

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos plantios de eucalipto no Brasil se concentra em solos intemperizados, de baixa fertilidade natural e elevada acidez. Há, dessa forma, um déficit natural, em relação ao suprimento de nutrientes, necessitando da utilização de corretivos e fertilizantes. Os nutrientes minerais, embora requeridos em diferentes quantidades, possuem a mesma importância para o desempenho das principais funções fisiológicas das plantas (PRADO, 2008), das quais dependem o crescimento e a produtividade dessas.

Algumas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam baixa exigência nutricional, além de tolerância a baixos teores de magnésio (Mg), inferior aos estabelecidos para maioria das culturas (BARROS e NOVAIS, 1999). Entretanto, o fornecimento de Mg é necessário para se obter maior produtividade e evitar a exaustão nutricional do solo, principalmente por ser um nutriente bastante exportado pela cultura do eucalipto e frequentemente negligenciado em programas de adubação (CAKMAK e YAZICI, 2010).

A deficiência de Mg afeta muitos processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, levando a prejuízos no crescimento e na produção (CAKMAK e YAZICI, 2010). Um desses processos é a biossíntese de clorofila (pigmento importante na captação da luz e início do processo fotossintético), no qual a primeira etapa é a inserção do Mg no anel de porfirina (WALKER e WEINSTEIN, 1991). Além disso, a deficiência de Mg afeta o tamanho, estrutura e função dos cloroplastos, incluindo a transferência de elétrons no fotossistema II (MCSWAIN e outros, 1976). Portanto, sob deficiência de Mg, há uma diminuição da síntese de clorofila, e conseqüentemente da taxa fotossintética (SALIBURY e ROSS, 2012).

O Mg influencia a partição de carboidratos e a alocação de biomassa entre parte aérea e raiz (CAKMAK e KIRBY, 2008), sendo a sacarose o principal composto orgânico envolvido no transporte entre esses órgãos

(HERMANS e outros, 2004), indicando que a fotossíntese por si só é menos prejudicada que o metabolismo de açúcares no interior da célula e ou carregamento do floema (MARSCHNER, 2012). Aumentos substanciais no acúmulo de carboidratos em folhas deficientes de Mg (HERMANS e outros, 2004), juntamente com o aumento nas relações de matéria seca parte aérea/raiz, (CAKMAK e outros, 1994a), indicam que a exportação de fotoassimilados da fonte para órgãos drenos é prejudicada pela deficiência de Mg.

A carência de Mg, portanto, tende a causar distúrbios na partição de assimilados no sistema fonte-dreno, reduzindo a alocação de carboidratos e a expansão do sistema radicial (WIKSTRÖM e ERICSSON, 1995).

Em eucalipto, admite-se a possibilidade de que uma menor expansão do sistema radicial pode reduzir a capacidade de absorção de água e nutrientes, como também dificultar a própria sustentação física da planta. Caso sejam confirmados, esses efeitos poderão se tornar mais evidentes, em especial, após o transplântio de mudas, quando a expansão do sistema radicial constitui condição essencial para a sobrevivência e o crescimento das plantas jovens no campo.

Apesar de o papel essencial do Mg ser cada vez mais reconhecido na nutrição de plantas de muitas espécies, estudos morfofisiológicos sobre a sua carência ainda são escassos, em relação à cultura do eucalipto.

O presente estudo objetivou avaliar os efeitos de diferentes níveis de carência desse nutriente sobre a fotossíntese, a partição de assimilados e o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, após o transplântio em vasos, em casa de vegetação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultivo de eucalipto no Brasil

Nativo da Austrália, o gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil no início do século XIX, como planta ornamental, e o início de seu uso para fins comerciais no início do século XX foi destinado principalmente para produção de lenha e dormentes (VALE e outros, 2014). Atualmente, o eucalipto se destaca como a espécie florestal cultivada mais plantada no Brasil, com um total de 5,56 milhões de hectares em 2014 (IBÁ, 2015). O gênero apresenta extrema importância na cadeia produtiva do setor brasileiro de florestas plantadas, pela grande diversidade de produtos, compreendendo um conjunto de atividades que incluem desde a produção até a transformação da madeira em produtos como celulose e papel, painéis de madeira industrializada, processamento mecânico, madeira tratada, siderurgia a carvão vegetal e energia (VIEIRA e outros, 2006).

No Brasil, a eucaliptocultura é intensiva e baseada principalmente em plantios clonais, formado por materiais de elevada produtividade média, chegando a atingir patamares de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (MORA e GARCIA, 2000), dependendo do material genético, condições edafoclimáticas e dos tratamentos culturais (ALFENAS e outros, 2009). Nesse cenário, os programas clássicos de melhoramento de eucalipto, que abordam o crescimento, sobrevivência, pragas e doenças, e qualidade da madeira, têm se deparado com novos desafios, devido ao surgimento de novas pragas e doenças e à necessidade de aumentar a produtividade em solos marginais (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS 2011; VALE e outros, 2014).

Os nutrientes minerais e a água são os principais limitantes da produção vegetal, e por isso a correção do solo, bem como a fertilização mineral são indispensáveis para a obtenção de altas produtividades, notadamente para o

eucalipto, que normalmente é cultivado em solos de baixa fertilidade (VALE e outros, 2014). Algumas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam tolerância a altas concentrações de alumínio na solução do solo, além de baixa exigência nutricional e tolerância a níveis críticos de cálcio e magnésio, inferiores aos estabelecidos para a maioria das culturas (BARROS e NOVAIS, 1999). Entretanto, a busca pela obtenção de maiores produtividades, no intuito de evitar a exaustão nutricional do solo, tem sido uma preocupação crescente, em particular, com o esgotamento de Mg, que ainda é carente de pesquisas relacionadas ao seu papel na produção e qualidade dos produtos agrícolas (CAKMAK e YAZICI, 2010).

2.2 Magnésio no solo

O Mg é encontrado na solução do solo, nas formas não trocável, trocável e solúvel (WILKINSON e outros, 1990), e normalmente está mais fracamente adsorvido aos coloides do solo do que outros cátions, devido ao seu maior raio de hidratação, tornando-o altamente propenso à lixiviação, contribuindo para redução da disponibilidade de Mg para as plantas (DENG e outros, 2006).

O aumento da concentração de Mg no solo reduz a sua deficiência induzida pelo alumínio (Al), bem como ameniza a toxicidade do Al no desenvolvimento do sistema radicular (KINRAIDE e outros, 2004), principalmente em solos ácidos, onde o Al torna-se mais disponível (CONCEIÇÃO e outros, 2008).

A adaptação das plantas a solos ácidos ocorre mediante a liberação de ânions de ácidos orgânicos das raízes, que formam quelatos com os íons tóxicos de Al, produzindo complexos Al-ácido orgânico, que não são fitotóxicos. Isso é possível mediante a disponibilidade de Mg para a planta, o qual é necessário para liberação efetiva de ânions de ácidos orgânicos nas raízes, que modificam a rizosfera intoxicada com Al (YANG e outros, 2007), indicando que o Mg traz

benefícios muito específicos para a proteção da planta, contra a toxicidade por Al (CAKMAK e YAZICI, 2010).

A disponibilidade de Mg em solos ácidos é reduzida pela competição de H, Al e Mn, enquanto nos solos alcalinos o excesso de Ca, K, NH_4 e Mn reduzem a disponibilidade de Mg (WILKINSON e outros 1990; MARSCHNER, 2012). Esse efeito é causado especialmente pelo K, que é amplamente utilizado nos programas de adubação, e intensifica o efeito competitivo sobre a absorção do Mg, causando um desequilíbrio nutricional e reduzindo os teores foliares desse elemento (OLIVEIRA e outros, 2001; MARQUES e outros, 2011).

2.3 Magnésio na planta

2.3.1 Funções biológicas gerais

O Mg é um elemento essencial e representa 0,2% da matéria seca dos vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2013), participando de vários processos metabólicos e reações como fotofosforilação (formação de ATP nos cloroplastos), fixação fotossintética de dióxido de carbono, síntese proteica, formação de clorofila, carregamento do floema, separação e utilização de fotoassimilados, geração de espécies reativas de oxigênio e fotooxidação nos tecidos foliares (CAKMAK e YAZICI, 2010).

O Mg^{2+} é provavelmente mais conhecido por sua posição central na molécula de clorofila, onde se liga covalentemente a quatro átomos de nitrogênio do anel de porfirina (WILKINSON e outros 1990). Além disso, o Mg tem papéis mais importantes na fotossíntese, particularmente na capacidade de promover as reações de luz no estroma. A percepção de luz e o subsequente transporte de elétrons levam à acumulação de H^+ no lúmen dos tilacoides. A separação de carga resultante é combatida pelo fluxo de Mg^{2+} do lúmen do tilacoide para o estroma (MAATHUIS, 2009).

O Mg^{2+} celular participa de processos metabólicos, como cofator de enzimas, estabilização de nucleotídeos e ácidos nucleicos, e nas reações enzimáticas associadas à transferência de energia (fosforilação / desfosforilação) (MAATHUIS, 2009; PASTERNAK e outros, 2010).

Muitas enzimas-chave envolvidas no metabolismo fotossintético do carbono são afetadas por pequenas variações na concentração de Mg (CAKMAK e KIRKBY, 2008). A diminuição da fotossíntese em folhas com deficiência de Mg é geralmente associada à redução na fixação fotossintética de CO_2 , porque esse nutriente atua como cofator e ativador alostérico de enzimas de fixação de CO_2 (MARSCHNER, 2012) e está envolvido na transferência de energia via trifosfato de adenosina (IGAMBERDIEV e KLECZKOWSKI, 2003) e controle de pH (WU e outros, 1991). A atividade da Rubisco é dependente de Mg e pH. A ligação do Mg a esta enzima aumenta sua afinidade (K_m) com o CO_2 , bem como a velocidade máxima (V_{max}) da reação. Em função de sua participação nessas reações, a carência de Mg pode inibir a fotossíntese, mesmo com a presença de clorofila (PRADO, 2008).

Como a deficiência de Mg reduz a síntese de clorofila, a redução no teor dessa molécula serve para avaliar a degradação do aparelho fotossintético. Essa redução tem sido observada em beterraba sacarina (HERMANS e outros, 2004) e em mudas de cafeeiro, cultivar Catuaí (SILVA e outros, 2014), à medida que aumenta o período de deficiência de Mg nas plantas.

Antes da ocorrência de qualquer alteração na fotossíntese e nas concentrações de clorofila, há um aumento substancial no acúmulo de sacarose em folhas deficientes em Mg (HERMANS e outros, 2004). A diminuição da fotossíntese somente ocorre em estágios avançados de deficiência desse nutriente, como encontrado em mudas de pinheiro (LAING e outros, 2000) e em plantas de beterraba (HERMANS e outros, 2004). Em beterraba (HERMANS e outros, 2004) e em *Arabidopsis* (HERMANS e VERBRUGGEN, 2005), o acúmulo de açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) e amido em folhas precedem uma queda na fotossíntese.

A redução na fotossíntese também ocorre em função do papel que o Mg desempenha na cadeia transportadora de elétrons nos centros de reação PSI e PSII que absorvem fótons e iniciam o fluxo de elétrons. Durante o transporte de elétrons, prótons são bombeados do estroma para o lúmen do tilacoide, que se tornam mais ácidos, induzindo a um gradiente de prótons através da membrana do tilacoide. Esse transporte de prótons induzido pela luz para o lúmen do tilacoide é contrabalançado pelo transporte de Mg do lúmen do tilacoide ao estroma (KRAUSE, 1977). O estabelecido gradiente de potencial eletroquímico, através da membrana do tilacoide, é necessário para a síntese de ATP (ALLEN, 2002).

2.3.2 Partição de assimilados nas plantas

As substâncias orgânicas solúveis, normalmente produzidas no processo fotossintético e conhecidas como assimilados, podem ser usadas como substrato para a respiração, crescimento ou armazenamento. As regiões de produção (fonte) de assimilados encontram-se separadas das regiões de consumo (dreno); assim, os assimilados movimentam-se de uma parte para outra através do sistema condutor da planta, denominado floema (RYAN e ASAO, 2014).

As principais substâncias orgânicas a serem translocadas no floema consistem de carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas e aminoácidos, especialmente glutamato e aspartato e suas amidas, glutamina e asparagina (PATE e outros, 1979). Quase todos os hormônios de plantas (auxinas, citocininas, giberelinas e ácido abscísico) são encontrados no floema (WEILER e ZIEGLER, 1981).

Todos os carboidratos translocados pelo floema encontram-se na forma não redutora (principalmente sacarose), o que se explica por estes serem menos reativos que os carboidratos redutores (glucose, frutose e outros). A sacarose é o principal carboidrato translocado na planta, seguido por polióis e

oligossacarídeos da família da rafinose, que também podem ser encontrados no floema (LEMOINE e outros, 2013).

A quantidade de sacarose disponível para exportação nas folhas-fonte depende de vários fatores: atividade fotossintética (fixação de carbono), partição entre a síntese de amido no cloroplasto e as trioses-fosfato exportadas a partir do cloroplasto para a síntese de sacarose, e armazenamento temporário de sacarose no vacúolo. Se um desses fatores é alterado, a quantidade de sacarose disponível para a exportação é afetada (LALONDE e outros, 2004; SAUER, 2007; REINDERS e outros, 2012).

O carregamento de sacarose no floema é um processo ativo, catalisado por cotransporte de sacarose, vinculado ao transporte de íons hidrogênio, envolvendo um gradiente de prótons através da membrana plasmática de células do floema. O gradiente de prótons necessário para o cotransporte de H^+ e sacarose é catalisado pela enzima H^+ -ATPase, situada na membrana plasmática de células do tubo crivado (VIEIRA e outros, 2010; SALISBURY e ROSS, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Quando a disponibilidade de Mg é insuficiente, a exportação de sacarose é dificultada, e as folhas acumulam de três a doze vezes mais sacarose, quando comparadas às folhas com suprimento adequado de Mg, indicando que a deficiência desse nutriente causa inibição severa no transporte de sacarose das folhas para os órgãos dreno (CAKMAK e outros, 1994a). No feijoeiro, alguns estudos apontam para o acúmulo de sacarose em folhas, como consequência da deficiência não apenas de Mg, mas também de K e Zn, mesmo com suprimento adequado de P (MARSCHNER e CAKMAK, 1989, CAKMAK e outros, 1994a; CAKMAK e outros, 1994b). A exportação de outros solutos, como K^+ e aminoácidos, também é prejudicada em folhas deficientes em Mg, (MARSCHNER e CAKMAK, 1989).

Uma possível explicação para a dificuldade em exportar sacarose através do floema, em folhas deficientes em Mg, pode estar relacionada à redução da fotossíntese, porém, a redução da atividade fotossintética ocorre em fases

posteriores ao estresse por deficiência em Mg (CAKMAK e KIRKBY, 2008). Peaslee e Moss (1966) foram pioneiros em relatar que a diminuição da fotossíntese não é um indicador sensível da deficiência de Mg. Segundo esses autores, a justificativa mais provável para a redução na exportação de sacarose através do floema pode ser atribuída ao efeito direto funcional e/ou estrutural do Mg no carregamento de sacarose no floema.

O efeito de Mg no carregamento de sacarose no floema parece ser muito específico e não relacionado a qualquer efeito secundário, pois o fornecimento de Mg para a planta deficiente induz à restauração da exportação de sacarose pelo floema (CAKMAK e outros, 1994b). Isso ocorre tanto sob condições de escuro como de luz, indicando que a melhoria na exportação de sacarose não está relacionada à fotossíntese (CAKMAK e KIRKBY, 2008).

É mais provável que a redução no carregamento do floema ocorra porque as moléculas de ATP, necessárias ao fornecimento de energia para o transporte ativo dos solutos, são queladas com um Mg (SALISBURY e ROSS, 2012), formando o complexo Mg-ATP (IGAMBERDIEV e KLECZKOWSKI, 2003), essencial para o bom funcionamento da H⁺-ATPase (BUSH, 1989). Logo, uma queda na concentração de Mg-ATP nos locais de carregamento do floema reduz o transporte de sacarose (CAKMAK e KIRKBY, 2008).

Os açúcares produzidos nos órgãos-fonte são transportados pelo floema, movendo-se pelos elementos crivados para os órgãos-dreno, onde são armazenados ou metabolizados (LAMOINE e outros, 2013). As raízes e folhas jovens são os maiores drenos durante os primeiros estágios de desenvolvimento (WARDLAW, 1990).

A hidrólise da sacarose que chega aos drenos é realizada principalmente por duas enzimas: a sacarose sintase (Susy) e a invertase. A Susy e a invertase neutra atuam no citosol, enquanto a invertase ácida atua no vacúolo e na parede celular, sendo que os produtos da reação catalisada pela Susy são UDP-glicose e frutose, e os produtos gerados pelas invertases são glicose e frutose (STURM e TANG, 1999; WINTER e HUBER, 2000; WELHAM e outros, 2009). As

invertases ácidas e neutras podem ser distinguidas em função de sua localização (parede celular, vacúolo ou citosol), mas também pela sua solubilidade em tampão de baixa força iônica e pH ótimo do meio de reação (ácido ou neutro/alcalino) (STURM e TANG 1999, WINTER e HUBER, 2000; FOTOPOULOS, 2005).

Frequentemente, tem sido destacado o papel da invertase ácida nos órgãos-dreno, pois ela aumenta a descarga de sacarose através da conversão de sacarose para hexoses, uma vez que o transporte de assimilados depende da oferta e da procura entre a fonte e o dreno, respectivamente (LAMOINE e outros, 2013).

Os níveis de Mg na planta têm impacto pronunciado na partição de carboidratos entre a fonte e outros órgãos drenos, reduzindo a partição de matéria seca para as raízes (TEWARI e outros, 2006). O menor crescimento das raízes e um aumento na proporção de peso seco entre parte aérea e raiz pode ser considerada uma das primeiras reações de plantas à deficiência de Mg, como relataram Sun e Payn (1999) em estudos com *pinus*; e Silva e outros (2014), com o cafeeiro, cultivar Catuaí. No entanto, em estudos com *Arabidopsis thaliana* (HERMANS e VERBRUGGEN, 2005) e beterraba (HERMANS e outros, 2005), foram obtidos resultados controversos, nos quais a deficiência de Mg levou ao menor crescimento da parte aérea do que das raízes. Segundo Hermans e outros (2005), a proximidade entre os órgãos de origem e os drenos pode afetar a distribuição e o transporte de fotoassimilados nas plantas, alterando a partição de matéria seca entre parte aérea e raiz.

A maioria dos resultados da literatura indica que o crescimento de raiz é muito sensível ao estresse pela deficiência de Mg. Uma razão importante para a inibição precoce do crescimento radicular, em plantas submetidas à deficiência de Mg, pode estar relacionada com o fornecimento restrito de fotoassimilados (CAKMAK e KIRKBY, 2008).

Esse efeito negativo da deficiência de Mg no crescimento da raiz, que se manifesta antes do desenvolvimento da clorose foliar visível, é um problema

crítico para os produtores, por causa da importância de um bom sistema radicial para produção vegetal. Por isso, atenção especial deve ser dada ao estado nutricional das plantas em relação ao Mg, antes do desenvolvimento de qualquer sintoma visível de deficiência (CAKMAK e YAZICI, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condução do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizada no campo experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista – BA, no período de julho a novembro de 2015. O local de implantação do experimento possui coordenadas geográficas de 14° 53' 08'' de latitude sul e 40° 48' 02'' de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 881 m. O clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical de altitude), com precipitação média anual de 733,9 mm, concentrada nos meses de novembro a março, e temperatura média anual de 20,2°C, com as médias máxima e mínima variando entre 26,4°C e 16,1°C, respectivamente (SEPLANTEC / CEI, 1994).

A temperatura ao longo do período experimental variou conforme apresentado na Figura 1.

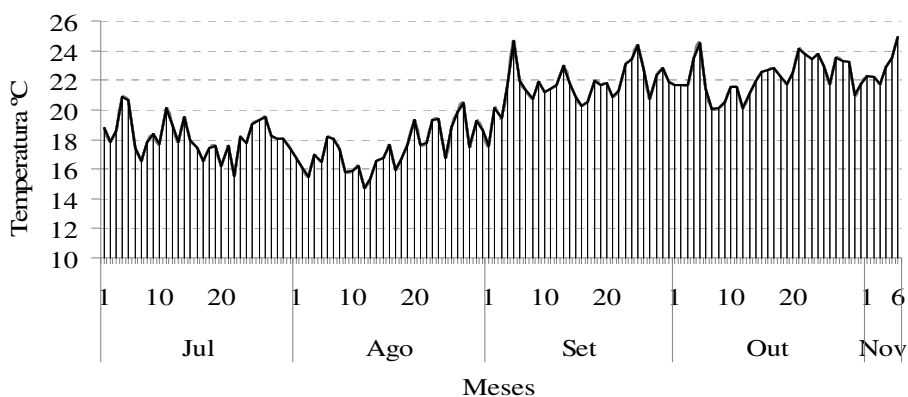


Figura 1 - Temperaturas médias diárias no município de Vitória da Conquista – BA, durante o período experimental, registradas pela estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Foram utilizadas mudas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, adquiridas em viveiro no município de Águas Vermelhas – MG, com idade de 90 dias.

As mudas foram selecionadas quanto à uniformidade de tamanho e vigor, lavadas, para a retirada do substrato das raízes e, em seguida, foram transplantadas para vasos com volume de 8 dm³, contendo areia lavada. Como forma de adaptação ao cultivo hidropônico, as mudas foram submetidas à irrigação com solução nutritiva (CLARK, 1975), durante 20 dias, com 50% e, posteriormente, 100 % da sua força iônica, sendo 10 dias em cada nível de força iônica.

Após o período de adaptação, realizou-se uma lavagem da areia dos vasos, utilizando-se água deionizada em abundância, até que a água escoada dos vasos estivesse com condutividade elétrica igual ou muito próxima de 0,0 mS cm⁻¹. Em seguida, teve início a implementação dos tratamentos com diferentes concentrações de Mg na solução nutritiva. As mudas continuaram a ser irrigadas diariamente com a solução nutritiva de Clark (1975), com volume que proporcionasse a drenagem da solução, mas, a partir desse momento, com as seguintes características: 0, 25, 50, 75 e 100% da concentração de Mg estabelecida na solução completa (Tabela 1). O monitoramento das soluções foi feito regularmente, com o objetivo de manter a condutividade elétrica entre 1 e 4 mS cm⁻¹. O pH foi ajustado após o preparo da solução nutritiva para valores entre 5,5 e 6,5 por meio da adição de NaOH ou HCl, ambos a 0,1 M.

Tabela 1 - Volume (ml L⁻¹) e composição química das soluções-estoque para formar 1,0 L das soluções nutritivas modificadas, utilizando diferentes doses de Mg²⁺, conforme os respectivos tratamentos

Solução estoque	Concentração	Clark (1975)	Porcentagem de Mg ²⁺				
			0	25	50	75	100
			Volume para as soluções hidropônicas (mL L ⁻¹)				
KNO ₃	1 M	1,80	1,63	1,67	1,72	1,78	1,80
KCl	1 M	-	0,17	0,13	0,09	0,04	-
Ca(NO ₃) ₂	1 M	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
MgSO ₄	1 M	0,09	-	0,02	0,04	0,06	0,09
MgCl ₂	1 M	0,52	-	0,13	0,26	0,39	0,52
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,1 M	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
(NH ₄) ₂ SO ₄	1 M	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Micro-Fe*	*	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA**	**	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

*Solução de Ferro-EDTA: foram dissolvidos 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 M + 24,9 g de FeSO₄.7H₂O, avolumado para 1.000 mL e mantido em aeração constante por 12 h.

**Solução de micronutrientes: foram dissolvidos, em 1.000 mL de água: MnSO₄.1H₂O = 1,183 g; H₃BO₃ = 1,175 g; ZnSO₄.7H₂O = 0,575 g; Na₂MoO₄.2H₂O = 0,145 g; CuSO₄.5H₂O = 0,125 g.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 5 x 4 (cinco concentrações de Mg e quatro épocas de avaliação), totalizando 20 tratamentos, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso contendo uma planta.

Os intervalos entre essas épocas foram definidos no decorrer da condução do experimento, com base na observação de eventuais manifestações de sintomas de efeitos visíveis de carência de Mg. Assim, as épocas de avaliação foram aos 15, 30, 50 e 120 dias após o transplântio das mudas nos vasos.

3.2 Características avaliadas

3.2.1 Altura de plantas

A altura das plantas foi determinada com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule, medindo-se a altura a partir do solo até a gema apical do fuste. Os valores foram descritos em centímetros (cm).

3.2.2 Diâmetro do colo

O diâmetro do colo foi determinado com auxílio de um paquímetro digital, posicionado perpendicular ao caule, a 1 cm do solo. Os valores foram expressos em milímetros (mm).

3.2.3 Área foliar

A área foliar correspondeu à soma das áreas de todas as folhas. A medição foi realizada com o equipamento área meter (LI-COR modelo LI-3100) e os resultados expressos em cm².

3.2.4 Matéria seca de parte aérea e raiz

As plantas foram cortadas, separando a parte aérea e a raiz. Em seguida, essas partes foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, a 70 °C, até a estabilização da massa seca. Após esse período, o material foi pesado, usando balança de precisão, cujos resultados foram expressos em g.

3.2.5 Relação entre a matéria seca da parte aérea/raiz

Foi determinada por meio da divisão entre os pesos da parte aérea e o peso do sistema radicial, cujos valores foram expressos sem unidade.

3.2.6 Índice SPAD

O Índice SPAD é um referencial que avalia a intensidade de cor verde nas folhas. A avaliação foi realizada por meio de um medidor portátil (modelo SPAD-502, Marca Minolta) em quatro folhas completamente expandidas, localizadas na parte mediana da copa, adotando-se como resultado a média obtida das quatro folhas amostradas.

3.2.7 Clorofilas e carotenoides

Para a quantificação dos teores de clorofila, foram retirados, com a ajuda de um perfurador, cinco discos de 5 mm de diâmetro do limbo foliar da segunda folha, completamente expandida do ramo, do terço médio de cada planta. Para extração dos pigmentos, os discos foram macerados em almofariz, contendo acetona a 80% (v/v) como extrator e um volume de 10 mL. Em seguida, o extrato foi filtrado e as soluções levadas ao espectrofotômetro para realização das leituras a 470 nm para quantificação de carotenoides, 645 nm e 663 nm para as clorofilas “a” e “b”, respectivamente, conforme Arnon (1949). Os resultados foram expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca.

3.2.8 Fotossíntese líquida

A fotossíntese líquida foi determinada por meio da avaliação de trocas gasosas, utilizando um analisador infravermelho de gases (Infra-red Gas Analyser) (IRGA LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA).

Durante a mensuração dessas características, as plantas receberam irradiância de 900 $\mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com base em curva de saturação luminosa, proposta para o eucalipto (SILVA e outros, 1998).

As leituras foram realizadas entre 8 h e 10 h da manhã, em uma folha completamente expandida no terço médio de cada planta da unidade experimental. A escolha desse horário deveu-se ao momento em que as plantas costumam apresentar a maior fixação de carbono durante o dia.

3.2.9 Atividade das enzimas invertase (ácida e neutra) e Susy

A avaliação da atividade dessas enzimas foi feita pelo método “in vivo”, conforme Cairo e outros (2015). Para quantificação da atividade enzimática, amostras de 200 mg do tecido radicial em expansão (extremidades de raízes) foram fragmentadas e adicionadas a meios de reação (2 mL) constituídos de reagentes específicos para a realização do ensaio de cada enzima a ser avaliada.

O meio de reação para a invertase ácida total (vacúolo e parede celular) foi constituído de 200 μL de tampão acetato de sódio pH 4,7 1,0 M, 100 μL de MgCl_2 0,1 M e 400 μL de sacarose 1,0 M, sendo o restante do volume completado com água, até totalizar 2.000 μL . O meio de reação para a invertase neutra foi constituído de 200 μL de tampão fosfato de potássio pH 7,5 1,0 M, 100 μL de MgCl_2 0,1 M e 400 μL de sacarose 1,0 M, sendo o restante do volume completado com água, até totalizar 2.000 μL . Ambos os ensaios foram mantidos em banho-maria, a 37°C, durante 60 minutos.

O meio de reação para a Susy foi constituído de 200 µL de tampão HEPES-KOH pH 6,0 1,0 M, 100 µL de MgCl₂ 0,1 M, 100 µL de UDP 5mM e 400 µL de sacarose 1,0 M, sendo o restante do volume completado com água, até totalizar 2.000 µL. O ensaio foi mantido em banho-maria, a 25°C, durante 60 minutos. Os açúcares redutores produzidos a partir das reações enzimáticas foram quantificados conforme Miller (1959).

3.2.10 Açúcares solúveis totais (AST)

Os açúcares solúveis totais foram quantificados em folhas e raízes. Para a obtenção do extrato, 15 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M foram utilizados como extrator, para cada 200 mg de matéria seca homogeneizada e triturada. O volume total do extrator foi dividido em três volumes iguais, para a realização de três centrifugações de 40 minutos, a 1.225,25 g. Inicialmente, foi realizada a primeira centrifugação com 5 mL do extrator; após 40 minutos, coletou-se o sobrenadante e adicionou-se novamente mais 5 mL do extrator ao precipitado, repetindo o procedimento na terceira centrifugação. O sobrenadante total foi recolhido e usado como extrato para a quantificação de AST, a qual foi realizada pelo método da antrona, conforme Yemm e Willis (1954).

O método de quantificação consiste na adição de uma alíquota de 0,2 mL do extrato a 2 mL de antrona e 0,8 mL de água deionizada, totalizando um volume reacional de 3 mL, mantido em recipiente com gelo e posteriormente agitado. Em seguida, o volume reacional foi submetido ao banho-maria, a 100°C, por três minutos. Após o resfriamento, realizou-se a leitura em espectrofotômetro, a 620 nm. Os resultados foram expressos em mmol de AST g matéria seca⁻¹.

3.2.11 Açúcares redutores (AR)

Os açúcares redutores foram quantificados em folhas e raízes. Para a obtenção do extrato, 15 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M foram utilizados como extrator, para cada 200 mg de matéria seca homogeneizada e triturada. O volume total do extrator foi dividido em três volumes iguais, para a realização de três centrifugações de 40 minutos, a 1.225,25 g. Inicialmente, foi realizada a primeira centrifugação com 5 mL do extrator; após 40 minutos, coletou-se o sobrenadante e adicionou-se novamente mais 5 mL do extrator ao precipitado, repetindo o procedimento na terceira centrifugação. O sobrenadante total foi recolhido como extrato e a quantificação de AR foi feita pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS), conforme Miller (1959).

O método de quantificação consiste na adição de uma alíquota de 0,8 mL do extrato a 0,5 mL de DNS e 0,2 mL de água deionizada, totalizando um volume reacional de 1,5 mL, e em seguida, submetido ao banho-maria, a 100°C, por 15 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente, foram adicionados 3,5 mL de água deionizada, completando o volume para 5,0 mL. Em seguida, realizou-se a leitura em espectrofotômetro, a 540 nm. Os resultados foram expressos em mmol de AR g matéria seca⁻¹.

3.2.12 Análise estatística

A análise dos dados foi feita utilizando-se o programa SAEG (Sistemas para Análises Estatísticas e Genéticas), versão 9.1. De acordo com a homogeneidade e normalidade da variância, os dados foram transformados, sempre que necessário, e posteriormente submetidos à análise de variância pelo teste F. A comparação das médias das épocas de avaliação foi feita com base no teste de Skott-Knott ($p < 5\%$), e as médias das concentrações de Mg foram

submetidas à análise de regressão, utilizando-se o programa SISVAR (versão 5.3) (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

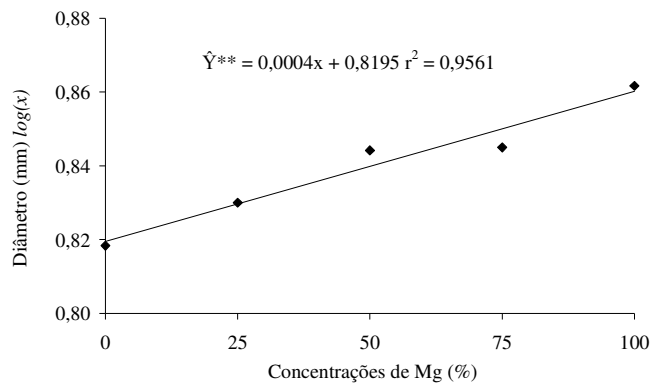
4.1 Crescimento vegetativo

Os dados de altura de plantas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos sob diferentes concentrações de Mg (Tabela 2). Com isso, admite-se que, pelo menos em relação aos estádios iniciais de cultivo desta espécie, o crescimento em altura pode ser considerado como tolerante a restrições no suprimento de Mg.

Na década de 1990, os programas de seleção de eucalipto no Brasil passaram a considerar a eficiência de utilização de nutrientes como critério para a escolha de genótipos superiores, além de outros critérios, como produtividade, qualidade da madeira, forma da árvore e resistência a pragas e doenças (SANTANA e outros, 2008). No presente estudo, o indicativo de tolerância ao suprimento restrito de Mg, verificado em relação ao crescimento em altura nos estádios iniciais, pode subsidiar estudos posteriores sobre seleção e adaptação de genótipos de eucalipto a solos com baixa fertilidade natural, conforme preconizam Pinto e outros (2011).

O diâmetro do coleto apresentou diferenças significativas em função das diferentes concentrações de Mg (Tabela 2). A redução nos níveis de Mg diminuiu o diâmetro do coleto, indicando que a deficiência desse elemento afeta negativamente o crescimento em diâmetro das plantas (Figura 2). Essa característica é importante, por estar correlacionada com o aumento da sobrevivência das plantas no campo (SOUTH e outros, 1993).

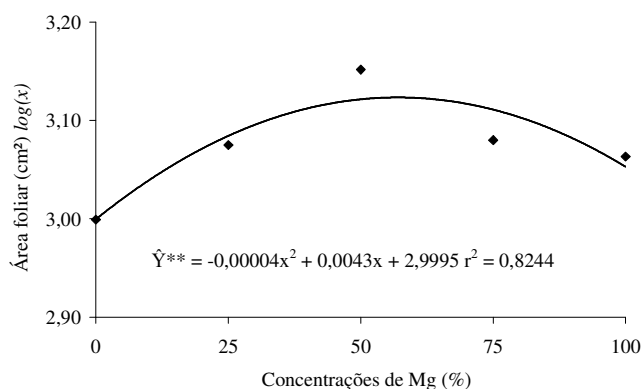
Em geral, considerando que as mudas possuíam o mesmo padrão de qualidade em relação aos parâmetros morfológicos no transplântio, a deficiência de Mg reduziu em 4,65% o incremento em diâmetro, em relação às plantas sob suprimento adequado de Mg.



**Significativo ($p < 1\%$) de probabilidade, pela análise de variância da Regressão.

Figura 2 - Diâmetro do colo de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, aos 120 dias, submetidas a diferentes concentrações de Mg. Os dados foram transformados em $\log(x)$.

As concentrações de Mg afetaram significativamente a área foliar (Tabela 5). A menor área foliar se verificou em plantas sob restrição total desse nutriente, enquanto a maior área foliar se deu com Mg, sob concentração de 53,75% (Figura 3). Assim, o aumento nas concentrações de Mg estimulou o desenvolvimento das plantas com aumento da área foliar.



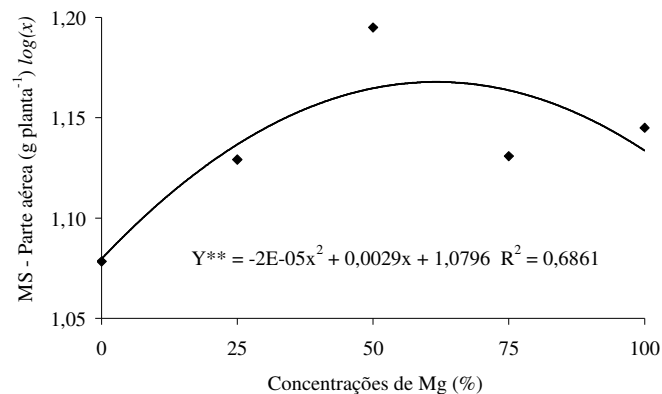
**Significativo ($p < 1\%$) de probabilidade, pela análise de variância da Regressão.

Figura 3 - Área foliar de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, aos 120 dias de experimento, cultivadas sob diferentes concentrações de Mg na solução nutritiva. Os dados apresentados foram transformados em $\log(x)$.

A área foliar está relacionada com os principais processos fisiológicos das plantas, tais como a fotossíntese, transpiração e fluxo de carbono (CLEUGH e outros, 2007). A deficiência nutricional normalmente promove uma redução da área foliar (MIRANDA e outros, 2010), conforme pode ser observado no tratamento com a omissão do Mg.

Segundo Monteiro e outros (2005), a área foliar é um indicador importante para investigar adaptação ecológica, competição com outras espécies, efeitos do manejo e tratamentos culturais. Além disso, o incremento de área foliar é importante por aumentar a capacidade fotossintética, com maior produção de fotoassimilados e conseqüentemente o aumento da produtividade vegetal (ZELITCH, 1982).

Os resultados mostraram que, em relação à matéria seca de parte aérea, houve significância para as diferentes concentrações de Mg analisadas (Tabela 5). As plantas submetidas à restrição total de Mg apresentaram menor acúmulo de matéria seca da parte aérea em relação aos demais tratamentos (Figura 4).



**Significativo ($p < 1\%$) de probabilidade, pela análise de variância da Regressão.

Figura 4 – Matéria seca de parte aérea de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, aos 120 dias de experimento, cultivadas sob diferentes concentrações de Mg na solução nutritiva. Os dados apresentados foram transformados em $\log(x)$.

O máximo acúmulo de matéria seca da parte aérea foi expresso quando a concentração de Mg foi de 72,5%. Esse resultado representa um incremento em matéria seca de 10%, em relação ao tratamento com 0% de Mg.

O resultados correspondentes ao acúmulo de matéria seca nas raízes não apresentaram interação significativa entre os fatores analisados e também não diferiram em função das diferentes concentrações de Mg. Com isso, a relação entre matéria seca de parte aérea e matéria seca de raízes também não apresentou diferenças significativas nos diferentes tratamentos (Tabela 5).

A deficiência de Mg, normalmente, causa uma redução na matéria seca de raízes, aumentando a relação parte aérea/raiz, em função da redução na partição de carboidratos entre parte aérea e raiz, conforme constatado em diferentes espécies, como feijão (CAKMAK e outros, 1994a), espinafre (FISCHER e outros, 1998) e cafeeiro cultivar Catuaí (SILVA e outros, 2014). Em outros estudos, contudo, esses resultados não foram registrados, como as repostas obtidas em *Arabidopsis thaliana*, nas quais a deficiência de Mg não causou mudanças significativas na biomassa de raízes, pois as folhas mais próximas ao sistema radicular continuaram a enviar fotoassimilados às raízes (HERMANS e VERBRUGGEN, 2005).

Silva e outros (2014) observaram aumento na relação de matéria seca de parte aérea e de raiz em mudas de café, cultivar Catuaí, nas mudas deficientes em Mg. Contudo, para a cultivar Acaíá, não se verificou diferença significativa na relação de matéria seca de parte aérea / raiz entre os tratamentos controle e sob deficiência de Mg, indicando maior tolerância desse último cultivar à deficiência de Mg.

No presente estudo, as plantas de eucalipto analisadas não apresentaram respostas significativas quanto ao acúmulo de matéria seca de raiz, nem na relação de matéria seca parte aérea/raiz, demonstrando tolerância desta espécie à baixa disponibilidade de Mg, no período inicial de cultivo.

Alguns estudos indicam variações na eficiência nutricional entre espécies de eucalipto (FURTINI NETO e outros, 1996; STAHL e outros, 2013)

e entre clones da mesma espécie (BARRETO e outros, 2007; PINTO e outros, 2011). Possíveis diferenças genótípicas do clone estudado, em função do melhoramento genético na produção clonal, contribuem para explicar a capacidade que essas plantas têm de se adaptar às condições de estresses ambientais – nesse caso, o estresse nutricional.

A partição de assimilados entre parte aérea e raiz depende de fatores como temperatura do ar e do solo, luz, disponibilidade de água e nutrientes, e quando um ou mais fatores atuam em uma parte da planta, normalmente a outra parte da planta é a principal afetada, por receber menos assimilado; assim, a deficiência de nutrientes favorece o crescimento das raízes, em detrimento da parte aérea (LOPES e LIMA, 2015). A morfologia do sistema radicular, quando se apresenta mais abrangente e filamentosa, é importante porque proporciona maior volume de solo explorado e maior absorção de água e solutos (MARENCO e LOPES, 2009). As plantas tentam resolver o problema da absorção de nutrientes e água do solo, quando estes estão escassos, aumentando o tamanho e, conseqüentemente, a abrangência do sistema radicular (SALISBURY e ROSS, 2012).

Muitas plantas cultivadas podem ser melhoradas para o uso eficiente de elementos minerais e melhor adaptação às condições de estresse minerais (CLARK, 1983), a exemplo do eucalipto (SANTANA e outros, 2008). No presente estudo, o Mg absorvido pelo eucalipto na fase inicial de cultivo parece ter sido suficiente para manter parcialmente o seu metabolismo, a ponto de não comprometer a redução no crescimento em altura e acúmulo de matéria seca de raiz.

4.2 Fotossíntese líquida

A fotossíntese líquida não foi afetada pelas concentrações de Mg durante o período experimental, assim como não houve interação significativa entre os fatores analisados (Tabela 2). Esta espécie se mostrou tolerante à baixa

disponibilidade de Mg, uma vez que esse estresse não afetou a fotossíntese, mesmo depois de 120 dias de experimento.

Apesar dos sintomas visuais já se apresentarem visíveis nas folhas mais velhas, as folhas mais novas ainda não apresentavam sintomas da deficiência de Mg, em decorrência da redistribuição desse elemento nas plantas (Figura 5). Nesse contexto, a taxa fotossintética não se constituiu em característica de referência para apresentar o efeito da deficiência de Mg, mostrando que nem sempre os processos estudados em folhas, isoladamente, são suficientes para explicar o efeito da deficiência em Mg.

A baixa disponibilidade permanente de Mg às plantas induz à remobilização desse elemento das folhas velhas, culminando na redução dos teores de clorofila e na fotossíntese (MARSCHNER, 2012). Nesse sentido, as folhas mais novas permanecem com a atividade fotossintética e teores de clorofilas inalterados, por um período mais prolongado.

4.3 Índice SPAD

O índice SPAD não foi afetado pelas diferentes concentrações de Mg durante o período experimental, bem como não houve interação significativa entre os fatores analisados (Tabela 2).

Esse índice é obtido de forma rápida e prática, e possível de ser correlacionado com os teores de clorofila (JESUS e MARENCO, 2008). Esse equipamento tem sido amplamente utilizado como indicador do teor de nitrogênio nas folhas em diversas culturas, por ser um dos elementos que formam a molécula de clorofila (ARGENTA e outros, 2001).

Considerando a presença do magnésio na formação da molécula de clorofila (STREIT e outros, 2005), e a clorose apresentada pelas folhas com deficiência, esse índice pode ser um indicador prático da deficiência desse elemento.

O eucalipto se apresentou tolerante à carência de Mg, tendo em vista que a coloração verde, que está relacionada ao teor de clorofilas, não registrou qualquer alteração, durante o período experimental.

Os sintomas visíveis de deficiência (Figura 5), mais intensos nas folhas mais velhas, não influenciaram nas respostas do índice SPAD, pois os dados foram obtidos da segunda folha completamente expandida do ramo, que ainda não apresentava sintomas intensos da deficiência de Mg, dada a remobilização do elemento das folhas mais velhas.

4.4 Clorofilas e carotenoides

Os teores de clorofila a, b, clorofila total e carotenoides não se alteraram significativamente em função das diferentes concentrações de Mg, bem como não apresentaram interações significativas entre os fatores analisados (Tabela 3).

Os sintomas visíveis da deficiência de Mg ocorreram inicialmente nas folhas mais velhas, com clorose internerval, evoluindo para pontos necróticos (Figura 5). Esses sinais começaram a ser visualizados nas plantas somente após 70 dias de cultivo no tratamento com 0% de Mg. Nos demais tratamentos, mesmo sob concentrações reduzidas de Mg, as plantas não apresentaram clorose durante o período experimental. Não obstante à importância do Mg na formação da molécula de clorofila, não houve variação nos teores de clorofila a, b, total e carotenoides.



Figura 5 – Evolução dos sintomas visuais da deficiência de Mg em folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, cultivadas em solução nutritiva sob restrição total de Mg.

A redução do teor de clorofila em função da deficiência de Mg é uma resposta frequente em várias espécies vegetais, como beterraba (HERMANS e outros, 2004), feijão (CAKMAK e YAZICI, 2010), *pinus* (LAING e outros, 2000) e milho (ZHAO e outros, 2012; MENGUTAY e outros 2013). Em beterraba (HERMANS e outros, 2004; HERMANS e outros, 2005), feijoeiro (CAKMAK e MARSHNER, 1992) e milho (MENGUTAY e outros, 2013), a clorose internerval ocorre em momentos posteriores às mudanças na biomassa vegetal, indicando que a concentração de clorofila não é eficaz para o diagnóstico de deficiência de Mg nas fases iniciais.

No presente estudo, a análise dos teores de clorofilas e carotenoides foi realizada na segunda folha completamente expandida do ramo, porém, a clorose ocorreu de forma mais intensa nas folhas mais velhas do ramo. A remobilização do Mg para as folhas mais novas, provavelmente, deve ter sido suficiente para manter os teores adequados de clorofilas e carotenoides. Os resultados sugerem que, em relação aos teores de clorofilas e carotenoides, o crescimento inicial de *Eucalyptus urophylla* apresenta tolerância à baixa disponibilidade de Mg.

4.5 Atividade de enzimas de clivagem da sacarose

A atividade enzimática da susy, invertase ácida e invertase neutra, avaliadas quanto à sua capacidade na degradação da sacarose, não foi alterada em função das diferentes concentrações de Mg (Tabela 4). Provavelmente, em função da quantidade de açúcares solúveis totais e redutores nas raízes ter se mantido inalterada com as diferentes concentrações de Mg, as enzimas mantiveram sua atividade constante. Isso se apresenta como uma característica importante, pois a manutenção da atividade enzimática não compromete a clivagem da sacarose que chega até a raiz, preservando o suprimento de açúcares redutores, que são necessários como fonte de energia ao metabolismo radicular, mesmo sob condições de estresse, causado pelo baixo fornecimento de Mg no período inicial de crescimento.

A atividade enzimática predominante foi a da invertase ácida, seguida pela susy e invertase neutra, verificada a partir da quantidade de açúcares redutores produzidos na reação de clivagem da sacarose (Figura 6). Esses resultados sugerem que o principal local de clivagem da sacarose nas raízes novas em crescimento ocorre predominantemente na parede celular. Segundo Cairo e outros (2009), a maior atividade da invertase ácida da sacarose na parede celular ocorre, provavelmente, em função do tamanho desse dissacarídeo, pois a sua conversão a hexoses facilita o transporte de açúcares através da membrana plasmática.

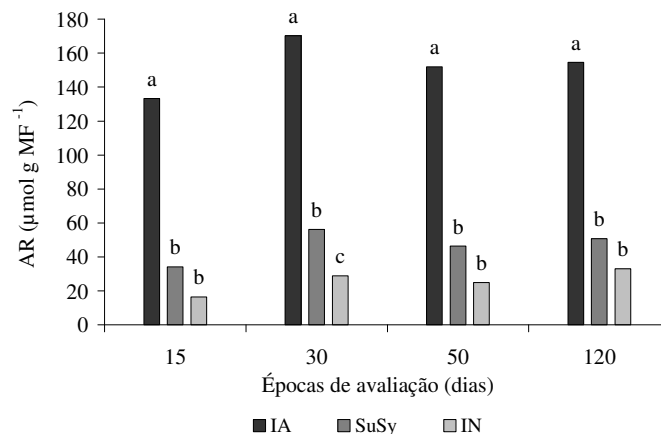


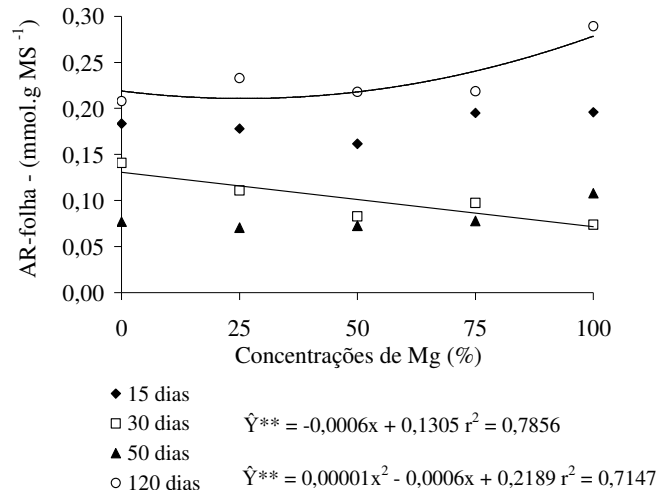
Figura 6– Participação relativa das enzimas invertase ácida (IA), invertase neutra (IN) e Susy na hidrólise de sacarose, nas extremidades de raízes de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144. Letras iguais em cada época de avaliação não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p < 0,05$).

A invertase ácida é considerada como enzima chave no descarregamento do floema e manutenção da disponibilidade de hexoses, principalmente nas regiões de crescimento (GODT e ROITSCH, 1997; STURM e TANG, 1999), ao fornecer carboidratos para os drenos, enquanto a invertase neutra atua no controle dos níveis de hexoses no interior da célula, em tecidos maduros em que a atividade da Susy é baixa (VAN DEN ENDE e VAN LAERE, 1995).

As diferentes enzimas que participam da clivagem de sacarose podem ter maior ou menor importância em diferentes plantas, bem como em diferentes fases de desenvolvimento das plantas (STURM e TANG, 1999). No presente trabalho, observou-se que a taxa de açúcares produzida nas folhas, bem como a quantidade de açúcares translocada não influenciaram a atividade das enzimas analisadas. Outros fatores que controlam a atividades dessas enzimas podem ter atuado e não foram analisados, dentre eles os reguladores de crescimento e estresse abiótico (FOTOPOULOS, 2005).

4.6 Carboidratos

No que se refere aos teores de açúcares redutores (AR) em folhas, os resultados apresentaram interação significativa entre os fatores analisados (Tabela 6). A variação de AR nas folhas foi significativa para as avaliações realizadas aos 30 e 120 dias (Tabela 7), mostrando comportamento oposto em relação ao acúmulo de AR. Aos 30 dias, a concentração de AR nas folhas foi maior nas plantas submetidas à concentração 0% de Mg, expressando o máximo acúmulo (0,13 mmol g.MS⁻¹), enquanto as plantas com suprimento de 100% de Mg apresentaram a menor concentração de AR (0,07 mmol g.MS⁻¹). O acúmulo de AR nas plantas sob restrição total de Mg foi superior em 85,71% em relação às plantas cultivadas na solução com 100% de Mg. Aos 120 dias de experimento, verificou-se um menor teor de AR nas folhas sob concentração de 30% de Mg (0,209 mmol g.MS⁻¹), já nas plantas com suprimento de 100% de Mg, verificou-se o máximo acúmulo de AR (0,258 mmol g MS⁻¹), assim, nesse período, o teor de AR nas plantas cultivadas a 0% de Mg foi 23,44% menor que o observado nas plantas cujos níveis de Mg estavam normais (Figura 7).



**Significativo ($p < 1\%$) de probabilidade, pela análise de variância da Regressão.

Figura 7 - Açúcares redutores (AR) em folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, aos 120 dias de experimento, cultivadas sob diferentes concentrações de Mg.

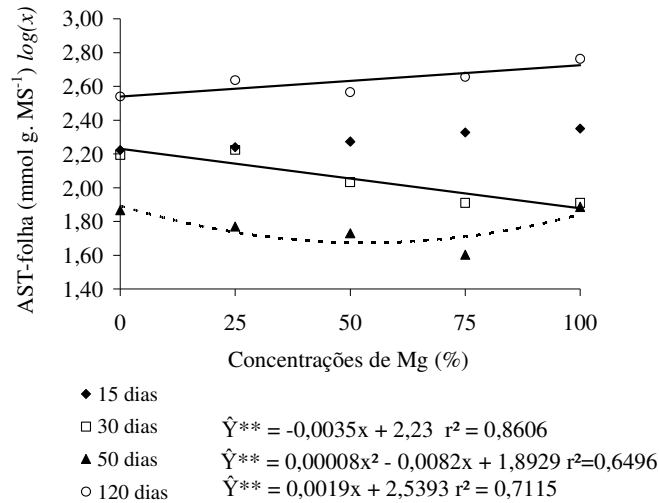
Nas raízes das plantas, o teor de AR não se alterou com as diferentes concentrações de Mg (Tabela 6). As variações na concentração de AR, verificadas nas folhas aos 30 e 120 dias, não influenciaram na quantidade de AR presente nas raízes, indicando que a planta continuou a transportar fotoassimilados às raízes nas diferentes concentrações de Mg.

Em relação aos teores de açúcares solúveis totais (AST) em folhas, houve interação entre os fatores analisados (Tabela 8). A menor disponibilidade de Mg induziu a mudanças na quantidade de AST presente nas folhas, nas avaliações realizadas aos 30, 50 e 120 dias de experimento (Tabela 9).

Aos 30 dias, verificou-se um acúmulo de AST nas folhas das plantas em solução a 0% Mg, (Figura 8). Esse acúmulo de AST foi superior em 18,60% em relação às plantas que receberam 100% da concentração de Mg.

Aos 50 dias, o teor de AST nas folhas das plantas com restrição total de Mg foi semelhante ao tratamento com suprimento total de Mg.

Aos 120 dias, observou-se um menor teor de AST nas folhas das plantas cultivadas em solução a 0% Mg, em relação às plantas com suprimento total desse elemento. Nesse período, as plantas que não receberam Mg apresentaram um teor de AST 7,5% menor que o verificado em plantas com a normal disponibilidade de Mg (Figura 8).



**Significativo ($p < 1\%$) de probabilidade, pela análise de variância da Regressão.

Figura 8 - Açúcares solúveis totais (AST) em folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, em quatro épocas de avaliação, cultivadas sob diferentes concentrações de Mg. Os dados apresentados foram transformados em $\log(x)$.

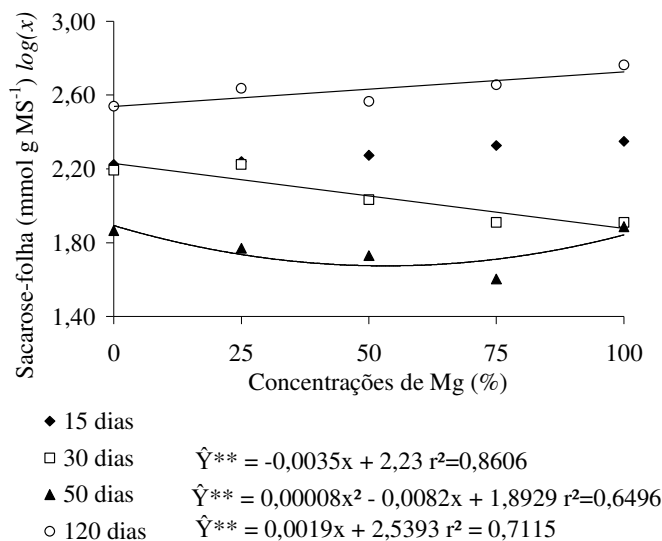
A concentração de AST nas raízes não mudou em função das diferentes concentrações de Mg (Tabela 8). Esse comportamento é semelhante ao observado em AR nas raízes, conforme já discutido anteriormente.

Em relação aos teores foliares de sacarose, houve interação entre os fatores analisados (Tabela 10). A redução da disponibilidade de Mg resultou em mudanças significativas na quantidade de sacarose nas folhas aos 30, 50 e 120 dias de experimento (Tabela 11).

Aos 30 dias de cultivo, observou-se uma aumento no teor de sacarose nas folhas em função da redução das concentrações de Mg. O maior acúmulo de sacarose foi verificado nas plantas cultivadas na ausência de Mg, enquanto o menor acúmulo ocorreu nas plantas submetidas ao fornecimento normal de Mg (Figura 9). Nesse contexto, as plantas cultivadas com restrição total de Mg acumularam 18,60% a mais de sacarose do que as plantas com suprimento total de Mg.

Aos 50 dias, o teor de sacarose nas folhas das plantas em solução com 0% de Mg foi semelhante ao tratamento com suprimento de 100% de Mg (Figura 9). Esse período de avaliação representa uma transição nos teores de sacarose, observados aos 30 e 120 dias, sendo que os teores de sacarose anteriormente acumulados nas folhas, sob restrição total de Mg, foi consumido para manutenção do metabolismo celular.

Aos 120 dias, o teor de sacarose nas folhas sob deficiência de Mg foi 7,5% menor do que o observado nas folhas das plantas com suprimento adequado desse elemento. (Figura 9). Esse resultado pode ter ocorrido após a degradação da sacarose, anteriormente acumulada nas folhas deficientes, para manutenção do metabolismo celular.



**Significativo ($p < 1\%$) de probabilidade, pela análise de variância da Regressão.

Figura 9 - Sacarose em folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, em quatro épocas de avaliação, cultivadas sob diferentes concentrações de Mg. Os dados apresentados foram transformados em $\log(x)$.

A concentração de sacarose nas raízes não se alterou em função da diferentes concentrações de Mg (Tabela 11). Esse comportamento pode ser explicado, conforme descrito por Hermans e Verbruggen (2005), os quais observaram que o particionamento de carboidratos para as raízes não é afetado

nas folhas mais próximas ao sistema radicular de *Arabidopsis thaliana*, deficientes em Mg.

É importante destacar que aos 30 dias de experimento, as baixas concentrações de Mg não foram limitantes na rota metabólica da síntese de sacarose, haja vista que esse carboidrato continuou a ser produzido e acumulado nas folhas.

O acúmulo de sacarose nas folhas é encontrado como um sinal precoce de deficiência em Mg em espécies como feijoeiro (FISCHER e BREMER, 1993; CAKMAK e outros, 1994a; CAKMAK e outros, 1994b), espinafre (FISCHER e outros, 1998), beterraba (HERMANS e outros, 2004), (HERMANS e outros, 2005) e cafeeiro (SILVA e outros, 2014). O aumento na concentração de sacarose ocorre antes de qualquer alteração perceptível na atividade fotossintética, no crescimento e no teor de clorofilas (CAKMAK e outros, 1994b; HERMANS e outros, 2004).

Assim, há um forte indicativo de que a carência de Mg está envolvida no carregamento da sacarose no floema, seja na redução da atividade da H⁺-ATPase ou na formação do complexo Mg-ATP, responsável pelo fornecimento de energia para o funcionamento da H⁺-ATPase. Essa sensibilidade no carregamento de sacarose no floema em função da baixa disponibilidade de Mg foi confirmada pela restauração na exportação de sacarose após o reforçamento de magnésio às plantas (CAKMAK e outros, 1994a).

O processo de carregamento do floema, mediado pela H⁺-ATPase (CAKMAK, e outros, 1994a), tem sido o principal ponto discutido a respeito do acúmulo de açúcares nas folhas, em trabalhos que envolvem a deficiência de Mg, como no feijoeiro (FISCHER e BREMER, 1993), beterraba (HERMANS e outros, 2004), (HERMANS e outros, 2005) e cafeeiro (SILVA e outros, 2014).

Neste trabalho, o acúmulo de carboidratos nas folhas implicou redução do crescimento vegetal, conforme verificado nos parâmetros, diâmetro do colo, área foliar e matéria seca da parte aérea. Essas características mudaram antes que qualquer alteração na fotossíntese, teor de clorofila e sintomas visuais

surgisse, indicando que a deficiência de Mg pode comprometer o desenvolvimento inicial em plantios de eucalipto antes do aparecimento de sintomas visuais.

5 CONCLUSÕES

A deficiência de Mg interferiu em características morfológicas das plantas, ao reduzir diâmetro de colo, área foliar e matéria seca da parte aérea.

O acúmulo de AST nas folhas, verificado apenas nos 30 dias iniciais, indica a importância do Mg para o carregamento de sacarose no floema, e a sua carência reduziu a exportação de carboidratos das folhas para as raízes. Contudo, as principais enzimas envolvidas na hidrólise de sacarose – invertase e susy – não alteraram o seu desempenho, em função das diferentes concentrações de Mg. Com isso, a carência deste nutriente foi insuficiente para alterar a partição de matéria seca entre parte aérea e raízes.

A fotossíntese líquida, as concentrações de clorofilas e carotenoides, e o índice SPAD não foram afetados pelas concentrações de Mg, o que demonstra elevada tolerância do eucalipto à carência desse nutriente, mesmo levando-se em conta a extensão do período experimental.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2 Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 500 p.
- ALLEN, J. F. Photosynthesis of ATP-Electrons, Proton Pumps, Rotors, and Poise. **Cell**. v. 110, p. 273-276, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BARTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 158-167, 2001.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, p. 1-15, 1949.
- BARRETTO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V. de A.; TAKARASH, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 76, p. 21-33, 2007.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999, p. 303-305.
- BUSH, D. R. Proton-coupled sucrose transport in plasmalemma vesicles isolated from sugar beet (*Beta vulgaris* L. cv. Great Western) leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 89, p.1318–1323, 1989.
- CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; MESQUITA, A. C.; CUNHA, R. L. Atividade da rubisco e das enzimas de síntese e hidrólise de sacarose, associada à produtividade de látex, em clones de seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd ex. ADR. de Juss.) Muell.-Arg] cultivados em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 369-376, 2009.
- CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; MESQUITA, A. C.; CUNHA, R. L. Seasonal variation in the enzymatic activity of the source-sink system of rubber plants in a clonal garden. **Journal of Rubber Research**, Kuala Lumpur, v. 18, n. 3, p. 139-147, 2015.
- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H.; Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. **Journal of Experiment Botany**, Oxford, v. 45 p. 1251–1257, 1994b.

CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H.; Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, p. 1245–1250, 1994a.

CAKMAK, I.; KIRBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 133, p. 692-704, 2008.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Magnesium deficiency enhances resistance to paraquat toxicity in bean leaves. **Plant, Cell & Environment**. v. 15, p. 955-960, 1992.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops with Plant Food**. Norcross, v. 94, n. 2, p. 22-35, 2010.

CLARK, R. B. Characterization of phosphates in intact maize roots. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 23, p. 458-460, 1975.

CLARK, R. B. Plant genotype differences in uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. **Plant and Soil**, v. 72, p. 175-196, 1983.

CLEUGH, H. A.; LEUNING, R.; MU, Q.; RUNNING, S. W.; Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, p. 285–304, 2007.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; SERENO, M. J. C. de M.; NETO, J. F. B. Tolerância ao alumínio em plantas: toxicidade, mecanismos e genes em espécies cultivadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.14, p. 01-10, 2008.

DENG, W.; LUO, K.; LI D.; ZHENG, X.; WEI, X.; SMITH, W.; THAMMINA C.; LU, L.; LI, Y.; PEI, Y. Overexpression of an Arabidopsis magnesium transport gene, *AtMGT1*, in *Nicotiana benthamiana* confers Al tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 4235-4243, 2006.

FERREIRA, D. F. SISVAR. A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FISCHER, E. S.; BREMER, E. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, v. 89, p. 271–276, 1993.

FISHER, E. S.; LOHAUS, G.; HEINEKE, D.; HELDT, H. W. Magnesium deficiency results in accumulation of carbohydrates and amino acids in source and sink leaves of spinach. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 102, n. 1, p. 16-20, 1998.

FOTOPOULOS, V. Plant invertases: structure, function and regulation of a diverse enzyme family. **Journal of Biological Research**, v. 4, p. 127–137, 2005.

FURTINI NETO, A. E.; BARROS, N. F.; GODOY, M. F.; NOVAIS, R. F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 17-28, 1996.

GODT, D. E.; ROITSCH, T. Regulation and tissue-specific distribution of mRNAs for three extracellular invertase isoenzymes of tomato suggest an important function in establishing and maintaining sink metabolism. **Plant Physiology**, v. 115, p. 273-282, 1997.

HERMANS, C.; BOURGIS, F.; FAUCHER, M.; STRASSER, R. J.; DELROT, S.; VERBRUGGEN, N. Magnesium deficiency in sugar beet alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. **Planta**, v. 220, p. 541–549. 2005.

HERMANS, C.; JOHNSON G.N.; STRASSER, R. J.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. **Planta**, New York, v. 220, p. 344-355, 2004.

HERMANS, C.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experiment Botany**, Oxford, v. 56, n. 418, p. 2153–2161, 2005.

IGAMBERDIEV, A. U.; KLECZKOWSKI, L. A. Membrane potential, adenylate levels and Mg^{2+} are interconnected via adenylate kinase equilibrium in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1607, p. 111–119, 2003.

Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). **Relatório IBÁ 2015 ano base 2014**. Brasília: IBÁ, 2015. 77 p.

JESUS, S. V. de; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 815-818, 2008.

KINRAIDE T. B.; PEDLER J. F.; PARKER D. R. Relative effectiveness of calcium and magnesium in the alleviation of rhizotoxicity in wheat induced by

copper, zinc, aluminum, sodium, and low pH. **Plant and Soil**, v. 259, p. 201-208, 2004.

KRAUSE, G. H. Light-induced movement of magnesium ions in intact chloroplasts. Spectroscopic determination with Eriochrome Blue SE. **Biochimica et Biophysica Acta**. v. 460, p. 500-510, 1977.

LAING, W.; GREER D.; SUN O.; BEETS P.; LOWE A.; PAYN T. Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. **New Phytologist**, v. 146, p. 47-57, 2000.

LALONDE, S.; WIPF, D.; FROMMER, W. B. Transport mechanisms for organic forms of carbon and nitrogen between source and sink. **Plant Biology**. Tubingen. v. 55, p. 341-372, 2004.

LEMOINE, R.; LA CAMERA, S.; ATANASSOVA, R.; DÉDALDÉCHAMP, F.; ALLARIO, T.; POURTAU, N.; BONNEMAIN, J. L.; LALOI, M.; COUTOS-THÉVENOT, P.; MAUROUSSET, L.; FAUCHER, M.; GIROUSSE, C.; LEMONNIER, P.; PARRILLA, J.; DURAND, M.. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. **Frontiers in Plant Science**. v. 4, p. 274, 2013.

LOPES, N. F.; LIMA, M. da G. de S. **Fisiologia da produção**. Viçosa-MG, Ed. UFV, 2015. 199 p.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 250-258, 2009.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARQUES, D. J.; BROETTO, F.; DA SILVA, E. C.; DE CARVALHO, J. G. Dinâmica de cátions na raiz e folhas de berinjela cultivada sobre doses crescentes de potássio oriundas de duas fontes. **Idesia**. vol.29, n.2, p. 69-77, 2011.

MARSCHNER, H; CAKMAK, I. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 134, p. 308-315, 1989.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MCSWEIN, B. D.; TSUJIMOTO, H. Y.; ARNON, D. I. Effects of magnesium and chloride ions on light-induced electron transport in membrane fragments from a blue-green alga. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 423 p. 313-22, 1976.

MENGUTAY, M.; CEYLAN, Y.; KUTMAN, U. B.; CAKMAK, I. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. **Plant and Soil**. v. 368, p. 57-72, 2013.

MILLER, G. L. Use dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MIRANDA, F. de S.; SUDÉRIO, F. D.; SOUSA, A. F.; FILHO, E. G. Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 326-333, 2010.

MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHA, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C., SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v. 64, p. 15-24, 2005.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. P. **A cultura de eucalipto no Brasil**. São Paulo, SBS, 2000. 112 p.

OLIVEIRA, F. A. de; CARMELO, Q. A. de C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.329-335, 2001.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas: resultados e perspectivas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 64 p. (Séries Documentos. 214). Disponível em: <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/898045/1/Doc214.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015.

PASTERNAK, K.; KOCOT, J.; HORECKA, A. Biochemistry of magnesium. **Journal of Elementology**. v. 15, p. 601–616, 2010.

PATE, J. S.; ATKINS, C. A.; HAMEL, K.; MCNEIL, D. L.; LAYZELL, D. B. Transport of organic solutes in phloem and xylem of a nodulated legume. **Plant Physiology**, v. 63, p. 1082-1088, 1979.

PEASLEE, D. E.; MOSS, D. N. Photosynthesis in K and Mg-deficient maize (*Zea mays* L.) leaves. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison. v. 30 n. 2, p. 220-223, 1966.

PINTO, S. I. do C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L. N.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. da S.; Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

REINDERS, A.; SIVITZ, A. B.; WARD, J. M. Evolution of plant sucrose uptake transporters. **Frontiers in Plant Science**, v. 3, n. 22, 2012.

RYAN, M. G.; ASAO, S. Phloem transport in trees. **Tree Physiology**. v. 34, p. 1-4, 2014.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 792 p.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. DE; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.2723-2733, 2008.

SAUER, N. Molecular physiology of higher plant sucrose transporters. **FEBS Letters**, v. 581, n. 12, p. 2309-2317, 2007.

SEPLANTEC/CEI - Secretaria do Planejamento Ciência e Tecnologia/Centro de Estatística e Informações. **Informações básicas dos municípios baianos: região Sudoeste**. Salvador. 1994. 540 p.

SILVA, D. M.; BRANDÃO, I. R.; ALVES, J. D.; SANTOS, M. O.; SOUZA, K. R. D.; SILVEIRA, H. R. O. Physiological and biochemical impacts of magnesium-deficiency in two cultivars of coffee. **Plant and Soil**, v. 382, n. 1, p. 133-150, 2014.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A. Condutância estomática de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis*, em resposta a diferentes níveis de água no solo e de convivência com *Brachiaria brizantha* Stapf. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 339-347, 1998.

SOUTH, D. B.; ZWOLINSKI, J.B.; DONALD, D. G. M. Interactions among seedling diameter grade, weed control and soil cultivation for *Pinus radiata* in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, p. 2078-2082, 1993.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVE D. A. M. S; NEVES, C. U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus*

dunnii e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência florestal**. v. 23, p. 287-295, 2013.

STREITI, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. do; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**. v. 35, p. 748-755, 2005.

STURM, A.; TANG, G-Q. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. **Trends in Plant Science**, v. 4, n.10, p. 401-407, 1999.

SUN, O. J.; PAYN, T. W. Magnesium nutrition and photosynthesis in *Pinus radiata*: clonal variation and influence of potassium. **Tree Physiology**, Oxford, v.19, n. 8, p. 535-540, 1999.

TAIZ, L; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. São Paulo, Artmed, 2013, 954 p.

TEWARI, R. K.; KUMAR, P.; SHARMA, P. N. Magnesium Deficiency Induced Oxidative Stress and Antioxidant Responses in Mulberry Plants. **Scientia Horticulturae**. v. 108, p. 7-14, 2006.

VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. **Eucaliptocultura no Brasil**. Viçosa, MG, Editora SIF, 2014. 551 p.

VAN DEN ENDE, W.; VAN LAERE A. Purification and properties of a neutral invertase from the roots of *Cichorium intybus*. **Physiologia Plantarum**, v. 93, p. 241-248, 1995.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R. dos; SILVA, J. dos S. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luiz: EDUFMA, 2010. 230 p.

VIEIRA, L. A. N.; SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; REZENDE, J. B. Dimensionamento do setor florestal em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 389-398, 2006.

WALKER, C. J.; WEINSTEIN, J. D. Further characterization of the magnesium chelatase in isolated developing cucumber chloroplasts. **Plant Physiology**. v. 95, p. 1189-1196. 1991.

WARDLAW, I. F. The control of carbon partitioning in plants. **New Phytologist**. v. 116, n. 3, p. 341-381, 1990.

WEILER E. W.; ZIEGLER H. Determination of phytohormones in phloem exudate from tree species by radioimmunoassay. **Planta**. v. 152, p. 168-170. 1981.

WELHAM, T.; PIKE, J.; HORST, I.; FLEMETAKIS, E.; KATINAKIS, P.; KANEKO, T.; SATO, S.; TABATA, S.; PERRY, J.; PARNISKE, M.; WANG, T. L. A cytosolic invertase is required for normal growth and cell development in the model legume, *Lotus japonicus*. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 3353-65, 2009.

WIKSTRÖM, F.; ERICSSON, T. Allocation of mass in trees subject to nitrogen and magnesium limitation. **Tree Physiology**, v.15, p. 339-344, 1995.

WILKINSON, S.; WELCH, R.; MAYLAND, H.; GRUNES, D. Magnesium in plants: uptake, distribution, function and utilization by man and animals. **Metal Ions Biological Systems**. v. 26, p. 33–56, 1990.

WINTER, H.; HUBER, S. C. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: localization and regulation of activity of key enzymes. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**. v. 35, p. 253-89, 2000.

WU, W.; PETERS, J.; BERKOWITZ, G. A.; Surface charge-mediated effects of Mg²⁺ on K⁺ flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. **Plant Physiology**. v. 97, p. 580–587, 1991.

YANG, J. L.; YOU, J. F.; LI, Y. Y.; WU, P.; ZHENG, S. J. Magnesium enhances aluminum-induced citrate secretion in rice bean roots (*Vigna umbellata*) by restoring plasma membrane H⁺-ATPase activity. **Plant and Cell Physiology**, v. 48, p. 66-74, 2007.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **BioScience**, v. 32, p. 796- 802, 1982.

ZHAO H.; ZHOU Q.; ZHOU M.; LI C.; GONG X.; LIU C.; QU C.; SI W.; HONG F. Magnesium deficiency results in damage of nitrogen and carbon cross-talk of maize and improvement by cerium addition. **Biological Trace Element Research**. v. 148, p. 102-109, 2012.

APÊNDICE

Tabela 2 - Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de altura (H), diâmetro (D), SPAD e fotossíntese líquida (A), em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. Os dados referentes à altura e diâmetro foram transformados em log(x). UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		H	D	SPAD	A
CONC.	4	0.001931 ^{NS}	0.003243*	15,635 ^{NS}	8,801 ^{NS}
erro 1	8	0.001476	0.000870	5,240	3,295
EP	3	0.447936*	0.719393*	39,473*	481,584*
CONC.*EP	12	0.002601 ^{NS}	0.001162 ^{NS}	2,336 ^{NS}	4,320 ^{NS}
erro 2	32	0.003410	0.001483	4,021	2,388
CV 1 (%) =		1.90	3.51	4,57	9,80
CV 2 (%) =		3.78	4.58	4,00	8,34

*significativo a 5 % pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 3- Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de clorofila a (CA), clorofila b (CB), clorofila total (CT) e carotenoides (CAROT) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		CA	CB	CT	CAROT
CONC.	4	0,469 ^{NS}	0,119 ^{NS}	0,843 ^{NS}	0,035 ^{NS}
erro 1	8	0,596	0,229	1,243	0,034
EP	3	8,418*	0,289*	11,351*	0,164*
CONC.*EP	12	0,401 ^{NS}	0,157 ^{NS}	0,947 ^{NS}	0,016 ^{NS}
erro 2	32	0,422	0,092	0,777	0,018
CV 1 (%) =		15,47	25,92	16,30	13,30
CV 2 (%) =		13,02	16,42	12,89	9,87

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 4 - Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de enzimas sacarose sintase (Susy), invertase ácida (IA) e invertase neutra (IN) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		Susy	IA	IN
CONC.	4	190,384 ^{NS}	1158,153 ^{NS}	134,916 ^{NS}
erro 1	8	163,307	1235,009	129,604
EP	3	1306,648*	3450,163*	737,261*
CONC.*EP	12	167,281 ^{NS}	813,709 ^{NS}	44,479 ^{NS}
erro 2	32	209,702	476,823	54,534
CV 1 (%) =		27,24	23,04	44,07
CV 2 (%) =		30,86	14,32	28,59

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 5- Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de área foliar (AF), matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raiz (MSR) e relação de matéria seca entre parte aérea e raiz (MSPA/MSR) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. Os dados de AF, MSPA e MSR foram transformados em log(x). UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		AF	MSPA	MSR	MSPA/MSR
CONC.	4	0.141393*	0.020881*	0.012047 ^{NS}	0,059 ^{NS}
Erro 1	8	0.027237	0.001953	0.006959	0,034
EP	3	18.056218*	6.856207*	3.687135*	6,114*
CONC.*EP	12	0.113940 ^{NS}	0.006644 ^{NS}	0.004220 ^{NS}	0,054 ^{NS}
Erro 2	32	0.431030	0.009868	0.006194	0,050
CV 1 (%)		1.90	3.89	8.48	11,99
CV 2 (%)		3.78	8.75	8.00	14,41

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 6 - Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de açúcar redutor nas folhas (AR – FOLHA) e açúcar redutor nas raízes (AR – RAIZ) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		AR - FOLHA	AR - RAIZ
CONC.	4	0.001836 ^{NS}	0.000523 ^{NS}
erro 1	8	0.000645	0.000622
EP	3	0.076167*	0.239271*
CONC.*EP	12	0.001574*	0.000710 ^{NS}
erro 2	32	0.000610	0.000711
CV 1 (%) =		16.89	19.49
CV 2 (%) =		16.42	20.83

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 7 - Resumo das análises de variância do desdobramento concentração de Mg dentro de época de avaliação (CONC./EP) em relação à avaliação de açúcar redutor nas folhas (AR – FOLHA) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		AR – FOLHA
CONC./EP1	4	0.000643 ^{NS}
CONC./EP2	4	0.001810*
CONC./EP3	4	0.000743 ^{NS}
CONC./EP4	4	0.003360*
erro		0.000618

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 8 - Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de açúcares solúveis nas folhas (AST – FOLHA) e açúcares solúveis nas raízes (AST – RAIZ) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		AST - FOLHA	AST RAIZ
CONC.	4	0.024493*	937.114244 ^{NS}
erro 1	8	0.002981	1144.791990
EP	3	1.991126*	169696.267851*
CONC.*EP	12	0.038040*	2522.785946 ^{NS}
erro 2	32	0.006088	1584.493969
CV 1 (%) =		2.50	29.00
CV 2 (%) =		3.57	34.12

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 9 - Resumo das análises de variância do desdobramento concentração de Mg dentro de época de avaliação (CONC./EP) em relação à avaliação de açúcares solúveis nas folhas (AST – FOLHA) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		AST – FOLHA
CONC./EP1	4	0.008923 ^{NS}
CONC./EP2	4	0.067490*
CONC./EP3	4	0.039243*
CONC./EP4	4	0.022957*
erro		0.005311

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 10 - Resumo das análises de variância e coeficientes de variação (CV) em relação a avaliações de sacarose nas folhas (SACAROSE – FOLHA) e sacarose nas raízes (SACAROSE – RAIZ) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	
		SACAROSE - FOLHA	SACAROSE - RAIZ
CONC.	4	0.024493*	936.23039 ^{NS}
erro 1	8	0.002981	1143.671570
EP	3	1.991126*	169302.277238*
CONC.*EP	12	0.038040*	2520.560521 ^{NS}
erro 2	32	0.006088	1582.945535
CV 1 (%) =		2.50	29.02
CV 2 (%) =		3.57	34.14

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F

Tabela 11 - Resumo das análises de variância do desdobramento concentração de Mg dentro de época de avaliação (CONC./EP) em relação à avaliação de sacarose nas folhas (SACAROSE – FOLHA) em plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas a diferentes concentrações (CONC.) de Mg e quatro épocas (EP) de avaliação. UESB, Vitória da Conquista-BA, 2016

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		SACAROSE – FOLHA
CONC./EP1	4	0.008923 ^{NS}
CONC./EP2	4	0.067490*
CONC./EP3	4	0.039243*
CONC./EP4	4	0.022957*
erro		0.005311

*significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo a 5% pelo teste F