

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de
Eucalyptus grandis x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de
adubação potássica**

Maria Rosa Daniel Muianga

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Área
de concentração: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2013**

Maria Rosa Daniel Muianga
Engenheira Florestal

Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de adubação potássica

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Profa. Dra. **LUCIANA DUQUE SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Área
de concentração: Silvicultura e Manejo

Piracicaba
2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Muianga, Maria Rosa Daniel

Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de adubação potássica / Maria Rosa Daniel Muianga. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
69 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. *Eucalyptus* 2. Ecofisiologia 3. Potássio 4. Crescimento 5. Área da copa 6. Estômatos
I. Título

M953r

CDD 634.9734

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, amparo, por atender às minhas necessidades e dar-me o mundo.

À gloriosa Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e seu corpo docente pela oportunidade de realizar o mestrado e pela contribuição na minha formação.

À Prof. Dr^a Luciana Duque Silva, pela oportunidade, confiança, ensinamento e pela amizade inestimável ao longo destes anos.

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu Dias pelo apoio na análise estatística e valiosas contribuições.

Ao Prof. Dr. Marcílio de Almeida pelas contribuições, ensinamento e apoio no laboratório.

Ao Prof. Dr. Mário Tomazello Filho e à técnica de laboratório Maria Bermudez, pela disponibilização do laboratório e apoio na aquisição de material.

Ao Prof. Dr. Antônio Natal Gonçalves pelos ensinamentos e todo apoio prestado.

À minha família pelo apoio incondicional, incentivo e principalmente por acreditar em mim.

Ao viveiro de mudas florestais Piraflora, pelo fornecimento das mudas e apoio na pesquisa.

À Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga da ESALQ-USP e seus funcionários, Eng^o Rildo Moreira e Moreira, Estevão, Dorival, Antônio (Toninho), Elaine, Helena, Marina, Aline e Paloma pela infra-estrutura, apoio na condução do experimento e disponibilidade incondicional.

Ao grupo de estágio, em especial Daniel Costa, Renato Alexandre, Lucas Pirola e Káren Bermudez pela dedicação e auxílio em campo e no laboratório.

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura, Alexandre Ferraz, Juliana Munhoz e Rafaela Carneiro, pelos momentos juntos, amizade e contribuições dadas ao trabalho.

Aos amigos Julieth Parra, Cláudia Nogueira, Débora Sansine, Sol Bueno, Priscila Geroto, Michelle Bottin, Ivanka Rosada, família Bittencourt e família Duque, pela amizade, suporte e acima de tudo por se tornarem minha família nos últimos anos.

À Capes, pela bolsa de mestrado concedida.

E a todos que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho e na minha vida...

Muito Obrigada!!!

Movida pelo desafio!!!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 DESENVOLVIMENTO	17
2.1 Déficit hídrico e os processos morfofisiológicos das plantas	17
2.2 Déficit hídrico e o potássio na planta.....	19
2.3 Déficit hídrico e o crescimento das plantas	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Descrição da área	27
3.2 Desenho experimental	29
3.3 Análise nutricional	29
3.4 Avaliação do crescimento	30
3.5 Área foliar, densidade e tamanho dos estômatos	31
3.6 Deposição do folheto	32
3.7 Análise estatística	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Absorção dos nutrientes.....	35
4.2 Caracterização do crescimento	38
4.2.1 Altura, DAP e área da copa.....	38
4.3 Área foliar, densidade e tamanho dos estômatos	43
4.4 Deposição do folheto	49
5 CONCLUSÕES	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE.....	67

RESUMO

Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de adubação potássica

A necessidade de expansão da eucaliptocultura em áreas com déficit hídrico, leva à necessidade de entender os processos fisiológicos relacionados ao crescimento fundamentais para possibilitar a alta produtividade das florestas nessas áreas. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adubação potássica no crescimento, respostas ecofisiológicas e nutricionais em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, para tal, instalou-se na Estação Experimental de Ciências Florestais da ESALQ/USP em Itatinga-SP, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico um experimento em blocos ao acaso em arranjo fatorial 6 X 2 (seis clones e duas diferentes doses de adubação potássica) e parcelas retangulares de 25 plantas, nas quais as 9 centrais constituíram a parcela útil. A adubação de base foi uniforme em todo experimento, e aos três e oito meses de idade adubou-se as parcelas sem omissão de potássio com 50 e 78 Kg ha⁻¹ de KCl respectivamente totalizando 140 kg ha⁻¹ de potássio aplicados ao longo do experimento. A avaliação da absorção dos macronutrientes foi feita aos seis e quinze meses pós-plantio, em três indivíduos amostrados aleatoriamente de cada parcela. As avaliações de crescimento foram realizadas trimestralmente em todos os indivíduos da parcela, com início da medição da altura aos dois meses, área da copa aos quatro meses e DAP aos doze meses pós-plantio. A avaliação da eficiência e uso de água foi feita aos quinze meses com base na área foliar e nas características estomáticas dos clones, em quatro blocos, dos quais três árvores foram amostradas aleatoriamente. O folheto foi coletado mensalmente em todas as parcelas, com início aos quinze meses de idade. Maiores crescimentos em altura, DAP e área da copa, foram apresentados pelos clones 2 e 6 caracterizados por apresentarem resistência ao estresse hídrico, e pelos clones 1 e 4 de moderada resistência. Sob omissão de potássio, os clones apresentam maiores densidades estomáticas acompanhadas pela redução no diâmetro dos estômatos. Houve variação do estado nutricional dos clones em função do material genético. A variação nas respostas dos clones à adubação potássica teve início aos doze meses para as variáveis de crescimento. Sob adubação potássica, os clones mostraram-se eficientes no uso da água, por apresentarem estômatos maiores em densidades menores, o que proporcionou maior crescimento.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; Ecofisiologia; Potássio; Crescimento; Área da copa; Estômatos

ABSTRACT

Relationship between growth and ecophysiological responses in clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrids submitted to different potassium fertilization

The need for expansion of eucalyptus plantations in areas with water deficit, leads to the need to understand the physiological processes related to growth important to enable high forests productivity in these areas. In order to evaluate the effect of potassium fertilization on growth, nutritional and ecophysiological responses in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones an experiment was settled at the Experimental Station of Forest Sciences ESALQ/USP in Itatinga-SP in red-yellow latossols dystrophic, in a randomized block design in a factorial 2 X 6 (six clones and two different potassium fertilization doses) and rectangular plots of 25 plants, of which the 9 central plants were the useful plot. The basic fertilization was uniform throughout the experiment, and at 3 and 8 months, the plots without omission of potassium were fertilized with 50 and 78 kg ha⁻¹ of KCl respectively, totalizing 140 kg ha⁻¹ applied throughout the experiment. The macronutrients absorption evaluation was made at six and fifteen months after planting, in three random plants in each plot. Quarterly, growth evaluations were performed in all subjects, starting measuring heights at two months, crown area at four months and DBH at twelve months after planting. At fifteen months in four blocks, of which three trees were selected randomly, water use efficiency was evaluated, based on clone's leaf characteristics and stomata. The litter was collected monthly in all plots, starting at 15 months. Highest increases in height, DBH and crown area were presented by clones 2 and 6 which are characterized by their resistance to water stress, and the clones 1 and 4 which are characterized by moderate resistance. Under potassium omission, the clones showed higher stomata densities accompanied by stomata diameter reduction. There was variation in the nutritional status of clones as a function of genetic material. The variation in the clone's responses to potassium fertilization for the growth variables begin at twelve months. The clones were efficient in water use, because they have larger stomata in lower densities, which provided greater growth.

Keywords: *Eucalyptus*; Ecophysiology; Potassium; Growth; Crown area; Stomata

1 INTRODUÇÃO

A área de plantio de *Eucalyptus* no Brasil cresceu 2,5% de 2010 a 2011 o que representa quase a metade do crescimento verificado de 2009 a 2010. Essa desaceleração no crescimento da área de plantio foi devido entre outros fatores às questões econômicas, edafoclimáticas e pela dificuldade na aquisição de novas terras. Várias medidas têm sido implementadas para influenciar o crescimento das áreas de plantio, tais como, condições fundiárias, aliadas à política de investimento em pesquisa e desenvolvimento, que proporcionam maior produtividade por hectare e, conseqüentemente, o menor ciclo de colheita para os plantios florestais estabelecidos. Estas pesquisas, buscam aumentar a produtividade, e também investigam a adaptação das principais espécies e genótipos de interesse florestal às novas fronteiras do setor (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2012).

A busca das indústrias florestais por material genético que mantenham uma alta produtividade quando plantadas em condições edáficas e climáticas adversas, tem aumentado devido à expansão dos plantios para áreas marginais com diversos níveis de deficiência hídrica, variações climáticas globais como longos períodos de seca e solos de baixa fertilidade natural.

Avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre a produtividade é importante pois, o crescimento das espécies de *Eucalyptus* e de seus híbridos é afetado pela disponibilidade de água, e quando cultivados em áreas favoráveis, com um suprimento adequado de água e nutrientes, a produtividade é elevada (LI; WANG, 2003; JALEEL et al., 2009; GÜRSOY, BALKAN; ULUKAN, 2012). Portanto, torna-se necessário selecionar materiais genéticos que apresentem mecanismos eficientes de uso de água e nutrientes, que sejam tolerantes ao déficit hídrico principalmente a partir da intensificação da competição por água, período em que os problemas originados pelo baixo suprimento da água se intensificam.

Esta avaliação torna-se complexa, pelo fato de não existir um mecanismo universal de resistência ao déficit hídrico, pois as plantas respondem através de vários mecanismos associados para à sua sobrevivência em condições de baixa disponibilidade de água (NOGUEIRA et al., 2005).

Por existir esta complexidade, o desempenho em crescimento dos clones com baixa resistência ao déficit hídrico pode ser melhor do que o esperado, pois estes usam vários mecanismos associados para a sua sobrevivência em ambientes adversos (NOGUEIRA et al., 2005; WIKBERG; ERLING, 2007).

Quando a oferta de água é insuficiente, o crescimento, reprodução e sobrevivência das plantas pode ser comprometido, pela perturbação dos processos morfológicos e fisiológicos (CAVALCANTE; BRAZ; MATTOS, 2010; LISAR et al., 2012).

Para reduzir a perda de água, as plantas desenvolveram várias estratégias de adaptação, e estas, nem sempre são específicas, variando desde as alterações no crescimento, área foliar, sistema radicular, fotossíntese, translocação de carboidratos ao ajustamento osmótico e abertura estomática (COSTA, 2001; PAIVA; OLIVEIRA, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O fechamento dos estômatos bloqueia o influxo de dióxido de carbono para as folhas afetando o acúmulo de fotoassimilados o que implica na redução do crescimento e da produtividade. O grau de redução de crescimento e produção causado pelo déficit hídrico, por meio de diminuição da área foliar, depende da relação entre a taxa de extensão e potencial de água na folha durante o estresse, e na recuperação após a chuva ou irrigação (HSIAO, 1973; GHOLZ; EWEL; TESKEY, 1990). Portanto, a duração e severidade do déficit, o estágio de desenvolvimento e o genótipo da planta, irão influenciar na recuperação da planta aos danos sofridos (ROYO; GIL; PARDOS, 2001; WIKBERG; ERLING, 2007).

O estabelecimento de plantações florestais em áreas com baixas precipitações e degradadas, pode ser facilitado se houver um conhecimento das diferentes respostas ecofisiológicas e suas variações entre os híbridos de *Eucalyptus*.

São diversos os estudos feitos com o intuito de avaliar o consumo de água por florestas em função do manejo, no entanto, são raros os estudos que tratam especificamente do manejo da fertilização, com a perspectiva de aumentar a eficiência de uso de água e nutrientes por florestas plantadas com *Eucalyptus sp* (ALMEIDA, 2009).

O potássio é importante nas diversas funções vitais das plantas, tais como a osmótica, ativação enzimática e processos de crescimento, e tem sido considerado um dos elementos mais limitantes na produtividade dos plantios florestais em diferentes locais do Brasil. Pesquisas desenvolvidas no estado de São Paulo, em povoamentos com diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus sp*, demonstraram que estes apresentam deficiência de potássio (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Em condições de déficit hídrico, plantas nutridas com potássio toleram melhor o estresse, utilizando a umidade do solo de forma mais eficiente. Assim, um suprimento inadequado de potássio leva a uma redução na taxa fotossintética e a uma abertura irregular dos estômatos (BARROS; NOVAIS; NEVES, 1990; SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000), relatam que plantas bem nutridas com potássio são mais resistentes à secas e geadas devido à

maior retenção da água, e a necessidade de potássio aumenta com o acúmulo de biomassa, portanto com a idade do *Eucalyptus*.

Pelo exposto acima, pode dizer-se que o crescimento e o desenvolvimento das plantas tornam-se diretamente influenciados pela interação entre sua constituição genética, regime de chuvas, clima e pelo manejo da fertilização e solo, e devido a esses preceitos desenvolveu-se este estudo baseado na seguinte hipótese:

- I. se a adubação potássica influe na regulação estômática que por sua vez afeta a eficiência na utilização da água pela redução da transpiração e conseqüentemente na fotossíntese, então diferentes clones respondem ecofisiologicamente com o mesmo padrão à variação da adubação potássica.

Com base na hipótese definiu-se os seguintes objetivos:

- geral: avaliar o efeito da adubação potássica no crescimento, respostas ecofisiológicas e nutricionais em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*;
- específicos: avaliar os efeitos em seis clones de eucalipto submetidos à distintas doses de adubação potássica, em relação à:
 - I. a absorção de nutrientes;
 - II. ao crescimento;
 - III. a eficiência de uso de água com base nas características estomáticas; e
 - IV. a deposição de folheto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Déficit hídrico e os processos morfofisiológicos das plantas

Manter a sobrevivência e o crescimento em condições de déficit hídrico nas plantas, depende do número dos processos fisiológicos que nelas ocorrem e dos seus atributos físicos (MERCHANT et al., 2006).

Todos os processos fisiológicos da planta são afetados direta ou indiretamente pela disponibilidade de água, o que a torna um dos maiores fatores que regulam o crescimento. O sucesso das plantas está também relacionado ao solo no qual estas se desenvolvem, pois este é fonte de água e nutrientes minerais essenciais ao desenvolvimento destas (MCINTYRE, 1987; KRAMER; BOYER, 1995).

A fisiologia das respostas das plantas ao déficit hídrico é complexa e envolve mudanças adaptativas e/ou efeitos nocivos. Esta complexidade é devida a alguns fatores como espécies de plantas e variedades, dinâmica, duração e intensidade da diminuição da água no solo, alterações na demanda de água da atmosfera, condições ambientais, bem como o crescimento das plantas (MEDRANO et al., 1998; DAMATTA, 2003).

As interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-água, resultam no suprimento de água à planta. O sistema torna-se dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da planta dependerá sempre destes três seguimentos. À medida em que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorver água, devido ao aumento da força de retenção e diminuição da disponibilidade de água no solo (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O déficit hídrico em plantas ocorre principalmente durante a estação seca, quando a água do solo não está disponível para as plantas por dias, semanas ou até meses, e o modo como este se desenvolve na planta é bastante complexo, pois afeta praticamente todos os aspectos de crescimento, incluindo modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (BEZERRA et al., 2003; CAVALCANTE; BRAZ; MATTOS, 2010).

Os efeitos do déficit hídrico sobre as plantas estão relacionados ao período de ocorrência durante o seu desenvolvimento, e a extensão desses efeitos depende da sua intensidade e duração, e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente (CHAVES, 1991; KELLING, 1995).

Quando as plantas encontram-se no campo, estas respostas podem ser modificadas sinergicamente ou antagonicamente por superimposição de outros estresses. Para fazer frente ao déficit, plantas usam mecanismos de resistência que consistem em tolerar o estresse de acordo com o genótipo, elas tornam-se morfológicamente adaptáveis pela ocorrência de mudanças nos mecanismos moleculares e fisiológicos. Contudo, como resultado da tolerância,

ocorre a redução da fotossíntese e conseqüentemente, a baixa produtividade da biomassa (CHAVES et al., 2002; TAIZ; ZEIGER, 2009; LISAR et al., 2012).

Outras respostas fisiológicas indiretas que as plantas adotam quando estão sob deficiência hídrica são a conservação da água do solo, através do decréscimo da produção da área foliar, o fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão foliar (MCCREE; FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Estômatos podem fechar completamente sob déficit hídrico moderado a severo, dependendo da espécie da planta. Espécies tolerantes controlam a abertura estomática permitindo a fixação de carbono e melhorando a eficiência de uso de água. O aumento da resistência estomática sob déficit pode indicar a eficiência da espécie em conservar água (LISAR et al., 2012).

De acordo com (SCHULTZ; MATTHEWS, 1993), a sensibilidade do desenvolvimento das folhas ao déficit hídrico pode mudar durante o dia, ou nas diferentes estações do ano, porém, de modo geral, o entendimento dos mecanismos utilizados pela planta é ainda limitado. Muitos trabalhos têm procurado definir o limite crítico de água no solo, a partir do qual o desenvolvimento das plantas é afetado, e a redução na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas quando submetidas ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2009). Esta redução está associada ao desenvolvimento foliar das plantas, podendo estar relacionada com a pequena redução no tamanho de folhas (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Por tanto, a reação das plantas ao déficit hídrico difere significativamente a vários níveis organizacionais dependendo da intensidade e duração do mesmo, bem como da idade, grau de adaptação e da atividade sazonal ou mesmo diária; pois o déficit hídrico leva à expressão de conjuntos de genes envolvidos na aclimatação e adaptação ao estresse. E como estratégia de sobrevivência, as plantas fazem uma composição equilibrada entre o rendimento e a sobrevivência, otimizando sua morfologia, fisiologia e metabolismos dos órgãos das células (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; LANDSBERG; SANDS, 2012).

O conhecimento das causas e efeitos do déficit hídrico nas plantas junto com a compreensão das respostas das plantas criou uma intervenção biotecnológica (transgenia) para melhorar a adaptabilidade à seca. No entanto este conhecimento ainda tem muitas áreas obscuras e é necessário intensificar os esforços na promoção da apreciação à questão, tornando-se importante analisá-la de modo que os efeitos diretos da seca sejam distinguidos dos efeitos indiretos do déficit hídrico na taxa de crescimento e desenvolvimento (LEDIG;

BORMANN; WENGER, 1970; GERBAUER; REYNOLDS; STRAIN, 1996; LISAR et al., 2012).

2.2 Déficit hídrico e o potássio na planta

Plantas absorvem potássio em quantidades grandes em relação aos outros elementos minerais (exceto nitrogênio), sendo este o nutriente que mais limita frequentemente o crescimento e produção das plantas em países tropicais. É considerado o cátion mais comum nos processos bioquímicos das plantas e atua como ativador ou cofator em vários sistemas de enzimas. O suprimento de potássio afeta uma grande variedade de processos fisiológicos nas plantas superiores, pois desempenha funções essenciais e vitais no metabolismo, crescimento e adaptação ao estresse tais como, a transferência e utilização de energia, a síntese de proteínas, e o metabolismo de carboidratos; sendo também importante para a osmoregulação, expansão celular, movimentos estomáticos, respiração e fotossíntese (MARSCHNER, 1995; POTCHANASIN et al., 2009; ÇAKMAK, 2010; RÖMHELD; KIRKBY, 2010).

Existe uma evidência crescente que as plantas que sofrem com estresses ambientais como deficiência hídrica, têm uma grande necessidade interna de potássio (ÇAKMAK; ENGELS, 1999). A razão para o aumento da necessidade de potássio por essas plantas, parece estar relacionada ao fato deste ser requerido para a manutenção da fixação do CO₂ fotossintético. Quando as plantas são cultivadas sob baixa oferta de potássio, o déficit hídrico induz uma produção maior de espécies ativas de oxigênio (ROS), pelo fato da deficiência potássica induzir distúrbios na abertura estomática, relações hídricas e cloroplastos, causando uma redução da fotossíntese (GUPTA; BERKOWITZ; PIER, 1989; MARSCHNER, 1995; MENGEL; KIRBY, 2001). Esta ideia é corroborada por (ÇAKMAK, 2005), ao afirmar que o aumento do déficit hídrico resulta no aumento da demanda pelo potássio para a manutenção da fotossíntese e proteção dos cloroplastos dos danos oxidativos.

Sob déficit hídrico, existindo uma pequena disponibilidade de potássio no início do estágio de crescimento, toda a estrutura da planta sofre, podendo ocorrer danos em proporções elevadas. Assim, plantas acumulam potássio como uma estratégia de segurança para permitir sua sobrevivência a um déficit hídrico repentino (KAFKAFI, 1990).

Plantas com uma nutrição potássica adequada estarão capacitadas a suportar períodos longos de baixa umidade de solo (JIN et al., 2011), pois a condição de potássio na planta também afeta a facilidade que estas possuem de extrair água do solo, tornando as plantas bem nutridas com potássio mais eficientes na utilização da umidade do solo (EL-HADI; ISMAIL; EL-AKABAWY, 1997).

Plantas com deficiência potássica apresentam um fenótipo e sintomas fisiológicos típicos, caracterizados pela redução no crescimento especialmente nas partes aéreas devido à falta osmótica, murchamento, fechamento dos estômatos que contribui para a redução da fotossíntese e regulação da transpiração (THIEL; WOLF, 1997; ARMENGAUD; BREITLING; AMTMANN, 2004; YANG et al., 2004; JIN et al., 2011).

Os efeitos da deficiência potássica na fotossíntese são ainda considerados imprecisos, pois existem várias contradições nos resultados obtidos em diversos experimentos realizados por (GUPTA; BERKOWITZ; PIER, 1989; SUDAMA et al., 1998; BEDNARZ; OOSTERHUIS, 1999; BASILE et al., 2003; ARQUERO; BARRANCO; BENLLOCH, 2006; CABAÑERO; CARVAJAL, 2007), nos quais ao avaliar oliveiras, amendoeiras e algodoeiros bem irrigados e sob déficit hídrico, apenas para alguns dos autores a condutância estomática foi influenciada pela concentração de potássio nas folhas.

A redução da taxa fotossintética deveria conduzir à redução dos fotossintatos. Porém, um aumento na concentração dos açúcares solúveis é normalmente observado durante a deficiência potássica (BLATT, 1988; MARSCHNER, 1995) sugerindo que a fotossíntese pode ser causada pelo feedback da inibição pela razão do decréscimo da atividade das fontes-dreno (KANAI et al., 2007) ou incorporação insuficiente de carbono nas proteínas (BLATT, 1988).

Uma das relações entre a nutrição potássica e aspectos hídricos da planta, é a redução do potencial de água devido à acumulação do potássio no xilema, o que eleva a absorção de água e a pressão das raízes das plantas (BAKER; WEATHERLEY, 1969). Elevadas concentrações de potássio no mesófilo também provocam redução no potencial osmótico, tendo um efeito benéfico no consumo de água, pois o baixo potencial osmótico melhora a retenção de água. Esta seria uma das razões pelas quais as plantas bem supridas com potássio requerem relativamente menos quantidade de água em relação à síntese de materiais orgânicos (MENGEL; KIRBY, 2001).

Marschner (1995), considera o possível papel da prolina na tolerância ao déficit hídrico, como uma outra relação entre a nutrição potássica e os aspectos hídricos da planta, pois, geralmente o seu nível é elevado em plantas bem supridas com potássio. Na maioria dos *Eucalyptus*, nos quais a concentração de prolina é muito pequena, ela não aumenta necessariamente com a seca, contando pouco na percentagem total da pressão osmótica (MERCHANT et al., 2006; WARREN; BLEBY; ADAMS, 2007).

Várias outras poliaminas são relacionadas à deficiência potássica nas plantas, como é o caso da diamina putrescina que o seu aumento é considerado uma característica bem

estabelecida da deficiência. O papel exato das poliaminas ainda não foi totalmente elucidado, mas sugere-se que estas agem como separador metabólico pela guarnição das moléculas durante o estresse e regulam o canal de íons, estando conseqüentemente envolvidas na homeostase (RICHARDS; COLEMAN, 1952; ALTMAN; LEVIN, 1993; BOUCHEREAU et al., 1999; AMTMANN et al., 2005).

Quando a planta se encontra sob deficiência potássica, os estômatos não funcionam devidamente e a perda de água pela planta pode alcançar níveis prejudiciais, pois estes têm a função de regular a perda de água pela transpiração (GETHING, 1990).

Para balancear a transpiração e a fotossíntese, as células guarda integram vários sinais fisiológicos relacionados à demanda da transpiração, fotossíntese e o estado hidráulico da planta (ROELFSEMA; HEDRICH, 2005).

Vários experimentos têm demonstrado que as respostas dos estômatos são muitas vezes mais intimamente ligadas à umidade do solo do que à condição de água na folha, pois o fechamento dos estômatos ocorre em resposta à migração dos compostos químicos sintetizados nas raízes desidratadas (CHAVES et al., 2002).

A deficiência hídrica pode estimular a síntese do ácido abscísico (ABA), e este por sua vez, estimula o fechamento dos estômatos em muitas espécies vegetais. As concentrações de ABA no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, aumentam com um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que este não afete as relações hídricas da parte aérea, levando assim ao fechamento estomático (SANTOS; CARLESSO, 1998; STEUDLE, 2000; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Portanto, o comportamento dos estômatos é de extrema importância na capacidade fotossintética das plantas, pois elas não podem melhorar a sua capacidade fotossintética sem aumentar a área foliar devido às limitações biofísicas. Limitações nos estômatos podem ocorrer pela redução da sua densidade ou pela redução da condutância estomática, conduzindo a uma redução da fotossíntese (REICH et al., 1999; PEREIRA; POLO, 2011).

A densidade estomática, o grau de abertura do poro estomático e sua regulação são de extrema importância para a adaptação das plantas em regiões semi-áridas ou em ambientes sazonais, onde há uma estação seca claramente definida. Quando as plantas encontram-se em ambientes com baixa disponibilidade de água no solo e alta intensidade de luz, o aumento da densidade estomática é entendido como um mecanismo de sobrevivência, pois estaria relacionado a um melhor controle da condutância estomática, propiciando um aumento na capacidade de regular as perdas de água por transpiração (LLERAS, 1977; MEDRI; LLEDRAS, 1980; NAVES; ALVARENGA; OLIVEIRA, 1994; PEARCE et al., 2006).

A densidade estomática está relacionada com o tamanho, posição e controle da abertura estomática, assim, maior densidade e menor tamanho dos estômatos aumenta a resistência estomática, e conseqüentemente, limita o excesso de perda de água por transpiração, afetando a absorção do CO₂ (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997; SILVA, 2008).

Os parâmetros morfológicos dos estômatos, entre eles, o tamanho, frequência e distribuição variam enormemente entre as diferentes espécies arbóreas de um mesmo ambiente e entre ambientes, o que mostra a capacidade que as plantas possuem de reajustar estas características em resposta às pressões ambientais presentes no momento de formação da folha (ABRAMS; KUBISKE; MOSTOLLER, 1994; BOEGER; WISNIEWSKI, 2003; PANDEY; NAGAR, 2003; PEARCE et al., 2006).

Assim, quando a folha se desenvolve, ocorre uma relação quantitativa entre a densidade estomática e a área foliar, de modo que a densidade estomática decresce até cessar o processo de expansão celular. Não necessariamente, o aumento da densidade estomática causa a redução no tamanho dos estômatos, pois folhas jovens podem apresentar maior densidade estomática, melhorando o desempenho fotossintético, porém, a baixa densidade pode ser compensada pelo aumento da abertura do poro estomático (GAY; HURD, 1975; SCHLÜTER et al., 2003; TARI, 2003; BUSSIS et al., 2006).

Estômatos pequenos respondem mais rápido comparado aos estômatos grandes, devido a uma maior área de superfície da membrana, e combinado à alta densidade de estômatos pode permitir à folha ajustar a condutância estomática de acordo com as condições (favoráveis ou não) em que a planta se encontra. Assim, a eficiência dos estômatos pode ser positivamente correlacionada com a condutância estomática e negativamente correlacionada com o tamanho dos estômatos. Contudo, essas relações funcionais não foram confirmadas até ao momento (DRAKE; FROEND; FRANKS, 2013).

Embora o nível do CO₂ no ambiente seja o principal agente a influenciar a densidade estomática, ela também é influenciada pela disponibilidade de água, intensidade de luz e temperatura, havendo assim uma correlação negativa entre a densidade estomática e o CO₂ do ambiente e uma correlação positiva entre o CO₂ e o tamanho dos estômatos; e a deficiência hídrica conduz a uma alta densidade estomática, mas em tamanho menor (WOODWARD, 1987; ASHTON; BERLYN, 1992; SCHLÜTER ET AL., 2003; XU; ZHOU, 2008; FRANKS; BEERLING, 2009; FRANKS; DRAKE; BEERLING, 2009; WANG et al., 2011).

2.3 Déficit hídrico e o crescimento das plantas

O crescimento pode ser mensurado no nível da folha, e expressado como sendo a quantidade de carbono fixada por unidade de tempo. É frequentemente tido como o aumento total da massa em um intervalo de tempo, incluindo as partes aéreas e radicular. Pode também ser definido como sendo a acumulação da biomassa aérea e basal, ou parte utilizável dos troncos. O crescimento da árvore é geralmente descrito em termos de incrementos de volume, mas a massa tem a vantagem de levar em consideração diferentes densidades da madeira (DYE, 2000). Portanto, o crescimento é uma ferramenta importante para acessar a produtividade das diferentes culturas (LI, 2000; LI; WANG, 2003).

O crescimento é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao déficit hídrico devido à redução da pressão de turgor. Quando a perda da água ocorre na planta, o primeiro efeito é a descida súbita da pressão de turgor, causando um efeito negativo no crescimento celular, ao promover a separação das membranas das proteínas e decrescer o conteúdo da clorofila (JAYAKUMAR; JALEEL; VIJAYARENGAN, 2007; JALEEL et al., 2009).

Os efeitos climáticos no crescimento são confundidos com o decréscimo do índice de área foliar nos últimos estágios da rotação, fenômeno característico das plantações de rápido crescimento. Estudos ecofisiológicos e hidrológicos a longo prazo em escala de bacia hidrográfica, aparentam ser a melhor forma de melhorar continuamente as técnicas de manejo florestal, otimizar o uso de água e aumentar a produtividade florestal (ALMEIDA et al., 2007).

Períodos sazonais ou longos de déficit hídrico podem reduzir significativamente a produtividade das plantações de *Eucalyptus* e podem também contribuir para o aumento da mortalidade (DYE, 2000).

A arquitetura de uma árvore adulta não é apenas a reflexão das condições presentes sob as quais a planta cresceu, mas é o resultado de todos fatores genéticos e ambientais que têm operado enquanto a planta se desenvolve de muda para a maturidade (ARCHIBALD; BOND, 2003).

De modo geral, a arquitetura da árvore é o resultado da troca no estágio juvenil entre o crescimento vertical (muita das vezes rápido), e o crescimento lateral (muita das vezes menos rápido) (ACKERLY; DONOGHUE, 1998).

O crescimento inicial é um fator importante na sobrevivência subsequente e desenvolvimento individual das espécies arbóreas. As mudas de rápido crescimento têm uma vantagem inicial competitiva, mas reagem de modo diferente à variação da umidade do solo. No campo, não é apenas o valor absoluto da deficiência hídrica que pode ser tolerada que é

importante para a sobrevivência das plantas, mas também a resposta às mudanças contínuas da umidade de solo (MAZZOLENI; DICKMANN, 1988).

Durante o crescimento, as células das plantas produzem proteínas denominadas “expansinas” que destravam a rede dos polissacarídeos da parede celular, permitindo o turgor que conduz ao crescimento celular (WU et al., 1996).

Estudos feitos por TRADIEU e GRANIER (2000), mostram que a deficiência hídrica reduz a quantidade final de células nas folhas, como forma de aumentar a duração do ciclo celular. Mais estudos são necessários antes do estabelecimento de um padrão universal sobre a sensibilidade relativa do crescimento e divisão celular à deficiência hídrica. Deve-se considerar que a divisão celular ocorre em determinadas regiões de crescimento das folhas novas enquanto que o crescimento ocorre em várias partes das folhas novas e velhas. A posição específica da célula e o ambiente no qual estas se encontram dentro da folha, pode ter um efeito decisivo na sensibilidade celular ao déficit hídrico (BLUM, 2011).

O processo de crescimento dos tecidos das plantas e sua manutenção quando submetidas ao estresse, pode estar relacionado ao controle genético (WELCKER et al., 2007). Esta é uma proposição atrativa, implicando que o crescimento das plantas sob deficiência hídrica talvez possa ser passível a manipulação genética apesar da complexidade aparente das plantas. Contudo, existem ainda maiores componentes estruturais e fisiológicos das plantas a considerar quando estas crescem sob deficiência hídrica. Todas as características estruturais e morfológicas das plantas são relativamente estáveis sob deficiência hídrica quando comparadas com as características dos órgãos dinâmicos de expansão. A diferenciação do meristema e dos órgãos parece ser relativamente resiliente quando comparado com o crescimento em expansão. Determinadas plantas submetidas ao déficit hídrico, matêm aproximadamente o mesmo número de folhas mas estas tornam-se menores. Por isso, a diferenciação e o crescimento em expansão devem ser tratados diferentemente de modo a entender-se e manipular todas as respostas das plantas ao déficit hídrico. Acredita-se que a manipulação poderá ajudar na elaboração de procedimentos apropriados de seleção que permitam identificar a contribuição de diferentes genes nas respostas da divisão celular às condições ambientais e à idade da folha (TARDIEU; GRANIER, 2000; BLUM, 2011).

O limite superior para a produtividade das plantações é imposto pela capacidade do sítio de suprir os recursos necessários para o crescimento da planta, e pela habilidade das espécies de adquirir os recursos e converte-los em produto (BATTAGLIA et al., 1998).

Produtividade é uma característica complexa resultante da interação dos parâmetros morfológicos, fisiológicos e ambientais no crescimento das plantas (ABAYOMIAND;

ADEDOYIN, 2004) e em várias regiões do mundo, o déficit hídrico é seu maior limitante pois a taxa de crescimento é diretamente proporcional à disponibilidade de água no solo (KAMELI; LÖSEL, 1995).

A redução do crescimento, produtividade e qualidade pelo déficit hídrico nas plantas foi muito bem documentado por vários autores, mas diferentes processos fisiológicos foram apresentados para consideração da sua redução em diferentes espécies. No estado inicial, o déficit hídrico pode causar a perda de turgor celular que por sua vez reduz a troca gasosa e o alongamento foliar por serem ambos processos dependentes do turgor celular e pode causar também a redução da expansão celular. O resultado é o decréscimo na taxa de crescimento por esta ser em função da taxa de transpiração e área foliar, uma vez que o déficit causa alteração na fotossíntese, translocação, absorção de íons, carboidratos, metabolismo dos nutrientes e hormônios (CHARTZOULAKIS; NOITSAKIS; THERIOS, 1993; KIRNAK et al., 2001; LISAR et al., 2012).

A produção das plantas sob o déficit hídrico prolongado depende largamente dos mecanismos adaptativos que permitem a manutenção do crescimento e alta produção fotossintética, uma vez que a água é o maior fator limitante para a fotossíntese. Contudo, estudos sobre o efeito do déficit hídrico no comportamento das plantas são frequentemente complicados, primeiro devido à natureza complexa do déficit hídrico no campo, e segundo porque a produtividade das plantas no campo pode ser mais afetada diretamente pela área foliar pequena do que pela redução da taxa fotossintética por unidade de área durante e após o déficit hídrico (KRAMER; BOYER, 1995; DAMATTA, 2007).

O efeito geral do déficit hídrico no crescimento das plantas é conhecido, contudo, os efeitos primários do déficit nos níveis bioquímicos e moleculares não são consideravelmente compreendidos ainda e esse entendimento é crucial para a percepção holística dos mecanismos de resistência das plantas em condições de água limitada (LISAR et al., 2012). Assim, analisar o uso de água por tantos anos quanto possíveis sobre o ciclo de crescimento singular ou múltiplo pode ajudar a entender e responder algumas perguntas-chave hidrológicas nas plantações de rápido crescimento (WHITEHEAD; KELLIHER, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área

O experimento foi instalado em dezembro de 2011, na área da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI) do Departamento de Ciências Florestais pertencente à ESALQ/USP, localizada a 23°10'S de latitude, 48°40'W de longitude e 850 m de altitude em topografia suavemente ondulada.

O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo Cwa – mesotérmico húmido com inverno seco. A maior incidência de chuvas ocorre no período de outubro a março, sendo a precipitação média anual 1.350 mm, a temperatura média anual é de 20 °C, 3 °C a temperatura média mínima no mês mais frio e 32 °C a temperatura média máxima no mês mais quente.

Durante o período de experimentação, dezembro de 2011 a abril de 2013, a maior média mensal de precipitação 249,3 mm ocorreu em janeiro e o menor média mensal 0 mm em agosto, a temperatura máxima média foi de 34,7 °C em outubro e a temperatura mínima média foi de 5,3 °C em julho, como pode ser visualizado na Figura 1.

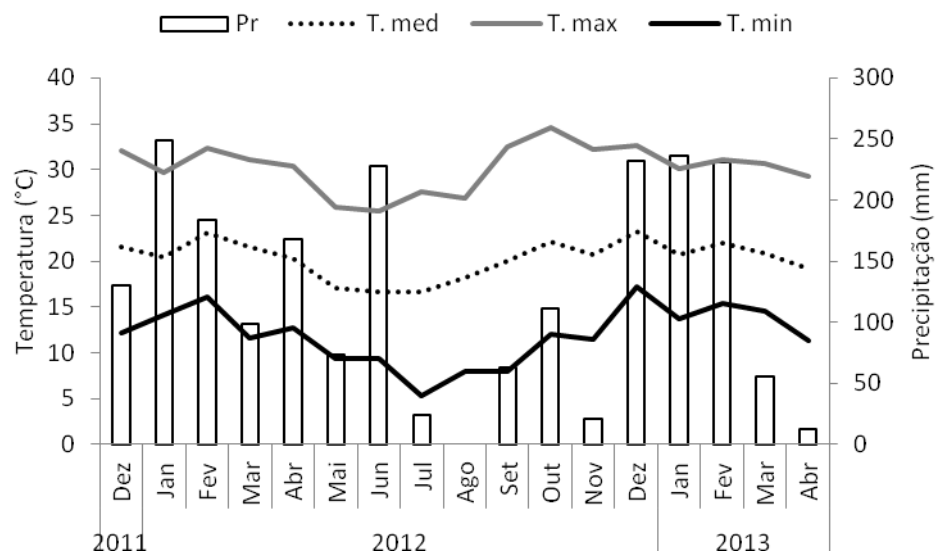


Figura 1 – Dados de precipitação e temperatura durante o período do estudo. Pr – precipitação total; T. med – média da temperatura média; T. max – temperatura máxima; T. min – média de temperatura mínima

O solo é arenoso classificado em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006), e previamente à instalação do experimento fez-se a caracterização química do solo para fins de avaliação da fertilidade e verificar se havia diferenças entre os blocos.

Para a avaliação dos atributos químicos do solo, foi feito um transecto na diagonal do bloco, onde foram coletadas amostras a cada 5 m, formando assim 15 amostras simples nas profundidades 0 – 20 cm, 20 – 40 cm, 40 – 60 cm e 60 – 90 cm.

As amostras simples de cada profundidade foram misturadas de modo a obter-se uma amostra composta, e posteriormente, estas foram quimicamente analisadas no Laboratório do Departamento de Ciências de Solo. Os resultados das análises podem ser observados na Tabela 1. Os teores de Fósforo (P), Magnésio (Mg), H+Al e a Capacidade de Troca de Cations (CTC) reduziram com o aumento da profundidade. Os estoques de Cálcio (Ca) e Potássio (K), foram encontrados em níveis muito baixos e eles mantiveram-se constantes em todas as camadas de profundidade. De forma geral, com base na classe de interpretação da fertilidade de solo (GONÇALVES, 2011), os teores encontrados são considerados baixos, com exceção da CTC que se encontra em níveis considerados altos.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo da área experimental até 90 cm de profundidade

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
cm		mgdm ⁻³	-----mmolc.dm ⁻³ -----						%
0-20	3,83	5,00	0,77	< 3	1,50	73,83	3,25	77,40	4,33
20-40	3,87	2,00	< 0,70	< 3	1,33	71,83	2,97	75,07	4,17
40-60	3,90	2,66	< 0,70	< 3	1,00	51,33	2,77	54,27	5,17
60-90	3,97	1,58	< 0,70	< 3	< 1	44,17	2,73	46,93	6,00

SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V: Saturação da CTC por bases; P, K, Ca e Mg, extraídos pela resina trocadora de íons; H+Al (acidez potencial) extraído com tampão SMP

Na implantação, seguiu-se os princípios de cultivo mínimo segundo GONÇALVES ET AL. (2000), e pelo fato da área já ter sido anteriormente manejada, a subsolagem foi feita nas entrelinhas do ciclo anterior.

No campo, as mudas receberam (uma semana após o plantio) a adubação de base uniforme em todo experimento consistindo em 200 kg ha⁻¹ de N-P-K 06-30-06, 17 kg ha⁻¹ de FTE Br 12 (substância composta de micronutrientes de lenta solubilidade), e 2 ton ha⁻¹ de calcário dolomítico. O potássio aplicado nessa adubação tinha como objetivo favorecer o estabelecimento das mudas em campo, e portanto foi aplicado em todo experimento. Aos três meses de idade, realizou-se a primeira adubação de cobertura na qual aplicou-se 68 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 5 kg ha⁻¹ de borogran em todas parcelas, e 50 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio apenas nas parcelas sem omissão de potássio; aos oito meses de idade realizou-se uma adubação complementar nas parcelas sem omissão de potássio, na qual foi aplicado 78 kg ha⁻¹ cloreto de potássio. Ao longo do experimento foi aplicado um total de 91,26 Kg ha⁻¹ de K₂O, o equivalente a 140 Kg há⁻¹ de adubação potássica. A dosagem de potássio foi

definida com base em estudos realizados em áreas com o mesmo tipo de solo na EECFI que tinham como objetivo a definição da dosagem ótima para plantios de eucalipto.

3.2 Desenho experimental

Seis blocos casualizados foram instalados em esquema fatorial 6 X 2, sendo seis clones de *Eucalyptus grandis* vs *Eucalyptus urophylla* e dois níveis de adubação potássica (0 e 140 kg ha⁻¹), compondo deste modo 12 tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos

Clones	1		2		3		4		5		6	
Potássio (kg ha ⁻¹)	0	140	0	140	0	140	0	140	0	140	0	140
Tratamento	1	7	2	8	3	9	4	10	5	11	6	12

Os clones foram designados clone 1, 2, 3, 4, 5 e 6, sendo os clones 2 e 6 caracterizados por apresentarem tolerância ao estresse hídrico, os clones 1 e 4 moderada tolerância ao estresse hídrico e os clones 3 e 5 suscetibilidade ao estresse hídrico. A caracterização da tolerância ao estresse, foi baseada nas experiências realizadas em povoamentos florestais de grande escala. Independentemente da tolerância ao estresse hídrico, os clones estudados são todos clones elites nas áreas das empresas que os desenvolveram.

As parcelas são de formato retangular, compostas por 25 plantas (5 linhas de 5 plantas) espaçadas em 3 m nas linhas e 2 m nas entrelinhas, sendo que as 9 plantas centrais formam a área útil e as restantes são consideradas bordadura interna. O experimento contou também com uma bordadura externa dupla.

3.3 Análise nutricional

A coleta de folhas para a análise nutricional foi feita em duas ocasiões, aos 6 meses pós-plantio, quando as plantas sem omissão estavam com 50 kg ha⁻¹ de adubação potássica e aos 15 meses quando a adubação potássica estava completa (140 kg ha⁻¹).

Em três indivíduos aleatórios de cada parcela, foram coletadas 10 folhas do terço médio sem sintomas aparentes de doenças ou deficiências, totalizando 30 folhas formando assim uma amostra composta por parcela. O material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e conduzido ao Laboratório de Ecologia Aplicada da ESALQ/USP (LEA).

No LEA, as amostras foram pesadas para obtenção do peso úmido, descontaminadas através da lavagem em água corrente e posteriormente em água deionizada, e colocadas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até o peso constante.

Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas para a obtenção do peso seco, moídas em moínho do tipo Willey, e passadas em peneira de 1 mm de malha (20 mesh), acondicionadas e posteriormente conduzidas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP onde foram quimicamente analisadas.

A concentração de nitrogênio foi determinada pela digestão sulfúrica pelo método de micro-Kjeldhal, as concentrações de cálcio e magnésio foram obtidas por digestão perclórica pelo método de espectrofotometria de absorção atômica, as concentrações de potássio e sódio por digestão perclórica pelo método de fotometria de chama, e as concentrações de fósforo por digestão perclórica pelo método de colorimetria.

3.4 Avaliação do crescimento

A avaliação de crescimento teve início aos 2 meses após o plantio, com a medição de altura total e aos 4, 9, 12 e 15 meses além da altura mediu-se também 8 raios de copa em direções fixas dos pontos cardeais Norte, Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Sudeste, Leste e Nordeste (Figura 2), que com o auxílio do Software Kronenberechnungen desenvolvido pelo IWW da Universidade de Freiburg da Alemanha estimou-se a área da copa.

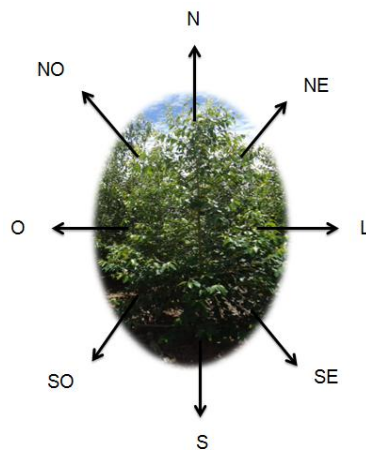


Figura 2 – Representação esquemática das direções de medição dos raios da copa

A medição do diâmetro à altura do peito (DAP), foi feita aos 12 e 15 meses com o auxílio da suta.

3.5 Área foliar, densidade e tamanho dos estômatos

Para a análise da área foliar, densidade e tamanho dos estômatos, aos 15 meses pós-plantio, coletou-se duas folhas (4ª e 5ª folha à partir da gema apical) localizadas no terço superior da copa em 3 árvores em posições definidas aleatoriamente dentro da parcela. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, borrifadas com água para minimizar a perda do teor de umidade, identificadas, colocadas em caixa térmica e conduzidas ao Laboratório de Silvicultura e Hidrologia da EECFI da ESALQ/USP.

No laboratório, as amostras foram escaneadas e as imagens foram posteriormente usadas para a obtenção da área foliar através do software ImageJ 1.46r desenvolvido pelo Wayne Rasband National Institutes of Health dos Estados Unidos da América.

Nas folhas escaneadas, fez-se o corte na região mediana central para a impressão da superfície abaxial. Para tal, colocou-se uma gota minúscula de adesivo incolor (super bonder ®) na lâmina e pressionou-se a superfície foliar por aproximadamente 10 segundos (Figura 3) (SEGATTO *et al.*, 2004).

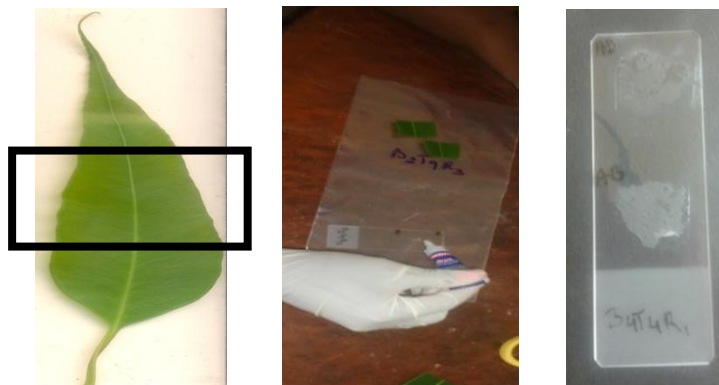


Figura 3 – Confecção das lâminas. corte na região mediana da folha.

Utilizando um microscópio óptico em objetiva de 20x ampliação, fez-se a contagem dos estômatos nas impressões contidas nas lâminas. Em cada lâmina foram, contados 3 campos aleatórios de 1 mm², e em seguida foram fotografados utilizando câmera digital acoplada ao microscópio.

Em cada fotografia, foi feito um transecto na diagonal, no qual foram medidos três estômatos nas posições 1, 2 e 3 como ilustrado na Figura 4, em diâmetro polar (comprimento entre as junções das células-guarda em cada extremidade dos estômatos) e diâmetro equatorial utilizando-se régua especial graduada em micrômetros.

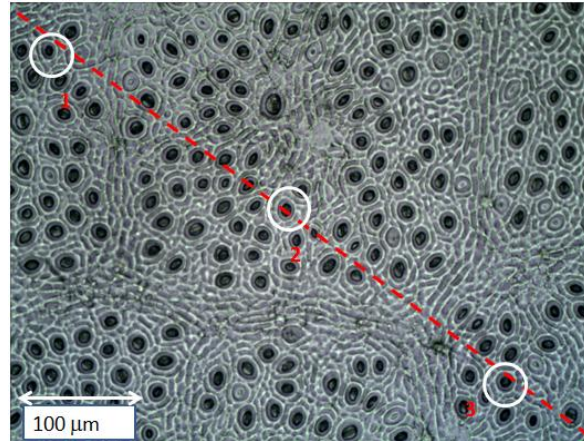


Figura 4 – Metodologia utilizada na análise dos estômatos. - - - transecto; ○ posição dos estômatos

3.6 Deposição do folheto

Para analisar a deposição do folheto, em janeiro de 2013 foram instalados sistematicamente coletores no centro de todas as parcelas, totalizando 72 coletores. Os coletores são tipo bandeja com as dimensões 0,50 x 0,50 m, compostos por uma moldura de madeira com fundo em tela de nylon e dispostos a 0,50 m de altura em relação à superfície do solo (Figura 5).



Figura 5 - Vista geral dos coletores em campo

A coleta do material interceptado foi feita mensalmente, durante um período de 3 meses (dos 15 aos 17 meses pós-plantio).

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas e enviadas ao Laboratório Ecofisiologia Florestal e Silvicultura (LEFS) da ESALQ/USP onde

foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 65°C até atingirem peso constante e posteriormente pesadas para a determinação do peso seco.

3.7 Análise estatística

A análise estatística foi efetuada com o auxílio do software Statistical Analysis System (SAS[®]) 9.2 para Windows desenvolvido pelo SAS Institute dos Estados Unidos da América.

Os pressupostos de normalidade dos erros foram verificados pelo teste de Shapiro-Wilks e os pressupostos de homogeneidade da variância entre os tratamentos foram verificados pelo teste de Bartlett, fixando-se o nível de significância em 5%.

Após a verificação dos pressupostos básicos da análise de variância, todas as variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) em nível de significância de 5%, utilizando-se o modelo matemático da equação abaixo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \delta_l + \varepsilon_{ijkl}$$

onde:

Y_{ijkl} : é a variável resposta

μ : é a média geral

α_i : é o efeito (fixo) do i -ésimo clone; $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$

τ_j : é o efeito (fixo) do j -ésimo adubação; $j=1, 2$

δ_l : é o efeito do l -ésimo bloco; $l= 1, 2, 3, 4, 5, 6$

$(\alpha\tau)_{ij}$: é o efeito da interação entre o i -ésimo clone e o j -ésimo adubação

ε_{ijkl} : é o erro aleatório

Para os casos em que houve efeitos significativos, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey fixando-se o nível de significância em 5%.

As variáveis foram transformadas para que se antigisse a homecedaticidade na análise de variância e atender as pressuposições do modelo matemático utilizado.

A fim de quantificar o grau de associação entre as variáveis, foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman descrito na equação abaixo:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{(n-1)(n)(n-1)}$$

Nesta equação, para uma amostra de tamanho n , o par de valores na i -ésima observação é representado por (x_i, y_i) e a diferença entre o posto de x_i e y_i é denotada por d_i .

A Análise de Variância Multivariada (MANOVA) foi utilizada para comparar os diferentes estádios de crescimento, através do Teste de Lambda de Wilks. Para cada variável, verificou-se as diferenças significativas de forma pareada entre os tempos avaliados, utilizando-se o teste de comparação múltipla LSD (menor diferença significativa) de Fisher.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Absorção dos nutrientes

Na Tabela 3, são apresentados os teores médios dos macronutrientes nas folhas. A concentração de Fósforo (P) aos seis e quinze meses e as concentrações de Cálcio (Ca) e Enxofre (S) aos quinze meses são significativamente diferentes entre os clones. A omissão de potássio afetou significativamente os teores de potássio aos 15 meses e de cálcio aos seis meses pós plantio, porém, não observa-se interação entre clone e adubação potássica nas concentrações de macronutrientes na folha.

Tabela 3 – Teores médios foliares de macronutrientes em clones híbridos de *E. grandis* X *E. urophylla* aos seis e quinze meses de idade

Tratamentos	N		P		K		
	Nº	6 m	15 m	6 m	15 m	6 m	15 m
		-----g kg ⁻¹ -----					
	1	29,03	25,00	1,70	1,53	5,44	4,72
	2	27,69	22,88	1,69	1,39	5,06	4,51
	3	27,50	23,34	1,61	1,40	5,23	4,17
	4	26,14	22,29	1,59	1,36	5,02	4,29
	5	25,60	22,98	1,56	1,53	4,85	4,55
	6	27,28	19,08	1,67	1,30	4,76	4,34
	7	26,55	24,48	1,76	1,46	5,76	5,46
	8	26,38	23,01	1,69	1,43	5,53	4,89
	9	21,28	18,57	1,68	1,52	6,38	5,53
	10	28,04	23,03	1,72	1,34	5,10	4,72
	11	26,66	22,05	1,56	1,58	5,19	5,57
	12	26,16	21,07	1,60	1,38	5,14	4,97
	média	26,53	22,29	1,65	1,44	5,28	4,80
		Ca		Mg		S	
	1	4,24	3,68	1,13	1,77	1,40	1,23
	2	5,14	4,19	1,08	1,70	1,33	1,03
	3	4,53	3,21	1,17	1,57	1,26	1,03
	4	5,25	4,24	1,22	1,97	1,37	1,28
	5	4,63	4,33	1,30	1,77	1,31	1,30
	6	4,68	3,63	1,15	1,60	1,39	1,10
	7	4,36	3,48	1,02	1,68	1,58	1,27
	8	4,04	3,93	1,15	1,68	1,42	1,15
	9	4,14	3,41	1,18	1,45	1,51	1,07
	10	4,60	3,98	1,18	1,67	1,33	1,13
	11	4,39	3,84	1,02	1,62	1,16	1,14
	12	4,37	3,87	1,12	1,82	1,30	1,08
	média	4,53	3,82	1,14	1,69	1,36	1,15

Diferenças significativas entre os clones nos teores do macronutrientes já foram relatadas por outros autores, entre eles, MATOS et al. (2012), FARIA et al. (2008), e VIEIRA et al. (2010) têm observado variações nutricionais entre diferentes clones de eucalipto de procedências diferentes, plantados sob condições uniformes de preparo de solo e adubação, e essas variações são de acordo com WADT et al. (1999), atribuídas às particularidades nutricionais de cada material genético, que podem estar relacionadas à variada eficiência de utilização e capacidade de absorção de nutrientes.

Outro fator que pode influenciar o teor de nutrientes nos *Eucalyptus* é a interação genótipo-ambiente, pois, clones de híbridos interespecíficos tendem a apresentar melhor capacidade de adaptação à diferentes regiões, o que é devido à combinações de características favoráveis dos materiais genéticos e componentes de hibridação (FARIA et al., 2008; BISON et al., 2009), indicando que as respostas em outras condições edafoclimáticas passam a ser diferentes.

Ao fazer-se uma comparação das concentrações de N, P, K, Ca e S nos períodos de avaliação, observa-se que estas foram maiores aos seis meses de idade. Quanto às concentrações de Mg, estas mostraram-se maiores aos quinze meses de idade.

Maiores concentrações aos seis meses, podem ser justificadas pelo fato da análise ter sido feita três meses após a adubação, pois, segundo SILVA et al. (2002), em geral o aumento da concentração dos nutrientes na solução do solo leva à sua maior absorção pelas plantas.

E aos quinze meses pós-plantio, menores concentrações dos macronutrientes podem ser decorrentes do ciclo bioquímico que envolve a retranslocação do elemento móvel nos tecidos vegetais de um órgão para o outro. A retranslocação constitui uma importante fonte de suprimento, sendo a taxa de crescimento o principal fator controlador da retranslocação em espécies florestais, mais do que a disponibilidade de nutrientes no solo (NAMBIER; FIFE, 1987; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

As folhas apresentaram teores médios de N (26,53 e 22,29 g kg⁻¹ aos seis e quinze meses de idade respectivamente) bastante elevados quando comparados aos outros macronutrientes, e segundo MALAVOLTA (1985), altos teores de N nas folhas devem-se ao fato deste elemento participar na maioria das reações de metabolismo de compostos, entre outros, aminoácidos, proteínas, amins, vitaminas, as quais ocorrem principalmente nas folhas devido à ocorrência da fotossíntese.

Os teores de N encontram-se dentro da faixa adequada definida pela tabela de interpretação dos dados de análise foliar para *Eucalyptus* compilados por SILVEIRA; MALAVOLTA (2000).

Os teores médios de K, 5,28 e 4,80 g kg⁻¹ aos seis e quinze meses de idade respectivamente, são considerados no limite da faixa deficiente para *Eucalyptus* no estágio juvenil por SILVEIRA; MALAVOLTA (2000). Os baixos teores de K na folha são de acordo com MENGEL; KIRBY (2001) devido a alta capacidade de remobilização e distribuição interna deste elemento na planta, porém, RÖMHELD; KIRKBY (2010) afirmam que o N é o maior condutor da expansão foliar na copa, que é conseguida pelo aumento da divisão e expansão celular, ou seja, pelo aumento do número de células e volume celular, que também exige uma absorção correspondente de K nos tecidos foliares para manter a turgescência, assim, a concentração de K diminui durante o crescimento e é afetada pela oferta de N.

Quanto aos teores médios de P (1,65 e 1,44 g kg⁻¹ aos seis e quinze meses respectivamente), apresentaram-se dentro da faixa adequada de nutrientes definida por SILVEIRA; MALAVOLTA (2000), justificativas para maiores concentrações de P nas folhas nos estágios iniciais são controversas, pois enquanto BELLOTE (1979) afirma que o teor de P nas folhas diminui com a idade das árvores, VALERI; AGUIAR; CORRADINI (1993) afirmam que o teor de P nas folhas depende da aplicação do elemento do solo, bem como da concentração de P do solo disponível às plantas.

Em relação aos teores médios de Ca, S e Mg aos seis e quinze meses de idade, também encontram-se dentro da faixa adequada para *Eucalyptus*.

Aos seis meses observou-se um padrão de concentração de macronutrientes nas folhas que obedeceu à seguinte sequência N > K > Ca > P > S > Mg e aos quinze meses N > K > Ca > Mg > P > S. Estas sequências são parecidas às observadas por REIS; BARROS; KIMMINS (1987), que ao avaliarem a biomassa em plantios de *E. grandis* aos quinze meses de idade obtiveram a seguinte magnitude, N > K > Ca > Mg > P. Mas, diferem da sequência de FREITAS (2000) que avaliou a biomassa de um povoamento de *E. grandis* aos nove anos de idade observando a seguinte magnitude, Ca > N > K > Mg > P > S.

As magnitudes observadas neste estudo dão a indicação que a concentração dos macronutrientes segue um padrão, e esse padrão ainda que inicialmente, indica que com o aumento da idade o cálcio tende a ser o elemento que se encontra em maiores concentrações. As diferenças na magnitude nas duas avaliações, podem ser explicadas pelo fato de aos quinze meses o povoamento ainda se encontrar em fase inicial de desenvolvimento, e uma vez que o fechamento de copa ainda se encontrava em andamento, há passagem da luminosidade que favorece o desenvolvimento de galhos e folhas no terço médio e com reduzida frequência no terço inferior da copa.

Com o crescimento e conseqüente fechamento do dossel, há uma inversão pois os fotoassimilados passam a ser acumulados no fuste, local de maior concentração da biomassa e conseqüentemente haverá maior concentração de Ca.

O Ca encontra-se em maior conteúdo no fuste, mais do que outros elementos, devido à sua alta concentração na casca. É um elemento essencial nos processos básicos de formação da madeira, por promover o aumento dos vasos e por estar envolvido na polimerização da lignina (REIS; BARROS, 1990; WIMMER et al., 1997; FROMM, 2010; LAUTNER; FROMM, 2010).

Aos seis meses de idade, houve correlação negativa e significativa entre os teores de K e os teores de N. Aos quinze meses de idade, houve correlações positivas e significativas entre os teores de S e N, teores de K e Ca e entre os teores de Ca e Mg.

A relação K/Mg aos seis e quinze meses de idade nas folhas foi 3,97 g Kg⁻¹ e 2,26 g Kg⁻¹ respectivamente, e a relação Ca/Mg foi 4,63 g Kg⁻¹ aos seis meses e 2,84 g Kg⁻¹ aos quinze meses de idade. Por tanto, observou-se uma redução na relação K/Mg e Ca/Mg com o aumento da adubação potássica e da idade de povoamento.

SILVEIRA *et al.* (2000) ao avaliarem o estado nutricional de *E. grandis* aos dois anos de idade, verificaram que, quanto menor for a relação Ca/Mg nas folhas, maior é a produtividade.

Altos teores de K podem inibir a absorção de Ca e/ou Mg, e estes por sua vez podem reduzir a absorção de K pelas plantas (MARSCHNER, 1995).

4.2 Caracterização do crescimento

4.2.1 Altura, DAP e área da copa

Em todo experimento, a sobrevivência das plantas dentro da parcela útil foi de 100%.

No início das avaliações (Figura 6A), os clones 2 e 6 foram os que mais se destacaram estatisticamente no crescimento em altura e estes mantiveram a superioridade até o final, apresentando maiores médias aos dois meses (0,53 m e 0,50 m respectivamente) e aos quinze meses apresentavam 9,28 m e 9,16 m de altura média respectivamente. O clone 3 foi o que apresentou menores médias de crescimento em altura ao longo de todo período de avaliação.

Os clones com maior altura (2 e 6) são coincidentemente os clones que apresentam maior tolerância ao déficit hídrico, segundo informações obtidas em áreas comerciais de empresas florestais.

Em geral, as médias de altura de todos os clones, 1,76 m e 5,47 m aos quatro e aos doze meses de idade respectivamente, foram superiores às médias encontradas por LOPES et al. (2011), que ao avaliar o desenvolvimento inicial de clones *E. grandis* x *E. urophylla* em função da aclimação em viveiro no estado de São Paulo encontrou uma média de 0,96 m e 4,5 m aos seis e treze meses de idade respectivamente.

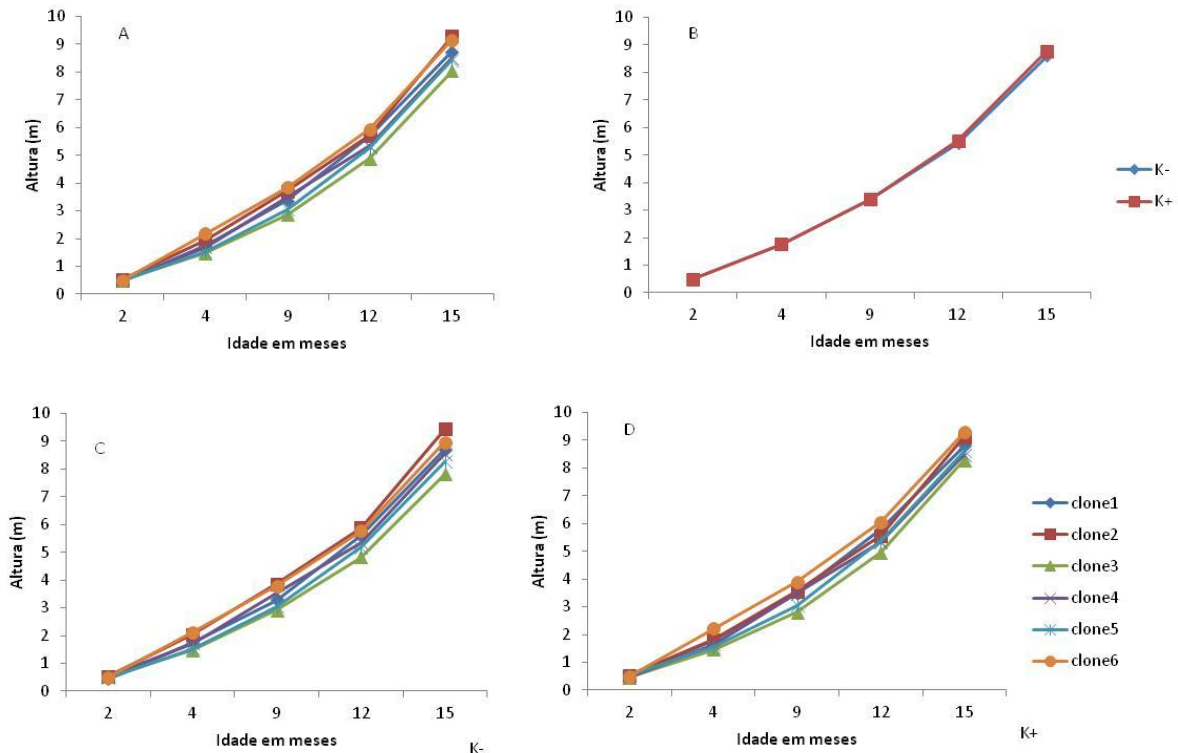


Figura 6 – Média do crescimento em altura dos clones ao longo do tempo (A), diferença de crescimento em altura de todos os tratamentos em todas as idades (B), médias de crescimento em altura dos clones nos tratamentos com omissão de potássio (K-) (C) e com adubação potássica (K+) (D)

O crescimento em altura não foi significativamente afetado pela adubação potássica, havendo efeito significativo apenas na interação entre os clones e a adubação potássica.

Considerando a média de altura de todos os tratamentos, o incremento em altura das árvores dos doze aos quinze meses, mostrou-se superior quando comparado às medições feitas dos nove aos doze meses, e verifica-se também que à partir dos doze meses, a média de alturas é maior nos tratamentos adubados com potássio quando comparada à média dos tratamentos em omissão (Figura 6B). Ao fazer-se uma comparação do desempenho dos clones sob adubação e omissão potássica, pode-se observar que existe uma diferença no crescimento entre os clones, sendo que os clones tolerantes ao estresse hídrico (2 e 6) apresentaram um maior crescimento em omissão potássica e os clones suscetíveis (3 e 5) foram os que menos cresceram (Figura 6C). Fazendo-se uma comparação entre as Figuras 6C e 6D, verifica-se que

há uma maior amplitude de variação entre o crescimento dos clones na Figura 6C (em omissão de potássio), e essa amplitude torna-se maior entre os 12 e 15 meses de idade. Maiores amplitudes quando os clones se encontravam em omissão de potássio, podem ser devido ao efeito do potássio na absorção dos outros nutrientes como o Ca e o Mg, e à diferenças na alocação de carbono durante o crescimento.

Quanto ao crescimento médio em DAP, os clones 2, 4 e 6 são os que mais se destacaram nas duas medições feitas aos doze e quinze meses de idade (Figura 7A). Os efeitos dos clones e da adubação potássica foram significativos, e a interação clone e adubação potássica não teve efeito significativo.

Os tratamentos com omissão de potássio apresentaram sempre menores médias de DAP quando comparados aos tratamentos com adubação potássica, demonstrando que houve resposta à adubação potássica (Figura 7B).

Maiores DAP sob adubação potássica podem ocorrer pelo fato deste elemento desempenhar um papel importante durante a expansão das células cambiais, pois segundo FROMM (2010) as variações nos níveis de potássio são fortemente correlacionadas com o comprimento radial e potencial osmótico da zona cambial.

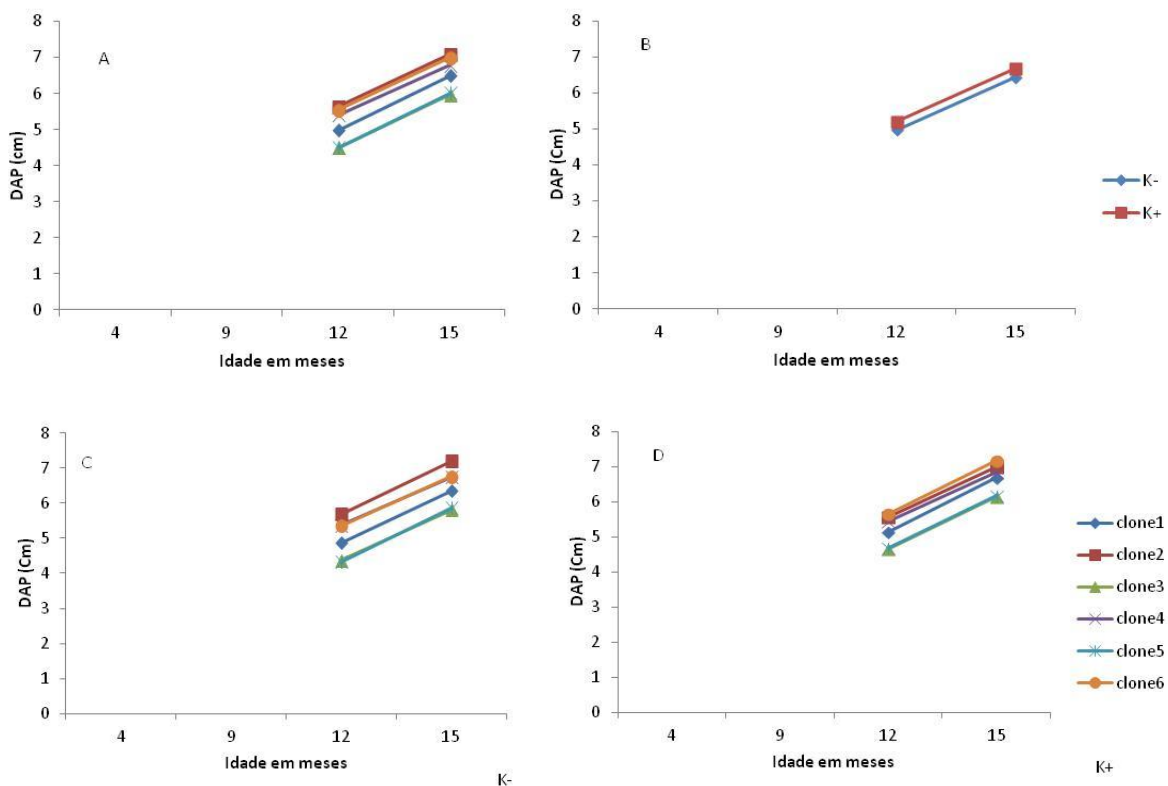


Figura 7 – Diâmetro à altura do peito (DAP) médio dos clones aos doze e quinze meses de idade (A), DAP médio de todos os tratamentos com adubação potássica (K+) e omissão de potássio (K-) aos doze e quinze meses de idade (B), (C) DAP médio dos tratamentos com omissão potássica (K-) e dos tratamentos com adubação potássica (K+) aos doze e quinze meses de idade (D)

Comparando o crescimento em DAP dos clones nos tratamentos com adubação e omissão de potássio, observa-se que o desempenho dos clones tolerantes e com tolerância moderada ao estresse, apresentaram médias de crescimento muito próximas, e os clones suscetíveis (3 e 5) cresceram menos (Figura 7C e D). Sob omissão potássica (Figura 7C), observa-se claramente que os clones seguem um padrão de crescimento de acordo com o nível de resistência ao estresse hídrico, isto é, clones 2 e 6 com melhores desempenhos, seguidos dos clones 1 e 4 e por último os clones 3 e 5.

Quando adubados com potássio, os clones apresentam maiores crescimentos em DAP, e este crescimento é acompanhado pela redução da área da copa, ou seja, estas variáveis estão inversamente relacionadas.

Este comportamento pode ser devido à influência do ABA, pois em condições de déficit hídrico ligeiro, aumenta o nível do hormônio o que exerce um forte efeito positivo no crescimento das raízes por suprimir a produção de etileno e um leve efeito negativo no crescimento da parte aérea, devido a limitação da condutância estomática e menor taxa de transpiração das plantas, pois há estímulo no fechamento dos estômatos. E o fechamento dos estômatos induzido pelo ABA está associado com um rápido efluxo de K e do ânion acompanhante das células-guarda (DAVIES; ZHANG, 1991; LAWLOR, 2002; YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2003; PIMENTEL, 2004).

Quanto ao desenvolvimento da área da copa ao longo do período de avaliação, verificou-se que nas primeiras medições (aos quatro e nove meses), os clones 1, 2 e 6 foram os que mais se destacaram, sendo que no fim da avaliação os clones 1 e 2 foram os que ainda apresentavam as maiores médias de crescimento (Figura 8A).

Nas avaliações feitas aos quatro, nove e doze meses, a adubação potássica não teve efeito significativo no desenvolvimento da área da copa, somente na avaliação realizada aos quinze meses o efeito mostrou-se significativo.

Quanto à interação entre os clones e adubação potássica, o efeito oscilou ao longo do tempo, tendo sido significativo aos quatro e doze meses, e não significativo aos nove e quinze meses.

A partir dos doze meses, as médias da área da copa dos clones em parcelas adubadas com potássio, tenderam a ser menores que as médias dos clones nas parcelas com omissão da adubação potássica (Figura 8B).

Ao fazer-se uma comparação entre os clones, verifica-se que estes mostraram diferenças de crescimento entre si, sendo que o clone 1 foi o que apresentou as maiores médias tanto nos tratamentos com potássio quanto nos tratamentos com omissão. O clone 5,

apresentou as menores médias em todos tratamentos exceto aos 15 meses em tratamentos adubados com potássio (Figura 8C e D).

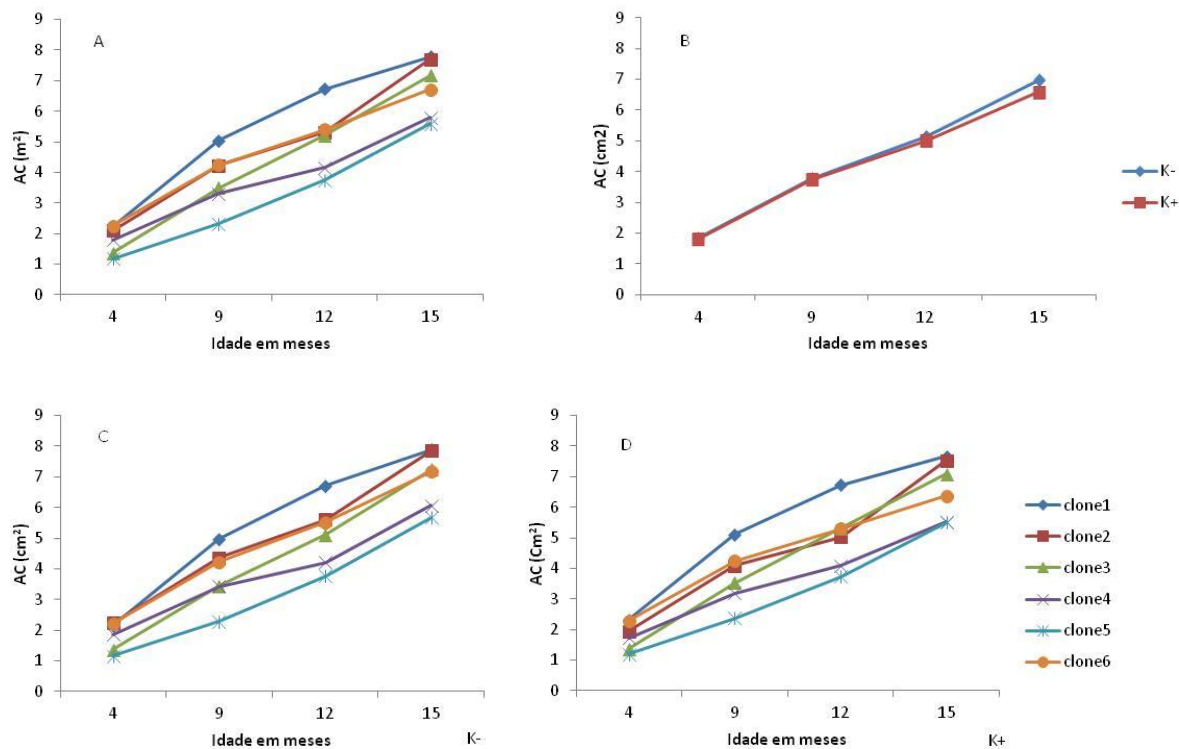


Figura 8 – Média da área de copa (AC) dos diferentes clones ao longo do tempo (A), área da copa média de todos os tratamentos com adubação potássica (K+) e tratamentos com omissão de potássio (K-) dos quatro aos quinze meses de idade (B), médias de área da copa dos clones ao longo do tempo, nos tratamentos com (C) adubação potássica (K+) e (D) omissão de potássio (K-)

De forma geral, os clones resistentes (2 e 6) e com moderada resistência (1 e 4), foram os que apresentaram maiores crescimentos em todas as características (altura, DAP e área da copa), e pelo fato da eficiência e uso de água em clones de *Eucalyptus*, ser mais associada à diferenças no crescimento do que à diferenças na transpiração (WHITEHEAD; BEADLE, 2004), provavelmente, esses clones sejam mais eficientes no uso de água.

Considerando as concentrações dos macronutrientes e o crescimento das árvores, observou-se correlações positivas e significativas entre a altura e os teores de Ca e Mg, e correlação positiva e significativa também para o DAP e os teores de Mg.

BELLOTE e FERREIRA (1993), ao analisarem o crescimento de *Eucalyptus grandis* no estado de São Paulo aos 3 anos de idade, observaram uma correlação significativa entre o crescimento das árvores e os teores de N, P, K, Mg e S, e o Ca apresentou uma correlação negativa.

SGARBI et al. (2000), ao avaliarem o estado nutricional de *E. grandis* e *E. urophylla* em Capão Bonito/SP, verificaram que o Ca, Mg e o B se correlacionaram positivamente com a produtividade.

O Mg é o elemento que mais se relaciona com o crescimento das árvores depois do potássio, pois o suprimento deste em solução nutritiva, incrementa a produção da massa seca da parte aérea (BELLOTE; FERREIRA, 1993; FERREIRA, 2001).

Em relação às variáveis de crescimento (altura e área da copa aos quatro, nove, doze e quinze meses de idade; altura, área da copa e DAP aos doze e quinze meses), elas apresentaram correlações positivas e significativas, com a exceção da correlação entre a área da copa e a altura aos 15 meses de idade que mesmo tendo sido positiva, ela não foi significativa.

Pelo teste de Lambda de Wilks, o crescimento dos clones em altura e área da copa ao longo do tempo foi independente da adubação, porém, dependeu da interação do efeito clone e adubação potássica.

4.3 Área foliar, densidade e tamanho dos estômatos

Houve efeito significativo dos clones para a variável área foliar, ou seja a área foliar foi distinta entre os clones. O efeito da adubação potássica e da interação adubação potássica e clones, também foi significativa.

Pela Figura 9A, pode-se observar as médias das áreas foliares dos clones, verifica-se que os clones 1 e 6 apresentaram os maiores valores de área foliar, e o clone 3 (susceptível ao déficit hídrico), foi o que apresentou a menor média de área foliar.

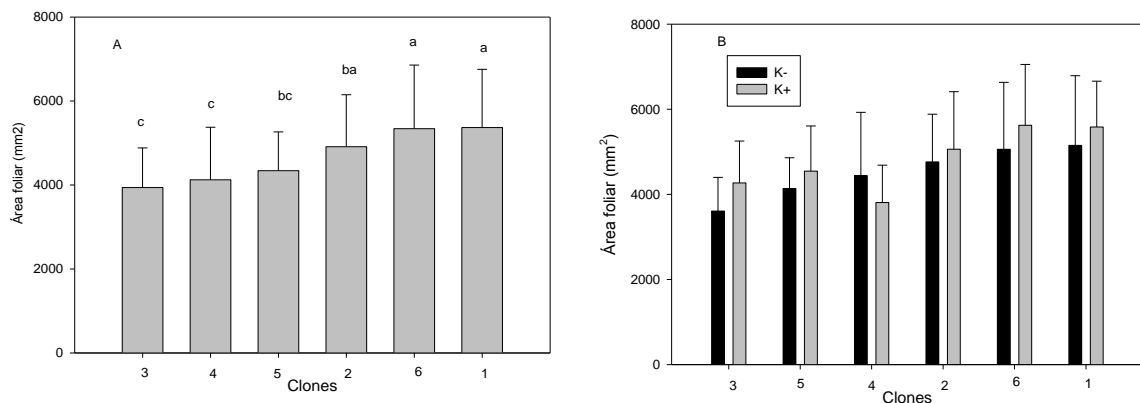


Figura 9 – Valores médios de área foliar de todos os clones aos quinze meses de idade (A), (B) adubados com potássio (K+) e com omissão de potássio (K-); barras indicam o desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Houve diferenças significativas entre os clones em omissão e adubação potássica, sendo que com exceção do clone 4, todos os demais clones apresentaram áreas foliares médias maiores nos tratamentos submetidos à adubação potássica, como pode ser observado na Figura 9B.

A redução da área foliar quando os clones estão em omissão de potássio, dá uma indicação da situação de estresse na qual as plantas se encontram, hipótese corroborada por vários autores entre eles (MCCREE; FERNÁNDEZ, 1989; SANTOS; CARLESSO, 1998; TAIZ; ZEIGER, 2009) ao afirmarem que a redução no tamanho das folhas é um dos primeiros indicativos do estresse hídrico na planta.

Todos os clones apresentaram folhas hipostomáticas (estômatos apenas na superfície abaxial), sendo que os clones suscetíveis ao déficit hídrico (3 e 5) apresentaram maiores densidades estomáticas (73,69 e 73,83 estômatos mm^{-2} , respectivamente), e as menores densidades (67,22 e 67, estômatos mm^{-2}) foram apresentadas pelos clones 1 e 6 respectivamente, como pode ser observado na Figura 10A. Obteve-se um efeito significativo para os clones e adubação potássica, mas no que tange à interação entre clones e adubação, o efeito não foi significativo.

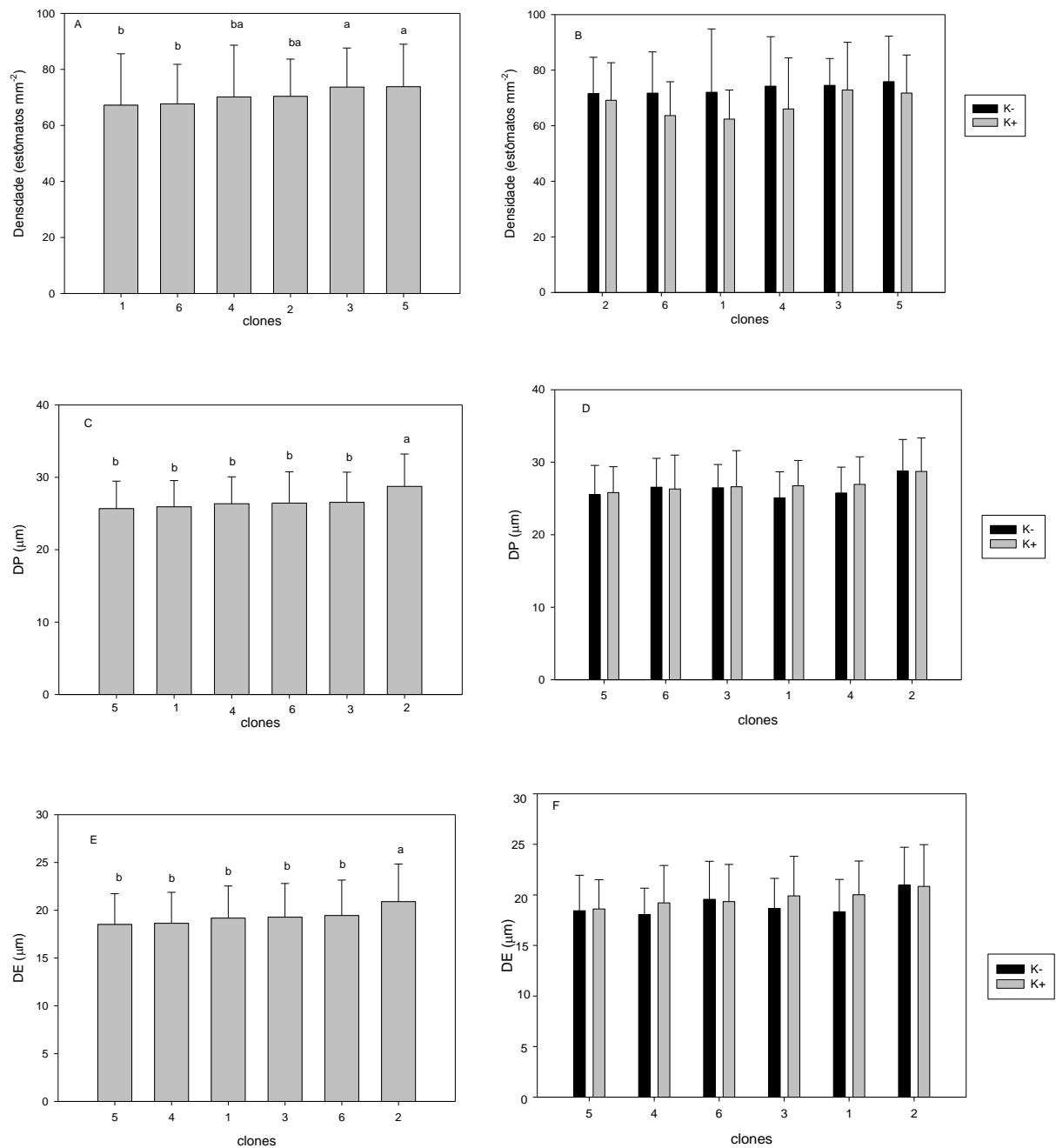


Figura 10 – Valores médios da densidade estomática dos clones aos quinze meses de idade (A), (B) com adubação potássica (K+) e omissão de potássio (K-); diâmetro polar (DP) médio dos clones aos quinze meses de idade (C), (D) adubados com potássio (K+) e em omissão de potássio (K-); diâmetro equatorial (DE) médio dos clones aos quinze meses de idade (E), (F) adubados com potássio (K+) e omissão potássica (K-); barras indicam o desvio padrão; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Comparando os tratamentos com adubação potássica dos tratamentos em omissão (Figura 10B), observa-se que houve diferenças significativas entre eles, sendo que, em omissão potássica houve uma maior densidade de estômatos, e os clones 1 e 6 foram os que apresentam uma diferença maior.

Quanto aos diâmetros polares, o clone 2 foi o que se destacou apresentando as maiores médias como pode ser observado na Figura 10C. Obteve-se um efeito significativo para os clones, e efeito não significativo para a adubação potássica e a interação clone e adubação.

Não houve diferenças significativas entre os clones quando adubados com potássio ou em omissão, no entanto, em média os diâmetros polares foram maiores numericamente para os clones adubados com potássio, com exceção dos clones 6 e 2 que apresentaram maiores diâmetros polares em omissão potássica.

Observando a Figura 10D, verifica-se que o clone 2 apresentou maiores diâmetros em ambas situações (adubação e omissão).

No diâmetro equatorial, obteve-se efeito significativo para os clones e adubação potássica e o efeito não foi significativo para a interação clone e adubação.

A maior média de diâmetro equatorial, foi apresentada pelo clone 2, como pode ser observado na Figura 10E. Houve diferenças significativas entre os clones em adubação e omissão potássica, sendo que, sob adubação potássica, os clones apresentaram maiores diâmetros médios equatoriais, com exceção dos clones 6 e 2 que apresentaram maiores médias em omissão de potássio. O clone 2 foi o que mais se destacou apresentando os maiores valores médios como pode ser observado na Figura 10F.

Pelas figuras acima, pode-se constatar que os clones que apresentaram maiores densidades de estômatos, foram também os que apresentaram estômatos menores (menores diâmetros), portanto, o aumento da densidade estomática foi acompanhada pela redução no diâmetro dos estômatos, autores como DONG; ZHANG, (2000); HETHERINGTON; WOODWARD (2003); BUSSIS et al. (2006) e PEARCE et al. (2006) também observaram a mesma tendência na relação densidade e tamanho de estômatos.

A densidade e o tamanho estomático são considerados parâmetros importantes para a fisiologia vegetal por apresentarem relação com a condutância estomática. Estômatos maiores e densidades menores, são vistos como um processo compensatório, mas o fato de estômatos grandes tenderem a fechar mais lentamente, pode se tornar uma desvantagem em zonas de alta irradiância. Pelo fato de altas densidades estomáticas ocorrerem geralmente em ambientes sazonais, elas são relacionadas à redução na disponibilidade hídrica (AASAMAA et al., 2001; BUSSIS et al., 2006; PEARCE et al., 2006).

Teoricamente, folhas que apresentam estômatos com diâmetros menores, têm uma melhor eficiência no uso de água comparadas às que apresentam diâmetros maiores, pois estômatos menores respondem mais rapidamente a quedas do potencial hídrico foliar, assim a diferença na abertura estomática tem um grande efeito na difusão da H₂O do que na difusão do CO₂ (BIDWELL, 1979; AASAMAA et al., 2001; HETHERINGTON; WOODWARD, 2003).

Folhas com estômatos pequenos e numerosos, podem proporcionar melhor redução de potencial hídrico sob condições de alta disponibilidade de água comparadas às folhas adultas, e por sua vez pode maximizar a absorção dos nutrientes (JAMES; BELL, 2000).

A densidade estomática e o tamanho dos estômatos têm sido considerados diretamente proporcionais ao nível de ploidia, no entanto, KIM e KIM (2003) e SOUZA e QUEIROZ (2004) consideram a avaliação indireta do nível de ploidia pela análise estomática, pode não corresponder a essa hipótese, uma vez que fatores ambientais também estão envolvidos.

Nos poliploides, a redução da densidade estomática aumenta o tamanho dos estômatos, e aumenta também a quantidade de cloroplastos nas células-guarda e conseqüentemente aumenta a eficiência e uso de água (VICHATO *ET AL.*, 2006; DOHENY-ADAMS *et al.*, 2012).

O coeficiente de correlação foi positivo e significativo entre a área foliar e o teor de potássio e também para o diâmetro polar dos estômatos e foi negativo e significativo para a densidade de estômatos.

Quanto ao diâmetro polar, houve correlação positiva e significativa na interação deste com os teores de fósforo e potássio, e também na interação com o diâmetro equatorial e houve correlação significativa e negativa entre o diâmetro polar e a densidade de estômatos.

Para o diâmetro equatorial, houve correlação positiva e significativa na interação com o fósforo e correlação significativa e negativa com a densidade de estômatos.

De forma geral, os clones apresentaram diferentes respostas, havendo uma relação (positiva ou negativa) entre o comportamento das variáveis, ou seja, os clones que apresentaram maiores crescimentos (altura, DAP, área da copa), apresentaram também maiores áreas foliares e estômatos maiores em densidades menores.

Na Figura 11, pode-se observar variações na densidade e tamanho dos estômatos dos clones aos 15 meses de idade.

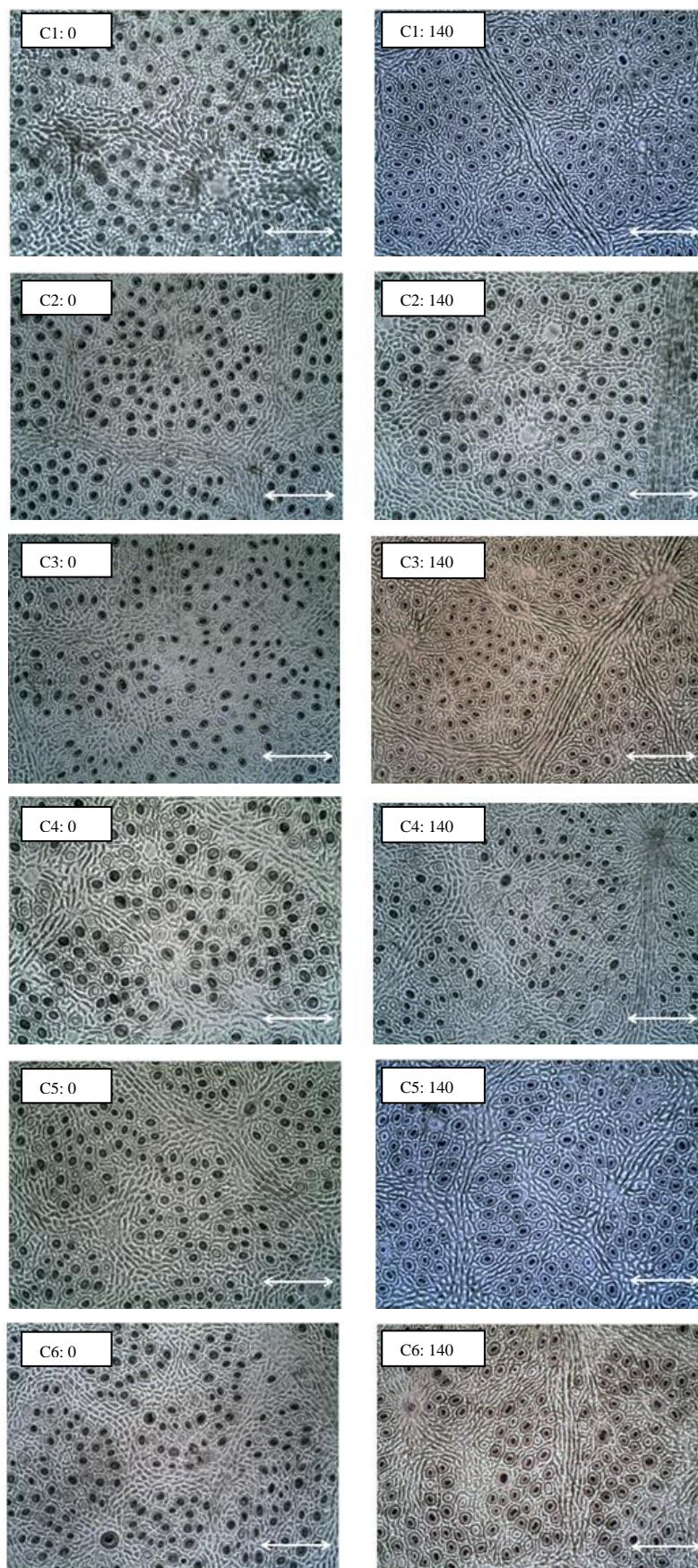


Figura 11 – Fotomicrografias da superfície epidérmica abaxial dos clones (1 a 6) sob omissão de potássio (0) e adubação potássica (140). Barra corresponde a 100 μ m

4.4 Deposição do folheto

Houve efeito significativo dos clones na deposição do folheto, ou seja, a deposição do folheto foi distinta entre os clones. A adubação potássica e a interação dos clones com a adubação, não tiveram efeitos significativos. A deposição de folheto teve uma grande variação ao longo dos três meses avaliados, havendo vários picos de produção de acordo com o clone (Figura 12).

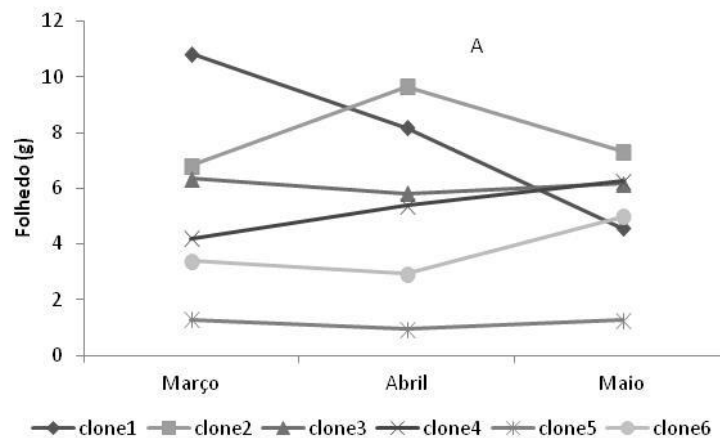


Figura 12 - Deposição de folheto de todos os clones (C), nos três meses de avaliação

Vários autores entre eles MOREIRA e SILVA (2004), LARCHER (2006), BARLOW et al. (2007) e VIERA e SCHUMACHER (2010) concluíram que as maiores deposições de serapilheira poderiam estar relacionadas com a ocorrência de menores precipitações, o que acarreta um estresse hídrico e conseqüentemente ocorre a redução do consumo de água pela queda de folhas como estratégia de sobrevivência, reduzindo também a transpiração.

Porém, BRUN (2004), afirma que a temperatura influencia a deposição de maneira mais marcante, pois maiores quedas são verificadas nos meses de temperatura elevada.

Até o momento das três avaliações realizadas, o aporte de folheto tem mostrado essa tendência, porém ainda não se pode confirmar qualquer uma das hipóteses.

Nas três avaliações, houve efeito significativo dos clones, e não houve efeito significativo para a adubação potássica e interação clone e adubação potássica.

Os clones 1, 2 e 3 são os que apresentaram maiores médias de deposição de folheto, e os clones 4, 5 e 6 menores médias (Figura 13), este comportamento dos clones foi verificado também quanto a área da copa, por tanto, para os clones avaliados a deposição do folheto teve uma relação diretamente proporcional à área da copa.

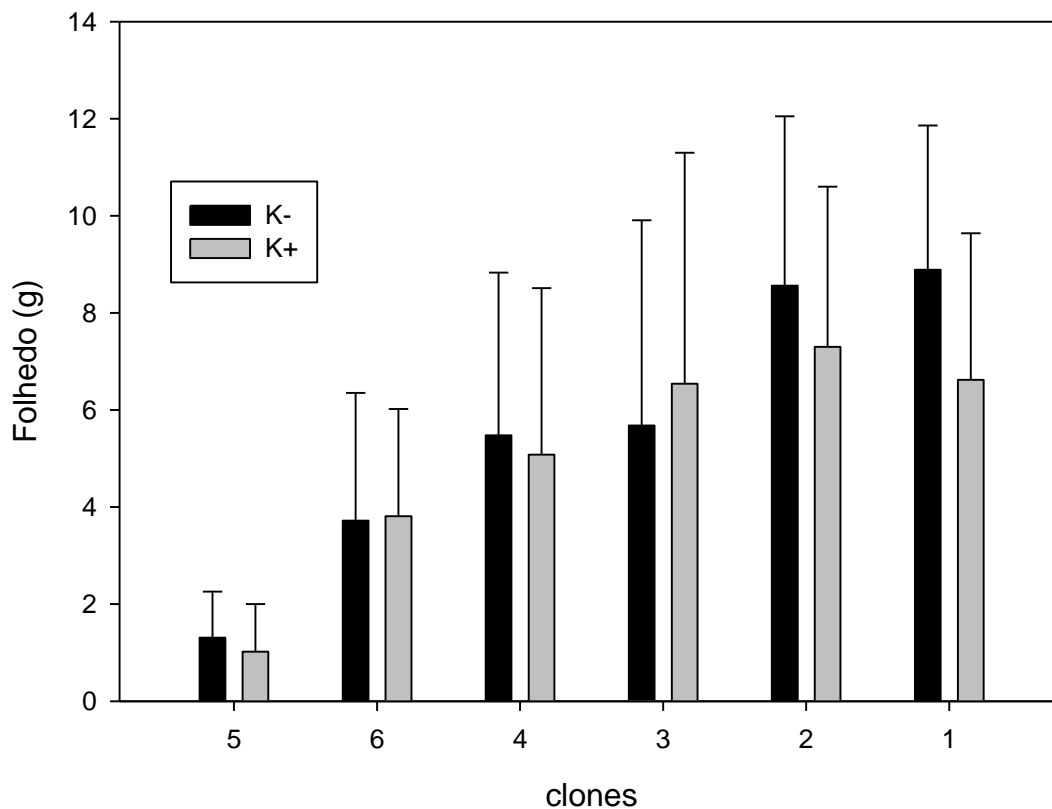


Figura 13 – Deposição de folheda dos clones sob adubação potássica (K+) e omissão de potássio (K-); barras indicam o desvio padrão

Houve diferenças significativas entre os clones na deposição de folheda quando estes encontravam-se em omissão e adubação potássica, sendo que, com a exceção do clone 3 que apresentou maior deposição sob adubação potássica, todos os demais clones apresentaram maiores deposições encontravam-se em omissão de potássio (Figura 13).

Houve correlação positiva e significativa para a interação entre o folheda e a área de copa, altura e DAP aos quinze meses de idade, ou seja, com o crescimento dos clones aumenta a deposição do folheda.

5 CONCLUSÕES

- o estado nutricional dos clones de híbridos de eucalipto avaliados pela concentração de nutrientes foliares, variou em função do material genético, tendo ocorrido correlações entre o teor de nutrientes e as variáveis de crescimento e ecofisiológicas;
- a variação nas respostas à adubação potássica inicia-se aos doze meses de idade para as variáveis de crescimento, sendo que, a altura e o DAP foram maiores nos tratamentos adubados com potássio, e a área da copa mostrou um comportamento inverso;
- quando adubados com potássio, os clones apresentaram maiores áreas foliares, estômatos maiores, densidades menores e maiores crescimentos, assim, pode-se sugerir que eles foram eficientes no uso da água;
- com adequada adubação potássica, todos os clones apresentaram um bom desenvolvimento. No entanto, os clones resistentes ao estresse hídrico (2 e 6) apresentaram maiores valores de crescimento, maiores áreas foliares e maior tamanho de estômatos.

Assim, com base nas avaliações feitas no primeiro ano, retomando as hipóteses testadas no presente estudo, temos:

- se a adubação potássica influe na regulação estômática que por sua vez afeta a eficiência na utilização da água pela redução da transpiração e conseqüentemente na fotossíntese, então diferentes clones respondem ecofisiologicamente da mesma forma à variação da adubação potássica. **Não corroborada**

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O experimento encontram-se ainda na fase inicial (15 meses), e os sintomas da deficiência hídrica ainda não são visualmente distinguíveis, então é necessário dar-se continuidade às avaliações até ao término do ciclo de corte;
- pelo fato de a avaliação do déficit hídrico ser um processo complexo, é interessante incluir nas próximas avaliações outros parâmetros ecofisiológicos como a fotossíntese, transpiração e condutância estomática e também a avaliação dos hormônios como a prolina e o ABA;
- Instalar réplicas do experimento em áreas com déficit hídrico ainda mais rigoroso, como o Maranhão e o Piauí, para reforçar a pesquisa, permitindo uma análise mais profunda e realística do comportamento dos clones em situação de déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- AASAMAA, K.; SÖBER, A.; RAHI, M. Leaf anatomical characteristics associated with shoot hydraulic conductance, stomatal conductance and stomatal sensitivity to changes of leaf water status in temperate deciduous trees. **Australian Journal of Plant Physiology**. Collingwood, v. 28, n. 8, p. 765-774, 2001.
- ABAYOMIAND, Y.A.; ADEDOYIN, G.A. Effects of planting date and nitrogen fertilizer application on growth and yield of contrasting maize (*Zea mays* L.) genotypes II: morphophysiological growth characters and their contributions to grain yield. **Nigerian Journal of Pure and Applied Science**, Lagos, v. 19, p. 641- 652, 2004.
- Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF**. Brasília, 2012. 145 p.
- ABRAMS, M.D.; KUBISKE, M.E.; MOSTOLLER, S.A. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. **Ecology**, v. 75, n. 1, p. 123-133, 1994. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1939389>. Acesso em: 29 maio 2013.
- ACKERLY, D.D.; DONOGHUE, M.J. Leaf size, sapling allometry, and corner's rules: phylogeny and correlated evolution in maples (*Acer*). **The American Naturalist**, Chicago, v. 152, n. 6, p. 767-791, 1998.
- ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V.; LANDSBERG, J.J.; REZENDE, G.D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, n. 1/2, p. 10-21, 2007.
- ALMEIDA, J.C.R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112 p. (Dotourado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ALTMAN, A.; LEVIN, N. Interactions of polyamines and nitrogen nutrition in plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen. v. 89, p. 653-658, 1993.
- AMTMANN, A.; HAMMOND, J.P.; ARMENGAUD, P.; WWHITE, P.J. Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus. **Advances in Botanical Research**, Amsterdam, v. 43, p. 209-257, 2005.
- ARCHIBALD, S.; BOND, W.J. Growing tall vs. growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. **Oikos. Journal of Ecology**, Copenhagen, v. 102, n. 1, p. 3-14, 2003.
- ARMENGAUD, P.; BREITLING, R.; AMTMANN, A. The potassium-dependent transcriptome of *Arabidopsis* reveals a prominent role of jasmonic acid in nutrient signaling. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 136, p. 2556-2576, 2004.
- ARQUERO, O.; BARRANCO, D.; BENLLOCH, M. Potassium starvation increases stomatal conductance in olive trees. **Hortscience**, Alexandria. v. 41, n. 2, p. 433-436, 2006.

ASHTON, P.M.S.; BERLYN, G.P. Leaf adaptations of some shorea species to sun and shade. **New Phytologist**, Cambridge, v. 121, n. 4, p. 587-596, 1992.

BAKER, D.A.; WEATHERLEY, P.E. Water and solute transport by exuding root systems of *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 485-496, 1969.

BARLOW, J.; GARDINER, T.A.; FERREIRA, L.V.; PERES, C.A. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 247, n. 1/3, p. 91-97, 2007.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: VIÇOSA, F.D. (Ed.). **Relação solo- eucalipto**. Viçosa: UFV, 1990. cap. 4, p. 127-186.

BASILE, B.; REIDEL, E.J.; WEINBAUM, S.A.; DEJONG, T.M. Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 185-194, 2003.

BATTAGLIA, M.; CHERRY, M.L.; BEADLE, C.L.; SANDS, P.J.; HINGSTON, A. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature. **Tree Physiology**, Oxford, v. 18, n. 8/9, p. 521-528, 1998.

BEDNARZ, C.W.; OOSTERHUIS, D.M. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 2, p. 303-313, 1999.

BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) em função da idade**. 1979. 129 p. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

BEZERRA, F.M.L.; ARARIPE, M.A.E.; TEÓFILO, E.A.; CORDEIRO, L.G.; SANTOS, J.J.A. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 5-10, 2003.

BIDWELL, R.G.S. **Plant physiology**. London: Macmillan, 1979. 726 p.

BISON, O.; RAMALHO, M.A.P.; REZENDE, G.D.S.P.; AGUIAR, A.M.; RESENDE, M.D.V. Dialelo parcial entre clones de *Eucalyptus camaldulensis* e clones de *E. urophylla*, *E. grandis* e *E. saligna*. **Revista Árvore**. Viçosa. v. 33, p. 395-402, 2009.

BLATT, M.R. Potassium-dependent, bipolar gating of K₁ channels in guard cells. **Journal of Membrane Biology**, New York, v. 102, n. 3, p. 235-246, 1988.

BLUM, A. **Plant breeding for water limited environments**. New York: Springer Science, 2011. 258 p.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 26, p. 61-72, 2003.

BOUCHEREAU, A.; AZIZ, A.; LARHER, F.; MARTIN-TANGUY, J. Polyamines and environmental challenges: recent development. **Plant Science**, Limerick, v. 140, n. 2, p. 103-125, 1999.

BRUN, E.J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS**. 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

BÜSSIS, D.; GROLL, U.V.; FISAHN, J.; ALTMANN, T. Stomatal aperture can compensate altered stomatal density in *Arabidopsis thaliana* at growth light conditions. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 33, p. 1037-1043, 2006.

CABAÑERO, F.J.; CARVAJAL, M. Different cation stresses affect specifically osmotic root hydraulic conductance, involving aquaporins, ATPase and xylem loading of ions in *Capsicum annuum*, L. plants. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 164, n. 10, p. 1300-1310, 2007.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 168, p. 521-530, 2005.

_____. Potassium for better crop production and quality. **Plant and Soil**, The Hague, v. 335, n. 1-2, p. 1-2, 2010.

CAKMAK, I.; ENGELS, C. Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation. In: RENGEL, Z. (Ed.). **Mineral nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications**. New York. Food Products Press, 1999. p. 141-168.

CAVALCANTE, A.; BRAZ, M.; MATTOS, E. Germination biology and seedling growth of *Clusia hilariana* Schtdl., a dominant CAM-tree of drought-prone sandy coastal plains. **Ecological Research**, Tsukuba, v. 25, n. 4, p. 781-787, 2010.

CHARTZOULAKIS, K.; NOITSAKIS, B.; THERIOS, I. Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits. **Irrigation Science**, New York, v. 14, n. 1, p. 1-5, 1993.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1-16, 1991.

CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.L.; RICARDO, C.P.P.; OSÓRIO, M.L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, London, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.

COSTA, A.R. **Texto académico: as relações hídricas das plantas vasculares**. Évora: Universidade de Évora, 2001. 75 p.

DAMATTA, F.M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. **Advances in Plant Physiology**, Jodhpur, v. 5, p. 227-265, 2003.

_____. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba. v. 19, p. 239-244, 2007.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, California, v. 42, p. 55-76, 1991.

DOHENY-ADAMS, T. HUNT, L.; FRANKS, P.J.; BEERLINGER, D.J.; GRAY, J.E. Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**. London, v. 367, n. 1588, p. 547-555, 2012.

DONG, X.; ZHANG, X. Special stomatal distribution in *Sabina vulgaris* in relation to its survival in a desert environment. **Trees**, Berlin, v. 14, n. 7, p. 369-375, 2000.

DRAKE, P.L.; FROEND, R.H.; FRANKS, P.J. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 2, p. 495-505, 2013.

DYE, P.J. Water use efficiency in South African eucalyptus plantations: a review. **The Southern African Forestry Journal**, Pretoria, v. 189, n. 1, p. 17-26, 2000.

EL-HADI, A.H.A.; ISMAIL, K.M.; EL-AKABAWY, M. A. Effect of potassium on the drought resistance of crops in Egyptian conditions. In: REGIONAL WORKSHOP OF IPI, 1997, Bornova. **Proceedings...** Bornova: Johnston EA ed, 1997. p. 328-336.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 306 p.

FARIA, E.G.; BARROS, N.F.; CUNHA, V.L.P.; MARTINS, I.S.; MARTINS, R.C.C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, p. 363-373, 2008.

FARIA, E.G.; BARROS, N.F.; CUNHA, V.L.P.; MARTINS, I.S.; MARTINS, R.C.C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

FRANKS, P.J.; BEERLING, D.J. Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 106, n. 25, p. 10343-10347, 2009. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/106/25/10343.abstract>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

FRANKS, P.J.; DRAKE, P.L.; BEERLING, D.J. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: an analysis using *Eucalyptus globulus*. **Plant, Cell & Environment**, v. 32, n. 12, p. 1737-1748, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.002031.x>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

FREITAS, R.A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no município**

de Alegrete – RS. 2000. 87 p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

FROMM, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, p. 1140–1147, 2010.

GAY, A.P.; HURD, R.G. The influence of light on stomatal density in the tomato. **New Phytologist**, Cambridge, v. 75, n. 1, p. 37-46, 1975. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2431138>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

GERBAUER, R.L.E.; REYNOLDS, J.F.; STRAIN, B.R. Allometric relations and growth in pinus taeda: the effect of elevated CO₂ and changing N availability. **New Phytologist**, Cambridge, v. 134, n. 1, p. 85-93, 1996. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2558517>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

GETHING, P.A. Potassium and water relationships. In: GHETING, P.A. **Potash facts**. Bern: IPI publications, 1990. p. 30-36.

GHOLZ, H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. Water and forest productivity. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, n. 1/4, p. 1-18, 1990.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF; FAPESP, 2000. v. 1, cap. 1, p. 1-57.

GUPTA, A.S.; BERKOWITZ, G.A.; PIER, P.A. Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat: role of potassium status and irrigation history. **Plant Physiology**. Minneapolis. v. 89, n. 4, p. 1358-1365, 1989. Disponível em: <<http://www.plantphysiol.org/content/89/4/1358.abstract>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

GÜRSOY, M.; BALKAN, A.; ULUKAN, H. Ecophysiological responses to stresses in plants: a genera approach. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Islamabad, v. 15, n. 11, p. 506-516, 2012.

HETHERINGTON, A.M.; WOODWARD, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, London, v. 424, n. 6951, p. 901-908, 2003.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 24, p. 519-570, 1973.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2/3, p. 185-202, 2005.

JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H.J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review in morphological characteristics and pigment compositions. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 11, p. 100-105, 2009. Disponível em: <http://fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_11_NO_1/22.pdf>. Acesso em: 05 maio 2013.

JAMES, S.A.; BELL, D.T. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* provenances. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, p. 1007–1018, 2000.

JAYAKUMAR, K.; JALEEL, C.A.; VIJAYARENGAN, P. Changes in growth, biochemical constituents and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under cobalt stress. **Turkish Journal of Biology**, Istanbul, v. 31, p. 127–136, 2007.

JIN, S.H.; HUANG, J.Q.; LI, X.Q.; ZHENG, B.S.; WANG, Z.J.; LIU, G.H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. **Tree Physiology**, Amsterdam, v. 31, n. 10, p. 1142-1151, 2011.

KAFKAFI, U. The functions of plant K in overcoming environmental stress situations. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 22., 1990, Soligorsk. **Development of K-fertilizer recommendations**. Soligorsk: International Potash Institute, 1990. p. 65-77.

KAMELI, A.; LÖSEL, D.M. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 145, n. 3, p. 363-366, 1995.

KANAI, S.; OHKURA, K.; ADU-GYAMFI, J.J.; HOHAPATRA, P.K.; NGUYEN, N.T.; SANEOKA, H. FUJITA, K. Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 11, p. 2917-2928, 2007.

KELLING, C.R.S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91 p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

KIM, M.S.; KIM, J.Y. Chromosome doubling of a *Cymbidium* hybrid with colchicine treatment in meristematic culture. **Proceedings of NIOC**. Nagoya, p. 37-40, 2003.

KIRNAK, H.; KAYA, C.; TAS, I.; HIGGS, D. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**. Sofia, v. 27, n. 34, p. 34-46, 2001.

KOZLOWSKI, T.; PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997. 411 p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

LANDSBERG, J.; SANDS, P. **Physiological ecology of forest production: principles, process and models**. 4th ed. San Diego: Academic Press, 2012. 352 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 4. ed. São Carlos: RiMa, 2006. 531 p.

LAUTNER, S.; FROMM, J. Calcium-dependent physiological processes in trees. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 12, p. 268-274, 2010.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves : stomata vs . metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 871-885, 2002.

LEDIG, F.T.; BORMANN, F.H.; WENGER, K.F. The distribution of dry matter growth between shoot and roots in loblolly pine. **Botanical Gazette**, Chicago. v. 131, n. 4, p. 349-359, 1970.

LI, C. Population differences in water-use efficiency of *Eucalyptus microtheca* seedlings under different watering regimes. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 108, n. 2, p. 134-139, 2000.

LI, C.; WANG, K. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. populations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 179, n. 1-3, p. 377-385, 2003.

LISAR, S.Y.S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M.M.; HASEGAWA, H. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I.M.M.; HASEGAWA, H. (Ed.). **Water stress**. Oxford: In Tech, 2012. p. 300.

LLERAS, E. Differences in stomatal numbers per unit area within the same species under different micro-environmental conditions: a working hypothesis. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 7, p. 473-476, 1977.

LOPES, J.L.W.; SAAD, J.C.C.; GUERRINI, I.A.; LOPES, C.F. Crescimento inicia do eucalipto em função da aclimação em viveiro. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 199-211, 2011.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: FERRI, M.G. (Ed.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. p. 77-116.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd London: Elsevier, 1995. 889 p.

MATOS, G.S.B.; SILVA, G.R.; GAMA, M.A.P.; VALE, R.S.; ROCHA, J.E.C. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de eucalipto no nordeste do Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, p. 491-500, 2012.

MAZZOLENI, S.; DICKMANN, D.I. Differential physiological and morphological responses of twohybrid PupuZus clones to water stress. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 4, p. 61-70, 1988.

MCCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 353-360, 1989.

- MCINTYRE, G.I. The role of water in the regulation of plant development. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 65, n. 7, p. 1287-1298, 1987.
- MEDRANO, H.; CHAVES, M.M.; PORQUEDDU, C.; CAREDDA, S. Improving forage crops for semi-arid areas. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 27, n. 2, p. 89-94, 1998.
- MEDRI, M.E.; LLEDRAS, E. Aspectos da anatomia ecológica de folhas de *Hevea brasiliensis* Muel. Arg. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 10, p. 463-493, 1980.
- MENGEL, K.; KIRBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer, 2001. 849 p.
- MERCHANT, A.; TAUSZ, M.; ARNDT, S.K.; ADAMS, M.A. Cyclitols and carbohydrates in leaves and roots of *Eucalyptus* species suggest contrasting physiological responses to water deficit. **Plant, Cell and Environment**. Dordrecht, v. 29, n. 9, p. 2017-2029, 2006.
- MOREIRA, P.R.; SILVA, O.A.D. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, p. 49-59, 2004.
- NAMBIER, E.K.S.; FIFE, D.N. Growth and nutrient retranslocation in needles of Radiata Pine in relation to nitrogen supply. **Annals of Botany**, London, v. 60, p. 147-156, 1987.
- NAVES, V.L.; ALVARENGA, A.A.D.; OLIVEIRA, L.E.M.D. Comportamento estomático de mudas de três espécies florestais submetidas à diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, p. 408-414, 1994.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: Imprensa Universitária, 2005. 499 p.
- PAIVA, R.; OLIVEIRA, L.M. **Fisiologia e produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2006. 104 p.
- PANDEY, S.; NAGAR, P.K. Patterns of leaf surface wetness in some important medicinal and aromatic plants of Western Himalaya. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, Jena, v. 198, n. 5, p. 349-357, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253004700778>>. Acesso: 05 maio 2013.
- PEARCE, D.W.; MILLARD, S.; BRAY, D.F.; ROOD, S.B. Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. **Tree Physiology**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 211-218, 2006.
- PEREIRA, F.J.; POLO, M. Crescimento e acúmulo de íons em plântulas de *Handroanthus serratifolius* (VAHL.) cultivadas em solução salina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 441-446, 2011.
- PERREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e magnésio em solução nutritiva para capim-mombaça**. 2001. 124 p. Tese (Dotourado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Editora Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004. 191 p.
- POTCHANASIN, P.; SRINGARM, K.; SRUAMSIRI, P.; BANGERTH, K.F. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan*, Lour.) trees: Part I. Low temperature and potassium chlorate effects on FI and hormonal changes exerted in terminal buds and sub-apical tissue. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, n. 2, p. 288-294, 2009.
- REICH, P.B.; ELLSWORTH, D.S.; WALTERS, M.B.; VOSE, J.M.; GRESHAM, C.; VOLIN, J.C.; BOWMAN, W.D. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. **Ecology**, v. 80, n. 6, 1999. Disponível em: <<http://cwt33.ecology.uga.edu/publications/49.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2013.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, p. 1-15, 1987.
- RICHARDS, F.J.; COLEMAN, E.G. Occurrence of putrescine in potassium deficient barley. **Nature**, London, v. 170, n. 4324, p. 460, 1952.
- ROELFSEMA, M.R.G.; HEDRICH, R. In the light of stomatal opening: new insights into "the Watergate". **New Phytologist**, Cambridge, v. 167, p. 665-691, 2005.
- RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. **Plant and Soil**, The Hague. v. 335, n. 1/2, p. 155-180, 2010.
- ROYO, A.; GIL, L.; PARDOS, J. A. Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. seedlings. **New Forest**, Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 127-140, 2001.
- SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 267-294, 1998.
- SCHLÜTER, U.; MUSCHAK, M.; BERGER, D.; ALTMANN, T. Photosynthetic performance of an Arabidopsis mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 383, p. 867-874, 2003.
- SCHULTZ, H.; MATTHEWS, M. Xylem development and hydraulic conductance in sun and shade shoots of grapevine (*Vitis vinifera* L.): evidence that low light uncouples water transport capacity from leaf area. **Planta**, Berlin, v. 190, n. 3, p. 393-406, 1993.
- SEGATTO, F. B. et al. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004. ISSN 0103-8478.

SGARBI, F. **Produtividade do *Eucalyptus sp.* em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo.** 2002. 114 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, E.C. **Respostas fisiológicas do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) aos estresses hídricos e salino.** 2008. 87 p. Tese (Dotourado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, S.R.; BARROS; N.F.; NOVAIS, R.F.; PEREIRA; P.R.G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1001-1010, 2002.

SILVEIRA, R. L. V. A. HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J. L. D. M. e BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. 1ª. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 3, p.79-104. ISBN 85-901358-1-0.

SILVEIRA, R.L.V.A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*.** Piracicaba: POTAFOS, 2000. 91 p. (Informações Agronômicas, nº 91).

SOUZA, F. F.; QUEIRÓZ, M. A. Avaliação de caracteres morfológicos úteis na identificação plantas poliploides de melancia. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 22, n. 3, p. 516-520, 2004.

STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water déficit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 1531-1542, 2000.

SUDAMA, S.; TIWARI, T.N.; SRIVASTAVA, R.P.; SINGH, G.P. Effect of potassium on stomatal behaviour, yield and juice quality of sugar cane under moisture stress condition. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 3, p. 303-305, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TARDIEU, F.; GRANIER, C. Quantitative analysis of cell division in leaves: methods, developmental patterns and effects of environmental conditions. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 43, n. 5/6, p. 555-567, 2000.

TARI, I. Abaxial and adaxial stomatal density, stomatal conductances and water status of bean primary leaves as affected by paclobutrazol. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 47, p. 215-220, 2003.

THIEL, G.; WOLF, A.H. Operation of K⁺ - channels in stomatal movement. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 2, n. 9, p. 339-345, 1997.

VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B.; CORRADINI, L. Composição química foliar e crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivado em areia quartzosa, em resposta à aplicação de fósforo e calcário dolomítico. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 63-75, 1993.

- VICHIATO, M. R. M. CASTRO, D.M.; DUTRA, L.F.; PASQUAL, M.; MARCHIORI JR, W.; LIMA, C.D.F.; SALGADO, C.C. Análises estomática e morfométrica de folhas de plantas diploides e tetraploides de *Dendrobium nobile* lindl. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 310, p. 541-548, 2006.
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V. Variação mensal da deposição de serapilheira em povoamento de *Pinus taeda* L. em área de campo nativo em Cambará do Sul-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, p. 487-494, 2010.
- WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; DIAS, L.E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 1796-1803, 1999.
- WANG, R.; HUANG, W.; CHEN, L.; GUO, C.; LIU, X. Anatomical and physiological plasticity in *Leymus chinensis* (Poaceae) along large-scale longitudinal gradient in Northeast China. **PLoS ONE**, v. 6, n. 11, p. e26209, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026209>>. Acesso em: 12 Abril de 2013.
- WARREN, C.R.; BLEBY, T.; ADAMS, M.A. Changes in gas exchange versus leaf solutes as a means to cope with summer drought in *Eucalyptus marginata*. **Oecologia**, Berlin, v. 154, n. 1, p. 1-10, 2007.
- WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, J-M.; TARDIEU, F. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit? A QTL study of the responses of leaf growth and of anthesis-silking interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 339-349, 2007.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 113-140, 2004.
- WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F.M. A canopy water balance model for a *Pinus radiata* stand before and after thinning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 55, n. 1/2, p. 109-126, 1991.
- WIKBERG, J.; ERLING, O. Variation in drought resistance, drought acclimation and water conservation in four willow cultivars used for biomass production. **Tree Physiology**, Oxford, v. 27, n. 9, p. 1339-1346, 2007.
- WIMMER, R.; LUCAS, B.N.; OLIVER, W.C.; TSUI, T.Y. Longitudinal hardness and young's modulus of spruce tracheid secondary walls using indentation technique. **Wood Science Technology**, New York, v. 31, n. 2, p. 131-141, 1997.
- WOODWARD, F.I. Stomatal numbers are sensitive to increases in CO₂ from pre-industrial levels. **Nature**, London. v. 327, n. 6123, p. 617-618, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/327617a0>>. Acesso: 13 mar. 2013.
- WU, Y.; SHARP, R.E.; DURACHKO, D.M.; COSGROVE, D.J. Growth maintenance of the maize primary root at low water potentials involves increases in cell-wall extension

properties, expansin activity, and wall susceptibility to expansins. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 111, p. 765-772, 1996.

XU, Z.; ZHOU, G. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 12, p. 3317-3325, 2008.

YANG, X.E.; LIU, J.X.; WANG, W.M.; YE, Z.Q.; LUO, A.C. Potassium internal use efficiency relative to growth vigor, potassium distribution, and carbohydrate allocation in rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 5, p. 837-852, 2004.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, special issue, p. 187-206, 2003.

APÊNDICE

Tabela 4 – significância dos macronutrientes

	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----6 meses-----						-----15 meses-----					
clone	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	S	NS	S
K	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS
clone*K	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS – não significativo; S – significativo a 5%

Tabela 5 – significância das variáveis de crescimento

	H2	H4	H9	H12	H15	AC4	AC9	AC12	AC15	DAP12	DAP15
clone	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
K	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S
clone*K	S	S	S	S	S	NS	NS	S	NS	NS	NS

NS – não significativo; S – significativo a 5%

Tabela 6 – significância da área foliar e características estomáticas

	AF	Densidade	Dia. Equatorial	Diam. polar
clone	S	S	S	S
K	S	S	S	NS
clone*K	S	NS	NS	NS

NS – não significativo; S – significativo a 5%

Tabela 7 – significância da deposição do folheto

	Folheto15	Folheto16	Folheto17
clone	S	S	S
K	NS	NS	NS
clone*K	NS	NS	NS

NS – não significativo; S – significativo a 5%

Tabela 8 – valores médios das variáveis de crescimento

Clones	Altura (m)					Área da copa (m ²)				DAP (Cm)	
	2 m	4 m	9 m	12 m	15 m	4 m	9 m	12 m	15 m	12 m	15 m
1	0,47 b	1,76 c	3,37 c	5,69 a	8,74 b	2,23 a	5,04 a	6,72 a	7,79 a	4,99 b	6,49 b
2	0,53 a	1,94 b	3,71 ba	5,72 a	9,28 a	2,09 a	4,21 b	5,31 b	7,69 a	5,63 a	7,08 a
3	0,49 ba	1,48 d	2,85 d	4,89 c	8,05 c	1,37 c	3,48 c	5,21 b	7,16 b	4,5 c	5,97 c
4	0,49 ba	1,69 c	3,51 bc	5,35 b	8,51 b	1,79 b	3,31 c	4,16 c	5,79 b	5,39 a	6,79 ba
5	0,49 ba	1,54 d	3,05 d	5,28 b	8,44 b	1,18 d	5,32 d	3,75 d	5,58 c	4,5 c	6,01 c
6	0,50 ba	2,18 a	3,85 a	5,94 a	9,16 a	2,26 a	4,24 b	5,39 b	6,70 c	5,54 a	7,00 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)