8,20 b	
			Não irrigada	44,69 b	5,90 a	1,13 a	0,06 b	62,40 c	39,60 c	7,57 c	
		3x1	Irrigada	43,59 c	5,24 b	1,34 a	0,02 c	63,01 b	35,49 c	8,32 b	
			Não irrigada	45,44 a	6,11 a	1,00 b	0,06 b	61,73 d	45,45 c	7,44 c	
	1,5x2	Irrigada	43,37 c	5,23 b	1,49 a	0,02 c	63,38 b	29,32 c	8,29 b		
		Não irrigada	45,34 a	6,03 a	1,27 a	0,05 b	62,01 c	35,86 c	7,52 c		
	3x0,5	Irrigada	43,20 c	5,23 b	0,68 c	0,01 c	62,73 b	68,53 a	8,26 b		
		Não irrigada	44,32 b	6,05 a	0,97 b	0,01 c	62,72 b	46,11 c	7,32 c		
	12	3x3	Irrigada	44,84 a	5,30 b	0,95 b	0,01 c	61,43 d	47,04 c	8,46 a	
			Não irrigada	44,33 b	5,12 c	1,31 a	0,05 b	62,12 c	33,78 c	8,66 a	
		3x2	Irrigada	44,17 b	5,30 b	1,14 a	0,02 c	62,29 c	39,05 c	8,33 b	
			Não irrigada	45,66 a	5,36 b	1,16 a	0,05 b	61,13 d	39,29 c	8,48 c	
		3x1	Irrigada	42,81 c	5,22 b	1,21 a	0,03 c	63,65 b	35,46 c	8,20 b	
			Não irrigada	45,67 a	5,43 b	1,30 a	0,04 c	61,07 d	35,31 c	8,42 a	
	1,5x2	Irrigada	44,00 b	5,31 b	1,24 a	0,04 c	62,58 c	35,54 c	8,29 b		
		Não irrigada	45,67 a	5,44 b	1,25 a	0,05 b	61,32 d	36,67 c	8,35 b		
	3x0,5	Irrigada	44,88 a	5,28 b	1,25 a	0,05 b	61,69 d	36,08 c	8,51 a		
		Não irrigada	44,67 b	5,28 b	1,20 a	0,03 c	61,67 d	37,40 c	8,50 a		
	B	6	3x3	Irrigada	43,05 c	5,13 c	1,00 b	0,02 c	63,09 b	53,19 c	8,40 a
				Não irrigada	43,95 b	5,40 b	0,95 b	0,04 c	62,44 c	44,61 c	8,20 b
			3x2	Irrigada	40,90 d	4,76 d	1,25 a	0,02 c	65,14 a	49,14 b	8,60 a
				Não irrigada	44,34 b	5,95 a	1,06 b	0,08 a	62,75 b	32,74 c	7,46 c
3x1			Irrigada	41,88 d	4,96 d	1,25 a	0,03 c	64,35 a	41,71 c	8,45 a	
			Não irrigada	43,97 b	6,05 a	1,02 b	0,09 a	63,19 b	33,63 c	7,27 c	
1,5x2		Irrigada	45,33 a	5,59 b	1,20 a	0,02 c	61,48 d	41,97 c	8,12 c		
		Não irrigada	44,30 b	6,04 a	1,22 a	0,04 b	63,00 b	37,99 c	7,34 c		
3x0,5		Irrigada	42,93 c	5,03 c	0,66 c	0,02 c	62,77 b	36,73 c	8,54 a		
		Não irrigada	43,63 c	5,90 a	0,99 b	0,01 c	63,29 b	65,46 a	7,39 c		
12		3x3	Irrigada	43,96 b	5,32 b	1,13 a	0,01 c	62,52 c	44,27 c	8,26 b	
			Não irrigada	43,00 c	5,10 c	1,25 a	0,07 a	63,58 b	39,33 c	8,41 a	
		3x2	Irrigada	43,08 c	5,26 b	1,19 a	0,02 c	63,39 b	34,39 c	8,20 b	
			Não irrigada	43,33 c	5,18 c	1,18 a	0,05 b	62,98 b	36,25 c	8,39 a	
		3x1	Irrigada	44,09 b	5,32 b	1,16 a	0,02 c	62,40 c	37,23 c	8,29 b	
			Não irrigada	43,00 c	5,22 b	1,20 a	0,05 b	63,25 b	38,00 c	8,28 b	
1,5x2		Irrigada	42,65 c	5,25 b	1,27 a	0,05 b	63,93 a	36,28 c	8,12 b		
		Não irrigada	44,00 b	5,34 b	1,22 a	0,03 c	62,57 c	33,66 c	8,25 b		
3x0,5		Irrigada	42,12 d	5,12 c	1,09 a	0,05 b	64,13 a	36,43 c	8,23 b		
		Não irrigada	43,67 c	5,33 b	1,00 b	0,01 c	62,78 b	43,48 c	8,18 b		

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade. (CL= clone; I=idade (meses); ESP=espaçamento (metros); R= região; C= carbono (%); H= hidrogênio (%); N= nitrogênio (%); S= enxofre (%); O= oxigênio (%)).

As relações carbono/nitrogênio e carbono/hidrogênio distribuíram-se, respectivamente, da seguinte forma: fuste>galho>casca>folha e casca>galho>folha>fuste e podem ser verificadas na Tabela 1. Segundo Morais (2008) é desejável uma elevada relação C/N para produção energética, visto que,

normalmente, um material mais fibroso e lignificado possui alta relação C/N. A composição química elementar é importante para realizar os cálculos de combustão, pois é a partir da porcentagem de cada elemento, especialmente o carbono e o hidrogênio, que pode ser determinado o potencial energético de um combustível (BRAND, 2010). Quanto maior a relação C/H maior será o potencial energético de um material.

De modo geral, observa-se na Figura 2 o percentual da composição elementar das partes aéreas da árvore, sendo possível verificar a similaridade entre os clones A e B em todas as partes. A quantidade de carbono foi distribuída desta forma: folha>fuste>galho>casca. Silva (2012) ao estudar biomassa de *Eucalyptus* para energia encontrou um percentual de 44,96 de carbono no fuste, podendo assim constatar à proximidade aos valores encontrados neste trabalho. Para verificar a viabilidade energética de um material é necessário que o mesmo obtenha um elevado teor de fibra, mais especificamente os teores dos componentes ricos em carbono e com maior poder calorífico, como a celulose e a lignina (QUESADA et al., 2004; VILELA; CERIZE, 2014).

Foi observado para o hidrogênio, nitrogênio e oxigênio maiores valores na seguinte ordem: folha>fuste>galho>casca, folha>casca>galho>fuste e casca>fuste>galho>folha, respectivamente. De acordo com Carneiro et al. (2014) o hidrogênio, durante a queima, libera mais energia que o carbono, entretanto, com o aumento da temperatura este é perdido e o carbono fixado e, também, o elevado teor de oxigênio confere menor potencial energético ao combustível. O nitrogênio é um composto indesejável para produção de energia, devido à emissão de óxido nítrico no momento da combustão, sendo prejudicial à saúde humana e ao ambiente (SANTANA, 2009).

Os componentes das partes aéreas das árvores possuem mínimas quantidades de enxofre, sendo as maiores quantidades na folha>casca>galho>fuste. Brito e Barrichelo (1978) também encontraram uma quantidade negligenciável de enxofre na madeira e casca de *Eucalyptus* ao estudar sua composição elementar para fins energéticos. O enxofre é indesejado em combustíveis por causa dos gases emitidos no ar e problemas com corrosão nos equipamentos de combustão ou queima (OBERNBERG et al., 2006; MUNALULA; MEINCKEN, 2009).

Quando se pretende realizar um plantio de *Eucalyptus* para fins energéticos é esperado obter um material com maiores quantidades de carbono e hidrogênio, e, menores de nitrogênio, enxofre e oxigênio.

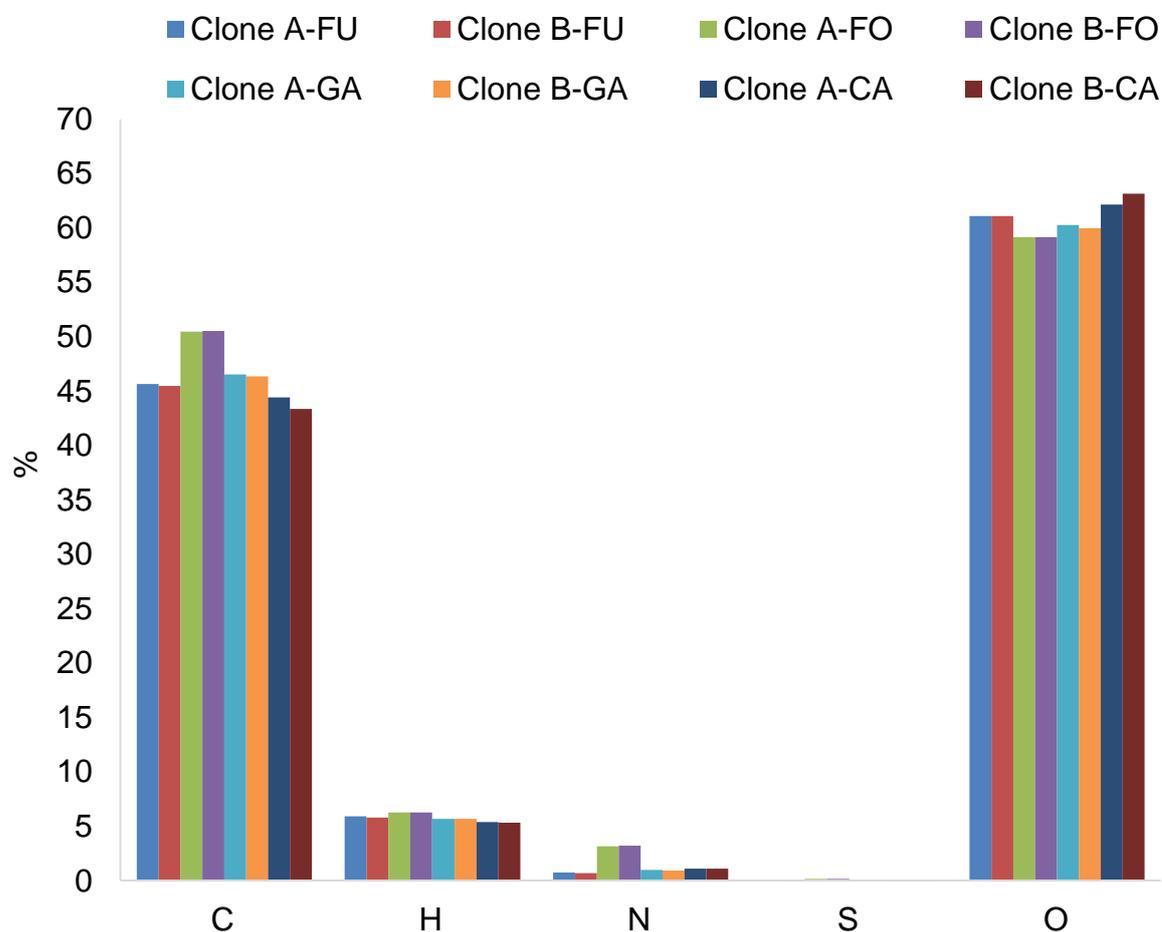


Figura 2 - Valores médios da composição elemental da fuste, folhas, galhos e cascas dos clones do híbrido *E. grandis x E. urophylla*. (C= Carbono; H= Hidrogênio; N= Nitrogênio; S= Enxofre; O= Oxigênio; FU= Fuste; FO= Folha; GA= Galho; CA= Casca)

4.3 Carbono acumulado em componentes da parte aérea das árvores

Os valores médios de carbono acumulado no fuste, folhas, galhos e casca diferiram estatisticamente, constatando os maiores valores médios no fuste para o clone B, mais especificamente no espaçamento 1,5x2 m com idade de 12 meses na região irrigada. Santana (2009) também verificou maior quantidade de massa de carbono em um espaçamento mais adensado, mas com o aumento da idade das árvores há uma elevação nos valores médios de massa de carbono em um espaçamento mais amplo.

Os maiores valores de carbono acumulado na folha concentraram-se no clone B no espaçamento 1,5x2 m com 12 meses nas duas regiões, com exceção do espaçamento 3x3 m para o clone A com 12 meses na região irrigada. A maior quantidade de carbono acumulado no galho foi verificada em um espaçamento mais amplo, sendo 2,83 toneladas por hectare no espaçamento 3x3 m com idade de 12 meses em região irrigada. Na casca, foi verificado maiores valores de carbono acumulado no espaçamento 1,5x2 m com 12 meses nas duas regiões. Estes resultados podem ser visualizados na Tabela 6, e foram submetidos ao método de Skott-knott em 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Valores médios de carbono acumulado nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

Clone	Idade (meses)	Espaçamento (m)	Região	Fuste (ton ha ⁻¹)	Folha (ton ha ⁻¹)	Galho (ton ha ⁻¹)	Casca (ton ha ⁻¹)		
A	6	3x3	Irrigada	0,38 j	0,65 d	0,64 d	0,09 f		
			Não irrigada	0,19 j	0,35 d	0,43 d	0,03 f		
		3x2	Irrigada	0,46 j	0,58 d	0,74 d	0,08 f		
			Não irrigada	0,36 j	0,42 d	0,58 d	0,07 f		
		3x1	Irrigada	0,67 i	0,53 d	0,70 d	0,12 f		
			Não irrigada	0,69 i	0,57 d	0,10 d	0,13 f		
		1,5x2	Irrigada	0,51 j	0,59 d	0,95 d	0,12 f		
			Não irrigada	0,80 i	0,84 c	0,92 d	0,16 f		
		3x0,5	Irrigada	0,95 i	0,65 d	1,12 d	0,13 f		
			Não irrigada	0,44 j	0,48 d	0,67 d	0,09 f		
		12	3x3	Irrigada	2,20 g	1,63 a	2,83 a	0,48 e	
				Não irrigada	1,14 i	0,78 c	1,60 c	0,23 f	
	3x2		Irrigada	3,30 f	1,47 b	3,28 a	0,49 e		
			Não irrigada	2,09 g	1,23 b	2,27 b	0,54 d		
	3x1		Irrigada	3,94 e	1,01 c	1,10 d	0,57 d		
			Não irrigada	3,40 f	1,05 c	1,65 c	0,54 d		
	1,5x2		Irrigada	3,42 f	0,98 c	2,13 c	0,55 d		
			Não irrigada	4,23 d	1,41 b	2,41 b	0,81 b		
	3x0,5		Irrigada	3,18 f	0,62 d	1,05 d	0,47 e		
			Não irrigada	1,62 h	0,51 d	0,78 d	0,31 f		
	B		6	3x3	Irrigada	0,40 j	0,54 d	0,59 d	0,15 f
					Não irrigada	0,25 j	0,32 d	0,39 d	0,07 f
		3x2		Irrigada	0,43 j	0,54 d	0,65 d	0,12 f	
				Não irrigada	0,42 j	0,77 c	0,76 d	0,09 f	
3x1		Irrigada		0,75 i	0,61 d	0,95 d	0,15 f		
		Não irrigada		0,81 i	0,69 d	0,91 d	0,17 f		
1,5x2		Irrigada		1,05 i	0,92 c	1,08 d	0,40 e		
		Não irrigada		0,98 i	1,01 c	1,17 d	0,19 f		
3x0,5		Irrigada		1,11 i	0,54 d	0,77 d	0,20 f		
		Não irrigada		0,60 j	0,38 d	0,57 d	0,13 f		
12		3x3		Irrigada	4,02 e	2,00 a	1,82 c	0,62 c	
				Não irrigada	2,36 g	1,21 b	1,14 d	0,38 e	
		3x2	Irrigada	4,92 c	1,87 a	1,90 c	0,66 c		
			Não irrigada	2,99 f	1,47 b	1,50 c	0,49 e		
		3x1	Irrigada	4,72 c	1,44 b	2,44 b	0,68 c		
			Não irrigada	4,78 c	1,29 b	1,62 c	0,80 b		
		1,5x2	Irrigada	7,37 a	1,92 a	1,82 c	0,96 a		
			Não irrigada	6,66 b	1,79 a	1,31 d	0,97 a		
		3x0,5	Irrigada	5,21 c	1,04 c	0,81 d	0,68 c		
			Não irrigada	2,42 g	0,63 d	0,53 d	0,39 e		

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

De modo geral, pode ser verificado na Figura 3 maior quantidade de carbono acumulado no clone B, sendo esta 2,6 toneladas por hectare. O carbono acumulado na árvore está diretamente relacionada com a quantidade de biomassa seca, pois não foi verificado variação abrupta na porcentagem de carbono. Gatto et al. (2011) ao

estudarem o estoque de carbono em componentes da parte aérea das árvores de eucalipto com 8 anos de idade, constataram que o fuste, corresponde, em média, a 64,7% da biomassa total, sendo que neste trabalho o fuste correspondeu a 49,8%. Santana et al. (2008) ao estudar biomassa de eucalipto em diferentes idades e regiões do Brasil, verificaram que a proporção da copa em relação ao tronco diminui com o acréscimo da idade dos povoamentos. A partir dos 42 meses até os 60 meses, a proporção de copa reduziu mais lentamente, tornando-se ainda mais estável à partir do sexto ano.

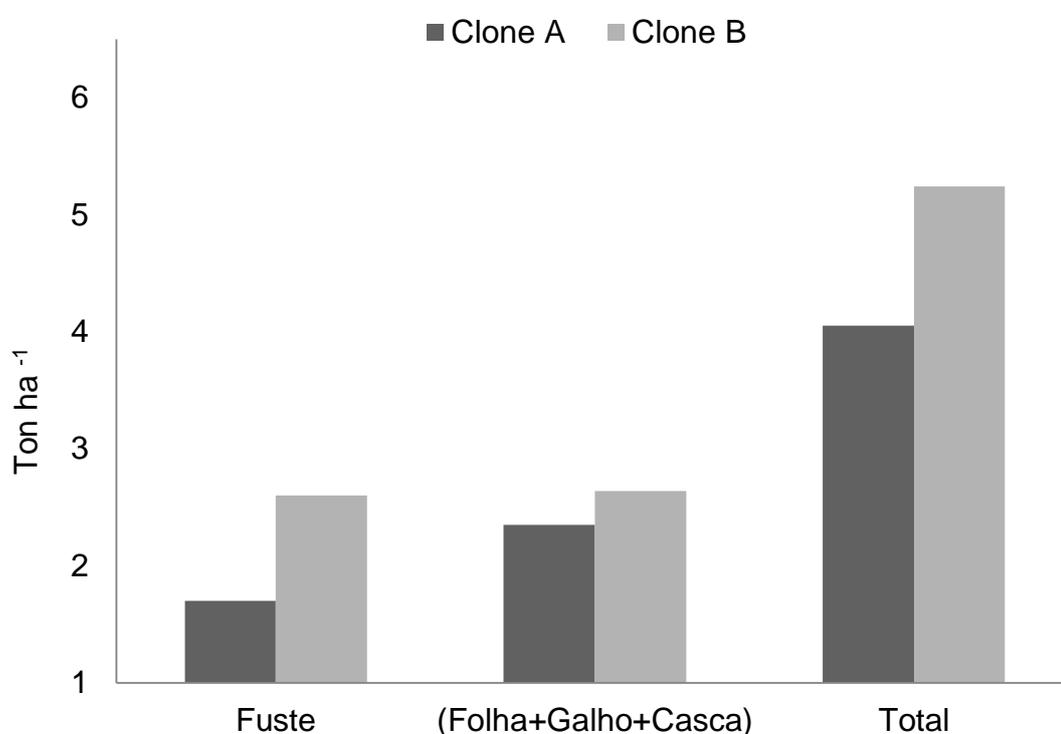


Figura 3 - Valores de carbono acumulado nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis x E. urophylla*

Carneiro et al (2014) constataram que o carbono é essencial para produção energética, tanto para a queima direta da madeira quanto para produção de carvão vegetal, pois na queima direta este é totalmente consumido e na produção de carvão vegetal é convertido em carbono fixo, sendo esse o principal responsável pela energia estocada no carvão. Material com baixa quantidade de carbono acumulado não deve

ser utilizado para produção de energia, visto que significa pouca biomassa para sustentar a combustão.

4.4 Quantidade de dióxido de carbono (CO₂) assimilado nos componentes da parte aérea das árvores

Segundo Nutto et al. (2002) para cada carbono armazenado é assimilada uma molécula de dióxido de carbono (CO₂), lembrando que a massa molar deste é 44g/mol e a do carbono 12g/mol, estima-se que 1 tonelada de carbono acumulado corresponde a 3,66 toneladas de CO₂ assimiladas. Assim, a quantidade de CO₂ assimilada nos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes espaçamentos, idades e regiões, podem ser verificadas na Tabela 7, sendo os valores submetidos ao método de Skott-knott em 5% de probabilidade.

A quantidade de CO₂ assimilada no fuste obteve maiores valores no espaçamento mais adensado, 1,5x2 m, região irrigada com 12 meses, sendo 26,96 toneladas por hectare. Foi possível verificar que maiores resultados da folha estão no espaçamento 1,5x2 m, aos 12 meses nas duas regiões. Em espaçamentos mais amplos, 3x3 m e 3x2 m, com idade de 12 meses em região irrigada pode ser observado os maiores valores de galho. Na casca foi verificado maiores valores no menor espaçamento, 1,5x2 m, com 12 meses nas duas regiões.

Tabela 7 - Valores médios de dióxido de carbono assimilado nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

Clone	Idade (meses)	Espaçamento (m)	Região	Fuste (ton ha ⁻¹)	Folha (ton ha ⁻¹)	Galho (ton ha ⁻¹)	Casca (ton ha ⁻¹)
A	6	3x3	Irrigada	1,38 j	2,39 d	2,33 d	0,34 f
			Não irrigada	0,70 j	1,30 d	1,59 d	0,13 f
		3x2	Irrigada	1,69 j	2,11 d	2,71 d	0,29 f
			Não irrigada	1,31 j	1,56 d	2,13 d	0,23 f
		3x1	Irrigada	2,44 i	1,92 d	2,56 d	0,43 f
			Não irrigada	2,52 i	2,09 d	3,68 d	0,47 f
		1,5x2	Irrigada	1,87 j	2,15 d	3,48 d	0,43 f
			Não irrigada	2,92 i	3,09 c	3,39 d	0,60 f
		3x0,5	Irrigada	3,49 i	2,36 d	4,08 d	0,46 f
			Não irrigada	1,59 j	1,78 d	2,44 d	0,34 f
	12	3x3	Irrigada	8,06 g	5,96 a	10,36 a	1,74 e
			Não irrigada	4,16 i	2,85 c	5,88 c	0,83 f
		3x2	Irrigada	12,09 f	5,37 b	11,99 a	1,80 e
			Não irrigada	7,64 g	4,50 b	8,29 b	1,99 d
		3x1	Irrigada	14,42 e	3,69 c	4,01 d	2,08 d
			Não irrigada	12,45 f	3,86 c	6,03 c	1,95 d
		1,5x2	Irrigada	12,52 f	3,58 c	7,78 c	2,01 d
			Não irrigada	15,47 d	5,15 b	8,82 b	2,95 b
		3x0,5	Irrigada	11,64 f	2,28 d	3,86 d	1,71 e
			Não irrigada	5,95 h	1,86 d	2,87 d	1,12 f
B	6	3x3	Irrigada	1,48 j	1,95 d	2,16 d	0,56 f
			Não irrigada	0,91 j	1,17 d	1,43 d	0,25 f
		3x2	Irrigada	1,56 j	1,96 d	2,40 d	0,45 f
			Não irrigada	1,55 j	2,80 c	2,79 d	0,34 f
		3x1	Irrigada	2,76 i	2,25 d	3,49 d	0,54 f
			Não irrigada	2,95 i	2,51 d	3,34 d	0,61 f
		1,5x2	Irrigada	3,84 i	3,37 c	3,96 d	1,45 e
			Não irrigada	3,58 i	3,71 c	4,27 d	0,70 f
	3x0,5	Irrigada	4,06 i	1,99 d	2,80 d	0,72 f	
		Não irrigada	2,19 j	1,39 d	2,09 d	0,46 f	
	12	3x3	Irrigada	14,71 e	7,31 a	6,65 c	2,27 d
			Não irrigada	8,64 g	4,43 b	4,18 d	1,38 e
		3x2	Irrigada	18,00 c	6,83 a	6,97 c	2,41 c
			Não irrigada	10,94 f	5,33 b	5,51 c	1,79 e
		3x1	Irrigada	17,26 c	5,28 b	8,95 b	2,48 c
			Não irrigada	17,51 c	4,74 b	5,95 c	2,94 c
1,5x2		Irrigada	26,96 a	7,01 a	6,62 c	3,51 a	
		Não irrigada	24,40 b	6,54 a	4,80 d	3,56 a	
3x0,5	Irrigada	19,05 c	3,81 c	2,96 d	2,49 c		
	Não irrigada	8,84 g	2,33 d	1,97 d	1,43 e		

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 4 é possível verificar maior fixação de CO₂ pelo clone B, tendo assimilado em média 19 toneladas por hectare. Alves (2007) em seu estudo de componentes da parte aérea da árvore com 4 anos de idade, encontrou um total de 141 toneladas de CO₂ por hectare, valor elevado quando comparado a este estudo, podendo ser explicado pelo povoamento ter 6 e 12 meses de idade. Segundo Pacheco e Helene (1990) as plantas, pelo processo natural, têm o privilégio de poder transformar diretamente substâncias inorgânicas envolvidas no ciclo dos materiais, como carbono, hidrogênio e oxigênio em biomassa, conferindo assim maior quantidade de material para sustentar a combustão e ainda reduzir as concentrações desse gás na atmosfera.

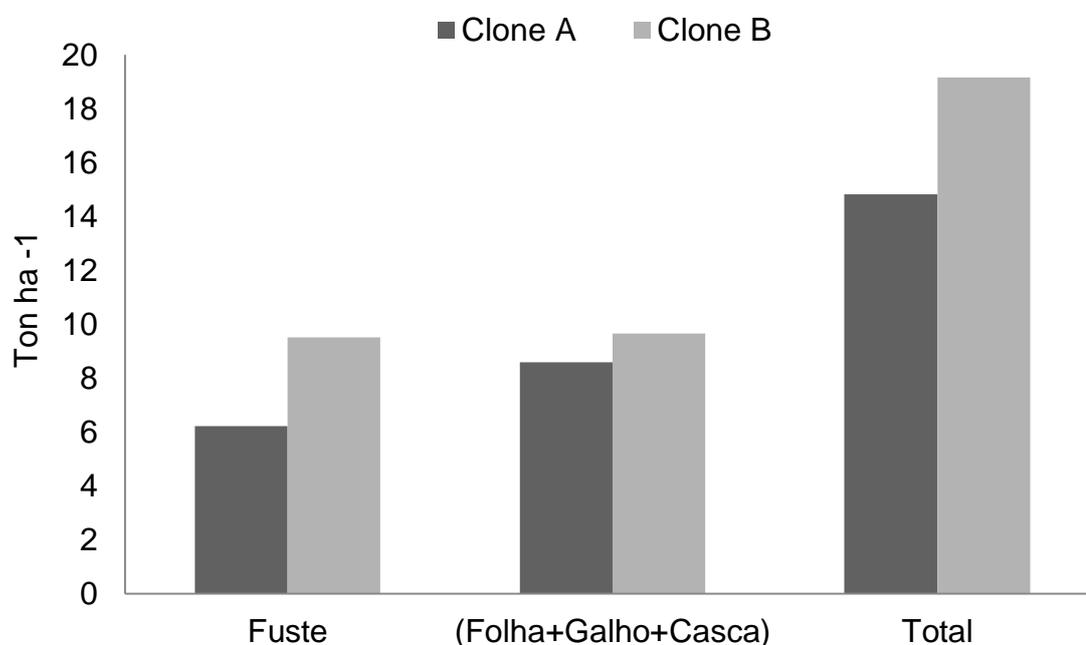


Figura 4 - Valores de dióxido de carbono assimilado pelos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

4.5 Poder Calorífico Superior dos componentes da parte aérea das árvores

Na Tabela 8 encontram-se os valores médios de poder calorífico superior dos componentes da parte aérea dos dois clones nas diferentes idades, espaçamentos e região irrigada e não irrigada, submetidos ao teste de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

Ao comparar os dois clones com a mesma idade, espaçamento e região, foi verificado que os valores de poder calorífico superior no fuste do clone A foram superiores aos do clone B.

Foi possível observar que os valores de poder calorífico superior na folha foram maiores no clone B. Os maiores valores de PCS do galho foram verificados no clone B. Na casca observou maiores valores de PCS no clone A. Constatou-se que os valores não obtiveram muita influência da idade, região irrigada e não irrigada e espaçamento, os valores de PCS diferenciaram mais entre os componentes da parte aérea das árvores.

Tabela 8 - Valores médios de poder calorífico superior nos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

Clone	Idade (meses)	Espaçamento (m)	Região	Fuste (kcal kg ⁻¹)	Folha (kcal kg ⁻¹)	Galho (kcal kg ⁻¹)	Casca (kcal kg ⁻¹)	
A	6	3x3	Irrigada	4659 a	4873 a	4368 b	4076 a	
			Não irrigada	4517 a	4791 b	4440 a	4108 a	
		3x2	Irrigada	4561 a	4818 b	4390 b	4173 a	
			Não irrigada	4470 b	4698 c	4438 a	4102 a	
		3x1	Irrigada	4519 a	4882 a	4367 b	4060 b	
			Não irrigada	4596 a	4609 d	4374 b	4078 a	
		1,5x2	Irrigada	4466 b	4749 c	4381 b	4085 a	
			Não irrigada	4514 a	4685 d	4369 b	4066 a	
		3x0,5	Irrigada	4398 b	4803 b	4373 b	4009 b	
			Não irrigada	4585 a	4645 d	4377 b	4044 b	
		12	3x3	Irrigada	4588 a	4898 a	4373 b	4060 b
				Não irrigada	4530 a	4783 b	4478 a	4104 a
	3x2		Irrigada	4477 b	4828 a	4440 a	4173 a	
			Não irrigada	4509 b	4725 c	4440 a	4098 a	
	3x1		Irrigada	4541 a	4880 a	4353 b	4040 b	
			Não irrigada	4499 b	4636 d	4408 a	4092 a	
	1,5x2	Irrigada	4475 b	4791 c	4486 a	4001 b		
		Não irrigada	4469 b	4649 d	4466 a	4056 b		
B	6	3x3	Irrigada	4561 a	4850 a	4404 b	4061 b	
			Não irrigada	4471 b	4759 c	4416 a	4113 a	
		3x2	Irrigada	4541 a	4858 a	4374 b	3988 b	
			Não irrigada	4420 b	4733 c	4414 a	4026 b	
		3x1	Irrigada	4576 a	4835 a	4359 b	3980 b	
			Não irrigada	4479 b	4692 d	4363 b	4032 b	
		1,5x2	Irrigada	4456 b	4780 b	4441 a	4091 a	
			Não irrigada	4551 a	4705 c	4369 b	4027 b	
		3x0,5	Irrigada	4377 b	4830 a	4397 b	4085 a	
			Não irrigada	4424 b	4755 c	4345 b	4082 a	
		12	3x3	Irrigada	4550 a	4831 a	4391 b	4079 a
				Não irrigada	4469 b	4767 c	4436 a	4113 a
	3x2		Irrigada	4534 a	4849 a	4413 a	3997 b	
			Não irrigada	4473 b	4758 c	4446 a	4055 b	
	3x1		Irrigada	4562 a	4846 a	4352 b	4026 b	
			Não irrigada	4490 b	4710 c	4446 a	4034 b	
	1,5x2	Irrigada	4496 b	4794 b	4453 a	4082 a		
		Não irrigada	4476 b	4720 c	4422 a	4028 b		
3x0,5	Irrigada	4500 b	4850 a	4430 a	4089 a			
	Não irrigada	4473 b	4751 c	4464 a	4097 a			

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

4.6 Estimativa energética dos componentes da parte aérea das árvores

Na Tabela 9 estão os valores médios da estimativa energética dos componentes da parte aérea da árvore dos clones nas diferentes idades, espaçamentos e regiões, os quais foram submetidos ao método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de estimativa energética diferiram estatisticamente ($P < 0,05$). O maior valor de estimativa energética do fuste ocorreu no clone B, sendo 70,73 Gigacalorias por hectare, em espaçamento 1,5x2 m da região irrigada com idade de 12 meses. De maneira geral os maiores resultados na folha são provenientes do clone B aos 12 meses em diferentes espaçamentos e regiões. Observou-se que o valor médio da estimativa energética do galho foi superior no clone A em diferentes espaçamentos e regiões, com exceção do clone B com 12 meses no espaçamento 3x1m na região irrigada. Os maiores valores verificados na casca foi no clone B, sendo principalmente, os maiores resultados no espaçamento 1,5x2 m, com 12 meses nas duas regiões. Santana (2009) ao estudar a produção energética do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em um espaçamento 3x2,8 m com 34 meses de idade, encontrou um valor de 191,31 Gigacalorias por hectare e constatou que os clones *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* possuem grande potencial para produção de energia.

Tabela 9 - Valores médios de estimativa energética dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com diferentes idades, espaçamentos e regiões

Clone	Idade (meses)	Espaçamento (m)	Região	Fuste (Gcal ha ⁻¹)	Folha (Gcal ha ⁻¹)	Galho (Gcal ha ⁻¹)	Casca (Gcal ha ⁻¹)		
A	6	3x3	Irrigada	3,86 j	6,26 d	6,11 c	0,86 e		
			Não irrigada	2,47 j	3,37 d	4,19 c	0,33 e		
		3x2	Irrigada	4,78 j	5,62 d	7,12 c	0,77 e		
			Não irrigada	3,53 j	4,08 d	5,52 b	0,60 e		
		3x1	Irrigada	6,76 i	4,98 d	6,59 c	1,10 e		
			Não irrigada	7,00 i	5,37 d	9,47 c	1,16 e		
		1,5x2	Irrigada	5,07 j	5,59 d	9,09 c	1,10 e		
			Não irrigada	7,89 i	8,14 c	9,06 c	1,50 e		
		3x0,5	Irrigada	9,46 i	6,04 d	10,41 c	1,16 e		
			Não irrigada	4,45 i	4,60 d	6,39 c	0,84 e		
		12	3x3	Irrigada	23,23 g	15,82 a	26,06 a	4,30 d	
				Não irrigada	10,98 i	7,40 c	15,74 b	2,10 e	
	3x2		Irrigada	32,50 f	13,90 b	30,76 a	4,65 d		
			Não irrigada	20,62 g	11,53 b	21,32 a	4,92 d		
	3x1		Irrigada	38,32 e	9,88 c	10,09 c	5,35 c		
			Não irrigada	32,91 f	9,43 c	15,42 b	4,77 d		
	1,5x2		Irrigada	32,33 f	9,16 c	20,10 b	5,00 d		
			Não irrigada	41,21 d	12,59 b	22,55 a	7,31 b		
	3x0,5		Irrigada	30,07 f	5,85 d	10,04 c	4,26 d		
			Não irrigada	15,65 h	4,57 d	7,49 c	2,73 e		
	B		6	3x3	Irrigada	4,10 j	5,16 d	5,77 c	1,46 e
					Não irrigada	2,47 j	3,05 d	3,72 c	0,63 e
		3x2		Irrigada	4,34 j	5,09 d	6,28 c	1,19 e	
				Não irrigada	4,11 j	7,19 c	7,38 c	0,85 e	
3x1		Irrigada		7,71 i	5,80 d	8,98 c	1,41 e		
		Não irrigada		7,98 i	6,50 d	8,61 c	1,53 e		
1,5x2		Irrigada		10,23 i	9,13 c	10,45 c	3,77 d		
		Não irrigada		9,48 i	9,78 c	11,24 c	1,80 e		
3x0,5		Irrigada		11,29 i	5,20 d	7,30 c	1,78 e		
		Não irrigada		6,02 j	3,60 d	5,43 c	1,14 e		
12		3x3		Irrigada	39,84 d	18,98 a	16,88 b	5,75 c	
				Não irrigada	22,43 g	11,49 b	10,88 c	3,60 d	
		3x2	Irrigada	49,04 c	18,02 a	17,93 b	6,11 c		
			Não irrigada	29,55 f	13,78 b	14,30 b	4,56 d		
		3x1	Irrigada	45,96 c	13,83 b	22,65 a	6,20 c		
			Não irrigada	46,53 c	11,99 b	15,40 b	7,49 b		
		1,5x2	Irrigada	70,73 a	17,94 a	17,12 b	9,31 a		
			Não irrigada	64,78 b	16,16 a	12,40 c	9,13 a		
		3x0,5	Irrigada	50,58 c	9,99 c	7,70 c	6,51 b		
			Não irrigada	24,53 g	5,71 d	5,05 c	3,58 d		

As médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo método de Skott-knott em nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 5 é possível observar a estimativa energética média dos componentes da parte aérea da aérea, sendo que o clone B obteve maior valor médio no fuste, 25 Gigacalorias por hectare, e nos outros componentes agregados foram

verificados valores próximos entre si. Porém, ao considerar todos os componentes, no clone B pode ser observado uma média de 50 Gigacalorias por hectare, sendo maior que o clone A que obteve 40 Gigacalorias por hectare. O potencial de energético da biomassa está diretamente relacionada com a quantidade de matéria seca produzida e seu poder calorífico, ou seja, um material com alto poder calorífico e alta quantidade de biomassa acarretará em uma elevada estimativa energética, sendo ideal para utilização com fins energéticos.

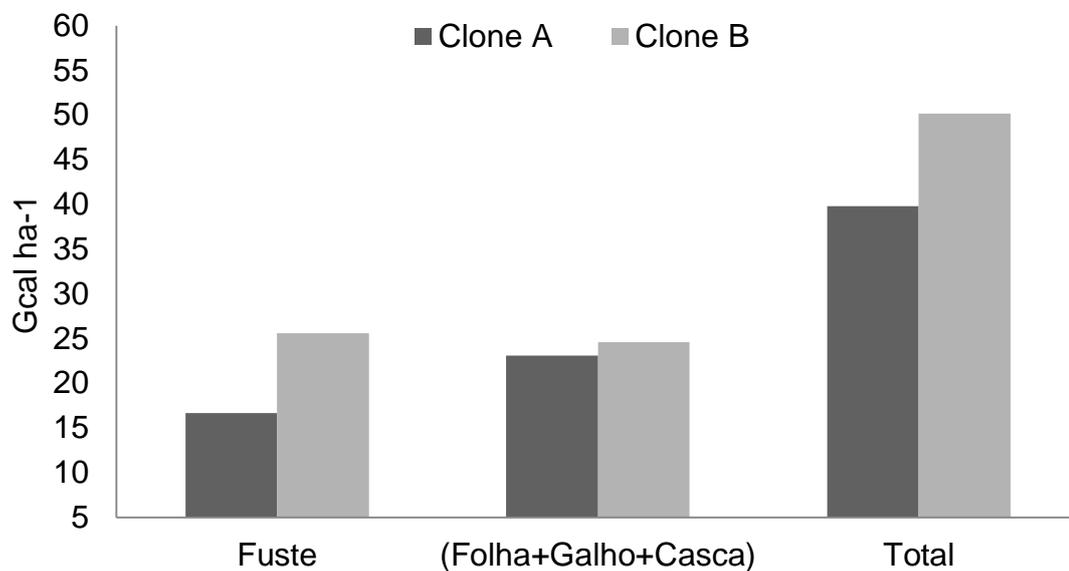


Figura 5 - Valores da estimativa energética dos componentes da parte aérea dos clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, foi possível concluir que o espaçamento, idade e irrigação influenciou na produção de biomassa seca, carbono acumulado, dióxido de carbono assimilado e estimativa energética dos componentes da parte aérea das árvores. Em relação à composição elementar dos componentes da parte aérea, os clones com diferentes idades cultivados em diferentes espaçamentos e regiões, não apresentaram diferenças expressivas.

De modo geral, os maiores valores de biomassa seca do fuste foram verificados no clone B, sendo eles com idade de 12 meses em espaçamentos mais adensados e irrigados. Os outros componentes da parte aérea, quando agregados, dos clones A e B obtiveram biomassa com valores similares.

A quantidade de carbono acumulado, dióxido de carbono assimilado e estimativa energética também foi maior no fuste do clone B, com 12 meses em espaçamentos mais adensados e irrigados. Foi possível inferir que a quantidade de biomassa seca dos componentes influenciou diretamente na quantidade de carbono acumulado, dióxido de carbono assimilado e estimativa energética.

As características energéticas desejadas de biomassa seca advém do clone B em espaçamento mais adensado com doze meses de idade em região irrigada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no pólo gesseiro do Araripe - PE.** 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

ANDRADE, T. C. G. R. de.; BARROS, N. F. de.; DIAS, L. E.; AZEVEDO, M. I. R. Biomass yield and calorific value of six clonal stands of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake cultivated in northeastern Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 467-472, 2013.

ANDRAE, F. H. **Ecologia florestal.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1978, 230p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8633, Rio de Janeiro, 1984.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L. Sustainable management of Eucalyptus plantations in a changing world. *Eucalyptus in a changing world.* **Proc. of IUFRO Conf**, Aveiro, p.11-15, 2004.

BRACELPA. Disponível em:<<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>>. Acesso em: 03 de out. de 2014.

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

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: Análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 63-70, 1978.

BRITO, R. S. **Mercado de carbono: Aspectos financeiros.** 2009. 24 f. Artigo (MBA-Especialista em Mercado Financeiro e Investimento) – Faculdade FORTIUM, Brasília. 2009.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N.; PEREIRA, J.C.; SANTOS, E. M. dos. Produção de biomassa em uma procedência australiana de *Acacia mearnsii* de Wild., plantada no Sul do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 201-206, 2000.

CARNEIRO, A. de C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C. dos.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARVALHO JÚNIOR, R.M. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ.** 2010 Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CARVALHO, A. J. C., MARTINS, D. P. MONERRAT, P. H., BERNARDO, S. Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro – amarelo. i. e qualidade dos frutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1101-1108, 2000.

CHAVES, R. Espaçamento em Eucaliptus. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de eucaliptos. Silvicultura, produtividade e utilização de eucaliptos: **Anais...**, v.3, p. 24 – 29, Salvador, 1997.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de Pinus taeda L.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COSTA, P. M. Breve história da evolução do mercado do carbono. **Revista Silvicultura**, n. 76, p. 25-33, 1998.

COTTA, M. K.; JACOVINE, L. A. G.; PAIVA, H. N. de.; SOARES, C. P. B.; FILHO VIRGENS, A. de C.; VALVERDE, S. R. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 969-978, 2008.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: **Anais...**, v. 2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Bois et Forêts des Tropiques**, Paris, v. 172, p. 33-48, 1977.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 03 de out. de 2014.

ESCOBAR, J. C. et al. Biofuels: environment, technology and food security. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6-7, p. 1275-1287, 2009.

FIBRIA. **Produção de biomassa energética em diferentes espaçamentos, manejos e culturas: Eucalipto.** Dados de análise interno da empresa Fibria (dados enviados por email), 2013.

FURTADO, T. S.; FERREIRA, J. C.; BRAND, M. A.; NEVES, M. D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 577-582, 2012.

GALVÃO, Antonio P. M. **Reflorestamento de Propriedades Rurais para fins produtivos e ambientais – Um guia para ações municipais e Regionais.** EMBRAPA. Brasília, DF. 2000.

GATTO, A.; BARROS, N. D. de.; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. de. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 895-905, 2011.

GOLDEMBERG, J. **Mudanças climáticas e desenvolvimento**. Estudos Avançados, 2000. p. 77-83.

GOMES, C. F. S.; MAIA, A. C. C. Ordenação de alternativas de biomassa utilizando o apoio multicritério à decisão. **Produção**, vol. 23, n. 3, p. 488-499, 2013.

GUIMARÃES, R. F. Ensaio de espaçamento em Eucaliptus saligna Sm. para produção de lenha. Serv. Florestal. **Cia Paulista de Estrada de Ferro**, 1961. 42p.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L.; **Forest products and wood science**. 2.ed. Ames: Iowa State University, 1989. 500 p.

HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação**. 2004. Disponível em <<http://www.irrigaterra.com.br/manejo.php>>. Acesso em: 23 out. 2014.

INCAPER. **Programa de Assitência Técnica e Extensão Rural Proater 2011-2013**. 2011. 15p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES/IBÁ. **Anuário estatístico 2013: ano base 2012**. Brasília: 2013. 146p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES/IBÁ. **Anuário estatístico 2014: ano base 2013**. Brasília: 2014. 100p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: the scientific basis**. 2001. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf>>. Acesso em: 02 de out. de 2014.

JUNG, L. H. **Irrigação no desenvolvimento inicial de híbridos de eucalipto**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana. 2013.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F; MORAES, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LOPES, I. V. **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002.

LUCOM, O.; GOLDEMBERG, J. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil**. Estudos Avançados, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

MARQUES, V. S. O efeito estufa e o aquecimento global. **Anu. Inst. Geocienc**, v.15, p. 93-106, 1992.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass: overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.

MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W.; FERREIRA, C. A.; BRASIL, U. M., Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**, São Paulo, n. 13, p. 143-162, 1976.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum), para uso como fonte alternativa de energia**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2008.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. dos R. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**, vol. 30, n. 1, p. 9-47, 2008.

MOULIN, J. C. **Produção de madeira de eucalipto de curta rotação em povoamentos adensados para energia**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2013.

MOUTINHO, P.; BUENO, M. O inventário brasileiro de emissões e o desmatamento na Amazônia. **Clima em revista**, v. 2, n. 3, p. 1, 2002.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.33, n.3, p.415-420, 2009.

NUTTO, L. et al. O mercado internacional de CO₂: o impacto das florestas naturais e das plantações. In SANQUETTA, C.R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba:2002. P. 89-108.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T. BARNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v.30, n.11, p.973-982, 2006.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1. p. 15-23, 2003.

OLIVEIRA, J. B. de et al. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 59-73.

PACHECO, M. R. P. dos S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos avançados**, vol.4, n.9, p. 204-220. 1990.

PAIVA, H.N.; JACOVINE, L.A.G.; RIBEIRO, G.T.; TRINDADE, C. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**. Viçosa. Ed. Aprenda Fácil, 2001, 138p.

PENEDO, W. R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte. Fundação CETEC, 1980.

PETROFF, G.; DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Revue Bois et Forêts des Tropiques, France**, n. 177, p. 51-64, 1978.

POMPELI, M. F.; OROZCO, A. de. J. J.; OLIVIERA, M. T. de.; RODRIGUES, B. R. M.; BARBOSA, M. O.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, A. F. M. de.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. de. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomia Colombiana**, 29(2), p. 231-240. 2011.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R. de.; TRUGILHO, P. F. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, mar. 2014.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Parâmetros qualitativos de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) estudados para a produção de energia através da biomassa. **Circular Técnica Embrapa**. Seropédica: Embrapa, p. 4, 2004.

RIBEIRO, Sabina Cerruto. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

SANTANA, R. C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo.. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.697-706, 2008.

SANTANA, Wilma Michele. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, C. **Novas Alternativas de Testes de Agrupamentos Avaliadas por meio de Simulação Monte Carlo**. 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; 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**, Lavras, v. 18, n. 1, 2012.

SCHUMACHER, M. V., CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie maidenii. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1. p. 45-53, 2001.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Universidade Federal de Lavras. FAPE. Lavras, 1997, 433p.

SILVA, Evane. **Biomassa cultivada para produção de energia: estudo comparativo entre capim elefante e eucalipto com a incorporação da energia solar na secagem**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, MG, 2012.

SILVA, I. M. da.; ARAKAKI, K. K. Carbono florestal em sistemas de integração lavourapecuária-floresta. **Revista Política Agrícola**, n. 4, p. 91-105 , 2012.

SILVA, J. C. et al.. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden . **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.795-799, 2005.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOARESa, C. P. B. et al. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis*na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 179-189, 1996.

SOARESb, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa, MG, ed: UFV, 2006. 276p.

SOUSA, Juliana Torres. **Balço da emissão de carbono em uma unidade de carvoamento no município de Seropédica, RJ**. 2008. 21 f. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology Management**, v. 255, n. 3/4, p. 920-930, 2008.

TRUGILHO, P. F; ARANTES, M. D. C; PÁDUA, F. A. de; ALMADO, R. de P; BALIZA, A. E. R. Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 33-40, 2010.

TRUGILHO, Paulo Fernando. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, 2009.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C. dos.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.

VILELA, H. e CERIZE, D. **Capim elefante Paraíso na geração de energia**. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraíso_geracao_energia.htm>. Acesso em: 9 de nov. de 2014.

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região de serrado de Minas Gerais**. Brasília: IBDF, p. 41-52, 1984. (Boletim Técnico, 1).

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984, 21p.

WINK, C. **Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* sp. implantados em campo nativo**. 2009. 130p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.