

NATHÁLIA FARIA DA SILVA

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E SEUS BIOMARCADORES EM EUCALIPTO
PARA NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586e
2017
Silva, Nathália Faria da, 1986-
Eficiência nutricional e seus biomarcadores em eucalipto
para nitrogênio, fósforo e potássio / Nathália Faria da Silva. –
Viçosa, MG, 2017.
xii, 124f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Nairam Félix de Barros.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.90-100.

1. Eucalyptus. 2. Biomarcadores nutricional. 3. Cinética de
absorção. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de
Plantas. II. Título.

CDD 22 ed. 634.95

NATHÁLIA FARIA DA SILVA

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E SEUS BIOMARCADORES EM EUCALIPTO
PARA NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO**

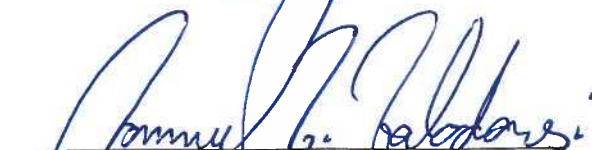
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 23 de fevereiro de 2017.


Herminia Emilia Prieto Martinez


Alice Pita Barbosa


Cléberson Ribeiro
(Coorientador)


Samuel Vasconcelos Valadares


Júlio César Lima Neves
(Presidente da banca- Coorientador)

À Deus;
À meus pais pelo amor, incentivo, apoio, dedicação e esforço,
a quem eu devo tudo que sou hoje e que estou conquistando;
À minha irmã, meu orgulho, amor e carinho;
Ao meu marido pelo companheirismo, compreensão, amor e apoio, sempre.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conduzir, proteger, guiar sempre meus passos e me dando saúde e perseverança para jamais desistir dos meus objetivos.

A Universidade Federal de Viçosa e ao departamento de Solos, pela oportunidade de realização dos cursos de graduação, estágios e pós-graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo durante o doutorado, e à empresa Suzano papel e Celulose pelo financiamento deste trabalho e à FAPMIG pelo apoio financeiro na manutenção de equipamentos utilizados neste trabalho.

Ao professor Nairam Félix de Barros, pela oportunidade, confiança, paciência, conselhos, disponibilidade sempre, amizade, exemplo e ensinamentos.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela coorientação, amizade, ensinamentos e auxílio em todas as fases deste trabalho.

Ao professor Cléberon Ribeiro, pela coorientação e apoio em diversas análises.

Aos professores do DPS, pelos ensinamentos e exemplos de profissionalismo.

Aos estagiários: Igor, Giulia, Rayanne, Patrícia, Heberth, Ludmila, Felipe e Paula, que me auxiliaram durante a condução e análises dos materiais coletados nos experimentos.

Aos amigos que auxiliaram nas coletas: Loane, Fernandinha, Fabrício e familiares: Sebastião (papai), Natali (irmã) e Romildo (marido).

Aos laboratoristas e todos os funcionários do Departamento de Solos, pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos com os quais tive a oportunidade de compartilhar bons momentos e por terem me ensinado muito durante esses anos de UFV e DPS.

Aos meus pais, Sebastião e Rosana, pelos incentivos, apoio e esforço à minha formação acadêmica, por minha formação moral, pelos conselhos, pela amizade, amor, carinho e respeito.

À minha irmã Natali, pelo carinho, incentivo, orgulho, amizade e amor.

Ao meu marido Romildo, pelo carinho, compreensão, força, amor e companheirismo em todos os momentos de minha vida.

Enfim, agradeço a todos que direta e indiretamente me apoiaram, ajudaram e incentivaram nesta mais nova conquista. E me desculpa se esqueci de citar alguém, é que graças a Deus tenho muitas pessoas boas ao meu redor.

BIOGRAFIA

NATHÁLIA FARIA DA SILVA, filha de Sebastião Lopes de Faria e Rosana Maria da Silva Faria, natural de Viçosa, Minas Gerais, nasceu no dia 29 de Janeiro de 1986.

Em março de 2006 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, onde graduou-se em janeiro de 2011. Durante a graduação, foi bolsista voluntária durante um ano e, posteriormente, bolsista de iniciação científica da CNPq e FAPEMIG durante um ano cada, atuando na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas, com o gênero *Eucalyptus*.

Em março de 2011 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em março de 2013, com título "Produtividade, demanda e eficiência nutricional de clones de eucalipto em regime de alto fuste e talhadia".

Em março de 2013 iniciou seu doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo a defesa de sua tese em março de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1. Cinética de absorção conjunta de P e de K e eficiência nutricional de progênies de eucalipto.....	6
RESUMO	6
INTRODUÇÃO	8
OBJETIVOS	10
MATERIAL E MÉTODOS	10
RESULTADOS	14
<i>Parâmetros cinéticos para P e K das progênies de eucalipto</i>	14
<i>Crescimento e características morfológicas das progênies de eucalipto</i>	17
<i>Acúmulo de P e K das progênies de eucalipto</i>	19
<i>Eficiência de absorção, translocação e de utilização de P e K das progênies de eucalipto</i>	20
DISCUSSÃO	24
CONCLUSÕES	31
CAPÍTULO 2. Crescimento, absorção e utilização de N, P e K em progênies de eucalipto submetido à limitação nutricional desses nutrientes no solo	32
RESUMO	32

INTRODUÇÃO	34
OBJETIVO	39
MATERIAIS E MÉTODOS	39
RESULTADOS	45
<i>Área foliar específica das progênies de eucalipto</i>	45
<i>Trocas gasosas das progênies de eucalipto</i>	46
<i>Fluorescência da clorofila a das progênies de eucalipto</i>	48
<i>Pigmentos fotossintéticos das progênies de eucalipto</i>	51
<i>Crescimento das progênies de eucalipto</i>	53
<i>Características morfológicas radiculares das progênies de eucalipto</i>	55
<i>Teor de N, P e de K nas folhas e raízes das progênies de eucalipto</i>	57
<i>Acúmulo de N, P e K das progênies de eucalipto</i>	60
<i>Eficiência de absorção, translocação e utilização de N, P e K das progênies de eucalipto</i>	64
<i>Atividade das enzimas nitrato redutase, glutamina sintetase, fosfatase ácida e ribonuclease em folhas e raízes das progênies de eucalipto</i>	70
DISCUSSÃO	75
CONCLUSÕES	88
CONCLUSÕES GERAIS	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APENDICE A.1- Capítulo 1	101
APENDICE A.28- Capítulo 2	106

RESUMO

SILVA, Nathália Faria da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Eficiência nutricional e seus biomarcadores em eucalipto para nitrogênio, fósforo e potássio.** Orientador: Nairam Félix de Barros. Coorientadores: Cleberson Ribeiro e Júlio César Lima Neves.

A alta eficiência na absorção (EA) e ou utilização (EU) de nutrientes em um genótipo é desejável, por estar relacionado com a produção de biomassa, podendo contribuir para aumento na produtividade, redução na exportação de nutrientes e economia de fertilizantes. Deste modo, estudos que visam integrar conhecimentos sobre eficiência de absorção, eficiência de utilização nutricional e produtividade são de fundamental importância para o manejo nutricional e seleção de materiais genéticos mais eficientes, e sua alocação no campo considerando a exigência nutricional e a fertilidade do solo. Este trabalho visou determinar os parâmetros da cinética de absorção de fósforo (P) e de potássio (K) em progênies de eucalipto; avaliar características morfológicas do sistema radicular e relacioná-las com a absorção de nutrientes; caracterizar as progênies de acordo com a eficiência de absorção e de utilização dos nutrientes; avaliar a atividade de enzimas relacionadas à absorção e utilização de P e de N pelas progênies; classificar as progênies quanto à eficiência de absorção e de utilização dos nutrientes e verificar se as enzimas avaliadas podem ser usadas como biomarcadores do status nutricional de progênies de eucalipto. O primeiro experimento foi conduzido em casa de vegetação e câmara de crescimento, utilizando-se mudas de 11 progênies de eucalipto, cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos, representados pelas onze progênies, foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Após 62 dias de cultivo, foram determinados os atributos do crescimento da parte aérea e raízes, produção de biomassa, eficiências de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes, os parâmetros cinéticos de absorção e o influxo de P e de K. Neste experimento, concluiu-se que as diferenças na eficiência nutricional das progênies de eucalipto são devidas apenas às diferenças na eficiência de absorção. A maior eficiência de absorção de fósforo pelas progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 é atribuída a diferenças na velocidade máxima de absorção e na constante de Michaelis- Menten. As progênies 1, 3 e 6 são as mais eficientes na absorção de potássio, mesmo em soluções com concentrações mínimas de K (C_{mim}), possivelmente em decorrência da afinidade entre o carregador e o ion e da maior área superfície específica das raízes. As progênies 1, 3 e 6 foram as mais eficientes na absorção

de P e de K . As progênies de eucalipto não se diferenciaram na eficiência de utilização de P e de K . As diferenças entre as progênies de eucalipto quanto à eficiência nutricional de P e de K na fase de mudas sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo. No segundo experimento foram utilizadas mudas de 11 progênies de eucalipto, que foram cultivadas em vaso de 3 dm³ com solo franco-arenoso , ao qual foram aplicados os tratamentos constituídos por doses de N, P e K. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos formando um fatorial 11x5 (11 progênies, 5 combinações de doses de N, P e K), com quatro repetições. Avaliaram-se características morfológicas do sistema radicular e foliar, massa de matéria seca de cada órgão (raiz, caule, folhas), teores e conteúdos de N, P e K, eficiência de absorção, translocação e utilização dos respectivos nutrientes, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, teor dos pigmentos, atividade enzimáticas da nitrato redutase (NR), glutamina sintetase (GS), fosfatase ácida (APase) e ribonuclease (RNase). Foi aplicado o teste de Scott-Knott a todas as variáveis respostas avaliadas nas progênies. Concluiu-se que o crescimento das progênies de eucalipto foi mais afetado pela limitação de N , seguido da limitação de P e de K no solo. A fotossíntese e os teores dos pigmentos fotossintéticos nas progênies de eucalipto são mais afetados negativamente pela restrição de N no solo, seguido da restrição de K. A limitação de N no solo causa redução da taxa fotossintética líquida nas progênies de eucalipto pelo dano fotoquímico e bioquímico. As progênies de eucalipto apresentam respostas diferenciais ao estresse nutricional pela limitação de N , de P ou de NPK em conjunto no solo, sendo as atividades enzimáticas da NR e APase biomarcadores potenciais para uso na diagnose do status nutricional de N e de P nas progênies. A atividade enzimática da APase na folha e na raiz foi o biomarcador mais responsivo à limitação na disponibilidade de P e da NR na folha a mais responsiva à limitação de N. As progênies 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 são as progênies com maior crescimento e eficiência na utilização de P, em condição restrita desse nutriente no solo. A progênie 5 apresenta maior eficiência na absorção e utilização de P em condição restrita desse nutriente no solo. A maior eficiência de uso de K ocorreu nas progênies 1, 3, 5, 7, 10 e 11 em condição de limitação do nutriente no solo. As progênies 5, 7, 10 e 11 são mais eficientes na utilização tanto de P como de K , em condição de limitação desses nutrientes. Restrições fortes no suprimento de N não permitem que progênies de eucalipto se diferenciem na absorção e utilização do nutriente. Em suma, este estudo constatou que há diferenças nutricionais entre progênies que

redundam em diferenças de crescimento e atividade de enzimas relacionadas à nutrição nitrogenada, fosfatada e potássica.

ABSTRACT

SILVA, Nathália Faria da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Nutritional efficiency and its biomarkers in eucalyptus for nitrogen, phosphorus and potassium.** Adviser: Nairam Félix de Barros. Co-advisers: Cleberson Ribeiro and Julio César Lima Neves.

The high efficiency in the absorption and utilization of nutrients in a genotype is desirable because it is related to biomass production and can contribute to increased productivity, reduced nutrient exportation and fertilizer economy. Thus, studies aimed at integrating knowledge on absorption efficiency, nutritional utilization efficiency and productivity are of fundamental importance for the nutritional management and selection of more efficient genetic materials that could be allocated in an area according to their nutritional requirement. This work aimed to determine the parameters of the kinetics of phosphorus (P) and potassium (K) uptake in eucalyptus progenies; To evaluate the morphological characteristics of the root system and to relate them to the absorption of nutrients; Characterize the progenies according to the efficiency of absorption and utilization of the nutrients; To evaluate the activity of key P and N enzymes; To classify the progenies as to the efficiency of absorption and utilization of the nutrients and to verify if the evaluated enzymes can be used as biomarkers of the nutritional status of progenies of eucalyptus. The first experiment was conducted in a greenhouse and growing chamber, using seedlings of 11 progenies of eucalyptus, grown in nutrient solution. The treatments, represented by eleven progenies, were distributed in a randomized complete block design, with three replications. After 62 days of cultivation, root and shoot growth, biomass production, absorption efficiencies, translocation and macronutrient utilization, kinetic parameters of absorption and P and K influx were determined. In this experiment, The differences in nutritional efficiency of eucalyptus progenies are due only to differences in absorption efficiency. The greater efficiency of P absorption by progenies 1, 3, 5, 6, 9 and 10 is attributed to differences in the maximum rate of absorption and the Michaelis-Menten constant. Progenies 1, 3 and 6 are the most efficient in K uptake due to the minimum concentration of K required in the soil and the Michaelis-Menten constant, in addition to the greater specific surface area of the roots. Progenies 1, 3 and 6 were the most efficient in the absorption of both P and K. The progenies of eucalyptus did not differentiate in relation to the efficiency of P and K utilization. Progenies 5, 9 and 10 were the most efficient in both P and K absorption and utilization, when they related the

absorption and utilization efficiencies of each nutrient, separately. The differences between eucalyptus progenies and the nutritional efficiency of P and K in the seedling stage suggest the possibility of selecting eucalyptus genotypes for different soil fertility conditions. The second experiment used seedlings of eleven progenies of eucalyptus that were cultivated in a 3 dm³ pot with sandy loam soil, to which the treatments constituted by N, P and K doses were applied. The experimental design was a randomized block design, with the treatments forming an 11x5 factorial (11 progenies, 5 dose combinations of N, P and K), with four replicates. Data were obtained on the morphological characteristics of the root and leaf system, dry mass of each organ (root, stem, leaves), contents and contents of N, P and K, absorption efficiency, translocation and utilization of nutrients, (NR), glutamine synthetase (GS), acid phosphatase (APase), and ribonuclease (RNase). The Scott-Knott test was performed for all variables evaluated in the progenies. In the second experiment it was concluded that the growth of eucalyptus progenies in greenhouse is more affected by nitrogen limitation, followed by phosphorus and potassium limitation in the soil. Photosynthesis and photosynthetic pigment contents in eucalyptus progenies are more negatively affected by N restriction in the soil, followed by K restriction. The limitation of N in the soil causes reduction of the net photosynthetic rate in eucalyptus progenies due to photochemical and biochemical damage. The eucalyptus progenies present differential responses to nutritional stress by limiting N, P or N, P and K together in the soil, and the enzymatic activities of NR and APase are potential biomarkers for use in the diagnosis of N nutritional status and P in the progenies. The enzymatic activity of leaf and root APase was the biomarker most responsive to the limitation in the availability of P and NR in the leaf most responsive to N limitation. Progenies 4, 5, 6, 7, 9, 10 and 11 are the progenies with the highest growth and efficiency in the use of P, in a restricted condition of this nutrient in the soil. Progeny 5 presents greater efficiency in the absorption and utilization of P in restricted condition of this nutrient in the soil. The highest efficiency of K use is found in progenies 1, 3, 5, 7, 10 and 11 under soil K limitation. Progenies 5, 7, 10 and 11 are more efficient in the use of both P and K, in condition of limitation of these nutrients. Strong N supply constraints do not allow eucalyptus progenies to differentiate into nutrient uptake and utilization. Therefore, this study showed nutritional differences among the studied progenies, which leads to differences in growth and enzyme activity related to the nutrition of nitrogen, phosphorus and potassium.

INTRODUÇÃO GERAL

A área total de árvores plantadas no Brasil foi de 7,8 milhões de hectares em 2015, com crescimento de 0,8% em relação ao ano de 2014, sendo que os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares no País e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%) com produtividade média de 35 m³ /ha.ano (IBÁ, 2016). A maior parte dos plantios de eucalipto no Brasil encontra-se em áreas com solos de baixa fertilidade natural (BARROS; NOVAIS, 1996; GAMA-RODRIGUES et al., 2005), o que torna a fertilização uma técnica indispensável à obtenção de elevadas produtividades.

O nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) são os nutrientes com grande proeminência no desenvolvimento da planta e representam valores relevantes na aquisição desses nutrientes na matriz de custo com os fertilizantes para a produção do eucalipto.

Na fase inicial do ciclo vegetativo, a maior absorção de N resulta em maior área foliar e conseqüente maior fixação de CO₂, tendo em vista sua participação na síntese de clorofilas, como componente dos sistemas energéticos na planta e dos ácidos nucléicos e aminoácidos, os quais formam as proteínas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Nessa fase o N controla o ritmo de crescimento, o tamanho e o vigor das plantas, promovendo ganhos no crescimento (NEVES; GOMES; NOVAIS, 1990).

O adequado suprimento do P é importante no início do crescimento, pois estimula o crescimento das raízes e a acentuada taxa de crescimento inicial da parte aérea (MALAVOLTA, 1989). O P é absorvido pela planta na forma inorgânica, podendo ter vários destinos, como: ingressar nos compartimentos metabólicos, como citoplasma celular e suas organelas, onde a maior parte de Pi é assimilada em compostos orgânicos via formação de uma ligação anidrida no ATP; pode ingressar nas vias biossintéticas de fosfolipídios, DNA, e RNA tornando-se um composto estrutural na célula; pode ser perdido por efluxo se estiver, por exemplo, em condições de alto suprimento de P; pode ocorrer o influxo ou ser armazenado no vacúolo para regular a homeostase de Pi no interior da célula e, por fim, pode ser transportado via xilema para a parte aérea (RAUSCH; BUCHER, 2002).

O K é o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das plantas, desempenhando funções metabólicas e de crescimento (HSIAO; LAUCHLI, 1986). O K

aumenta a resistência das plantas a ciclos de umedecimento e secagem do substrato, exerce papel importante para a maior sobrevivência e resistência das plantas no campo, especialmente em períodos de seca (BARROS; NOVAIS, 1990). Além do mais, o K atua na ativação de muitas enzimas que participam do metabolismo da planta e tem papel importante na fotossíntese. Além disso, em condição de deficiência, reduz a fotossíntese, aumenta a respiração e diminuiu a concentração de carboidratos na planta, atua na regulação da abertura e fechamento estomático, nos processos de transporte através de membranas e transporte no floema (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Considerando a economia de recursos, no caso particular de nutrientes minerais, a estratégia a ser adotada seria o plantio de materiais genéticos mais eficientes nutricionalmente. A eficiência nutricional compreende a eficiência de absorção e a eficiência de utilização do nutriente absorvido para a produção de biomassa (MARSCHENER, 2012; SIDDIQUI; GLASS, 1981; SWIADER; CHYAN; FREJI, 1994).

Alguns trabalhos indicam diferenças consideráveis entre espécies, quanto à absorção e utilização de nutrientes (LIMA et al., 2005; MORAIS et al., 1990; SANTANA; BARROS; NEVES, 2002) e entre clones de eucalipto (BARROS et al., 1986; GRESPAN; DIAS; NOVAIS, 1998; LIMA et al., 2005; MORAIS et al., 1990; PINTO et al., 2011), mostrando a possibilidade de seleção e adaptação de diferentes materiais genéticos a distintas condições edafoclimáticas, especialmente a solos de baixa fertilidade. Diferentes valores da velocidade de absorção (V_{max}), da afinidade entre o carregador do nutriente através da membrana e o íon sendo absorvido (K_m) e a concentração mínima do íon na solução (C_{min}) podem ser obtidos para materiais genéticos distintos, indicando diferenças na capacidade de absorção (LIMA et al., 2005; MACHADO; FURLANI, 2004; PINTO, 2009; RUIZ; FERNANDES FILHO, 1992; SANES et al., 2013). Diferenças na eficiência de utilização de nutrientes entre materiais genéticos de eucalipto, em condições de campo, também têm sido encontradas (MORAIS et al., 1990; SANTANA; BARROS; NEVES, 2002). Além dos parâmetros cinéticos da absorção, os atributos morfológicos radiculares (comprimento, volume, diâmetro, superfície e taxa de crescimento) também determinam a eficiência de absorção de nutrientes de diversas plantas (ANGHINONI et al., 1989; FAGERIA, 1998; MARTINEZ et al., 1993). Esses dois grupos de características são, em grande parte, controlados

geneticamente, o que aponta para a possibilidade de se identificarem diferenças entre genótipos na absorção e na utilização de nutrientes minerais por eucalipto.

No Brasil, a obtenção de progênies de eucalipto tem permitido a seleção de clones tolerantes a doenças e mais adequados a sítios com características distintas, o que tem resultado em ganhos de produtividade. Segundo IVOGLO et al. (2008), a variabilidade genética na população é condição básica para que esses ganhos se concretizem. Dessa forma, estudos que permitam a seleção de genótipos superiores e possibilitem o aumento da frequência de genes controladores de determinados processos ou características, proporcionam a obtenção de materiais genéticos adaptados às condições ambientais predominantes nas diferentes regiões produtoras (FONSECA et al., 2006).

O uso de biomarcadores tem permitido detectar alterações na absorção de nutrientes e nos processos metabólicos, fatos que podem influenciar a eficiência nutricional (FERNANDES et al., 2016; NANAMORI et al., 2004; NUNES et al., 2008). Os biomarcadores podem ser enzimas, identificadas como chave no controle de rotas metabólicas ou, ainda, genes responsáveis ou ligados à produção e atividade dessas enzimas. Tais vias de estudo são fundamentais para entender os mecanismos que relacionam nutrição ao controle genético, especialmente sob condições de estresses, o que, no futuro, subsidiaria a escolha precoce de variedades ou materiais genéticos com maior eficiência nutricional (que abrange absorção e utilização), por meio de biomarcadores.

As plantas desenvolveram mecanismos capazes de detectar e responder a flutuações na disponibilidade de nutrientes minerais, otimizando o crescimento e a reprodução sob condições adversas ambientais, melhorando a absorção e a reciclagem de nutrientes (HERMANS et al., 2006; LIU; CHANG; CHIOU, 2009).

A limitação por baixa disponibilidade de P nos solos ocasiona alterações bioquímicas nas plantas em resposta ao estresse nutricional causado pela sua escassez na planta, como a indução da síntese de enzimas como a fosfatase ácida (APase) e a ribonuclease (RNase) (BOSSE; KOCK, 1998; FERNANDES, 2013; NUNES et al., 2008; YUN; KAEPLER, 2001). As fosfatases estão associadas à remobilização de P nas plantas; portanto, a maior atividade dessas enzimas tem sido associada a baixos teores celulares de Pi (BALDWIN; KARTHIKEYAN; RAGHOTHAMA, 2001;

RICHARDSON; HADOBAS; HAYES, 2000; YAN et al., 2001). Além disso, os teores de ATP e de ácidos nucleicos são significativamente reduzidos em plantas deficientes em P, como estratégia para manter elevado teor de Pi citoplasmático adequado à manutenção do metabolismo (RAGHOTHAMA, 1999).

NANAMORI et al.(2004), estudando a ciclagem interna de P, observaram que plantas de arroz e de *Brachiaria* cultivadas em solução nutritiva sem P apresentaram maior atividade das enzimas APase e RNase do que plantas cultivadas em solução sem restrição, concluindo que a atividade destas enzimas estava associada à remobilização de P nas plantas. Semelhantemente, BOSSE; KOCK (1998) já haviam observado a elevada atividade de fosfatases na raiz, e não no meio de crescimento. Assim, as atividades das fosfatases estavam associadas à remobilização e não à aquisição de formas orgânicas de P. Desta forma, especula-se que a adaptação do eucalipto à baixa disponibilidade de P também deve-se à elevada ciclagem interna deste elemento e, conseqüentemente, à maior atividade da APase e RNase na planta.

As plantas absorvem o N como nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), sendo o primeiro a forma mais absorvida pelas culturas em geral. Porém, estudos indicam maior desenvolvimento do eucalipto quando o N é fornecido em maior proporção como NH_4^+ (LOCATELLI et al., 1984). O NH_4^+ absorvido pode ser assimilado nas raízes ou translocado para a parte aérea, onde pode ser assimilado ou armazenado no vacúolo. A aparente preferência do eucalipto por absorver o N na forma de NH_4^+ não exclui a absorção de N na forma de nitrato (LOCATELLI et al., 1984; PINTO, 2009), justificando o estudo da enzima nitrato redutase (NR), visto ser sua atividade importante no ciclo do N nas plantas (SRIVASTAVA; SINGH, 2006).

A NR é a primeira enzima envolvida no processo de redução do nitrato a nitrito, que, posteriormente, é convertido em amônio em plantas. Acredita-se que a NR possa limitar a assimilação do N em muitas plantas (CAMPBELL, 1999). A atividade da NR depende da disponibilidade de NO_3^- no meio de crescimento, do equilíbrio de NO_3^- e glutamina no citoplasma, da disponibilidade de cofatores e íons metálicos, luminosidade e água (KAWACHI et al., 2002; SRIVASTAVA; SINGH, 2006). As reações que se seguem fazem parte do processo de assimilação do NH_4^+ , seja ele advindo da redução do nitrato, fotorespiração ou absorção diretamente do meio de cultivo (KUMAR; ABROL, 1990; SOUZA; FERNANDES, 2006). Essa assimilação depende da enzima glutamina

sintetase (GS), cujo produto, glutamina, é o principal doador do grupamento amino para outros compostos orgânicos. A GS catalisa a reação do glutamato, oriundo do ciclo de Calvin, e NH_4^+ em glutamina (EPSTEIN; BLOOM, 2006; SOUZA; FERNANDES, 2006). Assim, tanto a atividade da NR e como da GS é tida como chave para que as plantas expressem seu potencial produtivo (FERNANDES et al., 2016). Correlações significativas entre as atividades de NR, GS, teor de nitrato e produtividade da cultura foram relatadas na literatura, permitindo o uso da avaliação da atividade destas enzimas na diagnose nutricional (HIREL et al., 2005). Portanto, tanto a NR como a GS podem ter um papel importante na eficiência de utilização de N em condição de limitação desse nutriente.

Assim, estudos que visam entender os mecanismos envolvidos no controle da eficiência nutricional de materiais genéticos, abordando aspectos nutricionais, alterações fisiológicas e no metabolismo da planta são de grande interesse nos programas de nutrição de plantas e melhoramento genético, buscando obter materiais genéticos com maior eficiência nutricional.

Capítulo 1

Cinética de absorção de P e de K e eficiência nutricional de progênies de eucalipto

RESUMO

A crescente demanda de produtos de origem florestal tem levado à ocupação de áreas com restrições hídricas, baixa fertilidade natural e/ou solos degradados. A economia de recursos, neste caso particular de nutrientes minerais, é uma estratégia a ser adotada com uso de materiais genéticos mais eficientes nutricionalmente. Assim, os objetivos deste trabalho foram caracterizar progênies de *Eucalyptus grandis* de acordo com a eficiência de absorção (EA) e utilização (EU) de fósforo (P) e potássio (K) e relacionar a absorção de nutrientes com características morfológicas do sistema radicular. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e câmara de crescimento, utilizando-se mudas de onze progênies de eucalipto, cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos, representados pelas onze progênies, foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Após 62 dias de cultivo, foram determinados os atributos do crescimento da parte aérea e raízes, produção de biomassa, eficiências de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes, os parâmetros cinéticos de absorção e o influxo de P e de K. As progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 foram as mais eficientes na absorção de P, sendo que as progênies 1, 3, 9 e 10 foram as que apresentaram menor K_m e menor valor de velocidade máxima de absorção (V_{max}) de P, com exceção da progênie 1 e 3. As progênies não se distinguiram em relação à EU de P e de K. As progênies 1, 3 e 6 foram mais eficientes na absorção de K. As características morfológicas das raízes não seguiram um comportamento único de acordo com a eficiência de absorção desses macronutrientes nas progênies. Concluiu-se que as diferenças na eficiência nutricional das progênies de eucalipto são devidas apenas às diferenças na eficiência de absorção; a maior eficiência de absorção de P pelas progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 é atribuída a diferenças na velocidade máxima de absorção e na constante de Michaelis- Menten; as progênies 1, 3 e 6 são as mais eficientes na absorção de K devido a concentração mínima de K necessário no solo e a constante de Michaelis- Menten, além da maior área superfície específica das raízes; as progênies 1, 3 e 6 foram as mais eficientes na absorção tanto de P como de K; as progênies de eucalipto não se diferenciaram em relação à eficiência de utilização de P e de K; as progênies 5, 9 e 10 foram as mais eficientes tanto na absorção

como na utilização de P e de K, quando relacionam as eficiências de absorção e de utilização de cada nutriente, separadamente e as diferenças entre as progênies de eucalipto quanto à eficiência nutricional de P e de K na fase de mudas sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo.

INTRODUÇÃO

A área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 7,8 milhões de hectares em 2015, com crescimento de 0,8% em relação ao ano de 2014, sendo que os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares no País e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%) com produtividade média de 35 m³ /ha.ano (IBÁ, 2016).

A crescente demanda de produtos de origem florestal, no entanto, tem levado à ocupação de áreas com restrições hídricas, baixa fertilidade natural e/ou solos degradados. A água e os nutrientes afetam diretamente a produção florestal e sua manutenção na região tropical uma vez que a temperatura e radiação solar não são limitantes em condição de campo (BARROS; COMERFORD, 2002).

Considerando-se a economia de recursos, no caso particular de nutrientes minerais, a estratégia a ser adotada seria o plantio de materiais genéticos mais eficientes nutricionalmente. A eficiência nutricional compreende a eficiência de absorção (capacidade da planta em adquirir o nutriente do solo) e a eficiência de utilização do nutriente absorvido para a produção de massa (MARSCHENER, 2012; SIDDIQUI; GLASS, 1981; SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994). A eficiência de utilização pode ainda ser afetada pela eficiência de translocação do nutriente na planta e sua alocação em determinados tecidos ou órgãos (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991).

A busca da otimização da relação custo-benefício tem levado algumas empresas florestais a desenvolver pesquisas voltadas à seleção de materiais genéticos adaptados às diversas condições ambientais, mas, em geral, sem determinar a razão da melhor adaptação, se está relacionada ao fator água, nutrientes, radiação solar, temperatura ou oxigênio.

O fósforo (P) é móvel na planta e o principal nutriente na formação do sistema radicular, devido o seu papel na divisão e crescimento celular, favorecendo a rápida formação e crescimento das raízes e, conseqüentemente, maior desenvolvimento inicial da muda. O potássio (K) está presente na planta como cátion monovalente e, diferentemente dos outros nutrientes, ele não forma compostos nas plantas, mas permanece livre para controlar muitos processos essenciais no seu desenvolvimento. O K tem um importante papel na regulação do potencial osmótico das células das plantas, também é requerido para a ativação de muitas enzimas da respiração e da fotossíntese,

uso eficiente da água, formação de amido e síntese proteica (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

No tocante aos nutrientes, alguns trabalhos indicam diferenças consideráveis entre espécies quanto à absorção e utilização de nutrientes (LIMA et al., 2005; MORAIS et al., 1990; SANTANA; BARROS; NEVES, 2002) e entre clones de eucalipto (BARROS et al., 1986; GRESPAN; DIAS; NOVAIS, 1998; LIMA et al., 2005; MORAIS et al., 1990; PINTO et al., 2011), mostrando a possibilidade de seleção e adaptação de diferentes materiais genéticos a distintas condições edafoclimáticas, especialmente a solos de baixa fertilidade. A velocidade máxima de absorção (V_{max}), a afinidade entre o carregador e o íon (K_m) e a concentração mínima do íon na solução (C_{min}) são os parâmetros cinéticos de absorção que podem ser obtidos para materiais genéticos para diferenciá-los quanto à capacidade de absorção (LIMA et al., 2005; MACHADO; FURLANI, 2004; PINTO, 2009; RUIZ; FERNANDES FILHO, 1992; SANES et al., 2013). Diferenças na eficiência de utilização de nutrientes entre materiais genéticos de eucalipto, em condições de campo, também têm sido encontradas (MORAIS et al., 1990; SANTANA; BARROS; NEVES, 2002). Além dos parâmetros cinéticos da absorção, os atributos morfológicos radiculares (comprimento, volume, diâmetro, superfície e taxa de crescimento) também determinam a eficiência de absorção de nutrientes de diversas plantas (ANGHINONI et al., 1989; FAGERIA, 1998; MARTINEZ et al., 1993). Esses dois grupos de características são, em grande parte, controlados geneticamente, o que aponta para a possibilidade de se identificarem diferenças entre genótipos na absorção e na utilização de nutrientes minerais para eucalipto.

A eficiência de absorção está relacionada à taxa de absorção de nutrientes por unidade de comprimento ou de massa de raiz, e pode ser avaliada em estudos de cinética de absorção de nutrientes (FAGERIA; BALIGAR, 1993). A aquisição de nutrientes depende da eficiência dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes, e pode ser avaliada pelas eficiências de absorção e de produção de raízes. Por sua vez, a eficiência de utilização de nutrientes depende do seu transporte para a parte aérea e da exigência metabólica da planta (MARTINEZ et al., 1993), e pode ser expressa pelo quociente entre a biomassa total ao quadrado e o conteúdo do nutriente na planta (SIDDIQUI; GLASS, 1981). Tradicionalmente, a eficiência de utilização de nutriente tem

sido definida como a razão entre a biomassa e a quantidade total de nutriente na biomassa (MARTINS et al., 2012; SANES et al., 2013).

Deste modo, neste trabalho busca-se caracterizar genótipos de eucalipto quanto à absorção, transporte e a utilização de P e de K, relacionando-os com características radiculares. Segundo GERLOFF; GABELMAN (1983) essas características apresentam controle genético, o que permitiria selecionar cultivares mais eficientes nutricionalmente ou mais produtivos com menor exigência em nutrientes.

OBJETIVOS

1- Caracterizar as progênes de *Eucalyptus grandis* de acordo com a eficiência de absorção e utilização de fósforo e potássio.

2 – Relacionar a absorção de nutrientes com características morfológicas do sistema radicular.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, com mudas de onze progênes de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), fornecidas pela Cia. Suzano de Papel e Celulose.

As mudas foram obtidas a partir de sementes, que germinaram em bandejas com areia lavada, por cerca de 45 dias. Posteriormente, lavou-se o sistema radicular das mudas, que foram transferidas para vasos de 10 L, com sistema de aeração e solução nutritiva de Clark (CLARK, 1975), adaptada por LOCATELLI et al. (1984) (Quadro 1). O pH da solução nutritiva foi monitorado diariamente, mantendo-o próximo a 5,8 ($\pm 0,2$) e as trocas de solução realizadas semanalmente. A força iônica da solução foi aumentada gradativamente, iniciando com 25% até atingir 100% da força iônica original. Cada vaso continha duas plantas.

Após um período de 54 dias de cultivo na casa de vegetação, as plantas foram selecionadas quanto à uniformidade de raízes e parte aérea e foram levadas para câmara de crescimento, com temperatura de 27°C (± 2) e intensidade luminosa próxima a 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, onde permaneceram por uma semana para aclimação. As plantas foram transferidas para vasos plásticos com 2 L de solução nutritiva de igual composição à anteriormente utilizada e o pH continuou sendo ajustado na mesma faixa.

Quadro 1. Composição da solução nutritiva de CLARK (1975), adaptada por LOCATELLI et al. (1984)

Reagentes	Concentração (mmol/L)
NH ₄ NO ₃	2,925
CaCl ₂	1,300
K ₂ SO ₄	0,300
MgSO ₄	0,300
KCl	0,530
KH ₂ PO ₄	0,138
	(μ mol/L)
Fe-EDTA	40,000
MnCl ₂	7,000
H ₃ BO ₃	19,000
ZnSO ₄	2,000
CuSO ₄	0,500
Na ₂ MoO ₄	0,086

Na câmara de crescimento, as onze progênes foram dispostas em blocos ao acaso com três repetições, sendo o P e o K aplicados em conjunto. A unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas.

No sétimo dia, a solução nutritiva foi trocada por uma que tinha ausência de P e K e, no oitavo dia, deu-se início ao estudo de cinética de absorção conjunta de K e P. A solução nutritiva foi trocada por uma solução de pré-exaustão, na qual as mudas permaneceram por duas horas. Esta solução foi composta por K, P, Ca e B, nas seguintes concentrações, aproximadamente: K - 100 μ mol/L, P - 30 μ mol/L, Ca - 20 μ mol/L e B - 2 μ mol/L. A fonte de P utilizada foi o fosfato de potássio dibásico e para completar a dose de K foi utilizado o cloreto de potássio; para B o ácido bórico e para Ca o cloreto de cálcio. Após 2 horas, a solução foi substituída por outra de igual composição, denominada solução de depleção, da qual iniciou-se a coleta das alíquotas..

Durante um período de 12 horas, a intervalos de 30 min, a solução de depleção foi amostrada, pipetando-se 10 mL de alíquota. A última amostragem foi realizada 24 horas após o início da primeira alíquota da solução de depleção.

Decorridas as 24 h, as plantas foram mensuradas em altura da parte aérea (cm) e diâmetro do coleto (mm). Em seguida foram colhidas, separando-as em parte aérea e raízes e submetidas à pesagem para obtenção da massa de matéria fresca. O volume da solução remanescente nos vasos foi medido (L).

Nas alíquotas coletadas, realizou-se a determinação dos teores de P e K. A determinação de P foi por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974) no espectrômetro de absorção molecular e o K por fotometria de emissão de chama.

Amostrou-se o sistema radicular, retirando desde sua parte superior até o final fragmentos para representarem o sistema radicular total. Esses fragmentos de raízes foram acondicionados em potes plásticos com álcool 25% e armazenadas em geladeira para posterior avaliação das seguintes características morfológicas: comprimento, área de superfície e diâmetro médio, por meio do sistema WinRHIZO Pro 2009, acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com uma unidade de luz adicional (TPU). A partir das variáveis morfológicas, massa de matéria seca de raiz e com os teores de P e K nas alíquotas, com o uso da aproximação gráfico-matemática (RUIZ; FERNANDES FILHO, 1992), foram obtidos os valores dos parâmetros cinéticos: velocidade máxima de absorção (V_{max}), que indica a quantidade de íon absorvido quando todos os sítios do carregador estiverem saturados, a constante de Michaelis-Menten (K_m), que corresponde à concentração do íon em solução que garante metade da velocidade máxima de absorção e indica a afinidade do carregador pelo íon. Foram utilizados no programa os valores de cada unidade experimental. Esse programa calcula a V_{max} por meio de uma equação linear e a K_m por equações do tipo exponencial, potencial ou exponencial-recíproco; foi considerado como melhor modelo a equação exponencial linear. O valor de C_{min} estimado foi obtido através equação da quantidade estimada do nutriente pelo programa da aproximação gráfico-matemática (RUIZ; FERNANDES FILHO, 1992), considerando o tempo igual a 24 h (última alíquota coletada). Os valores das taxas de influxo para cada nutriente de acordo com o tratamento e o poder de absorção foram calculados conforme as equações 1 e 2.

Equação 1. Influxo do nutriente

$$\text{Influxo do nutriente} = \frac{V_{max} * (\text{Conc. do nut.} - C_{min \text{ estimado}})}{K_m + (\text{Conc. do nut.} - C_{min \text{ estimado}})}$$

Equação 2. Poder de absorção do nutriente

$$\alpha = \frac{V_{max}}{K_m}$$

Em que:

V_{max} = Velocidade máxima de absorção do nutriente ($\mu\text{mol/g}\cdot\text{h}$)

K_m = Constante de Michaelis-Menten ($\mu\text{mol/l}$)

Conc. do nut.= Concentração do nutriente em cada ponto ($\mu\text{mol/l}$)

$C_{min \text{ estimado}}$ = Concentração do nutriente em 24 h (término da cinética)

α = poder de absorção

A determinação de teores totais foi realizada em amostras de parte aérea e raízes coletadas ao término do experimento. Esses componentes da planta foram secos em estufa com circulação de ar forçada, a 65 °C por 72 h, até que atingissem peso constante. Em seguida, obteve-se a massa de matéria seca. Posteriormente, esse material foi moído em moinho tipo *Wiley*, com peneira de 1mm. Para dosagem dos teores totais de P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, as amostras foram mineralizadas pela mistura nítrico-perclórica, na proporção 4:1 v/v. A determinação do teor total de N, foi por digestão em ácido sulfúrico concentrado e aquecimento, seguido pela destilação e titulação pelo método Kjeldahl (NELSON; SOMMERS, 1973). O P foi dosado por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974), K por fotômetro de emissão de chama, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica, S por turbidimetria (ALVAREZ V. et al., 2001).

Para cada nutriente, foram avaliados seu acúmulo na parte aérea, raiz e total, a eficiência de absorção (EA) pela fórmula= (conteúdo do nutriente na planta/g de matéria seca da raiz) (SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994), eficiência de translocação - ET = (conteúdo do nutriente na parte aérea/ conteúdo do nutriente na planta) (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991), eficiência de utilização dos nutrientes na produção de massa de matéria seca da parte aérea EUPA = ((matéria seca da parte aérea)²/ conteúdo do nutriente na parte

aérea), a eficiência de utilização total (EUT), sendo $EUT = (\text{massa de matéria seca total})^2 / \text{conteúdo do nutriente total}$), conforme SIDDIQUI; GLASS, (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância. Foi realizado o teste de Scott-Knott (agrupamento de médias) para os parâmetros cinéticos de absorção e todas as variáveis respostas obtidas para as progênies de eucalipto, em estudo. O *software* R foi utilizado para realização destas análises estatísticas (MENDIBURU, 2014; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

RESULTADOS

Parâmetros cinéticos da absorção de P e K das progênies de eucalipto

As progênies de eucalipto se diferenciaram na velocidade máxima de absorção (V_{max}) e constante de Michaelis-Menten (K_m) para o P e na concentração mínima necessária de K estimado (C_{min} estimado) e na constante de Michaelis-Menten (K_m) para o K. Os demais parâmetros cinéticos para P e para K não diferiram entre as progênies (Quadro 2).

As progênies 1, 3, 9 e 10 foram as que apresentaram menor K_m para P e as progênies 9 e 10 menor valor de V_{max} de P, enquanto as progênies 1 maior e a 3 valor intermediário de V_{max} de P. As progênies 1, 3, 4, 6, 7, 8 e 10 apresentaram menor K_m para K e as progênies 1, 5, 6, 7, 8 e 10 menor C_{min} estimado para K (Quadro 2).

De modo geral, as progênies mostraram influxo semelhante até $3,5 \mu\text{mol/L}$ de P, e a partir desta concentração elas apresentaram diferenciação, sendo as progênies 1, 5 e 8 que, apresentaram maior influxo de P. O oposto ocorreu nas progênies 9 e 10, que apresentaram menor influxo de P. As progênies 9 e 10 apresentaram influxo praticamente constante a partir da concentração de $27 \mu\text{mol/L}$ de P em solução, enquanto as demais progênies à medida que aumentava P na solução mostraram aumento no influxo de P (Figura 1).

Para o K as progênies mostraram influxo semelhante até $30 \mu\text{mol/L}$ de K, e a partir desta concentração elas apresentaram pequena diferenciação, sendo que as progênies 2, 6 e 10 apresentaram maior influxo de K e as progênies 4, 7, 8 e 11 apresentaram menor influxo deste nutriente (Figura 2).

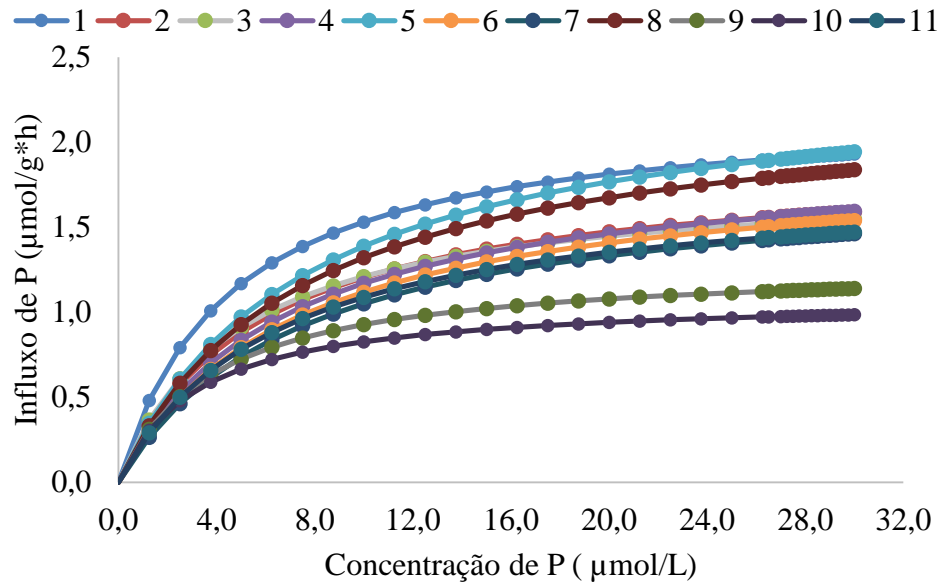


Figura 1. Influxo estimado de P para as progênies de eucalipto em função da concentração de P na solução.

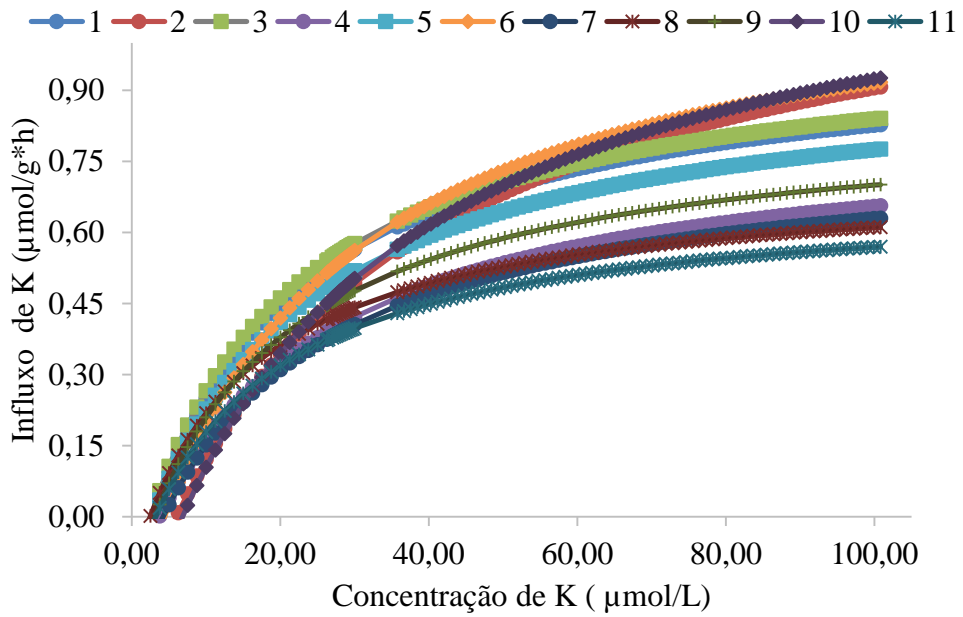


Figura 2. Influxo estimado de K para as progênies de eucalipto em função da concentração de K na solução.

Quadro 2. Parâmetros cinéticos de P e de K para as progênes de eucalipto

Progênie	Fósforo				Potassio			
	km	Vmax	Cmin	α	km	Vmax	Cmin	α
	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/g}^*\text{h}$	$\mu\text{mol/L}$	$\text{L/ g}^*\text{h}$	$\mu\text{mol/L}$	$\mu\text{mol/g}^*\text{h}$	$\mu\text{mol/L}$	$\text{L/ g}^*\text{h}$
1	5,165 B	2,413 A	4,490E-05 A	0,466 A	20,565 C	0,946 A	3,808 C	0,046 A
2	5,740 A	1,896 B	1,003E-03 A	0,347 A	27,127 A	0,860 A	5,806 A	0,032 A
3	4,875 B	1,801 B	5,474E-04 A	0,374 A	20,880 C	0,729 A	4,479 B	0,035 A
4	6,633 A	1,946 B	2,402E-03 A	0,290 A	22,480 B	0,949 A	4,195 B	0,042 A
5	7,490 A	2,430 A	7,108E-04 A	0,337 A	19,680 C	0,822 A	3,562 C	0,042 A
6	6,967 A	1,899 B	8,661E-03 A	0,287 A	18,637 C	0,791 A	3,046 C	0,042 A
7	7,333 A	1,821 B	3,560E-03 A	0,254 A	17,343 C	0,710 A	3,016 C	0,042 A
8	7,310 A	2,287 A	8,440E- 04 A	0,325 A	17,240 C	0,748 A	3,237 C	0,044 A
9	3,897 B	1,289 C	7,140E-04 A	0,344 A	24,267 B	1,006 A	4,451 B	0,042 A
10	3,190 B	1,091 C	8,510E-04 A	0,355 A	18,895 C	0,920 A	3,618 C	0,049 A
11	6,423 A	1,788 B	2,143E-03 A	0,285 A	23,503 B	0,919 A	5,150 A	0,039 A
Média	5,91	1,880	1,952E-03	0,330	20,965	0,854	4,033	0,041

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de scott-Knott a 10 %. Km- constante de Michaelis-Menten, Vmax- velocidade máxima de absorção, Cmin est.- concentração mínima do nutriente estimada e α - poder de absorção do nutriente.

Crescimento e características morfológicas das progênes de eucalipto

As progênes de eucalipto apresentaram diferenças no comprimento radicular, área radicular específica, massa de matéria seca de raiz e a relação entre raiz e parte aérea (Figuras 3 e 4 e quadro 3).

As progênes não se diferenciaram em massa de matéria seca total e da parte aérea, distinguindo-se somente na produção de massa de matéria seca de raiz. As progênes 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 e 11 pertencem ao grupo com maior massa de matéria seca de raízes. Por consequência, a relação entre raiz e parte aérea foi diferenciada pela massa de matéria seca radicular, sendo as maiores relações entre raiz e parte aérea constatada nas progênes 2, 4, 7, 8 e 11 e as menores para as progênes 1, 3, 5, 6, 9 e 10. Apesar das progênes 5, 9 e 10 possuírem a maior massa de matéria seca de raiz, mostraram menor relação de raiz e parte aérea porque, apesar de não ter diferença entre as progênes na produção de massa de matéria seca da parte aérea, elas tiveram os maiores valores deste componente, fazendo com que a relação raiz/ parte aérea fosse menor (Figuras 3 e 4).

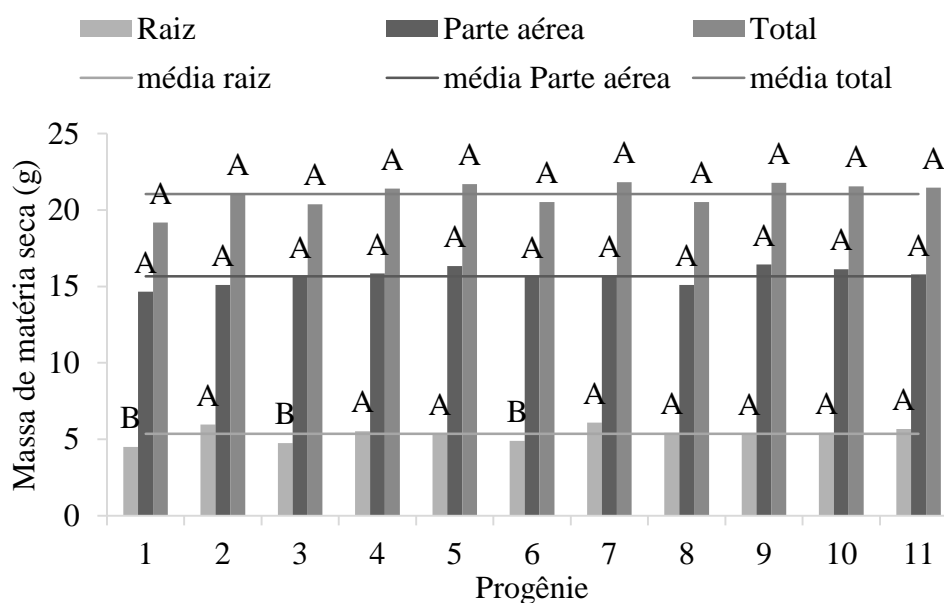


Figura 3. Massa de matéria seca da raiz, parte aérea e total em onze progênes de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada compartimento da planta, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

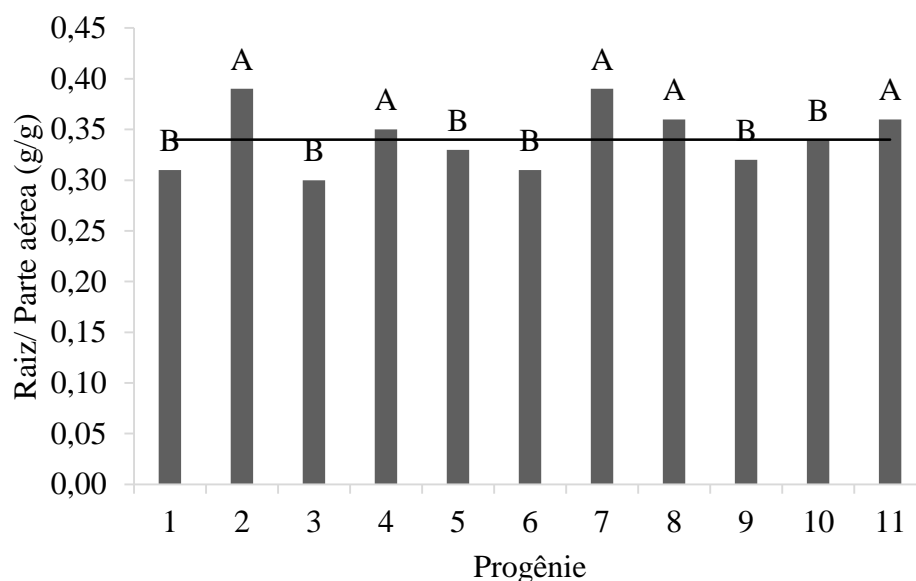


Figura 4. Relação entre raiz e parte aérea em onze progênies de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada compartimento da planta, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

As progênies se distinguiram em relação a duas características morfológicas radiculares (Quadro 3). O comprimento radicular foi maior nas progênies 2, 3, 4, 8 e 11 e a área de superfície radicular nas progênies 1, 3, 4, 6, 8 e 11, características essas importantes para a aquisição de nutrientes.

Quadro 3. Diâmetro do coleto, diâmetro radicular médio, comprimento radicular total e área radicular específica das onze progênies de eucalipto

Progenie	Diâmetro do coleto	Diâmetro radicular	Comprimento radicular	Área radicular específica
	mm	mm	cm	cm ² /g
1	8,15 A	0,36 A	63,52 B	1,59 A
2	8,81 A	0,33 A	75,60 A	1,30 B
3	8,34 A	0,32 A	88,53 A	1,86 A
4	8,19 A	0,35 A	78,87 A	1,51 A
5	7,54 A	0,35 A	56,91 B	1,17 B
6	8,32 A	0,35 A	68,08 B	1,55 A
7	8,22 A	0,44 A	59,33 B	1,33 B
8	7,73 A	0,34 A	81,82 A	1,59 A
9	8,61 A	0,41 A	50,85 B	1,20 B
10	8,41 A	0,37 A	63,09 B	1,31 B
11	8,78 A	0,32 A	87,40 A	1,53 A
Média	8,28	0,36	70,36	1,45

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

Acúmulo de P e K das progênes de eucalipto

As progênes de eucalipto se diferenciaram no acúmulo de P na parte aérea e total, já para o K não houve diferença entre as progênes (Figuras 5 e 6). As progênes 1, 3, 5, 6, 7, 9 e 10 foram as que apresentaram maior acúmulo de P na parte aérea e as progênes 5, 6, 7, 9 e 10 as que mostraram maior conteúdo de P total da planta, ressaltando que as que acumularam maior quantidade de P total na planta também acumularam mais P na parte aérea.

As progênes 1, 2, 3, 4, 8 e 11 foram as que apresentaram menores acúmulo de P na planta, ou seja, apresentaram menor exigência nutricional em P, já que as massas de matéria seca total das progênes não distinguiram entre si (Figura 5).

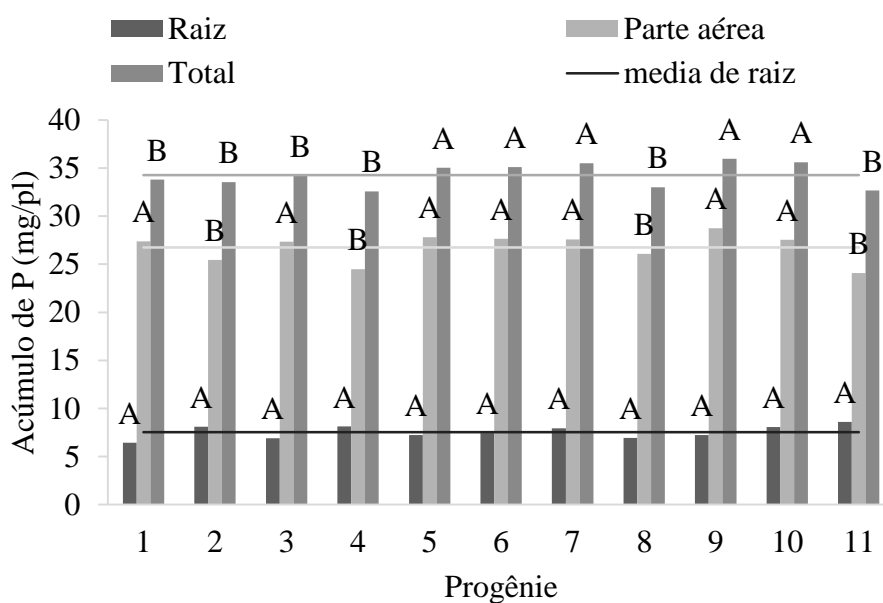


Figura 5. Conteúdo de P na parte aérea, raiz e total em onze progênes de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada compartimento da planta, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

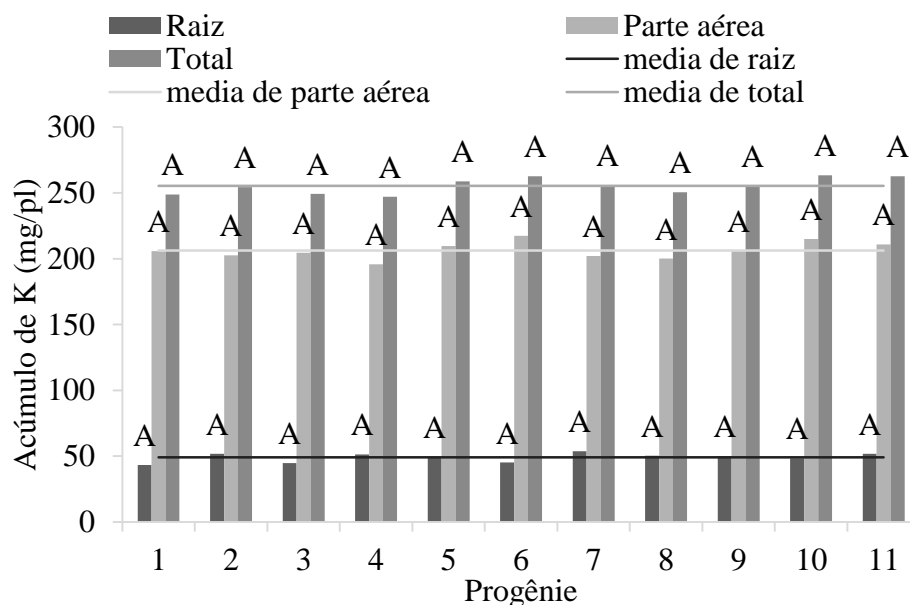


Figura 6. Conteúdo de K na parte aérea, raiz e total em onze progênie de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada compartimento da planta, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

Eficiência de absorção, translocação e de utilização de P e K das progênie de eucalipto

As progênie mostraram comportamentos diferenciados para a eficiência de absorção de P (EAP), eficiência de absorção de K (EAK), eficiência de translocação de P (ETP) e não diferiram na eficiência de utilização de P e de K (Figuras 7, 8 e 9).

A EAP foi maior no grupo das progênie 1, 3, 5, 6, 9 e 10, enquanto as demais progênie pertenceram o grupo das menos eficientes (Figura 7). A eficiência de translocação do P absorvido na raiz para a parte aérea foi maior nas progênie 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (Figura 8).

Para o K, as progênie 1, 3 e 6 foram as que apresentaram maior eficiência de absorção (Figura 7).

Ao relacionar a eficiência de absorção de P com a eficiência de utilização de P verifica-se que as progênie 5, 9 e 10 foram as mais eficientes para as duas variáveis, enquanto a progênie 8 foi a menos eficiente (Figura 10). Por outro lado, as progênie 1, 3 e 6 foram mais eficientes na absorção e menos na utilização de P, enquanto para as progênie 2, 4, 7 e 11 ocorreu o contrário. Ressalta-se que para K, as progênie apresentaram a mesma resposta que foi encontrada para o P, quando se relacionou a eficiência de absorção de K com a eficiência de uso de K (Figura 11).

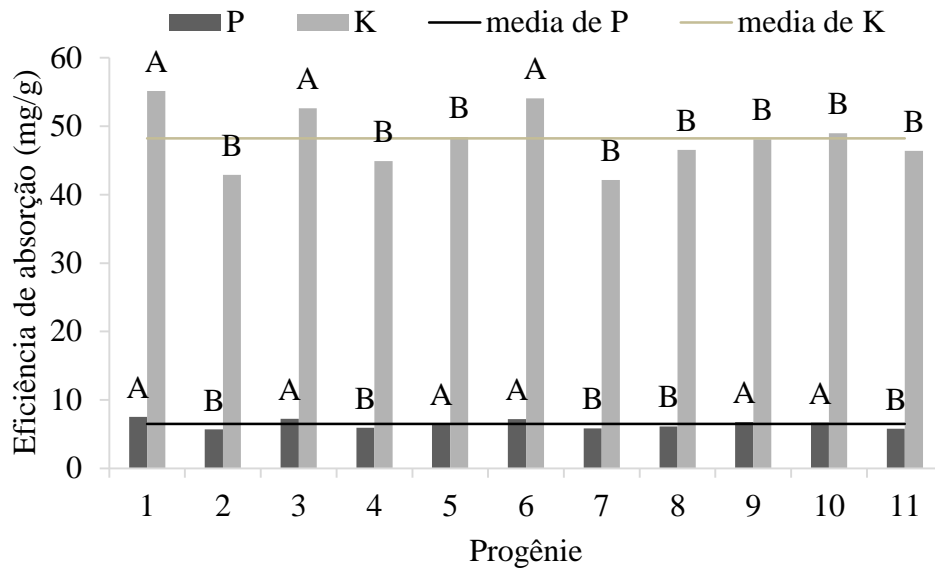


Figura 7.

Eficiência de absorção de P e de K em onze progênies de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada nutriente, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

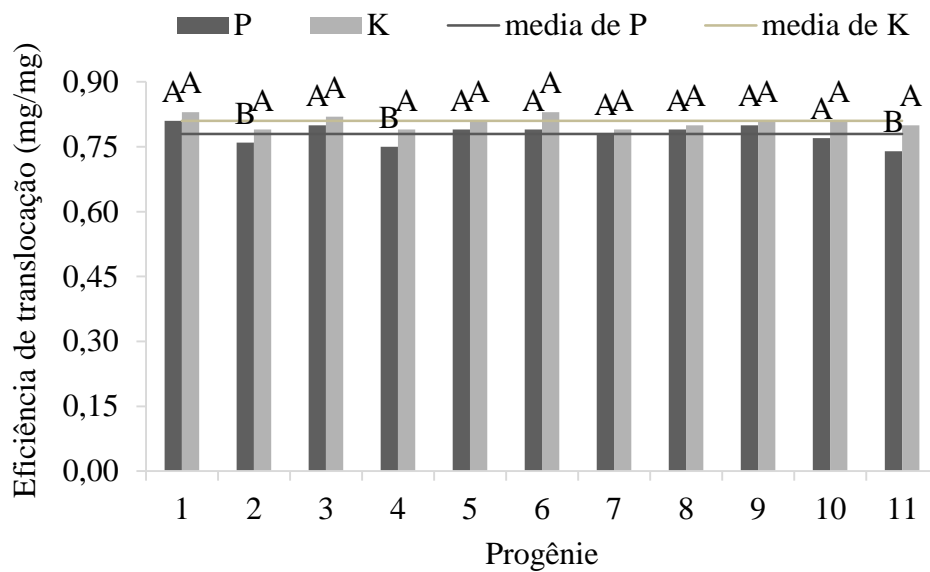


Figura 8. Eficiência de translocação de P e de K em onze progênies de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada nutriente, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

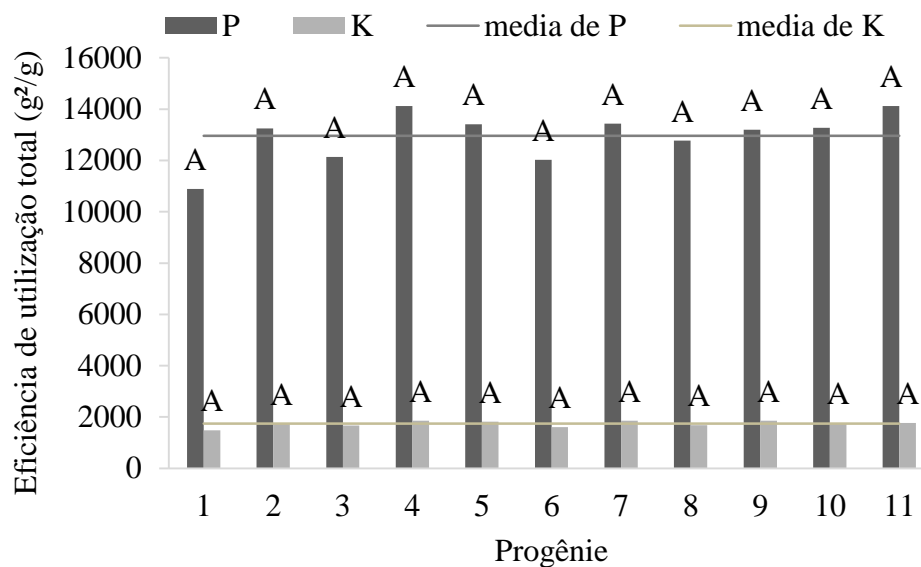


Figura 9. Eficiência de utilização total de P e de K em onze progênies de eucalipto. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada nutriente, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 10 %.

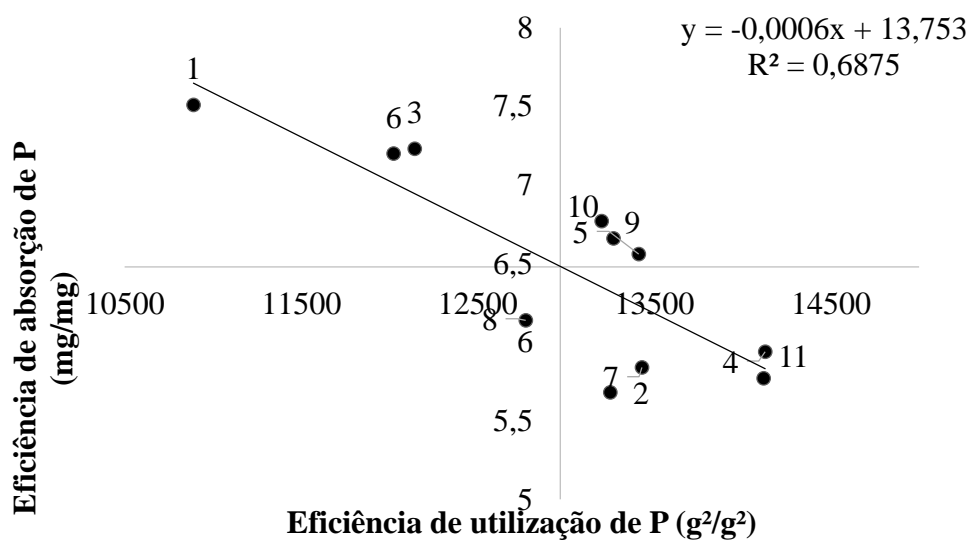
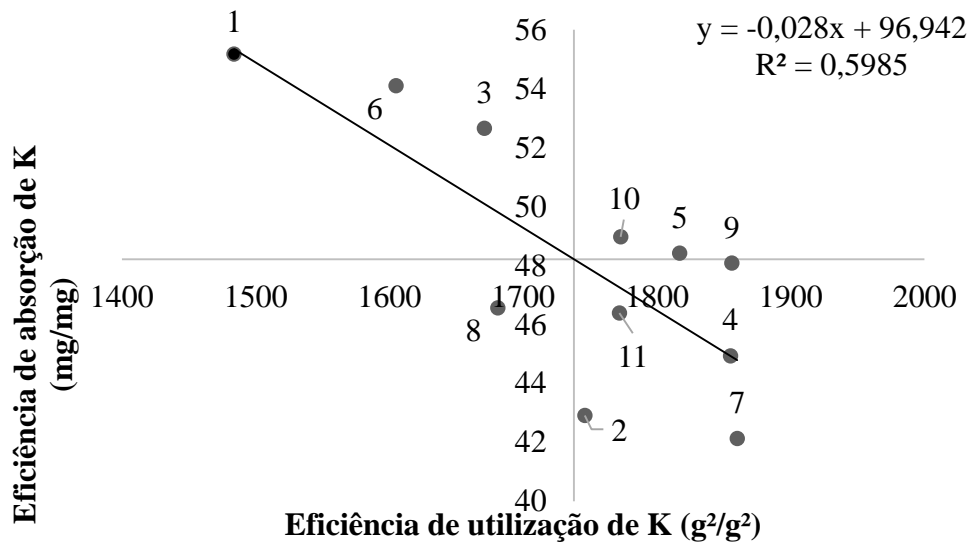


Figura 10. Eficiência de utilização de P e da eficiência de absorção de P das onze progênies de eucalipto em estudo.

Quando se relacionou a eficiência de absorção de K com a eficiência de absorção de P, observa-se que as progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 foram as que apresentaram maior absorção para ambos nutrientes e as progênies 2, 4, 7, 8 e 11 a menor eficiência de absorção de P e de K (Figura 12). As progênies 2, 4, 5, 7, 9, 10 e 11 mostraram maior

eficiência de utilização tanto para P quanto para K e as progênes 1, 3, 6 e 8 a menor eficiência de utilização para os dois macronutrientes (Figura 13).



Figura

11. Eficiência de utilização de K e eficiência de absorção de K de progênes de eucalipto

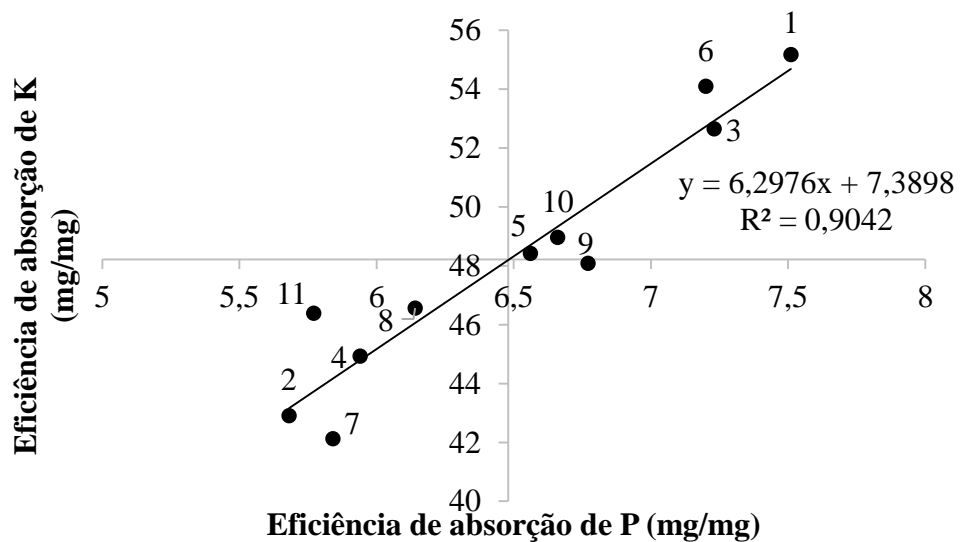


Figura 12. Eficiência de absorção de P e da eficiência de absorção de K das onze progênes de eucalipto em estudo.

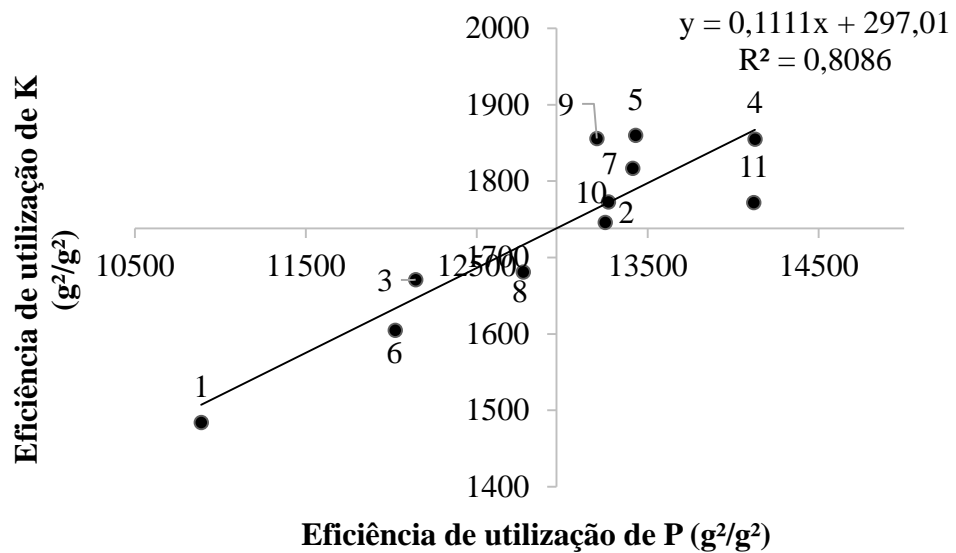


Figura 13. Eficiência de utilização de P e da eficiência de utilização de K em progênes de eucalipto.

DISCUSSÃO

As progênes de eucalipto não diferiram na produção de biomassa da parte aérea e total e na eficiência de utilização de P e de K. As variáveis de crescimento, acúmulo de P e de K, eficiência de absorção, translocação e utilização são reflexo da condição nutricional imposta durante o cultivo em casa de vegetação, que era uma condição de nutrição normal para todos os nutrientes, somente os parâmetros cinéticos que são reflexo de uma condição limitante de P e de K. A diferença do crescimento das progênes deve-se às diferenças na eficiência de absorção de P e de K de cada progênie (Figura 7). Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de LIMA et al. (2005) ao estudarem a cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de clones de eucalipto. Eles relataram que as variações na relação parte aérea/raiz foram devidas principalmente às diferenças de produção de raízes e, como os clones não apresentaram diferença na eficiência de uso de K e sim na eficiência de absorção de K, concluíram que as diferenças na eficiência nutricional dos clones estudados quanto a K e a Ca foram devidas às diferenças na eficiência de absorção.

As progênes de eucalipto diferiram quanto à EA de P, sendo as progênes 1, 3, 5, 6, 9 e 10 as que mostraram maior eficiência na absorção de P (Figura 7). Diversos

estudos de cinética de absorção já realizados conseguiram distinguir materiais genéticos, em relação à eficiência de absorção de nutrientes (BATISTA, 2014; MACHADO; FURLANI, 2004; PINTO, 2009; SANES et al., 2013). Segundo ALVES et al. (1996), diferenças genotípicas contribuem para explicar a capacidade que certas espécies e cultivares têm de se adaptar às diversas condições de estresses ambientais.

As progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 foram as que mostraram maior EAP, porém com algumas particularidades entre elas nos parâmetros cinéticos de absorção de P, bem como nas características de crescimento e morfológicas do sistema radicular (Figuras 3, 4 e 7 e quadro 2). A eficiência de aquisição de nutrientes pela planta é controlada por mecanismos que podem depender das características do sistema radicular, solubilização de formas inicialmente não solúveis na rizosfera por ação das raízes e a fisiologia da absorção do nutriente da solução do solo pelas raízes (SAMAL et al., 2010).

As progênies 1, 3, 9 e 10 foram as com menor valor de K_m e menor valor de V_{max} para o P, com exceção da progênie 1 que apresentou maior V_{max} para P e a progênie 3 que apresentou um valor de V_{max} intermediário em relação as demais progênies; para as demais variáveis dos parâmetros cinéticos as progênies não diferenciaram entre si, apresentando valores de C_{min} baixo para P em todas as progênies, ou seja, indicando uma similaridade entre elas na concentração mínima de P na solução para que tenha absorção de P (FERNANDES; SOUZA, 2006; SANES et al., 2013) (Quadro 2). Menor valor de K_m de P dessas progênies indica que elas apresentam transportadores com maior afinidade pelo P em comparação com as demais progênies. Segundo LIMA et al. (2005), plantas com menor K_m seriam mais eficientes na absorção de determinado nutriente numa condição de menor disponibilidade. Assim, essas progênies apresentam potencial para absorver maior quantidade de P em relação as progênies que apresentam maior valor de K_m . Além disso, a progênie 1 aparenta ser um material genético superior tanto em alta quanto em baixa disponibilidade de P, pois apresenta maior valor de V_{max} e menor de K_m . Fato semelhante foi relatado por LIMA et al. (2005) para clones de eucalipto que apresentaram essas características quanto aos parâmetros cinéticos de absorção.

Valores distintos das constantes cinéticas de absorção dos nutrientes são devidos a diferenças genéticas entre materiais genéticos que refletem no tipo, número e atividade de transportadores e canais envolvidos na absorção do nutriente pelas raízes (VÉRY;

SENTENAC, 2003). Quando há restrição na disponibilidade dos nutrientes na solução do solo junto às raízes, como normalmente acontece para P e K na maioria dos solos brasileiros, mesmo em solos bem fertilizados, o V_{max} deixa de ser o parâmetro cinético que mais influencia a absorção de nutrientes, a qual passa a ser controlada pela constante de Michaelis Menten (ERNANI et al., 1994).

As progênies 1, 3, 9 e 10 também apresentaram menor relação entre raiz e a parte aérea, com sistema radicular de menor comprimento, com exceção da progênie 3. A área de superfície específica de raízes foi menor nas progênies 9 e 10 e maior nas progênies 1 e 3. A área radicular é parâmetro de grande importância na absorção do nutriente pois a taxa de difusão de nutrientes é diretamente proporcional à superfície de raízes (BARBER, 1995; VILELA; ANGHINONI, 1984). Além dessas características, essas progênies apresentaram maior acúmulo de P na parte aérea devido à maior eficiência de translocação desse nutriente e maior acúmulo de P total, com exceção das progênies 1 e 3, que apresentaram menor acúmulo de P total. Deste modo, a maior eficiência de absorção de P para as progênies 1 e 3 deve estar associada tanto às características dos parâmetros cinéticos quanto à maior área de superfície de raízes. Por outro lado, para as progênies 9 e 10 os parâmetros cinéticos devem ter contribuído para maior eficiência de absorção de P em razão de seu menor comprimento radicular e área de superfície específica radicular (Figuras 4, 5, 7, 8 e quadro 3). Assim, as características de parâmetros cinéticos de absorção dessas progênies foram mais relevantes para a maior EAP dessas progênies, de modo geral, diferindo no acúmulo de P total dessas progênies, sendo as progênies 1 e 3 com menor e as 9 e 10 com maior acúmulo de P total.

As progênies 5 e 6, que apresentaram maior eficiência de absorção de P, tiveram também maior K_m e V_{max} . O V_{max} da progênie 6 mostrou um valor intermediário, ou seja, menor que a da progênie 5, porém maior que as demais progênies. Essas progênies apresentaram também, menor relação entre as raízes e a parte aérea, menor comprimento de raiz, sendo que a 5 exibiu menor superfície específica de raízes e a progênie 6 maior superfície. Essas progênies apresentaram maior acúmulo de P na parte aérea e nas raízes e maior eficiência de translocação de P (Figuras 4, 5, 7, 8 e quadros 2 e 3). Pode-se inferir, assim, que essas progênies possuem mecanismos que levam à maior EA de P, e seus valores mais altos de K_m e V_{max} indicam que elas devem se sobressair em solos mais ricos em P.

De modo geral, as progênies 2, 4, 7, 8 e 11 foram as com menor EA de P exibindo maior valor de Km e menor Vmax. A progênie 8 se diferenciou das mencionadas por apresentar maior Vmax de P. Essas progênies também apresentaram maior massa de matéria seca, refletindo em maior relação entre raiz e parte aérea, ou seja, essas progênies direcionam os fotoassimilados para a produção de um sistema radicular maior, a despeito de uma melhor disponibilidade de P normalmente utilizada em estudos em casa de vegetação. Dentre as progênies desse grupo, a 2, 4, 8 e 11 apresentaram maior comprimento radicular e maior área de superfície específica de raiz, com exceção da progênie 2 para esta última característica. A progênie 7 apresentou menor comprimento de raiz e área de superfície específica de raiz. Portanto, mesmo essas progênies tenham apresentado sistema radicular com características que facilitariam a aquisição de P, elas não apresentaram alta EA de P, o que pode estar relacionado com os maiores valores de Km e Vmax. A maior eficiência de absorção não depende necessariamente só de mudanças no sistema radicular, mas de um conjunto de características que indicam as adaptações dos materiais genéticos à condição de baixa fertilidade, como, por exemplo, os parâmetros cinéticos de absorção, o qual foi o responsável pela menor EA de P nessas progênies.

Conforme esperado, o acúmulo de P na parte aérea e nas raízes das progênies com menor EA de P foi menor, com exceção da progênie 7. A menor eficiência de translocação de P nas progênies 2, 4 e 11 também contribuiu para menor conteúdo de P nessas progênies na parte aérea.

A eficiência de utilização de P não diferiu estatisticamente entre progênies. Contudo quando se relaciona a EAP e EUP em sistema de quadrantes (Figura 10), verifica-se que as progênies 5, 9 e 10 foram as mais eficientes tanto para aquisição quanto para uso de P, enquanto, a progênie 8 mostrou baixa eficiência em ambos. Já as progênies 1, 3 e 6 apresentaram maior EA e menor EU e, por fim, as progênies 2, 4, 7 e 11 apresentaram baixa EA e maior EUP. Deste modo, as progênies 5, 9 e 10 seriam indicadas para produção de clones tendo em vista sua maior eficiência nutricional em relação às demais, e podem apresentar bom crescimento tanto em solos de alta como de baixa disponibilidade de P. As progênies 2, 4, 7 e 11 seriam melhores para produzir clones em solos que não apresentam restrição de P, pois elas não são eficientes na aquisição de P, embora o utilizem de uma maneira eficiente. As progênies 1, 3 e 6 em condição de restrição de P no solo apresentam maior EA mas possuem baixa EU, ou seja, a conversão

do nutriente em biomassa não ocorre de maneira eficiente. E, por fim, a progênie 8 que foi a pior em ambas características.

As progênies 1, 3 e 6 foram as mais eficientes na absorção de K, apresentando menor K_m e C_{min} , com exceção da progênie 3 que apresentou um valor intermediário de K_m em relação as demais progênies. Não houve diferença no poder de absorção de K (α) entre as progênies, que apresentaram menor massa de matéria seca radicular e menor relação entre raiz: parte aérea. O “poder de absorção” (α) é a expressão direta da EA e se aplica para concentrações muito baixas do nutriente em solução (NYE; TINKER, 2000). Desse modo, o α pode ser considerado como a eficiência de absorção específica, conforme denominação dada por MARSCHNER (1995): quanto maior for o α , maior será a taxa de absorção por unidade de raiz, ou seja, maior a eficiência na aquisição do nutriente (NYE; TINKER, 2000; SANES et al., 2013). As progênies 1 e 6 apresentam maior potencial para serem cultivadas em solos com baixa disponibilidade de K por terem apresentando menor K_m e C_{min} para o K, enquanto a progênie 3 exige maior disponibilidade de K no solo, por ter apresentado um C_{min} maior em comparação com as progênies 1 e 6, apesar do K_m ter sido baixo como o das progênies citadas.

As progênies com maior EA de K apresentaram maior área de superfície de raiz e menor comprimento radicular, com exceção da progênie 3 que apresenta maiores valores dessas duas características. O maior comprimento do sistema radicular é indicativo de maior volume de solo ocupado e explorado pelas raízes (ZONTA et al., 2006) e a área de superfície de raiz pode ser considerada como o fator mais determinante da absorção de nutrientes pelas plantas (BARBER, 1995). Vários autores ressaltam que dentre as variáveis morfológicas do sistema radicular, a área e o comprimento das raízes têm sido as mais importantes na caracterização de espécies e cultivares quanto à eficiência de absorção de nutrientes (ANGHINONI et al., 1989; BAPTISTA; FERNANDES; DE SOUZA, 2000; VILELA; ANGHINONI, 1984). Raízes mais longas e mais finas, para uma mesma massa (mesmo consumo metabólico), resultam em maior área superficial e, conseqüentemente, maior capacidade de absorver nutrientes, especialmente em relação à eficiência de absorção de nutrientes pouco móveis no solo e que tem como transporte a difusão, como o P e o K (ANGHINONI et al., 1989). Assim, de modo geral, essas progênies foram as mais eficientes na aquisição de K pela maior área de superfície específica de raiz e pelo maior poder de absorção.

As progênies 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 e 11 foram as que apresentaram menor eficiência de absorção EA de K (EAK). As progênies não apresentaram diferenças entre si na EU de K (Quadro 6).

Das progênies com menor EA de K, a progênie 2 apresentou ao mesmo tempo maior Km e Cmin enquanto as progênies 5, 9 e 11 tiveram valores de Km e Cmin intermediários, com exceção das progênies 5 que apresentou Km menor e da 11 que apresentou maior Cmin. Já as progênies 4, 7, 8 e 10 apresentaram menor Km e Cmin, com exceção da progênie 4 que apresentou valor intermediário. O comprimento radicular foi maior nas progênies 2, 4, 8 e 11 e menor nas progênies 5, 7, 9 e 10, menor área de superfície específica de raiz, com exceção das progênies 4, 8 e 11, e maior massa de matéria seca, mantendo a relação raiz: parte aérea maior, com exceção da progênie 10. A maior relação raiz/parte aérea reflete a capacidade genética de algumas plantas em desenvolver um sistema radicular ajustado a condições de estresse para absorção de água e de sais minerais, evidenciando que a absorção e utilização de dado elemento não dependem apenas dos parâmetros fisiológicos, mas também de parâmetros morfológicos (SANES et al., 2013). Assim como reportado por diversos autores (BAPTISTA; FERNANDES; DE SOUZA, 2000; HORN et al., 2006), a determinação da relação raiz/parte aérea auxilia na compreensão de possíveis diferenças entre cultivares quanto à absorção de K e de outros nutrientes. Portanto, essas progênies alocam suas reservas para a produção de maior massa radicular. O comprimento radicular foi maior nas progênies 2, 4, 8 e 11 e a área superfície específica maior nas progênies 4, 8 e 11. Embora essas características possam ser interessantes para facilitar o processo de aquisição de nutrientes, estas progênies não apresentaram eficiência de absorção maior, o que indica que os parâmetro cinéticos devem ter sido os responsáveis.

As progênies não diferiram estatisticamente entre si na EU de K. Contudo, quando se relaciona a EAK e EUK no sistema de quadrantes (Figura 4), verifica disposição semelhante para eficiência nutricional de P e de K.

É importante ressaltar que as progênies 1, 3 e 6 foram as mais eficientes na absorção tanto de P quanto de K da solução nutritiva (Quadro 6). Porém, quando integra a EAP e a EAK no sistema de quadrantes verifica-se a formação dois grupos, sendo o grupo da maior eficiência de EA de P e de K formado pelas progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 e o grupo da menor eficiência para ambos nutrientes pelas demais progênies (Figura 5).

E ao relacionar as EU para P e K, apesar das progênies não terem diferenciados nessas características, observa-se que as progênies 2, 4, 5, 7, 9, 10 e 11 foram as mais eficientes na utilização dos dois nutrientes e as demais as menos eficientes na utilização de P e de K (Figura 6).

O cultivo de progênies com alta eficiência nutricional é estratégico para um melhor aproveitamento dos nutrientes. Deste modo, materiais com maiores eficiências nutricionais tornam-se atrativos às empresas florestais e aos empreendedores do setor, em função do melhor ganho de biomassa por unidade de nutriente absorvido, reduzindo assim, os custos relativos com fertilizantes e corretivos, sem comprometer a produtividade (BATISTA, 2014; SILVA, 2013).

De modo geral, plantas eficientes nutricionalmente podem apresentar um sistema radicular extensivo, parâmetros cinéticos e índices que as qualificam como eficientes em absorver, translocar e utilizar nutrientes em condição de baixa e, ou, alta disponibilidade no solo. No entanto, nem sempre os genótipos apresentam todas as características desejadas de eficiência para todos os nutrientes (BATISTA et al., 2016), como foi verificado neste trabalho.

CONCLUSÕES

As diferenças na eficiência nutricional das progênies de eucalipto são devidas apenas às diferenças na eficiência de absorção.

A maior eficiência de absorção de fósforo pelas progênies 1, 3, 5, 6, 9 e 10 é atribuída a diferenças na velocidade máxima de absorção e na constante de Michaelis-Menten.

As progênies 1, 3 e 6 são as mais eficientes na absorção de potássio, em decorrência de sua maior superfície específica de raízes, baixo K_m e baixo C_{mim} . As progênies 1, 3 e 6 foram as mais eficientes na absorção tanto de fósforo como de potássio.

As progênies de eucalipto não diferenciaram em relação à eficiência de utilização de fósforo e de potássio.

As progênies 5, 9 e 10 foram, ao mesmo tempo, as mais eficientes na absorção e na utilização de fósforo e de potássio.

As diferenças entre as progênies de eucalipto quanto à eficiência nutricional de fósforo e de potássio na fase de mudas sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo.

Capítulo 2

Crescimento, absorção e utilização de N, P e K em progênes de eucalipto submetido à limitação nutricional desses nutrientes no solo

RESUMO

A alta eficiência na utilização e ou absorção de nutrientes em um genótipo é desejável, por estar relacionada com a produção de biomassa, podendo contribuir para aumento da produtividade, redução na exportação de nutrientes e economia de fertilizantes. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da restrição de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio(K) no crescimento, atividade fotossintética e de enzimas do metabolismo destes nutrientes em progênes de eucalipto; identificar biomarcadores do estado nutricional em progênes de eucalipto, visando a seleção de genótipos mais tolerantes à restrição na disponibilidade de N, P e de K e caracterizar e agrupar as progênes de eucalipto, de acordo com a eficiência de utilização de N, P e K. Mudanças de onze progênes de eucalipto foram cultivadas em vaso de 3 dm³ com solo franco-arenoso, ao qual foram aplicados os tratamentos constituídos por doses de N, P e K. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos formando um fatorial 11x 5 (11 progênes, 5 combinações de dose de N, P e K), com quatro repetições. Foram avaliadas características morfológicas do sistema radicular e foliar, trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e pigmentos, massa de matéria seca de cada órgão (raiz, caule, folhas), teores e conteúdos de N, P e K, eficiência de absorção, translocação e utilização dos respectivos nutrientes e as atividades enzimáticas relacionadas a P e N. Foi aplicado o teste de Scott-Knott, a 10% de significância, para todas as variáveis respostas avaliadas nas progênes. Observaram-se reduções médias na produção de massa de matéria seca total quando retirou-se o P, ou o K, ou o (NPK) ou o N, em relação ao tratamento completo, de 24; 25; 63 e 66%, respectivamente. As progênes 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 apresentaram maior eficiência de utilização de P (EUP) e maior massa de matéria seca total, enquanto, as progênes 1, 3, 5, 7, 10 e 11 tiveram maior eficiência de uso de K (EUK). As progênes 5, 7, 10 e 11 foram mais EUP e na EUK, em condições de limitação desses nutrientes no solo. Concluiu-se que o crescimento das progênes de eucalipto em casa de vegetação é mais afetado pela limitação de N, seguido da limitação de P e de K no solo. A fotossíntese e os teores dos pigmentos fotossintéticos nas progênes de eucalipto são mais afetados negativamente pela restrição de N no solo, seguido da restrição de K. A limitação de N no solo causa redução da taxa fotossintética

líquida nas progênies de eucalipto pelo dano fotoquímico e bioquímico. As progênies de eucalipto apresentam respostas diferenciais ao estresse nutricional pela limitação de N, de P ou de N, P e K em conjunto no solo, sendo as atividades enzimáticas de nitrato redutase e fosfatase ácida biomarcadores potenciais para uso na diagnose do status nutricional de N e P nas progênies. A restrição na disponibilidade de um nutriente faz com que a planta aumente a eficiência de utilização do mesmo. As progênies 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 são as progênies com maior crescimento e eficiência na utilização de P. A progênie 5 apresenta maior eficiência na absorção e utilização de P. A maior eficiência de uso de K é encontrada nas progênies 1, 3, 5, 7, 10 e 11. As progênies 5, 7, 10 e 11 são mais eficientes na utilização tanto de P como de K, em condição de limitação desses nutrientes.

INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é a principal essência florestal cultivada no País, desempenhando papel de grande importância social, econômica e ambiental. Até o início dos anos 2000, o Brasil tinha o status internacional de país com o menor custo de produção de madeira para fins industriais, mas após doze anos o país perdeu quatro posições, ou seja, é mais caro produzir madeira para a indústria de celulose aqui do que na Rússia, Indonésia e Estados Unidos (ABRAF, 2013). A participação dos fertilizantes na matriz de custos tem sido crescente em razão da importação e elevadas doses utilizadas dada a alta produtividade do eucalipto, além da maior parte dos plantios de eucalipto no Brasil, encontra-se em áreas com solos de baixa fertilidade natural (BARROS; NOVAIS, 1996; GAMA-RODRIGUES et al., 2005), o que torna a fertilização uma técnica indispensável à obtenção de elevadas produtividades. Por isso, estudos que contribuam para a redução dos gastos com fertilizantes são de grande relevância para o Brasil. Os fertilizantes à base de nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) são os empregados em maiores quantidades nos plantios de eucalipto no Brasil.

Na fase inicial do ciclo vegetativo, a maior absorção de N resulta em maior área foliar e conseqüente maior fixação de CO₂, tendo em vista sua participação na síntese de clorofilas, como componente dos sistemas energéticos na planta e dos ácidos nucléicos e aminoácidos, os quais formam as proteínas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Nessa fase o N controla o ritmo de crescimento, o tamanho e ovigor das plantas, promovendo ganhos no crescimento (NEVES; GOMES; NOVAIS, 1990).

O adequado suprimento do P é importante no início do crescimento, pois estimula o crescimento das raízes e a acentuada taxa de crescimento inicial da parte aérea (MALAVOLTA, 1989). O fósforo é absorvido pela planta na forma inorgânica, podendo ter vários destinos, como: ingressar nos compartimentos metabólicos, como citoplasma celular e suas organelas, onde a maior parte de Pi é assimilada em compostos orgânicos via formação de uma ligação anidrida no ATP; pode ingressar nas vias biossintéticas de fosfolipídios, DNA, e RNA tornando-se um composto estrutural na célula; pode ser perdido por efluxo se estiver, por exemplo, em condições de alto suprimento de P; pode ocorrer o influxo ou ser armazenado no vacúolo para regular a homeostase de Pi no interior da célula e, por fim, pode ser transportado via xilema para a parte aérea (RAUSCH; BUCHER, 2002).

O K é o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das plantas, desempenhando funções metabólicas e de crescimento (HSIAO; LAUCHLI, 1986). O K

aumenta a resistência das plantas a ciclos de umedecimento e secagem do substrato, exerce papel importante para a maior sobrevivência e resistência das plantas no campo, especialmente em períodos de seca (BARROS; NOVAIS, 1990). Além do mais, o K atua na ativação de muitas enzimas que participam do metabolismo da planta e tem papel importante na fotossíntese. Além disso, sua deficiência reduz a fotossíntese, aumenta a respiração e diminuiu a concentração de carboidratos na planta. O nutriente atua na regulação da abertura e fechamento estomático, nos processos de transporte através de membranas e transporte no floema (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A limitação nutricional em plantações de eucalipto tem se intensificado pela utilização de materiais genéticos que apresentam altas produções de biomassa, pelo crescente índice de colheita (remoção intensiva da biomassa) e pela adoção de rotações mais curtas. O plantio de materiais genéticos mais eficientes na utilização de nutrientes representa uma das estratégias de redução do uso de fertilizantes.

A alta eficiência na utilização e ou absorção de nutrientes em um genótipo é desejável, pois está relacionada à produção de biomassa, podendo apresentar aumento na produtividade, redução na exportação de nutrientes e economia no uso de fertilizantes (SILVA, 2013).

A eficiência nutricional compreende a capacidade de absorção e, ou, utilização de nutrientes (CLÁRK, 1983; CLARKSON; HANSON, 1980; EPSTEIN, 1972).

A eficiência na absorção de nutrientes é a capacidade de aquisição de nutrientes em condições de baixa disponibilidade (CLARKSON, 1985). Segundo BARROS; NOVAIS; NEVES (1990), a alta eficiência de absorção de um material genético otimiza a recuperação dos fertilizantes aplicados, sobretudo os pouco solúveis, sendo ela de maior interesse nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento do eucalipto em razão da adubação ser feita em plantios em idades jovens.

Diferenças na capacidade de absorção e de utilização de nutrientes por genótipos de eucalipto têm sido demonstradas em vários estudos (CAMARGO et al., 2004; FURTINI NETO et al., 1996; LIMA et al., 2005; PINTO et al., 2011; SANTANA; BARROS; NEVES, 2002; SILVA et al., 2002). Contudo, a eficiência de utilização de nutrientes por um material genético, para um determinado nutriente, pode variar à medida que sua disponibilidade no solo é alterada; em geral, a eficiência de utilização aumenta com a redução de sua disponibilidade no solo (BARROS et al., 1986). A alta eficiência para um dado nutriente não está necessariamente relacionada à alta eficiência para os demais nutrientes (BARROS; NOVAIS, 1990).

A quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas depende do crescimento, da eficiência absorptiva das raízes, da disponibilidade de nutrientes no solo e dos parâmetros cinéticos de absorção (FURTINI NETO et al., 1996; LIMA et al., 2005; PINTO, 2009; RUIZ; FERNANDES FILHO, 1992). Sistema radicular com maior comprimento é indicativo de maior volume ocupado e explorado pelas raízes no solo (ZONTA et al., 2006) e genótipos com maior comprimento radicular, em geral, absorvem maior quantidade de nutrientes, pois as raízes atingem maiores profundidades no solo (ALVES et al., 2002; CLARKSON, 1985). A área radicular é uma característica importante na absorção de P e K, cujo principal processo de movimento no solo é a difusão. A taxa de difusão de um nutriente é diretamente proporcional à superfície de raízes (BARBER, 1995; VILELA; ANGHINONI, 1984). PINTO (2009) mostra que para clones de eucalipto as diferenças na morfologia radicular entre os genótipos foram determinantes para a absorção dos mesmos.

Segundo PINTO et al. (2011), é possível selecionar genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo, permitindo sua alocação de acordo com a disponibilidade de nutrientes.

Há biomarcadores que permitem detectar alterações na absorção de nutrientes e nos processos metabólicos de eucalipto (FERNANDES et al., 2016), fatos que podem influenciar a eficiência nutricional e auxiliar na seleção precoce de materiais genéticos mais eficientes nutricionalmente. Os biomarcadores podem ser enzimas, identificadas como chave no controle de rotas metabólicas, ou, ainda, a expressão de genes responsáveis ou ligados à produção e atividade dessas enzimas. Tais vias de estudo são fundamentais para entender os mecanismos que relacionam nutrição ao controle genético, especialmente sob condições de estresses.

As plantas desenvolveram mecanismos capazes de detectar e responder a flutuações na disponibilidade de nutrientes minerais para otimizar o crescimento sob condições adversas ambientais, melhorando a absorção e a reciclagem de nutrientes (HERMANS et al., 2006; LIU; CHANG; CHIOU, 2009). A limitação por baixa disponibilidade de P tem ocasionado alterações bioquímicas nas plantas, como a indução da fosfatase ácida (APase) e da ribonuclease (RNase) (BOSSE; KOCK, 1998; FERNANDES et al., 2016; NUNES et al., 2008; YUN; KAEPLER, 2001). As fosfatases estão associadas à remobilização de P nas plantas; portanto, maior atividade dessas enzimas tem sido associada a baixos teores celulares de fósforo inorgânico (Pi) (BALDWIN; KARTHIKEYAN; RAGHOTHAMA, 2001; RICHARDSON;

HADOBAS; HAYES, 2000; YAN et al., 2001). Além disso, os teores de ATP e de ácidos nucléicos são significativamente reduzidos em plantas deficientes em P, como estratégia para manter elevado teor de Pi citoplasmático adequado à manutenção do metabolismo (RAGHOTHAMA, 1999).

NANAMORI et al.(2004), estudando a ciclagem interna de P, observaram que plantas de arroz e de *Brachiaria* cultivadas em solução nutritiva sem P apresentaram maior atividade das enzimas APase e RNase do que plantas cultivadas em solução sem restrição de P, e concluíram que a atividade destas enzimas estava associada à remobilização de P nas plantas. Semelhantemente, BOSSE; KOCK (1998) já haviam observado que a elevada atividade de fosfatases na raiz estava associada à remobilização e não à aquisição de formas orgânicas de P. Desta forma, especula-se que a adaptação do eucalipto à baixa disponibilidade de P deve-se à elevada ciclagem interna deste nutriente e, conseqüentemente, à maior atividade da APase e RNase na planta.

Existem controvérsias a respeito do papel das fosfatases como indicadoras da deficiência de P, e/ou que elas realmente desempenhem importante papel para maior eficiência de utilização de P. A elevada atividade das fosfatases nos tecidos vegetais tem sido utilizada como indicadora da deficiência de P nas plantas (DUFF; SARATH; PLAXTON, 1994). O oposto foi verificado por YAN et al. (2001) que observaram maior atividade da APase em um cultivar de feijão com menor eficiência de utilização de P, indicando que maior atividade desta enzima pode não estar relacionada com a adaptação das plantas a baixa disponibilidade de P.

As plantas absorvem o N como NO_3^- e NH_4^+ , sendo o primeiro a forma mais absorvida pelas culturas em geral. Porém, estudos indicam maior desenvolvimento do eucalipto quando o N é fornecido em maior proporção como NH_4^+ (LOCATELLI et al., 1984). O NH_4^+ absorvido pode ser assimilado nas raízes ou translocado para a parte aérea, onde pode ser assimilado ou armazenado no vacúolo. A aparente preferência do eucalipto em absorver o N na forma de amônio não exclui a absorção de N na forma de nitrato (LOCATELLI et al., 1984; PINTO, 2009). Por isso, justifica-se estudar a enzima nitrato redutase (NR), visto ser sua atividade importante no ciclo do N nas plantas (SRIVASTAVA; SINGH, 2006).

A NR é a primeira enzima envolvida no processo de redução do nitrato a nitrito, que, posteriormente, é convertido em amônio nas plantas. Acredita-se que a NR possa limitar a assimilação do N em muitas plantas (CAMPBELL, 1999). A atividade da NR depende da disponibilidade de NO_3^- no meio de crescimento, do equilíbrio de NO_3^- e

glutamina no citoplasma, da disponibilidade de cofatores e íons metálicos, luminosidade e água (KAWACHI et al., 2002; SRIVASTAVA; SINGH, 2006). As reações que se seguem fazem parte do processo de assimilação do NH_4^+ , seja ele advindo da redução do nitrato, fotorespiração ou absorção diretamente do meio de cultivo (KUMAR; ABROL, 1990; SOUZA; FERNANDES, 2006). Essa assimilação depende da enzima glutamina sintetase (GS), cujo produto glutamina é o principal doador do grupamento amino para outros compostos orgânicos. A GS catalisa a reação glutamato, oriundo do ciclo de Calvin, e NH_4^+ em glutamina (EPSTEIN; BLOOM, 2006; SOUZA; FERNANDES, 2006). Assim, tanto a atividade da NR e como a da GS é tida como chave para que as plantas expressem seu potencial produtivo (FERNANDES et al., 2016). Correlações significativas entre as atividades de NR, GS, teor de nitrato e produtividade da cultura, são relatadas na literatura, suportando o uso das atividades destas enzimas na diagnose nutricional (HIREL et al., 2005). Portanto, tanto a NR como a GS pode ter um papel importante na eficiência de utilização de N em condição limitada desse nutriente.

Segundo MIFLIN; HABASH (2002), a GS funciona como a principal enzima assimilatória do amônio e tem um papel importante na reassimilação do amônio liberado como resultado da fotorrespiração, da decomposição de proteínas e de compostos de transporte de nitrogênio. A GS é encontrada no cloroplasto e no citoplasma de diferentes tecidos e órgãos.

CHARDON et al. (2010) relataram outras alterações no metabolismo de *Arabidopsis* em condição de baixo e alto fornecimento de N, em que a produção de biomassa foi comprometida pela baixa disponibilidade de N e as folhas mostraram maior teor de açúcares, menor de aminoácidos livres e maior atividade de GS citosólica, em comparação com folhas das plantas que bem nutridas em N, sugerindo alterações profundas nas vias metabólicas.

No Brasil, a obtenção de progênies de eucalipto tem permitido a seleção de clones tolerantes a doenças e mais adequados a sítios com características distintas, o que tem resultado em ganhos de produtividade. Segundo IVOGLO et al. (2008), a variabilidade genética na população é condição básica para que esses ganhos se concretizem. Dessa forma, estudos que permitem a seleção de genótipos superiores e possibilitem o aumento da frequência de genes controladores de determinados processos ou características, proporcionam a obtenção de materiais genéticos adaptados às condições ambientais predominantes nas diferentes regiões produtoras (FONSECA et al., 2006). Neste sentido, poucos são os trabalhos sobre o controle genético da eficiência

nutricional em eucalipto. Assim, estudos que busquem identificar características genéticas relacionadas à eficiência de utilização e de absorção de nutrientes e à produtividade são de fundamental importância para o manejo nutricional racional, a fim de permitir ganhos na recomendação de fertilizantes e a alocação de materiais genéticos em uma área de acordo com sua exigência nutricional, além de ser de grande interesse nos programas de nutrição de plantas e melhoramento genético.

OBJETIVOS

1- Avaliar os efeitos da restrição de N, P e K no crescimento, atividade fotossintética e de enzimas do metabolismo destes nutrientes nas progênies de eucalipto.

2- Identificar os biomarcadores do estado nutricional em progênies de eucalipto, visando a seleção de genótipos mais tolerantes a deficiência de N, P e de K.

3- Caracterizar e agrupar as progênies de eucalipto, de acordo com a eficiência de utilização de N, P e K.

MATERIAIS E MÉTODOS

Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com mudas de sementes de onze progênies de *Eucalyptus grandis* fornecidas pela Cia. Suzano de Papel e Celulose.

As sementes de cada repetição foram colocadas para germinar em bandejas com areia lavada para a obtenção das mudas em intervalos de 2 dias entre as repetições. A etapa para a obtenção das mudas durou cerca de 50 dias para cada repetição. Posteriormente, iniciou-se a montagem do experimento escalonado no mesmo intervalo de dias utilizados para cada repetição na semeadura.

Durante o transplante, lavou-se o sistema radicular das mudas de cada progênie e essas foram transferidas para vasos de 3 dm³, com solo franco-arenoso (Quadro 2), ao qual foram aplicados os tratamentos constituídos por doses de N, P e K (Quadro 1). Os vasos tinham o fundo fechado para evitar perda dos nutrientes por lixiviação.

O tratamento completo representou a melhor condição de nutrição de N, P e K, o tratamento denominado -(NPK) com limitação para os três nutrientes, e os demais tratamentos envolveram a limitação de um dos nutrientes em estudo.

Quadro 1. Doses de N, P e K utilizadas nos tratamentos

Tratamento	Nutrientes		
	N	P	K
Dose (mg/dm ³)			
Completo	150	250	150
-(NPK)	15	25	0
-(K)	150	250	0
-(P)	150	25	150
-(N)	15	250	150

Antes do transplântio das mudas, foi realizada a calagem com finalidade de fornecer cálcio e magnésio. Foi utilizado o carbonato de cálcio P.A e de magnésio P.A elevando a relação dos teores de $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ para 4:1. A dose aplicada de carbonato de cálcio P.A. foi de 1,0579 g e de carbonato de magnésio P.A. 0,2222 g, sendo elas homogeneizadas com o solo. Foi realizada uma adubação básica de S em todos os vasos com dose de 61,50 mg/dm³.

Quadro 2. Resultados da análise química do solo utilizado no estudo

Textura	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem
	H ₂ O	mg/dm ³			cmol _c /dm ³				%	dag/kg	mg/L			
Franco-arenosa	4,45	0,90	15,00	0,17	0,06	0,39	3,30	0,27	0,66	3,57	7,60	59,10	1,02	29,70

pH em água, relação 1:2,5 ; (t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; P e K pelo Extrator Mehlich-1; (T): Capacidade de Troca Catiônica a pH7,0; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺; Extrator KCl 1 mol/L; V: Saturação por bases; (H+Al): Extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L, pH 7,0; m: Saturação por Alumínio; Mat.Org.(MO)= C.Org x 1,724, pelo método Walkley- Black; SB: Soma de Bases trocáveis.

Na adubação de cobertura foram aplicados mensalmente 1 mg/dm³ de B, 1,33 mg/dm³ de Cu e 4 mg/dm³ de Zn, utilizando como fontes: o ácido bórico, cloreto de cobre e sulfato de zinco, respectivamente, sendo essas doses parceladas em duas aplicações por mês.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos formando um fatorial 11x 5 (11 progênies, 5 combinações de dose de N, P e K), com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com uma planta, totalizando 220 unidades.

Durante a condução do experimento foram realizadas irrigações regulares.

Aos 90 dias após o transplântio das mudas para o vaso em cada repetição, o experimento foi desmontado por repetição.

Avaliação do crescimento

Para as medições do diâmetro do coleto e da altura das mudas foram utilizados o paquímetro digital (divisões de 0,01 mm) e a régua (divisão de 0,1 cm), respectivamente. Essas mensurações foram realizadas no dia que o experimento foi encerrado.

A massa de matéria seca de cada órgão (raiz, caule, folhas) foi obtida ao final do experimento, após o corte, separação e secagem das partes em estufa com circulação de ar forçada, a 65 °C por 72 h, até peso constante. A massa de matéria seca da parte aérea foi obtida pela soma das massas de matéria seca do caule e folhas e a relação entre a massa das raízes e da parte aérea (folhas e caule), em g g⁻¹.

Teores totais e conteúdo dos nutrientes

O material vegetal seco foi moído em moinho tipo *Wiley*, com peneira de 1mm. A extração de P, S, Ca, Mg, K, Cu, Mn, Fe e Zn foi feita pela digestão nitroperclórica, na proporção 3,5:1 de ácido nítrico para ácido perclórico. No extrato foram retiradas alíquotas para determinação de P por calorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974), S (turbidimetria-ALVAREZ V. et al., 2001), Ca e Mg, Cu, Mn, Fe e Zn (Espectrômetro de absorção atômica) e K (Emissão de chama). Para N foi feita digestão sulfurosa, seguida de destilação e titulação método Kjeldahl (NELSON; SOMMERS, 1973).

A partir dos teores e da massa dos órgãos foram calculados os conteúdos dos nutrientes nas plantas multiplicando-se os teores pela massa dos órgãos.

Eficiências nutricionais

Foram calculadas as eficiências de absorção (EA), utilização (EU) e eficiência de translocação (ET) dos nutrientes, segundo as fórmulas seguintes:

Eficiência de absorção (EA)= (quantidade do nutriente na planta/área superficial das raízes);

Eficiência de translocação (ET)= (quantidade do nutriente na parte aérea/quantidade do nutriente na planta) (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991);

Eficiência de utilização dos nutrientes total(EUT)= (massa de matéria seca total)²/acúmulo do nutriente total), conforme SIDDIQUI; GLASS(1981).

Fluorescência da clorofila a e trocas gasosas

As medições da fluorescência da clorofila *a* foram realizadas no dia anterior da desmontagem do experimento às 23 h, utilizando o aparelho IRGA (LI-6400xt, LI-COR), com fluorômetro acoplado, e na mesma folha foram realizadas as medições das trocas gasosas no dia posterior e a determinação dos teores dos pigmentos clorofilas e carotenoides.

As variáveis de indução da fluorescência, obtidas no escuro, foram: fluorescência inicial (F₀) e fluorescência máxima (F_m). A partir desses valores foi obtido o rendimento quântico potencial do fotossistema II (FSII), $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ (GENTY; BRIANTAIS; BAKER, 1989), sendo F_v a fluorescência variável entre F_m e F₀. As variáveis da fase lenta de indução da fluorescência (obtidas no claro) foram obtidas sequencialmente com a aplicação de uma iluminação actínica e um pulso de luz actínica saturante para a determinação das variáveis: fluorescência na amostra adaptada à luz antes do pulso de saturação (F) e fluorescência máxima na amostra adaptada à luz (F_m'). A partir destes, foi calculada a fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado, $F_0' = F_0 / [((F_m - F_0)/F_m) + (F_0/F_m')]$ (OXBOROUGH; BAKER, 1997), que foi utilizado para o cálculo do coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo *lake*, que fornece uma estimativa de centros de reações abertos do FSII, pela fórmula: $q_L = (F_m' - F) / (F_m' - F_0') * (F_0'/F)$ (KRAMER et al., 2004). Para as formas de dissipação de energia, foram utilizadas as seguintes fórmulas, propostas por GENTY; BRIANTAIS; BAKER (1989) e HENDRICKSON; FURBANK; CHOW (2004):

$\hat{Y}_{II} = (F_m' - F) / F_m'$ - rendimento quântico efetivo de conversão fotoquímica de energia no FSII;

$\hat{Y}_{NPQ} = (F / F_m') - (F / F_m)$ - rendimentos quânticos da dissipação de energia regulada;

$\hat{Y}_{NO} = F / F_m$ - dissipação de energia não regulada.

O \hat{Y}_{II} calculado foi utilizado ainda para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons, $ETR = \hat{Y}_{II} \cdot PAR \cdot 0,84 \cdot 0,5$ (BILGER; BJÖRKMAN, 1990), em que onde PAR é a radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) incidente sobre a folha, no caso $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 0,5 o valor correspondente à fração de energia de excitação distribuída para o FSII (LAISK; LORETO, 1996); e 0,84 o valor de referência correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas (EHLERINGER, 1981).

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas na parte da manhã, de 8:30 às 11:00 horas, no dia em que o experimento foi desmontado. Foram medidas a taxa de

assimilação fotossintética líquida (A), condutância estomática (gs) e a razão entre concentração interna e externa de CO₂ (Ci/Ca), utilizando-se analisador de gás por infravermelho (IRGA; modelo LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA).

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) utilizada foi constante e de 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pré-determinada em curvas lumínicas para estas progênies, concentração atmosférica de CO₂ (Ca) ($\sim 390 \mu\text{mol mol}^{-1}$), temperatura ambiente (25 - 30 °C) e da folha de 25 °C e umidade ambiente (50- 60 %).

Teores de Pigmentos Fotossintéticos

A mesma folha usada para medição da fotossíntese foi coletada e armazenada a -82°C . Para determinação dos pigmentos (clorofilas e carotenoides) foi utilizado método proposto por WELLBURN (1994), em que um disco, de 10 mm de diâmetro e massa conhecida, foi submetido à extração, no escuro e a quente, utilizando dimetilsulfoxido (DMSO) saturado com CaCO₃, por 2 h. As leituras foram feitas por espectroscopia de absorção molecular (Thermo Scientific Evolução 60) e para o cálculo foram utilizadas as equações:

Clorofila *a* (Chl *a*): $12,47 * A_{665,1} - 3,62 * A_{649,1}$ (WELLBURN, 1994)

Clorofila *b* (Chl *b*): $25,06 * A_{649,1} - 6,5 * A_{665,1}$ (WELLBURN, 1994)

Carotenoides totais: $(1000 * A_{480} - 1,29 * \text{Chl } a - 53,78 * \text{Chl } b) / 220$
(WELLBURN, 1994)

Clorofila *a + b*: teor de Chl *a* + teor de Chl *b*

Clorofila *a/b*: teor de Chl *a* / teor de Chl *b*

Clorofila (*a + b*)/carotenoides: teor de Chl *a* + teor de Chl *b* / teor de carotenoides

Atividade enzimática

Para a atividade enzimática foram colhidas quatro folhas padrão que foram guardadas em envelope de papel alumínio e colocadas em nitrogênio líquido até que fossem transferidas para ambiente a -82°C .

A extração das enzimas nitrato redutase (NR) e glutamina sintetase (GS) foi realizada segundo o protocolo proposto por RADIN (1974) adaptado por CAMBRAIA et al. (1989), com modificações para otimizar a atividade destas enzimas em folhas e raízes de eucalipto, utilizadas por FERNANDES et al. (2016). A atividade da NR foi

determinada in vitro (CAMBRAIA et al., 1989; RADIN, 1974) e a atividade da enzima GS foi determinada pelo método proposto por ELLIOTT (1953).

As atividades das enzimas fosfatase ácida (APase) e Ribonuclease (RNase) foram avaliadas utilizando-se um mesmo extrato (OZAWA et al., 1995). A atividade da enzima APase foi determinada segundo metodologia proposta por OZAWA et al. (1995) e a atividade da enzima RNase foi determinada segundo ABEL; GLUND (1986), adaptada por WILSON (1975).

As atividades enzimáticas foram expressas tendo como base o teor de proteína total, obtido pelo método proposto por BRADFORD (1976). O teor de proteína total foi calculado utilizando-se curva de calibração, tendo a albumina de soro bovino (BSA) como padrão.

Determinação da área foliar

Para a quantificação da área foliar total foram coletadas seis folhas representativas da planta, sendo selecionadas duas folhas novas, duas intermediárias e duas mais velhas. Essas foram armazenadas em um saco plástico, tomando-se o cuidado para não amassá-las, e levadas para a geladeira até o dia da leitura em laboratório. Determinou-se a área foliar por um integrador de área foliar da marca LI-COR®, modelo LI 3100C (LI-COR BIOSCIENCES INC., 2004). Após a quantificação da área foliar, obteve-se a área média foliar e o peso seco médio das folhas; a partir da massa de matéria seca foliar total da planta obteve-se a área foliar total da planta. A área foliar específica foi obtida pela divisão da área foliar total pela massa foliar total ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).

Determinação da morfologia radicular

Para a mensuração das características morfológicas do sistema radicular, foi coletado uma porção representativa do sistema radicular como todo da progênie. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos com álcool 25% e armazenadas em geladeira para posterior avaliação das seguintes características morfológicas: comprimento, área de superfície e diâmetro médio, por meio do sistema WinRHIZO Pro 2009 a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com uma unidade de luz adicional (TPU). Posteriormente, foi obtida a massa de matéria seca das raízes desse fragmento e através do cálculo de extrapolação, obteve o valor das características morfológicas obtidas pelo programa no total do vaso.

Análise estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância. Foi realizado o teste de Scott-Knott (agrupamento de médias) ao nível de 10% de significância para todas as variáveis respostas avaliadas para as progênes. O nível de significância de 10% foi utilizado por estar usando material genético de alta variabilidade (progênes).

O *software* R foi utilizado para realização das análises estatísticas.

RESULTADOS

Área foliar específica das progênes de eucalipto

A área foliar específica das progênes de eucalipto foi influenciada pela condição nutricional imposta no solo (Quadro 3). De modo geral, quando houve limitação de N ou de N, P e K em conjunto no solo, a área foliar específica das progênes reduziu 14 % em média em relação ao tratamento completo; quando limitou-se o P e o K houve aumento de 14 e 21 %, respectivamente, em comparação com o tratamento completo.

No tratamento completo existiu a diferenciação das progênes quanto à área foliar específica, sendo maior valor o correspondente à progênie 9, que se diferenciou das demais progênes (Quadro 3).

Quadro 3. Área foliar especificadas progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	cm ² /g				
1	161,72 B a	141,65 A a	180,85 A a	169,09 A a	157,75 A a
2	143,71 B b	156,12 A b	193,85 A a	191,37 A a	122,49 A b
3	160,64 B a	148,87 A a	188,55 A a	184,32 A a	145,53 A a
4	151,94 B b	125,79 A b	196,52 A a	206,75 A a	157,05 A b
5	179,14 B a	139,82 A b	202,07 A a	201,96 A a	155,05 A b
6	141,27 B b	124,44 A b	220,58 A a	192,27 A a	124,47 A b
7	147,61 B a	129,86 A a	167,07 A a	187,11 A a	136,60 A a
8	158,33 B b	160,75 A b	213,39 A a	175,37 A b	152,09 A b
9	268,65 A a	130,78 A b	250,66 A a	162,75 A b	138,99 A b
10	133,66 B a	153,70 A a	167,41 A a	197,45 A a	140,01 A a
11	151,32 B b	119,45 A b	201,52 A a	175,51 A a	132,13 A b

Média 163,45 b 139,20 c 198,41 a 185,81 a 142,01 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Trocas gasosas das progênes de eucalipto

A taxa de fotossíntese líquida (A) das progênes foi negativamente afetada pela restrição no fornecimento de N, K e de N, P e K em conjunto (Quadro 4). Em geral, a maior redução na A, em relação ao tratamento controle, ocorreu no tratamento com limitação de N (39%) e de N, P e K em conjunto (38%), seguido do tratamento com limitação de K (12%), enquanto que no tratamento com limitação de P no solo houve aumento na A em 33%.

Quadro 4. Fotossíntese líquida (A) em progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$					
1	14,01 A a	6,77 A b	9,84 A b	15,22 A a	7,03 A b
2	14,87 A a	7,74 A b	10,06 A b	13,89 A a	7,68 A b
3	9,95 B b	8,03 A b	9,72 A b	15,43 A a	6,58 A b
4	11,13 B b	7,54 A b	9,65 A b	14,72 A a	7,98 A b
5	14,25 A a	7,31 A b	9,69 A b	16,53 A a	7,97 A b
6	8,95 B b	4,92 A b	9,97 A b	16,55 A a	7,62 A b
7	13,17 A b	7,31 A c	10,15 A c	17,67 A a	7,61 A b
8	10,19 B b	7,87 A b	10,05 A b	15,68 A a	5,89 A b
9	12,97 A b	6,45 A c	10,83 A b	15,97 A a	6,12 A c
10	12,26 A a	9,01 A b	14,12 A a	12,88 A a	8,23 A b
11	7,54 B b	7,43 A b	10,07 A b	17,45 A a	6,06 A b
Média	11,75 b	7,31 d	10,38 c	15,64 a	7,16 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

As progênes de eucalipto se diferenciaram somente no tratamento completo, indicando que essas progênes apresentam capacidade fotossintética diferente, mesmo em condições de nutrição mineral adequada, sendo as progênes 1, 2, 5, 7, 9 e 10 as que apresentaram maior A (Quadro 4).

A condutância estomática (gs) influencia a A, pois é responsável pelo controle da entrada e saída de CO₂ e saída de água pelos estômatos. A condutância estomática das progênes foi influenciada pela combinação de doses de N, P e K (Quadro 5). Tanto no tratamento completo quanto no tratamento -(K), as progênes apresentaram menores valores de gs, seguidos do tratamento -(N). Os maiores valores de gs foram encontrados nos tratamentos com limitação de N, P e K em conjunto e de P no solo.

Quadro 5. Condutância estomática (gs) em progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$				
1	0,16 A b	0,16 A b	0,08 A b	0,25 A a	0,16 A b
2	0,17 A a	0,22 A a	0,09 A b	0,17 A a	0,20 A a
3	0,09 A b	0,19 A a	0,11 A b	0,24 A a	0,13 A b
4	0,12 A b	0,21 A a	0,10 A b	0,20 A a	0,19 A a
5	0,16 A a	0,21 A a	0,12 A a	0,18 A a	0,20 A a
6	0,10 A a	0,14 A a	0,13 A a	0,20 A a	0,17 A a
7	0,13 A b	0,22 A a	0,12 A b	0,23 A a	0,20 A a
8	0,09 A b	0,22 A a	0,16 A b	0,22 A a	0,15 A b
9	0,18 A a	0,18 A a	0,14 A a	0,18 A a	0,11 A a
10	0,12 A a	0,18 A a	0,17 A a	0,18 A a	0,14 A a
11	0,10 A a	0,19 A a	0,16 A a	0,21 A a	0,14 A a
Média	0,13 c	0,19 a	0,13 c	0,21 a	0,16 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A razão entre a concentração intercelular de CO₂ na câmara subestomática e a concentração externa de CO₂ (Ci/Ca) foi influenciada pela condição de fertilidade do solo (Quadro 6). As maiores relações Ci/Ca foram encontradas no tratamento com limitação de N e de N, P e K no solo, seguidas do tratamento com limitação de P e, por fim, nos tratamentos com limitação de K e completo.

As progênes de eucalipto apresentaram comportamento distinto quanto à Ci/Ca nos tratamentos completo e com limitação de K no solo (Quadro 6). Na condição de suprimento adequado de N, P e K as progênes com maior Ci/Ca foram 1, 2, 6, 9 e 11, já no tratamento com restrição de K foram às progênes 5, 6, 8, 9, 10 e 11.

Quadro 6. Razão entre a concentração intercelular de CO₂ na câmara subestomática e a concentração externa de CO₂ (Ci/Ca) em progênie de eucalipto submetidos submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	0,59 A b	0,78 A a	0,39 B c	0,68 A b	0,78 A a
2	0,59 A b	0,82 A a	0,48 B b	0,39 A b	0,80 A a
3	0,37 B b	0,76 A a	0,46 B b	0,71 A a	0,73 A a
4	0,49 B c	0,82 A a	0,41 B c	0,62 A b	0,80 A a
5	0,53 B b	0,82 A a	0,63 A b	0,57 A b	0,80 A a
6	0,61 A b	0,78 A a	0,69 A a	0,58 A b	0,76 A a
7	0,51 B b	0,83 A a	0,51 B b	0,61 A b	0,74 A a
8	0,48 B c	0,82 A a	0,66 A b	0,65 A b	0,77 A a
9	0,66 A a	0,78 A a	0,65 A a	0,55 A a	0,70 A a
10	0,54 B b	0,74 A a	0,62 A b	0,58 A b	0,71 A a
11	0,65 A b	0,76 A a	0,65 A b	0,61 A b	0,78 A a
Média	0,55 c	0,79 a	0,56 c	0,60 b	0,76 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quando houve a limitação de K no solo, de modo geral, ocorreu queda na A devido uma limitação estomática, pois houve redução na gs e na relação Ci/Ca.

Fluorescência da clorofila a das progênie de eucalipto

Não houve diferença do rendimento quântico máximo potencial do FS_{II} (Fv/Fm) em qualquer das progênie independentemente da condição nutricional (dados no apêndice). Os valores da relação Fv/Fm ficaram acima de 0,75; queda nesta razão indica a ocorrência de dano fotoinibitório nos centros de reação do FS_{II} (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989).

Houve queda de 48, 37 e 17 % na taxa aparente de transporte de elétrons do fotossistema II (ETR) nas progênie quando aconteceu restrição de N, P e K em conjunto, de N ou de K no solo em relação ao controle (Quadro 7). Quando ocorreu a limitação de P houve aumento de 33% na ETR das progênie.

A diferenciação das progênie quanto a ETR ocorreu somente no tratamento que houve limitação de N no solo, no qual a progênie 10 apresentou maior valor (Quadro 7).

As condições nutricionais impostas no solo afetaram o rendimento quântico efetivo do FS_{II} (\hat{Y}_{II}) das progênie de eucalipto, que mede a quantidade de energia utilizada na fotossíntese, conforme o nutriente em estudo (Quadro 8). A limitação de N,

P e K em conjunto e de N no solo foram as que mais afetaram o \hat{Y}_{II} , com quedas de 35 e 50% em relação ao controle. Quando se limitou o K no solo ocorreu queda de 14% no \hat{Y}_{II} das progênies; por outro lado, quando se limitou o P no solo houve acréscimo de 35% no \hat{Y}_{II} das progênies.

Quadro 7. Taxa aparente de transporte de elétrons do FS_{II} (ETR) em progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	98,76 A a	42,65 A b	81,97 A a	97,32 A a	44,25 B b
2	102,92 A a	44,27 A b	63,74 A b	121,84 A a	41,48 B b
3	81,60 A a	43,21 A b	57,54 A b	104,68 A a	38,78 B b
4	86,37 A a	42,44 A b	75,76 A a	110,86 A a	49,81 B b
5	96,40 A a	44,38 A b	65,71 A b	117,57 A a	52,43 B b
6	73,12 A b	30,79 A c	78,69 A b	132,47 A a	43,61 B c
7	90,27 A a	40,14 A b	60,67 A b	126,74 A a	40,00 B b
8	73,93 A b	45,85 A b	61,05 A b	104,87 A a	39,87 B b
9	77,30 A a	38,81 A b	76,26 A a	102,03 A a	41,20 B b
10	73,46 A b	54,16 A b	82,83 A b	94,26 A b	134,04 A a
11	59,95 A b	53,21 A b	55,32 A b	109,40 A a	36,67 B b
Média	83,10 b	43,63 d	69,05 c	111,09 a	51,10 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 8. Rendimento quântico efetivo do FS_{II} (\hat{Y}_{II}) das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	0,17 A a	0,07 A b	0,14 A a	0,17 A a	0,08 B b
2	0,18 A a	0,08 A b	0,11 A b	0,21 A a	0,07 B b
3	0,14 A a	0,07 A b	0,10 A b	0,18 A a	0,07 B b
4	0,15 A a	0,07 A b	0,13 A a	0,19 A a	0,09 B b
5	0,17 A a	0,08 A b	0,11 A b	0,20 A a	0,09 B b
6	0,13 A b	0,05 A c	0,14 A b	0,23 A a	0,07 B c
7	0,16 A a	0,07 A b	0,10 A b	0,22 A a	0,07 B b
8	0,13 A b	0,08 A b	0,10 A b	0,18 A a	0,07 B b
9	0,13 A a	0,07 A b	0,13 A a	0,18 A a	0,07 B b
10	0,13 A b	0,09 A b	0,14 A b	0,16 A b	0,23 A a
11	0,10 A b	0,09 A b	0,09 A b	0,19 A a	0,06 B b
Média	0,14 b	0,07 d	0,12 c	0,19 a	0,09 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A progênie 10 diferiu das demais em \hat{Y}_{II} no tratamento com limitação de N no solo, atingindo o maior valor. Nos demais tratamentos não houve diferenciação das progênies.

A energia não utilizada nos processos fotoquímicos das progênies foi dissipada na forma de fluorescência e/ ou de calor, de acordo com a limitação de N, P e K em conjunto ou isolada no solo (Quadros 9 e 10).

Quadro 9. Rendimento quântico da dissipação regulada de energia não fotoquímica no FS_{II} (\hat{Y}_{NPQ}) das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	0,56 A b	0,73 A a	0,50 A b	0,56 A b	0,73 A a
2	0,59 A b	0,72 A a	0,42 B c	0,56 A b	0,73 A a
3	0,62 A a	0,70 A a	0,41 B b	0,50 A b	0,71 A a
4	0,46 A b	0,75 A a	0,46 A b	0,58 A b	0,73 A a
5	0,53 A b	0,72 A a	0,51 A b	0,53 A b	0,71 A a
6	0,65 A b	0,77 A a	0,62 A b	0,55 A b	0,75 A a
7	0,60 A a	0,71 A a	0,43 B b	0,56 A a	0,66 A a
8	0,59 A b	0,73 A a	0,33 B c	0,56 A b	0,74 A a
9	0,57 A b	0,68 A a	0,50 A b	0,50 A b	0,76 A a
10	0,59 A a	0,67 A a	0,48 A a	0,62 A a	0,60 A a
11	0,68 A a	0,59 A a	0,36 B b	0,49 A b	0,72 A a
Média	0,59 b	0,71 a	0,46 d	0,55 c	0,71 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

De modo geral, quando houve condição adequada de suprimento de N, P e K no solo, condição limitada de N, P e K e condição restrita só de N, as progênies dissiparam mais a energia não utilizada nos processos fotoquímicos, na forma de calor, pelo aumento \hat{Y}_{NPQ} do que de fluorescência pelo baixo valor de \hat{Y}_{NO} . Quando limitou o suprimento de K a energia dissipada ocorreu tanto na forma de calor quanto na forma de fluorescência.

As progênies diferiram entre si, na forma de dissipar a energia não utilizada nos processos fotoquímicos, como fluorescência e como calor, somente quando houve limitação de K no solo, sendo que os maiores valores de \hat{Y}_{NPQ} foram encontrados nas progênies 1, 4, 5, 6, 9 e 10, enquanto para \hat{Y}_{NO} foi nas progênies 2, 3, 7, 8, 10 e 11.

Quadro 10. Rendimento quântico da dissipação não regulada de energia não fotoquímica no FS_{II} (\hat{Y}_{NO}) das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)

1	0,27 A a	0,20 A a	0,36 B a	0,28 A a	0,19 A a
2	0,23 A b	0,20 A b	0,47 A a	0,23 A b	0,20 A b
3	0,24 A b	0,23 A b	0,49 A a	0,32 A b	0,22 A b
4	0,37 A a	0,18 A b	0,41 B a	0,23 A b	0,19 A b
5	0,30 A a	0,20 A b	0,38 B a	0,27 A b	0,20 A b
6	0,22 A a	0,17 A a	0,25 B a	0,22 A a	0,18 A a
7	0,24 A b	0,22 A b	0,47 A a	0,22 A b	0,27 A b
8	0,29 A b	0,19 A b	0,56 A a	0,26 A b	0,20 A b
9	0,30 A a	0,26 A b	0,37 B a	0,33 A a	0,17 A b
10	0,29 A b	0,24 A b	0,55 A a	0,21 A b	0,17 A b
11	0,21 A b	0,31 A b	0,54 A a	0,32 A b	0,21 A b
Média	0,27 b	0,22 c	0,44 a	0,26 b	0,20 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Pigmentos fotossintéticos das progênes de eucalipto

Houve aumento na relação entre Chl *a/b* das progênes de eucalipto no tratamento com limitação de P em 7%, em relação ao tratamento completo, enquanto nos demais tratamentos houve redução de 3% ao se limitar o K no solo, de 13% no tratamento limitante em N, P e K e de 18% no tratamento limitante em N (Quadro 11).

As progênes de eucalipto se diferenciaram entre si no tratamento –(N), sendo as progênes 4 e 8 as que apresentaram menor relação entre Chl *a/b*.

A relação entre clorofila *a+ b* e carotenoides (Chl *a+ b/ cart.*) nas folhas das progênes de eucalipto foi influenciada pela condição de limitação de N, P e K imposta no solo (Quadro 12). De modo geral, as maiores relações foram encontradas nos tratamentos –(P) e –(K), seguidos do tratamento completo e, por fim, nos –(N) e –(NPK). As progênes apresentaram diferença entre si para a relação Chl (*a+ b*)/ *cart.* em folhas, nos tratamentos com limitação de K ou de N, P e K no solo, sendo as menores relação nas progênes 4, 5 e 7 e nas progênes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 10 respectivamente aos tratamentos citados (Quadro 12).

Quadro 11. Teor do pigmento fotossintético da clorofila *a/ b* (Chl *a/b*) em folhas das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	2,41 A a	2,22 A a	2,30 A a	2,30 A a	1,96 A a
2	1,99 A b	2,08 A b	2,19 A b	2,52 A a	1,86 A b
3	2,34 A a	2,17 A a	2,29 A a	2,46 A a	2,21 A a

4	2,53 A a	2,04 A b	2,19 A b	2,51 A a	1,36 B c
5	2,46 A a	2,01 A b	2,18 A b	2,58 A a	1,98 A b
6	2,17 A b	2,01 A b	2,17 A b	2,56 A a	1,95 A b
7	2,30 A a	2,00 A b	2,19 A b	2,58 A a	2,04 A b
8	2,12 A a	1,80 A b	2,31 A a	2,49 A a	1,56 B b
9	2,30 A a	1,94 A b	2,27 A a	2,41 A a	1,92 A b
10	2,40 A a	1,98 A b	2,39 A a	2,28 A a	2,02 A b
11	2,19 A a	1,66 A b	2,05 A a	2,30 A a	1,85 A b
Média	2,29 b	1,99 c	2,23 b	2,45 a	1,88 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 12. Teor do pigmento fotossintético da clorofila *a+ b* em relação ao teor de carotenoides (*Chl a+ b/ cart.*) em folhas das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	5,07 A a	4,12 B b	5,46 A a	5,40 A a	3,96 A b
2	5,35 A a	3,85 B b	5,14 A a	4,89 A a	3,95 A b
3	4,86 A a	4,24 B b	5,33 A a	5,46 A a	3,34 A c
4	4,19 A a	3,66 B a	4,05 B a	4,85 A a	4,17 A a
5	4,46 A a	3,92 B a	4,39 B a	4,90 A a	3,82 A a
6	4,60 A a	4,03 B a	4,95 A a	5,04 A a	4,16 A a
7	4,12 A a	4,20 B a	4,68 B a	4,74 A a	4,25 A a
8	4,54 A a	4,25 B a	4,99 A a	4,42 A a	4,59 A a
9	4,60 A b	4,87 A b	5,70 A a	5,97 A a	4,52 A b
10	4,74 A a	3,97 B b	5,27 A a	4,66 A a	3,74 A b
11	4,19 A b	5,57 A a	4,85 A a	5,19 A a	3,75 A b
Média	4,61 b	4,24 c	4,98 a	5,05 a	4,02 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

O teor de clorofila total foi menor nas progênes submetidas ao tratamento com limitação de N, seguido do tratamento com limitação conjunta de N P e K, depois no tratamento com limitação de K e por fim, nos tratamentos completo e com limitação de P no solo (Quadro 13).

Quadro 13. Clorofila total em folhas dasprogênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	Unidades				

1	43,35 A a	19,67 B b	45,58 A a	39,97 A a	26,70 A b
2	46,30 A a	31,83 A b	41,67 A a	46,18A a	31,60 A b
3	43,15 A a	30,65 A b	37,03 B a	41,98 A a	28,23 A b
4	42,78 A a	29,90 A b	38,05 B a	38,23 A a	25,10 A b
5	43,60 A a	29,28 A b	33,60 B b	40,85 A a	27,55 A b
6	31,53 B b	31,20 A b	44,18 A a	37,57 A a	30,00 A b
7	41,18 A a	32,68 A b	39,33 A a	39,60 A a	24,00 A c
8	44,87 A a	30,28 A c	36,50 B b	43,40 A a	26,63 A c
9	41,75 A a	32,75 A b	39,28 A a	44,17 A a	33,00 A b
10	47,95 A a	33,88 A b	29,00 B b	41,18 A a	23,98 A b
11	40,08 A a	34,58 A a	36,90 B a	40,08 A a	27,50 A b
Média	42,41 a	30,61 c	38,28 b	41,20 a	27,66 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Houve diferenciação das progênes para clorofila total nos tratamento completo, -(NPK) e -(K) (Quadro 13). A progênie 6 foi a que apresentou menor teor de clorofila total no tratamento completo, no tratamento -(NPK) foi a progênie 1, enquanto, as progênes 3, 4, 5, 8, 10 e 11 foram as que apresentaram menor valor de SPAD no tratamento com limitação de K no solo (Quadro 13).

Crescimento das progênes de eucalipto

De modo geral, a produção de massa de matéria seca da parte aérea e da raiz das progênes foi afetada de forma semelhante, ou seja, a maior produção obtida foi no tratamento completo, seguido do tratamento com limitação somente de K ou de P e, por fim, quando limitou o N e o -(NPK) conjunto (Quadros 14 e 15). As reduções médias na produção de massa de matéria seca total, quando retirou o P, o K, o -(NPK) em conjunto e o N em relação ao tratamento controle, foram de 24; 25; 63 e 66%, respectivamente.

A diferenciação das progênes, quanto à produção de massa de matéria seca da parte aérea e de raiz, dentro de cada tratamento, só foi observada no tratamento que se limitou o fósforo (Quadros 14 e 15). As progênes 5, 6, 9, 10 e 11 foram as que tiveram maior massa de matéria seca tanto da parte aérea quanto de raiz, o que implica maior massa de matéria seca total. As progênes 4 e 7 se diferenciaram das demais na produção de biomassa, sendo que a progênie 4 apresentou maior massa de matéria seca da parte aérea e menor produção de raiz, enquanto a progênie 7 apresentou menor massa de matéria seca da parte aérea e maior produção de raiz.

Quadro 14. Massa de matéria seca da parte aérea das progênie de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g				
1	14,82 A a	4,96 A b	14,66 A a	8,73 B b	5,81 A b
2	18,92 A a	7,21 A b	15,69 A a	13,06 B a	8,30 A b
3	19,10 A a	8,11 A b	17,35 A a	10,50 B b	7,11 A b
4	20,05 A a	7,24 A b	15,34 A a	15,44 A a	6,17 A b
5	17,49 A a	6,41 A b	18,48 A a	17,85 A a	5,09 A b
6	22,23 A a	6,53 A d	11,69 A c	15,69 A b	4,19 A d
7	18,38 A a	6,33 A b	15,57 A a	13,62 B a	6,49 A b
8	23,18 A a	6,58 A c	13,18 A b	10,27 B b	6,08 A c
9	22,40 A a	7,90 A c	12,24 A c	16,44 A b	5,98 A c
10	23,84 A a	6,34 A c	13,24 A b	20,14 A a	6,69 A c
11	21,34 A a	8,14 A b	18,37 A a	18,46 A a	6,67 A b
Média	20,15 a	6,89 c	15,07 b	14,56 b	6,23 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

De modo geral, a limitação nutricional interferiu na relação entre raiz e a parte aérea das progênie, sendo a maior relação encontrada no tratamento com limitação de N, depois quando se limitou P e -(NPK) conjunto e, por fim, quando limitou o K e no tratamento completo (Quadro 16).

As progênie se diferenciaram na relação raiz:parte aérea dentro dos tratamentos com limitação de P ou limitação de K (Quadro 16). No tratamento com limitação de P o grupo das progênie com maior relação entre raiz/ parte aérea foi composto pela 3, 5, 7, 9 e 11 e as de menor relação 1, 2, 4, 6, 8 e 10, enquanto no tratamento em que se limitou o K o grupo de maior relação inclui as progênie 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 e 11 e de menor relação as 6, 9 e 10.

Quadro 15. Massa de matéria seca da raiz das progênie de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g				
1	6,96 A a	2,53 A b	7,30 A a	3,49 B b	3,32 A b
2	9,03 A a	3,87 A a	6,80 A a	6,53 B a	5,02 A a
3	8,99 A a	5,13 A a	7,78 A a	5,92 B a	3,99 A a

4	9,34 A a	3,68 A b	7,09 A a	7,13 B a	3,48 A b
5	8,02 A b	3,91 A c	8,88 A b	12,48 A a	3,03 A c
6	7,59 A a	3,32 A b	5,00 A b	7,87 A a	2,25 A b
7	8,01 A a	3,40 A b	6,87 A a	7,82 A a	3,85 A b
8	10,85 A a	3,45 A b	5,90 A b	5,30 B b	3,47 A b
9	9,06 A a	4,52 A b	4,42 A b	8,75 A a	3,25 A b
10	11,15 A a	3,24 A b	5,00 A b	9,37 A a	3,82 A b
11	10,03 A a	4,90 A b	8,76 A a	9,69 A a	3,87 A b
Média	9,00 a	3,81 c	6,71 b	7,67 b	3,58 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 16. Relação entre raiz e parte aérea das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g/g				
1	0,47 A a	0,51 A a	0,50 A a	0,40 B a	0,57 A a
2	0,48 A b	0,54 A a	0,43 A b	0,50 B b	0,61 A a
3	0,47 A b	0,63 A a	0,45 A b	0,56 A a	0,56 A a
4	0,47 A a	0,51 A a	0,46 A a	0,46 B a	0,56 A a
5	0,46 A b	0,61 A a	0,48 A b	0,70 A a	0,59 A a
6	0,34 A b	0,51 A a	0,43 B b	0,50 B a	0,54 A a
7	0,44 A b	0,54 A a	0,44 A b	0,57 A a	0,59 A a
8	0,47 A a	0,52 A a	0,45 A a	0,52 B a	0,57 A a
9	0,40 A b	0,57 A a	0,36 B b	0,53 A a	0,54 A a
10	0,47 A b	0,51 A b	0,38 B c	0,47 B b	0,57 A a
11	0,47 A b	0,60 A a	0,48 A b	0,52 A b	0,58 A a
Média	0,45 c	0,55 b	0,44 c	0,52 b	0,57 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Características morfológicas radiculares das progênes de eucalipto

O comprimento radicular foi influenciado, de modo geral, pela restrição nutricional, sendo os maiores valores encontrados no tratamento completo e com limitação de K, seguido dos demais tratamentos (Quadro 17). A limitação de P, limitação conjunta de -(NPK) e de -(N) foram as que mais afetaram, de maneira geral, o comprimento radicular, provocando sua redução.

Quadro 17. Comprimento radicular das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	cm				
1	89,19 B b	53,83 A b	151,7 A a	24,79 B b	82,3 A b
2	139,13 A a	37,24 A b	160,73 A a	79,21 B b	82,80 A b
3	136,22 A a	117,29 A a	132,93 A a	75,49 B a	71,95 A a
4	139,57 A a	87,75 A b	121,08 A a	58,65 B b	38,08 A b
5	96,21 B a	47,36 A b	136,50 A a	34,07 B b	45,53 A b
6	122,70 A a	72,63 A a	52,13 B a	91,27 B a	51,90 A a
7	86,76 B b	76,02 A b	165,28 A a	131,73 A a	38,19 A b
8	56,78 B a	69,83 A a	76,91 B a	57,13 B a	60,40 A a
9	130,08 A a	60,75 A a	79,82 B a	105,92 A a	42,59 A a
10	182,47 A a	45,72 A b	51,68 B b	158,66 A a	88,60 A b
11	116,44 A a	66,01 A a	115,32 A a	85,39 B a	57,02 A a
Média	117,78 a	66,77 b	113,10 a	82,03 b	59,94 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A diferenciação das progênies em relação ao comprimento radicular, dentro de cada tratamento, foi observada nos tratamentos completo, com limitação somente de P e de K (Quadro 17). No tratamento completo, as progênies 2, 3, 4, 6, 9, 10 e 11 compuseram o grupo com maior comprimento de raiz; já no tratamento com limitação de K foi às progênies 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 11 e no tratamento com limitação de P as 7, 9 e 10.

A limitação nutricional influenciou a área de superfície específica radicular sendo os maiores valores encontrados nos tratamentos -(NPK), -(K) e -(N) e os menores valores nos tratamentos completo e -(P) (Quadro 18).

A diferenciação das progênies, em relação à área de superfície específica de raiz, aconteceu dentro do tratamento com limitação de N (Quadro 18). Neste tratamento, a progênie com maior área de superfície específica radicular foi a 8, enquanto, as demais apresentaram menor valor.

Quadro 18. Área de superfície específica radicular das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	1,39 A a	2,18 A a	1,95 A a	1,54 A a	2,28 B a

2	1,59 A a	1,20 A a	2,37 A a	1,46 A a	1,58 B a
3	1,59 A a	1,99 A a	1,84 A a	1,76 A a	1,81 B a
4	1,74 A a	2,21 A a	1,95 A a	1,30 A a	1,49 B a
5	1,58 A a	1,67 A a	1,55 A a	1,19 A a	1,86 B a
6	1,61 A a	2,17 A a	1,64 A a	1,48 A a	2,07 B a
7	1,54 A a	1,99 A a	2,33 A a	2,03 A a	1,41 B a
8	0,83 A b	2,00 A b	1,67 A b	1,55 A b	3,33 A a
9	1,59 A a	1,57 A a	1,95 A a	1,41 A a	1,51 B a
10	1,69 A b	2,93 A a	1,29 A b	1,77 A b	2,17 B b
11	1,41 A a	1,54 A a	1,36 A a	1,39 A a	1,84 B a
Média	1,51 b	1,95 a	1,81 a	1,53 b	1,94 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Teor de N, P e K nas folhas e raízes das progênes de eucalipto

A condição de restrição de P no solo levou à redução do teor de P nas folhas e raízes das progênes de eucalipto, de modo geral, quando comparado com o tratamento completo (Quadros 19 e 20).

As progênes de eucalipto mostraram maior teor de K nas folhas e raízes das progênes de eucalipto no tratamento completo, seguido do tratamento -(NPK) e por fim no tratamento com limitação de K (Quadro 21 e 22).

A restrição de N no solo provocou queda do teor de N nas folhas e raízes das progênes de eucalipto em relação ao tratamento completo (Quadros 23 e 24).

Quadro 19. Teor de fósforo nas folhas das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g/kg				
1	1,38 A c	0,83 A c	1,97 A b	0,77 A c	2,88 A a
2	1,16 A b	1,69 A b	2,19 A a	0,97 A b	2,61 A a
3	1,33 A b	1,12 A b	1,83 A a	0,81 A b	2,41 A a
4	1,18 A b	1,30 A b	1,73 A a	0,85 A b	1,97 A a
5	1,57 A b	0,80 A c	1,76 A a	0,96 A c	3,05 A a
6	1,26 A b	0,78 A b	2,26 A a	1,03 A b	2,69 A a
7	1,27 A b	1,14 A b	1,66 A b	0,93 A b	2,35 A a
8	1,28 A b	0,87 A b	2,49 A a	0,96 A b	2,19 A a
9	1,32 A b	0,90 A b	2,18 A a	0,83 A b	1,88 A a
10	1,25 A c	1,17 A c	1,80 A b	0,74 A c	2,56 A a

11	1,25 A b	1,57 A b	1,93 A a	0,88 A b	2,34 A a
Média	1,30 c	1,11 c	1,98 b	0,88 d	2,45 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 20. Teor de fósforo nas raízes das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g/kg				
1	1,33 A a	0,69 A b	1,05 A b	0,73 A b	1,74 B a
2	1,27 A b	0,65 A c	1,40 A b	0,57 A c	2,16 A a
3	1,07 A b	0,63 A c	1,24 A b	0,66 A c	2,36 A a
4	1,27 A b	0,58 A c	1,06 A c	0,69 A c	1,85 B a
5	1,09 A a	0,64 A b	1,16 A a	0,79 A b	1,39 B a
6	1,30 A b	0,70 A c	1,39 A b	0,66 A c	2,23 A a
7	1,06 A b	0,56 A c	1,36 A b	0,77 A c	2,36 A a
8	1,18 A b	0,57 A c	1,24 A b	0,59 A c	2,11 A a
9	1,00 A c	0,58 A c	1,25 A b	0,52 A c	1,84 B a
10	0,83 A c	0,80 A c	1,38 A b	0,82 A c	2,41 A a
11	1,02 A b	0,59 A b	1,16 A b	1,01 A b	2,02 A a
Média	1,13 b	0,64 c	1,24 b	0,71 c	2,04 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 21. Teor de potássio nas folhas das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g/kg				
1	10,04 A b	5,09 A c	2,18 A d	8,25 B b	11,93 A a
2	8,72 A a	4,18 A b	3,63 A b	10,65 A a	10,97 A a
3	7,93 A b	3,24 A c	1,80 A c	12,04 A a	10,13 A a
4	8,23 A b	3,47 A c	2,17 A c	10,01 B a	11,36 A a
5	10,56 A a	3,88 A b	1,84 A b	11,71 A a	13,30 A a
6	7,94 A b	3,16 A c	2,54 A c	11,01 A a	12,76 A a
7	8,46 A b	3,67 A c	1,74 A c	12,00 A a	12,20 A a
8	7,60 A b	3,78 A c	2,10 A c	10,27 A a	11,06 A a
9	8,19 A a	3,30 A b	2,43 A b	8,36 B a	10,10 A a
10	8,34 A b	3,87 A c	1,28 A d	9,71 B b	13,27 A a
11	7,56 A b	3,37 A c	1,91 A c	8,81 B b	11,52 A a
Média	8,51 c	3,73 d	2,15 e	10,26 b	11,69 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 22. Teor de potássio nas raízes das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
g/kg					
1	10,09 A a	4,86 A b	1,84 A c	9,36 A a	5,70 B b
2	9,50 A a	2,47 A c	2,17 A c	9,79 A a	6,21 B b
3	8,82 A a	4,65 A b	1,61 A c	9,35 A a	7,54 B a
4	9,04 A a	3,04 A b	1,80 A b	10,57 A a	10,17 A a
5	8,14 A a	3,93 A c	1,46 A d	9,49 A a	6,60 B b
6	9,32 A a	2,82 A c	2,29 A c	7,06 A b	6,67 B b
7	8,36 A a	3,49 A b	1,94 A b	9,41 A a	7,82 B a
8	9,06 A a	3,19 A b	1,91 A b	9,04 A a	7,87 B a
9	8,17 A a	2,52 A c	1,97 A c	9,01 A a	5,29 B b
10	7,35 A a	2,74 A b	1,62 A b	8,66 A a	6,79 B a
11	8,33 A a	2,70 A b	1,91 A b	8,68 A a	7,31 B a
Média	8,74 a	3,31 c	1,87 d	9,13 a	7,09 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 23. Teor de nitrogênio nas folhas das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
g/kg					
1	14,72 A b	8,04 A c	20,30 B a	18,79 A a	7,97 A c
2	13,72 A b	7,32 A c	19,85 B a	20,51 A a	6,98 A c
3	13,09 A b	8,80 A c	18,34 B a	20,93 A a	6,25 A c
4	14,48 A a	6,94 A b	19,93 B a	17,41 A a	6,94 A b
5	15,96 A a	7,80 A b	16,79 B a	19,96 A a	7,49 A b
6	17,55 A a	6,71 A b	22,34 A a	19,43 A a	7,07 A b
7	13,45 A b	7,59 A c	17,59 B a	19,93 A a	7,79 A c
8	11,53 A c	8,14 A c	23,68 A a	18,34 A b	6,87 A c
9	12,10 A c	7,01 A b	23,65 A a	18,19 A b	7,42 A d
10	12,83 A a	8,45 A b	17,64 B a	15,93 A a	5,08 A b
11	11,55 A b	6,76 A b	19,62 B a	17,10 A a	9,21 A b
Média	13,73 b	7,60 c	19,98 a	18,77 a	7,19 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 24. Teor de nitrogênio nas raízes das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
g/kg					
1	7,42 A a	5,65 A a	7,28 A a	8,36 B a	5,66 A a
2	8,11 A a	5,24 A b	9,97 A a	10,28 A	5,19 A b
3	9,14 A a	4,15 A b	8,62 A a	10,55 A a	5,25 A b
4	7,69 A a	4,32 A b	8,76 A a	9,59 A a	5,56 A b
5	5,77 A b	5,39 A b	8,25 A a	9,04 A a	5,18 A b
6	8,27 A a	5,56 A b	8,64 A a	9,56 A a	7,72 A a
7	7,76 A b	4,11 A c	9,56 A a	10,57 A a	5,60 A c
8	7,03 A a	4,46 A b	9,45 A a	8,04 B a	5,87 A b
9	6,73 A a	4,63 A b	7,99 A a	5,97 B b	5,18 A b
10	6,25 A b	4,35 A b	9,46 A a	8,00 B a	6,28 A b
11	8,38 A a	4,56 A b	7,90 A a	8,80 A a	5,42 A b
Média	7,50 b	4,77 d	8,72 a	8,98 a	5,72 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Acúmulo de N, P e K nas progênes de eucalipto

De modo geral, o acúmulo de P nas progênes foi influenciado pela condição nutricional imposta no solo. A limitação de P, assim como a conjunta de N, P e K no solo provocaram redução no acúmulo desse nutriente na parte aérea e na raiz das progênes de eucalipto (Quadros 25 e 26). A redução no acúmulo de P na parte aérea, quando limitou-se o P, foi de 67% e quando limitou-se -(NPK) foi de 77 % em relação ao tratamento controle. Na raiz, nos mesmos tratamentos, as reduções foram de 67% e 47 % no respectivamente.

Quadro 25. Conteúdo de fósforo na parte aérea das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
mg/pl					
1	36,09 B a	7,13 A b	33,49 A a	9,97 A b	24,87 B a
2	34,41 B a	13,51 A b	32,79 A a	14,31 A b	29,67 B a
3	41,67 B a	8,75 A c	37,03 A a	10,63 A c	26,60 B b
4	40,52 B a	14,00 A b	35,52 A a	14,14 A b	19,09 B b

5	37,00 B a	6,37 A b	40,62 A a	11,62 A b	20,82 B b
6	51,25 A a	8,87 A c	34,71 A b	16,38 A c	21,96 B c
7	42,18 B a	10,60 A b	38,16 A a	11,41 A b	22,15 B b
8	49,24 A a	8,51 A c	37,41 A b	11,24 A c	18,59 B c
9	48,88 A a	10,15 A c	32,97 A b	16,07 A c	20,85 B c
10	48,18 A a	9,84 A c	36,56 A a	15,48 A c	24,91 B b
11	52,08 A a	14,60 A b	42,09 A a	25,86 A b	40,72 A a
Média	43,77 a	10,21 e	36,49 b	14,28 d	24,57 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 26. Conteúdo de fósforo na raiz das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/pl				
1	9,10 A a	1,56 A b	7,20 A a	2,62 B b	6,44 A a
2	11,78 A a	2,58 A b	9,05 A a	3,78 B b	11,08 A a
3	9,70 A a	2,82 A b	9,23 A a	4,05 B b	9,24 A a
4	1,60 A a	2,11 A b	7,76 A a	4,27 B b	6,63 A a
5	8,12 A a	2,26 A b	9,39 A a	9,71 A a	4,30 A b
6	9,76 A a	2,31 A b	5,92 A b	4,73 B b	5,17 A b
7	8,25 A a	1,80 A b	9,14 A a	5,12 B b	10,46 A a
8	12,60 A a	1,90 A c	7,21 A b	3,31 B c	7,33 A b
9	9,31 A a	2,48 A a	5,01 A a	4,50 B a	6,50 A a
10	9,07 A a	2,47 A b	6,95 A a	7,18 A a	9,22 A a
11	10,28 A a	2,77 A b	9,79 A a	9,17 A a	8,11 A a
Média	9,96 a	2,28 d	7,88 b	5,31 c	7,68 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 27. Conteúdo de potássio na parte aérea das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/pl				
1	235,35 A a	33,93 A c	41,24 A c	92,46 C b	86,28 B b
2	237,99 A a	42,23 A d	73,14 A d	179,65 A b	109,15 B c
3	239,23 A a	33,11 A d	41,13 A d	144,41 B b	86,35 B c
4	247,36 A a	36,20 A c	45,18 A c	192,81 A b	80,2 B c
5	243,97 A a	26,63 A c	49,14 A c	153,54 B b	73,85 B c

6	256,90 A a	34,23 A c	33,12 A c	216,87 A a	84,48 B b
7	253,50 A a	32,47 A d	39,88 A d	146,99 B b	88,89 B c
8	270,77 A a	33,90 A c	41,17 A c	116,00 C b	75,51 B b
9	276,60 A a	33,66 A c	38,99 A c	202,15 A b	81,13 B c
10	271,29 A a	28,18 A d	31,56 A d	222,60 A b	104,03 B c
11	275,47 A a	34,18 A d	47,08 A d	217,65 A b	156,90 A c
Média	255,31 a	33,52 d	43,78 d	171,38 b	93,34 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Houve diferenciação das progênies no acúmulo de P na parte aérea quando os três nutrientes foram supridos (tratamento completo) e na raiz no tratamento com limitação de P (Quadros 25 e 26). No tratamento completo, o maior conteúdo de P na parte aérea ocorreu no grupo formado pelas progênies 6, 8, 9, 10 e 11 (Quadro 25) e na raiz, o maior conteúdo de P, no tratamento limitante em P, foi nas progênies 5, 10 e 11 (Quadro 26).

A condição nutricional no solo influenciou o acúmulo de K na parte aérea e na raiz das progênies de eucalipto. Assim, tanto na parte aérea como na raiz a limitação de K e de -(NPK) no solo provocou reduções médias no acúmulo de K de 83 e 87%, respectivamente, em relação ao tratamento controle (Quadro 27 e 28). Dentro dos tratamentos completo, com limitação de K ou de -(NPK) não houve diferenciação das progênies tanto na parte aérea como na raiz.

Quadro 28. Conteúdo de potássio na raiz das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/pl				
1	69,82 A a	10,04 A b	11,28 A b	26,24 B b	18,53 A b
2	80,02 A a	9,26 A b	13,45 A b	64,36 B a	32,04 A b
3	79,97 A a	24,79 A b	12,55 A b	55,51 B a	29,99 A b
4	82,86 A a	11,27 A b	12,81 A b	67,78 B a	35,30 A b
5	62,67 A b	13,60 A c	12,38 A c	126,19 A a	22,29 A c
6	70,04 A a	9,33 A b	9,90 A b	51,88 B a	15,32 A b
7	66,32 A a	11,5 A b	13,28 A b	70,29 B a	32,13 A b
8	92,96 A a	10,63 A c	11,38 A c	53,54 B b	27,31 A c
9	76,59 A a	10,05 A b	8,44 A b	77,89 B a	17,22 A b
10	78,98 A a	7,76 A b	8,54 A b	76,92 B a	27,51 A b
11	83,04 A a	13,63 A b	16,38 A b	72,34 B a	27,93 A b

Média 76,66 a 11,99 c 11,85 c 67,54 a 25,96 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 29. Conteúdo de nitrogênio na parte aérea das progênie de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/pl				
1	275,68 B a	45,99 A c	278,51 A a	181,92 B b	48,36 A c
2	279,97 B a	53,16 A b	213,98 Aa	269,43 A a	59,30 A b
3	276,63 B a	54,08 A c	278,86 A a	204,39 B b	45,76 A c
4	329,17 B a	60,78 A b	276,88 A a	260,8 A a	41,36 A b
5	263,12 B a	41,00 A b	285,85 A a	215,64 B a	37,85 A b
6	403,49 A a	58,17 A c	243,30 A b	283,87 A b	44,21 A c
7	312,83 B a	52,62 A c	287,51 A a	229,22 B b	49,88 A c
8	296,31 B a	56,71 A c	268,98 A a	186,57 B b	41,88 A c
9	287,84 B a	57,66 A b	286,10 A a	319,46 A a	45,29 A b
10	292,87 B a	50,75 A b	248,80 A a	276,33 A a	43,09 A b
11	319,06 B a	56,95 A c	334,98 A a	297,48 A a	138,51 A b
Média	303,36 a	53,44 d	273,07 b	247,74 c	54,14 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 30. Conteúdo de nitrogênio na raiz das progênie de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	K	P	N
	mg/pl				
1	47,18 A a	13,05 A b	55,86 A a	26,38 B b	17,78 A b
2	72,49 A a	21,27 A b	63,08 A a	66,75 A a	26,21 A b
3	83,05 A a	23,15 A b	65,30 A a	62,46 A a	20,42 A b
4	71,03 A a	15,51 A b	60,58 A a	66,00 A a	18,73 A b
5	40,42 A c	20,95 A c	69,59 A b	111,86 A a	14,94 A c
6	62,49 A a	18,49 A b	43,68 A b	77,13 A a	18,15 A b
7	62,19 A a	13,84 A b	63,16 A a	82,93 A a	21,13 A b
8	76,48 A a	15,01 A b	55,03 A a	45,97 B a	20,91 A b
9	62,09 A a	19,11 A b	34,23 A b	47,75 B a	16,81 A b
10	68,50 A a	12,56 A b	48,14 A a	73,50 A a	24,02 A b
11	83,91 A a	21,56 A b	68,71 A a	69,28 A a	20,93 A b
Média	66,35 a	17,68 b	57,03 a	66,36 a	20,00 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

O acúmulo de N na parte aérea e na raiz das progênes foi influenciado pela limitação nutricional, sendo as menores valores foram observados no tratamento com limitação de N e com limitação conjunta de -(NPK) em relação ao tratamento controle (Quadro 29 e 30). Na parte aérea houve queda de 82% e na raiz de 70% em relação ao tratamento completo, tanto no tratamento com limitação de N quanto no tratamento limitação conjunto de -(NPK).

Houve distinção das progênes quanto ao conteúdo de N somente na parte aérea e no tratamento completo, sendo a progênie 6 a que apresentou maior conteúdo de P neste compartimento da planta (Quadro 29).

Eficiência de absorção, translocação e utilização de N, P e K das progênes de eucalipto

A condição de limitação nutricional no solo influenciou a eficiência de absorção de P, de N e de K das progênes de eucalipto, de modo geral, sendo que a eficiência de absorção foi reduzida em 51, 82 e 86 % em relação ao tratamento completo nos tratamentos com restrição de um desses nutrientes no solo, respectivamente (Quadros 31, 32 e 33).

Quadro 31. Eficiência da absorção de P das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
mg/cm ²					
1	33,60 B a	4,02 A a	27,47 A a	12,98 B a	22,85 A a
2	42,33 B a	14,62 A a	19,58 A a	13,15 B a	26,12 A a
3	35,23 B a	6,15 A a	26,99 A a	9,27 B a	36,38 A a
4	30,90 B a	7,93 A a	23,96 A a	16,20 B a	19,22 A a
5	28,68 B b	6,60 A b	34,69 A b	78,99 A a	14,76 A b
6	37,62 B a	5,15 A a	37,21 A a	14,44 B a	14,06 A a
7	37,63 B a	6,64 A a	20,61 A a	8,93 B a	28,35 A a
8	83,77 A a	6,25 A b	27,11 A b	13,62 B b	18,17 A b
9	49,01 B a	8,56 A a	20,17 A a	15,73 B a	22,39 A a
10	34,43 B a	9,40 A a	38,35 A a	15,04 B a	15,68 A a
11	56,76 A a	10,97 A a	40,25 A a	29,86 B a	36,41 A a
Média	42,72 a	7,84 d	28,76 b	20,74 c	23,13 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

As progênes de eucalipto se distinguiram quanto à eficiência de absorção de P dentro do tratamento limitante desse nutriente no solo, sendo a progênie 5 a que apresentou maior eficiência de absorção de P (Quadro 31). As progênes de eucalipto não diferiram entre si para a eficiência de absorção de K e de N nos tratamentos limitantes desses nutrientes no solo isoladamente (Quadros 32 e 33).

Quadro 32. Eficiência da absorção de K das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
mg/cm ²					
1	229,50 A a	20,12 A a	35,18 A a	109,34 B a	70,63 A a
2	259,62 A a	53,44 A a	44,76 A a	174,08 B a	89,81 A a
3	216,18 A a	31,31 A a	32,72 A a	121,63 B a	94,08 A a
4	193,80 A a	23,85 A a	32,26 A a	217,28 B a	83,85 A a
5	195,97 A b	27,79 A b	41,44 A b	1099,72 A a	56,44 A b
6	203,43 A a	20,08 A a	34,94 A a	185,13 B a	51,48 A a
7	230,05 A a	24,65 A a	22,86 A a	119,72 B a	102,41 A a
8	480,71 A a	27,64 A b	32,90 A b	147,91 B b	61,78 A b
9	286,76 A a	29,01 A a	25,10 A a	212,73 B a	76,33 A a
10	213,08 A a	24,99 A a	30,77 A a	206,73 B a	62,62 A a
11	306,48 A a	31,95 A a	48,18 A a	234,48 B a	132,35 A a
Média	255,96 a	28,62 b	34,65 b	257,16 a	80,16 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 33. Eficiência da absorção de N das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
mg/cm ²					
1	251,41 A a	27,22 A a	217,72 A a	203,81 B a	41,35 A a
2	291,15 A a	78,39 A a	126,55 A a	236,67 B a	54,44 A a
3	242,07 A a	41,81 A a	197,49 A a	163,32 B a	55,17 A a
4	241,87 A a	36,74 A a	182,16 A a	284,78 B a	43,13 A a
5	194,27 A b	49,41 A b	249,41 A b	1154,79 A a	31,08 A b
6	288,69 A a	35,35 A a	256,56 A a	250,17 B a	32,36 A a
7	267,40 A a	39,27 A a	155,05 A a	175,34 B a	59,39 A a

8	508,50 A a	42,51 A a	196,90 A a	210,44 B a	40,09 A a
9	303,04 A a	50,84 A a	168,29 A a	276,96 B a	47,27 A a
10	217,97 A a	48,85 A a	253,22 A a	237,09 B a	30,33 A a
11	337,88 A a	54,20 A a	312,99 A a	295,18 B a	121,02 A a
Média	285,84 a	45,87 b	210,58 a	317,14 a	50,51 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

De modo geral, a eficiência de translocação (ET) de N e P das progênes de eucalipto foi influenciada pela condição nutricional, não havendo influência na translocação de K quando se restringiu a disponibilidade deste nutriente (Quadro 34, 35 e 36). Quando houve limitação de P ou de N no solo, houve redução na eficiência de translocação de P e de N das progênes de 8 e 15 %, respectivamente (Quadros 34 e 36).

As progênes se diferiram na eficiência de translocação de P quando houve restrição de P no solo, sendo as progênes 1, 2, 4, 6, 8, 9 e 11 as que apresentaram maior ETP e as progênes 3, 5, 7 e 10 as que apresentaram menor ETP (Quadro 34). Enquanto, para a ETK as progênes se diferiram quando houve a restrição de N, P e K em conjunto, sendo que as progênes 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10 e 11 foram as mais ETK (Quadro 35).

Quadro 34. Eficiência da translocação de P das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/ mg				
1	0,79 A a	0,80 A a	0,82 A a	0,79 A a	0,80 A a
2	0,76 A a	0,81 A a	0,79 A a	0,79 A a	0,73 B a
3	0,80 A a	0,78 A a	0,80 A a	0,72 B a	0,75 B a
4	0,78 A a	0,86 A a	0,81 A a	0,76 A a	0,76 B a
5	0,82 A a	0,73 A b	0,81 A a	0,66 B b	0,83 A a
6	0,83 A a	0,80 A a	0,84 A a	0,77 A a	0,79 A a
7	0,84 A a	0,85 A a	0,80 A a	0,68 B b	0,70 B b
8	0,80 A a	0,82 A a	0,84 A a	0,79 A a	0,72 B a
9	0,84 A a	0,81 A a	0,86 A a	0,78 A a	0,76 B a
10	0,84 A a	0,79 A a	0,84 A a	0,69 B b	0,74 B b
11	0,84 A a	0,86 A a	0,81 A a	0,76 A a	0,81 A a
Média	0,81 a	0,81 a	0,82 a	0,74 b	0,76 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 35. Eficiência da translocação de K das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/ mg				
1	0,77 A a	0,76 A a	0,78 A a	0,78 A a	0,83 A a
2	0,75 A a	0,82 A a	0,80 A a	0,73 A a	0,77 A a
3	0,74 A a	0,65 B b	0,76 A a	0,72 A a	0,75 A a
4	0,74 A a	0,75 A a	0,77 A a	0,73 A a	0,70 A a
5	0,79 A a	0,66 B b	0,79 A a	0,67 A b	0,79 A a
6	0,78 A a	0,77 A a	0,77 A a	0,80 A a	0,84 A a
7	0,79 A a	0,74 A a	0,75 A a	0,68 A a	0,74 A a
8	0,75 A a	0,76 A a	0,78 A a	0,71 A a	0,75 A a
9	0,79 A a	0,76 A a	0,82 A a	0,72 A a	0,80 A a
10	0,77 A a	0,79 A a	0,75 A a	0,72 A a	0,80 A a
11	0,77 A a	0,72 A a	0,74 A a	0,75 A a	0,82 A a
Média	0,77 a	0,74 b	0,77 a	0,73 b	0,78 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 36. Eficiência da translocação de N das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/ mg				
1	0,85 A a	0,77 A b	0,84 A a	0,87 A a	0,74 A b
2	0,80 A a	0,71 A b	0,76 A a	0,80 A a	0,69 A b
3	0,76 A a	0,75 A a	0,81 A a	0,77 A a	0,69 A a
4	0,82 A a	0,80 A a	0,82 A a	0,80 A a	0,70 A b
5	0,87 A a	0,68 A b	0,80 A a	0,75 A b	0,72 A b
6	0,85 A a	0,76 A b	0,86 A a	0,79 A b	0,70 A b
7	0,83 A a	0,81 A a	0,82 A a	0,74 A b	0,69 A b
8	0,80 A a	0,79 A a	0,83 A a	0,81 A a	0,69 A b
9	0,81 A a	0,75 A b	0,89 A a	0,87 A a	0,72 A b
10	0,81 A a	0,81 A a	0,84 A a	0,78 A a	0,60 A b
11	0,79 A a	0,72 A a	0,82 A a	0,81 A a	0,79 A a
Média	0,82 a	0,76 b	0,83 a	0,80 a	0,70 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A eficiência de utilização de N, de P e de K das progênes também foi influenciada pela condição nutricional imposta no experimento (Quadros 37, 38 e 39). Para P e K as progênes de eucalipto apresentaram maior eficiência de utilização, quando submetidas a condições limitantes desses macronutrientes, de modo geral. Houve aumento na eficiência de utilização de P e de K nas progênes de 68 e 260 %, respectivamente. O oposto foi verificado na eficiência de utilização de N, quando as plantas foram submetidas à limitação de N no solo, apresentando queda de 40% em relação ao tratamento completo.

As progênes de eucalipto se diferenciaram entre si na eficiência de utilização de P e de K, quando submetidas à condição de restrição de um destes dois nutrientes no solo. No tratamento que limitou o P no solo, as progênes 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 apresentaram maior eficiência de utilização de P e quando se limitou o K no solo, as progênes 1, 3, 5, 7, 10 e 11 apresentaram maior eficiência de utilização de K (Quadros 37 e 38).

Quadro 37. Eficiência da utilização de P total das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g^2/g				
1	11083 A a	6457 A a	13334 A a	11919 B a	2791 A a
2	18709 A a	8711 A a	13641 A a	22201 B a	4621 A a
3	15763 A a	19093 A a	14348 A a	18718 B a	3985 A a
4	17023 A b	7763 A b	12259 A b	30086 A a	3744 A b
5	15204 A b	12765 A b	15944 A b	48642 A a	2882 A b
6	14827 A b	8985 A b	7655 A b	29588 A a	1656 A b
7	14639 A b	7701 A b	11113 A b	28284 A a	3584 A b
8	19410 A a	9864 A a	8336 A a	17793 B a	3714 A a
9	17801 A b	12504 A b	8351 A b	30867 A a	3359 A b
10	22904 A b	7854 A c	8212 A c	38994 A a	3685 A c
11	16523 A b	11929 A b	15505 A b	31962 A a	3341 A b
Média	16717 b	10330 c	11700 c	28096 a	3397 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 38. Eficiência da utilização de K total das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Limitante

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
g ² / g					
1	1627 A b	1438 A b	11670 A a	1480 A b	812 A b
2	2642 A b	2429 A b	6109 B a	1607 A b	1267 A b
3	2512 A b	3121 A b	11913 A a	1370 A b	1076 A b
4	2646 A b	2615 A b	8884 B a	2130 A b	811 A b
5	2190 A b	3003 A b	13473 A a	3634 A b	711 A b
6	2756 A b	2364 A b	7595 B a	2220 A b	445 A b
7	2215 A b	2357 A b	9554 A a	2211 A b	891 A b
8	3224 A b	2365 A b	7180 B a	1433 A b	944 A b
9	2819 A b	3778 A b	6469 B a	2267 A b	890 A b
10	3682 A b	2848 A b	10118 A a	3141 A b	856 A b
11	2749 A b	3587 A b	11817 A a	3086 A b	732 A b
Média	2642 b	2719 b	9526 a	2234 b	858 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 39. Eficiência da utilização de N total das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
g ² / g					
1	1566 A a	960 A a	1508 A a	759 B a	1274 A a
2	2312 A a	1671 A a	2138 A a	1145 B a	2084 A a
3	2210 A a	2556 A a	1897 A a	1018 B a	1875 A a
4	2194 A a	1576 A a	1497 A a	1590 B a	1578 A a
5	2299 A a	1830 A a	2164 A a	3298 A a	1306 A a
6	2488 A a	1289 A a	1019 A a	1609 B a	725 A a
7	1916 A a	1531 A a	1491 A a	1489 B a	1509 A a
8	3235 A a	1471 A b	1132 A b	1070 B b	1464 A b
9	2858 A a	2202 A a	913 A a	1756 B a	1390 A a
10	3559 A a	1535 A b	1122 A b	2556 A a	1699 A b
11	2496 A a	2215 A a	1931 A a	2431 A a	1081 A a
Média	2467 a	1712 b	1528 b	1702 b	1453 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Atividade das enzimas nitrato redutase, glutamina sintetase, fosfatase ácida e ribonuclease em folhas e raízes das progênes de eucalipto

As atividades da nitrato redutase (NR), glutamina sintetase (GS), fosfatase ácida (APase) e ribonuclease (RNase) sofreram alteração de acordo com as condições nutricionais impostas às plantas via adubação (Quadros 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 e 47).

De modo geral, a limitação de N no solo afetou as atividades das enzimas NR nas folhas (houve aumento de 14% em relação ao controle) e da GS nas raízes (queda de 17% em relação ao controle) das progênes de eucalipto (Quadros 40 e 43).

Houve diferenciação das progênes na atividade da NR nas raízes quando houve limitação de N no solo. A maior atividade da NR na raiz ocorreu no tratamento com limitação de N na progênie 11 (Quadro 41).

A atividade da glutamina sintetase (GS) na folha não foi influenciada pela condição nutricional imposta (Quadro 42). A diferenciação das progênes para a atividade da GS nas folhas ocorreu nos tratamentos completo, o grupo das progênes com maior atividade da GS em folhas foi 2, 3 e 6.

Quadro 40. Atividade do nitrato redutase (NR) em folhas das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	$\mu\text{mol min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{proteína}$				
1	281,57 A a	354,87 A a	356,11 B a	295,5 A a	389,36 A a
2	300,67 A b	239,64 A b	666,50 A a	241,03 B b	214,10 A b
3	289,11 A a	311,02 A a	277,42 B a	243,25 B a	341,67 A a
4	318,58 A a	252,99 A a	300,95 B a	338,36 A a	239,17 A a
5	285,21 A a	191,69 A a	412,84 B a	307,44 A a	332,93 A a
6	326,85 A a	403,62 A a	252,13 B b	203,09 B b	429,59 A a
7	224,36 A a	303,41 A a	341,74 B a	237,83 B a	377,22 A a
8	242,74 A b	419,09 A a	179,07 B b	182,64 B b	245,90 A b
9	307,86 A a	250,94 A a	260,19 B a	410,73 A a	329,13 A a
10	285,88 A a	343,90 A a	406,49 B a	254,38 B a	309,23 A a
11	242,23 A a	284,50 A a	328,26 B a	399,43 A a	318,84 A a
Média	282,28 b	305,06 b	343,79 a	283,06 b	320,65 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 41. Atividade da nitrato redutase (NR) em raízes das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
μmol min ⁻¹ g ⁻¹ proteína					
1	49,18 A b	96,02 A a	46,59 A b	24,17 B b	33,59 B b
2	65,26 A a	44,88 A a	49,38 A a	52,38 B a	45,00 B a
3	49,36 A a	48,43 A a	72,64 A a	41,72 B a	56,44 B a
4	53,00 A a	54,84 A a	42,58 A a	46,14 B a	51,87 B a
5	46,62 A a	58,26 A a	55,75 A a	55,31 B a	39,91 B a
6	73,89 A a	55,24 A a	40,99 A a	39,75 B a	39,32 B a
7	60,64 Aa	56,98 A a	58,92 A a	41,87 B a	41,58 B a
8	52,08 A b	51,07 A b	47,07 A b	102,49 A a	39,38 B b
9	46,44 A a	50,71 A a	49,92 A a	55,54 B a	35,57 B a
10	39,98 A a	60,13 A a	40,66 A a	41,09 B a	51,77 B a
11	56,18 A b	64,38 A b	52,52 A b	47,22 B b	110,18 A a
Média	53,88 a	49,51 a	58,27 a	50,64 a	49,79 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 42. Atividade da glutamina sintetase (GS) em folhas das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
μmol mg ⁻¹ min ⁻¹ proteína					
1	2,99 B b	4,40 A a	2,45 B b	2,58 B b	2,62 A b
2	4,66 A a	2,65 A b	3,40 A b	2,3 B b	4,20 A a
3	3,87 A a	4,01 A a	3,08 B a	2,87 B a	3,95 A a
4	3,07 B a	3,30 A a	4,29 A a	3,98 A a	3,23 A a
5	2,75 B a	2,40 A a	2,97 B a	3,77 A a	3,73 A a
6	4,71 A a	4,14 A a	3,75 A a	3,39 B a	3,88 A a
7	2,96 B a	2,96 A a	2,93 B a	2,78 B a	3,64 A a
8	2,27 B b	4,56 A a	1,97 B b	2,22 B b	3,26 A a
9	2,79 B b	3,12 A b	4,57 A a	5,02 A a	3,92 A a
10	3,39 B a	3,59 A a	3,79 A a	2,91 B a	3,73 A a
11	2,96 B a	3,36 A a	2,33 B a	2,77 B a	3,86 A a
Média	3,31 a	3,50 a	3,23 a	3,14 a	3,64 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A condição nutricional imposta no solo influenciou a atividade da GS na raiz, sendo que a menor atividade foi observada no tratamento com limitação de N com queda de 17% em relação ao tratamento completo (Quadro 43).

Quadro 43. Atividade da glutamina sintetase (GS) em raízes das progênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	$\mu\text{mol mg}^{-1} \text{min}^{-1} \text{proteína}$				
1	6,56 A b	9,12 A a	6,35 B b	4,27 B b	4,82 A b
2	6,87 A a	5,53 A a	5,76 B a	7,09 A a	6,97 A a
3	6,55 A a	6,74 A a	8,84 A a	5,43 B a	7,02 A a
4	7,38 A a	7,46 A a	5,84 B a	6,47 B a	6,76 A a
5	5,71 A a	7,02 A a	6,52 B a	7,69 A a	4,66 A a
6	7,22 A a	7,71 A a	5,67 B b	5,61 B b	4,92 A b
7	8,15 A a	7,19 A a	8,76 A a	5,48 B b	5,08 A b
8	6,30 A b	7,46 A b	6,32 B b	9,61 A a	5,79 A b
9	6,08 A a	6,95 A a	6,90 B a	7,55 A a	5,37 A a
10	6,52 A a	7,12 A a	5,74 B a	5,03 B a	5,89 A a
11	7,17 A a	6,21 A a	7,58 A a	5,88 B a	4,67 A a
Média	6,77 a	7,14 a	6,75 a	6,37 a	5,63 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A atividade da fosfatase ácida (APase) tanto na raiz quanto na folha, de modo geral, foi influenciada pela condição nutricional imposta durante a condução do experimento (Quadro 44 e 45). Nas folhas as maiores atividades da APase foram observadas nos tratamentos com limitação de N, P e K em conjunto (aumento de 50%) e limitação de P (aumento de 2%) (Quadro 44). Nas raízes as maiores atividades da APase foram observadas nos tratamentos com limitação de N, P e K em conjunto (aumento de 16%) e limitação de P (aumento de 28%) (Quadro 45). A atividade da APase nas folhas foi maior que nas raízes (Quadros 44 e 45).

As progênes se diferenciaram quanto à atividade da APase em folhas no tratamento com limitação de N, P e K em conjunto (Quadro 44). No tratamento com limitação de N, P e K em conjunto observa-se que o grupo das progênes com maior atividade de APase nas folhas é formado pela 2, 5 e 7 (Quadro 44).

Quadro 44. Atividade da fosfatase ácida (APase) em folhas dasprogênes de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	$\text{nmol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{proteína}$				

1	151,78 A a	175,66 B a	170,71 A a	180,80 A a	138,89 B a
2	147,05 A a	287,67 A a	154,59 A a	169,94 A a	178,18 B a
3	189,26 A a	231,75 B a	119,65 A a	170,73 A a	115,80 B a
4	111,64 A a	243,12 B a	135,96 A a	142,63 A a	229,84 A a
5	168,07 A b	315,71 A a	109,12A b	124,07 A b	290,68 A a
6	126,13 A a	113,96 B a	153,87 A a	200,13 A a	87,82 B a
7	108,07 A c	424,57 A a	77,00 A c	246,94 A b	229,33 A a
8	230,43 A a	213,14 B a	137,42 A a	138,86 A a	269,98 A a
9	106,19 A a	250,00 B a	145,80 A a	149,52 A a	164,89 B a
10	194,64 A b	192,90 B b	137,47 A b	144,54 A b	336,36 A a
11	234,36 A a	196,48 B a	125,26 A a	130,80 A a	216,84 A a
Média	160,69 b	240,45 a	133,35 b	163,54 a	205,33 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 45. Atividade da fosfatase ácida (APase) em raízes das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	nmol min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína				
1	33,32 A b	30,53 B b	30,01 A b	89,14 A a	43,34 A b
2	40,90 A a	32,58 B a	37,61 A a	33,83 B a	48,45 A a
3	22,08 A a	55,17 A a	38,93 A a	36,69 B a	30,30 A a
4	37,18 A a	32,82 B a	30,94 A a	38,31 B a	49,88 A a
5	31,83 A a	54,89 A a	26,80 A a	27,69 B a	38,88 A a
6	23,55 A a	23,53 B a	48,90 A a	27,84 B a	39,17 A a
7	26,17 A a	48,82 A a	22,45 A a	42,60 B a	49,86 A a
8	37,75 A b	72,64 A a	29,30 A b	52,17 B a	30,33 A b
9	52,14 A a	55,07 A a	45,39 A a	52,54 B a	50,54 A a
10	57,64 A a	32,7 B b	21,23 A b	74,92 A a	63,66 A a
11	43,22 A a	30,22 B a	28,86 A a	43,14 B a	27,38 A a
Média	36,89 b	42,63 a	32,77 b	47,17 a	42,89 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A intensidade da atividade da ribonuclease (RNase) nas folhas foi maior do que a observada nas raízes (Quadros 46 e 47). A atividade da RNase nas folhas foi maior nos tratamentos: completo, no - (NPK) (aumento de 7%) e no - (P) (redução de 32%) (Quadro 46).

A diferenciação das progênies, em relação à atividade da RNase nas folhas, ocorreu nos tratamentos completo e com limitação de N, P e K em conjunto (Quadro 29).

No tratamento completo, o grupo das progênies com maior atividade da RNase nas folhas foi a 2, 3, 10 e 11 e no tratamento com limitação de N, P e K em conjunto foi nas progênies 2, 3, 5, 8, 9, 10 e 11. Apesar das progênies não terem diferenciado para RNase nas folhas, no tratamento com limitação de P no solo, as progênies 5, 9 e 10 apresentaram atividade superior às demais.

A atividade da RNase nas raízes das progênies de eucalipto foi maior nos tratamentos completo, com limitação de N, P e K em conjunto (redução de 10%) e com limitação de P (redução de 12%) (Quadro 47).

A diferenciação das progênies, em relação à atividade da RNase nas raízes, ocorreu no tratamento com limitação de N, P e K em conjunto, onde as progênies 1, 2 e 4 foram as que apresentaram maior atividade da RNase nas raízes (Quadro 47).

Quadro 46. Atividade da ribonuclease (RNase) em folhas das progênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	Unidade $\text{min}^{-1}\text{g}^{-1}\text{proteína}$				
1	3178 B a	2633 B a	2461 A a	2137 A a	1626 C a
2	4861 A a	4623 A a	2302 A b	2152 A b	2921 B b
3	4110 A a	3676 A a	1737 A b	1739 A b	1452 C b
4	2187 B a	3265 B a	2747 A a	2094 A a	3851 B a
5	2653 B b	4460 A a	1673 A b	2910 A b	5516 A a
6	2315 B a	2239 B a	1784 A a	1895 A a	3405 B a
7	3216 B b	2678 B b	1944 A b	1670 A b	5543 A a
8	3049 B a	4446 A a	1026 A b	1655 A b	4494 A a
9	3325 B b	4604 A a	2068 A b	4163 A a	3161 B b
10	4187 A b	3602 A b	1861 A b	3071 A b	6251 A a
11	4905 A a	4315 A a	1861 A b	2279 A b	3673 B a
Média	3453 a	3686 a	1951 b	2342 b	3808 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

Quadro 47. Atividade da ribonuclease (RNase) em raízes dasprogênies de eucalipto submetidas a diferentes condições nutricionais

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	Unidade $\text{min}^{-1}\text{g}^{-1}\text{proteína}$				

1	1338 A a	1824 A a	1254 A a	1166 A a	1160 A a
2	1860 A a	1515 A a	1135 A a	1190 A a	1212 A a
3	1144 A a	1203 B a	874 A a	966 A a	973 A a
4	1259 A a	1569 A a	905 A a	991 A a	919 A a
5	1234 A a	1072 B a	1244 A a	960 A a	830 A a
6	903 A b	1118 B b	974 A b	1631 A a	823 A b
7	1422 A a	1096 B a	998 A a	1258 A a	766 A a
8	1405 A a	975 B a	1154 A a	1571 A a	814 A a
9	1215 A a	1138 B a	1043 A a	956 A a	760 A a
10	1411 A a	808 B b	1904 A a	969 A b	928 A b
11	1441 A a	866 B a	1078 A a	1204 A a	855 A a
Média	1330 a	1199 a	1142 a	1169 a	913 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

DISCUSSÃO

As progênies de eucalipto diferiram entre si na eficiência de absorção de P (EAP), quando houve limitação desse nutriente no solo, sendo a progênie 5 a que apresentou maior EAP. Segundo BARROS; NOVAIS; NEVES(1990), a alta eficiência de absorção otimiza a recuperação dos fertilizantes aplicados, sobretudo dos pouco solúveis, sendo de maior interesse nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento do eucalipto.

De modo geral, houve uma queda, em média, de 51% na absorção do nutriente em relação ao tratamento completo, enquanto a biomassa total teve queda de 25% nesta mesma condição nutricional (Quadros 14, 15 e 31). Resultados coincidentes com estes foram encontrados nos trabalhos de MACHADO; FURLANI(2004) e MACHADO; FURLANI; MACHADO (2001), nos quais ficou demonstrado que a eficiência de absorção de P na cultura do milho foi maior quando houve condições ideais de P no solo, em comparação com a condição em que havia restrição de P no solo. Também no trabalho de FERNANDES (2013), com clones de eucalipto cultivados em solução nutritiva completa ou com condição de omissão e ressuprimento de P na solução nutritiva, a absorção de P foi negativamente afetada neste último tratamento.

As progênies 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 apresentaram maior eficiência de utilização de P (EUP), no solo com limitação de P, sendo que a progênie 5 apresentou também maior

eficiência na absorção de P neste tratamento (Quadros 31 e 37). Verifica-se essas progênies não diferi entre si em área foliar específica, diferenciando no comprimento radicular, com as progênies 7, 9 e 10 apresentando maior valor dessa característica fato que favorece a maior exploração do volume de solo. O comprimento radicular é relevante na absorção de água e nutrientes, pois plantas que possuem maior comprimento radicular conseguem explorar um maior volume de solo e essa capacidade se torna mais importante quando ocorre limitação nutricional e/ou hídrica, podendo facilitar a absorção de nutrientes que são transportados por difusão (BERGMANN, 1992; CAMACHO et al., 2002). Características morfológicas do sistema radicular podem explicar a diferença existente em materiais genéticos na absorção e, posteriormente, na translocação, acúmulo e eficiência nutricional (PINTO, 2009; PINTO et al., 2011; SANES et al., 2013).

As progênies com maior EUP apresentaram comportamentos distintos em relação a produção de biomassa e a relação raiz:parte aérea (Quadros 14, 15 e 16). As progênies 5, 9 e 11 apresentaram maior massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) e da relação entre raiz e a parte aérea (R/PA), ou seja, mesmo apresentando maior massa de matéria seca da parte aérea, isto não foi suficiente para promover menor relação entre raiz e parte aérea, o que indica que essas progênies direcionaram seus fotoassimilados para a produção de um sistema radicular com maior quantidade de carbono. Segundo CAIONE; LANGE; SCHONINGER (2012), a massa de matéria seca das raízes tem sido reconhecida como uma das melhores e importantes variáveis relacionadas à sobrevivência e ao crescimento inicial das mudas no campo. Em geral, quanto mais abundante for o sistema radicular maior é a sobrevivência das mudas no campo. As progênies 6 e 10 exibiram maior massa de matéria seca da parte aérea e de raiz ficando a relação raiz: parte aérea baixa, sugerindo que seus fotoassimilados foram direcionados para a construção de uma parte aérea maior em relação ao sistema radicular. A progênie 4 apresentou maior MSPA e menor MSR e relação entre R/PA, enquanto a progênie 7 apresentou menor MSPA e maior MSR e relação R/PA, assim das progênies com maior EUP somente a progênie 7 que apresentou menor MSPA. Do ponto de vista nutricional e de economia de P, o ideal seria a progênie com maior biomassa da parte aérea, eficiente na absorção e utilização de P, como observado para a progênie 5.

As progênies não se diferenciaram no acúmulo de P na parte aérea, mas sim na raiz, sendo as progênies 5, 10 e 11 as que apresentaram maior acúmulo desse nutriente nas raízes e por conseguinte as progênies 5 e 10 apresentaram também menor eficiência

de translocação de fósforo (ETP). A maior eficiência de translocação de nutrientes para a parte aérea permite suprimento dos nutrientes aos sítios fotossinteticamente ativos da planta, e, segundo ABICHEQUER; BOHNEN(1998), é influenciada pelo estado nutricional das células da raízes pela taxa de transpiração dos genótipos, o que é respaldado pelos trabalhos de BIELESKI (1973) e MARSCHNER (1995), que acrescentam que plantas deficientes retêm mais fósforo na raiz para investir em um sistema radicular que explore mais o solo, a fim de compensar a limitação de P no solo. As progênies 4, 6, 8, 9 e 11, que foram as mais eficientes na utilização de P, apresentaram também maior eficiência na translocação de P, enquanto, as progênies 5, 7 e 10 menor ETP.

Em condições de menor disponibilidade de P no solo, as progênies de eucalipto apresentaram menores acumulos de P quando comparado com o tratamento completo, fato relatado em outros trabalhos (ABICHEQUER; BOHNEN, 1998; DA SILVA et al., 2012; SILVA, 2013).

Em condição de limitação de P no solo, as progênies apresentaram menor teor de P e conteúdo de P tanto nas folhas quanto nas raízes e maior atividade de APase em folhas e raízes, de modo geral (Quadros 19, 20, 25, 26, 44 e 45). As fosfatases têm a função de hidrolisar moléculas que contem P e liberar P_i para o metabolismo (DUFF; SARATH; PLAXTON, 1994). Sob condição de baixo teor de P_i celular na raiz, esta enzima mantém o teor de P_i citoplasmático mais elevado por meio da desforilação de compostos orgânicos e/ ou P-monoesteres (NANAMORI et al., 2004; SCHACHTMAN; REID; AYLING, 1998; YAN et al., 2001). As plantas superiores para manter a homeostase utilizam mecanismos internos para sinalizar condições de limitação de P. Um desses mecanismos é a concentração de P_i no citoplasma e no vacúolo. Quando a planta se encontra em condições limitantes de P, o P_i no citoplasma mantém-se constante em detrimento do P_i do vacúolo, que tampona o P_i citoplasmático permitindo a regulação de etapas metabólicas no citoplasma e nos cloroplastos (RAUSCH; BUCHER, 2002). Segundo FOYER; SPENCER(1986), o vacúolo funciona como reservatório não metabólico e, quando as plantas estão bem nutridas em P, aproximadamente 90% do P_i estão contidos no vacúolo. Em condição de limitação de P pouco P_i está presente nesta organela.

No presente trabalho, as trocas gasosas das progênies de eucalipto não foram afetadas pela restrição de P no solo, pois a taxa fotossintética líquida neste tratamento foi

maior que no tratamento completo, com gs e a relação Ci/Ca altas. Os parâmetros que indicam a fluorescência da clorofila *a* apresentaram condições normais corroborado pela alta relação entre chl *a/b* e chl (*a+b*)/*cartenoides*. Assim, no tratamento -(P) essas progênies foram mais eficientes na utilização deste nutriente, acumulando menor quantidade de P total, mantendo as trocas gasosas em níveis normais. Portanto, a maior atividade de APase nas folhas e raiz no tratamento -(P) esteve aliada à maior eficiência de uso de P, possivelmente pela maior remobilização de Pi no interior da planta.

Outros mecanismos de adaptação das plantas para melhor a eficiência no uso de P, em condições limitadas desse nutriente, foram verificados no trabalho de NANAMORI et al.(2004), que estudaram mecanismos de tolerância de P no híbrido de *Brachiaria* e de arroz. Esses autores concluíram que a baixa demanda de P nessas plantas está relacionada a diferenças na reciclagem de P e no metabolismo de carbono. Na *Brachiaria* aumento do uso de P decorreu da indução da APase e RNase e pelo aumento do catabolismo do açúcar e posterior síntese de aminoácidos e ácidos orgânicos em folhas. Ainda neste trabalho, os autores mostraram que em condições de baixa disponibilidade de P, plantas de *Brachiaria* e arroz apresentaram maior atividade de fosfohidrolases, que estariam associadas a maiores taxas de remobilização e utilização eficiente do nutriente. Assim, em condições de deficiência, as plantas utilizam mecanismos que ativam a desfosforilação de compostos orgânicos, de forma que o P disponibilizado seja utilizado na manutenção do metabolismo celular de regiões meristemáticas (NANAMORI et al., 2004; RAGHOTHAMA, 1999).

O uso da atividade da fosfatase ácida (APase) foi um bom biomarcador para ser utilizado para verificar o *status* nutricional de P das onze progênies de eucalipto. Quando houve a limitação de P no solo, as progênies apresentaram, de modo geral, redução do teor de P nas folhas e nas raízes e maior atividade APase nestes compartimentos e, conseqüentemente, apresentaram maior EUP, em relação ao tratamento completo. Portanto, quedas nos teores de P nas folhas e nas raízes levam a maior atividade de APase neste compartimento e maior eficiência de utilização de P. O mesmo resultado não foi observado para a atividade da RNase nas folhas e raízes (Quadros 19, 20, 37, 44, 45, 46 e 47). Alguns trabalhos confirmam o aqui encontrado em que a limitação de P no solo aumentou a atividade das fosfatases, fato este observado em outras culturas (BOZZO; DUNN; PLAXTON, 2006; NANAMORI et al., 2004; NUNES et al., 2008), onde o aumento da atividade dessa enzima facilitou a reciclagem de P, e as maiores

atividades foram relacionadas a maiores EUP (NANAMORI et al., 2004). O controle da atividade destas enzimas se dá, principalmente, pela concentração de Pi, sendo que maiores atividades das fosfohidrolases são observadas quando há menores suprimentos de P (HAMMOND; BROADLEY; WHITE, 2004; NANAMORI et al., 2004; RAGHOTHAMA, 1999), o que corrobora com os dados obtidos neste trabalho.

O RNA é o principal reservatório de P orgânico nas plantas, em geral, em torno de 60 % (VENEKLAAS et al., 2012). Segundo LAMBERS et al. (2012), níveis mais baixos de proteína são, pelo menos em parte, uma consequência do menor investimento de P no RNA ribossômico, que seria responsável para a alta eficiência fotossintética no uso do P, além de baixos níveis de fosfolipídios. Assim, uma possível explicação para a baixa atividade de RNase nas folhas e nas raízes das progênies de eucalipto, inclusive naquelas que apresentaram maior eficiência de utilização de P, é que essas progênies podem ter apresentado mecanismos que levassem ao menor investimento em RNA para otimizar o P em rotas metabólicas com maior demanda, implicando menor atividade de RNase, já que a concentração de RNA já era baixa. Este processo contribuiria com a maior eficiência de uso de P encontrado neste trabalho. Contudo, não foi avaliada a concentração de RNA nas progênies neste estudo.

A menor eficiência de utilização de P nas progênies, cultivadas no solo com restrição desse nutriente, foi encontrada nas progênies 1, 2, 3 e 8 (Quadro 37). Essa menor eficiência no uso de P foi em razão do menor crescimento tanto da parte aérea como do sistema radicular, redundando em menor biomassa total. Por outro lado, o acúmulo de P na raiz foi menor e não houve diferença na quantidade de P na parte aérea de todas as progênies, indicando que elas acumularam P, mas não converteram diferentemente o nutriente em biomassa. Assim, essas quatro progênies apresentaram uma redução média de 38 e 48 % na produção de biomassa total e na eficiência de uso de P, respectivamente, quando comparadas com as progênies de maior biomassa e mais eficientes na utilização de P, neste tratamento.

Corroborando essa baixa eficiência no uso de P nas progênies 1, 2, 3 e 8 na condição de limitação de P no solo, as progênies 1, 2 e 8 apresentaram sistema radicular com característica incompatível com a adaptação à condição de limitação nutricional, expressa por menor comprimento radicular, além da menor relação entre raiz e parte aérea. Portanto, fica evidente a baixa absorção de P por essas progênies, o que teria

resultado em insuficiência de P para o crescimento das plantas em taxa normal. Apesar da alta eficiência na translocação de P para parte aérea, o seu teor não teria sido suficiente para atender à demanda de crescimento. Por consequência, eficiência de uso de P não foi alta em razão da relativa pequena quantidade de biomassa. A progênie 3 apresentou as mesmas características, com exceção da menor eficiência na translocação de P e maior relação entre raiz e parte aérea. Fica aparente, assim, que essas progênies têm estratégias diferentes quanto à dinâmica interna de P.

A restrição na disponibilidade de potássio no solo (tratamento -(K)) reduziu de modo similar o acúmulo de K (84%) e produção de biomassa (25%) das progênies (Quadros 14, 15 e 32) e não houve diferenças entre elas na produção de biomassa, eficiência de absorção, translocação e acúmulo de K na parte aérea e na raiz. Essa similaridade pode estar relacionada com o fato de o K não estar presente na estrutura de qualquer composto na planta e por sua grande mobilidade interna. Isso, de certo modo, é reforçado pelo fato de as progênies terem se diferenciado quanto à eficiência de utilização de K, indicando que algumas delas teriam apresentado ligeiras diferenças na alocação do nutriente tendo em vista a similaridade na produção de biomassa (Quadros 14, 15 e 38).

As progênies 1, 3, 5, 7, 10 e 11 apresentaram maior eficiência de utilização de K (EUK) em condição restrita desse nutriente no solo (Quadro 38). Essas progênies apresentaram maior relação entre raiz: parte aérea e comprimento radicular, com exceção da progênie 10, indicando que elas direcionaram seus fotoassimilados para o desenvolvimento de um sistema radicular e exploração de um maior volume de solo, em relação as demais progênies. Características morfológicas do sistema radicular podem explicar a diferença existente em materiais genéticos na absorção de nutrientes (PINTO, 2009; PINTO et al., 2011; SANES et al., 2013). Este fato foi confirmado neste trabalho, no qual as diferenças no comprimento radicular foram mais relevantes para explicar a diferença das progênies 1, 3, 5, 7 e 11 quanto a maior eficiência de utilização de K (Quadros 17 e 38).

As progênies com maior EUK não diferiram entre si na área foliar específica e nas trocas gasosas, enquanto, apresentaram diferença na forma de dissipação de energia e nos pigmentos responsáveis pela coleta de energia (Quadros 9, 10 e 12). As progênies 1 e 5 dissiparam mais energia na forma de calor do que na forma de fluorescência, já nas progênies 3, 7 e 11 ocorreu de forma contrária ao observado nas duas últimas progênies

citadas. Por outro lado, a progênie 10 apresentou a dissipação dessas duas formas de energia de forma semelhante. Em relação aos pigmentos fotossintéticos verifica-se que as progênies 1, 3, 10 e 11 apresentaram maior relação entre Chl (a+b)/carotenoides, ou seja, apresentam menor dano nos pigmentos coletores de energia mais ativos que são as clorofilas a e b, já que o teor de clorofilas (a+b) foi maior que o teor dos pigmentos acessórios que são os carotenoides. Já as progênies 5 e 7 apresentaram menor relação entre Chl (a+b)/carotenoides, indicando que nessas progênies houve maior produção de pigmentos acessórios para ajudar no recebimento e dissipação da energia, pois o teor de clorofila (a+b) foi menor.

Já as progênies 2, 4, 6, 8 e 9, que apresentaram menor eficiência no uso de K, no tratamento com limitação de K no solo, também não diferiram das demais em relação à eficiência de translocação de K, eficiência de absorção de K, biomassa da parte aérea e da raiz e no acúmulo de K. As progênies 2 e 4 apresentaram maior relação entre raiz e parte aérea, ou seja, direcionaram proporcionalmente mais de suas reservas para o sistema radicular, o que favorece a exploração de maior volume de solo e eventual maior absorção do nutriente. Alinhado com isso, as progênies apresentaram maior comprimento radicular, entretanto, essas alterações não foram suficientes para aumentar a eficiência de absorção e de utilização de K. Já as progênies 6 e 9 apresentaram menor relação entre raiz/ parte aérea e menor comprimento radicular, o que poderia indicar que elas não se adaptaram à condição de limitação de K. E, por fim, a progênie 8 apresentou maior relação entre raiz e parte aérea, mas com comprimento de raiz menor.

O comprimento radicular foi mais afetado quando as progênies foram submetidas à limitação de K no solo, e permitiram distinguir aquelas que tiveram maior ou menor eficiência nutricional de K. Uma das explicações da variabilidade genética existente entre espécies está relacionada à distinta capacidade de adaptação a condições adversas no solo. As características morfológicas mais citadas na literatura, como adaptações a essas condições adversas são: o comprimento radicular, o volume radicular, o diâmetro médio radicular, a área superficial de raiz (NAVROSKI et al., 2010; VIERA; SCHUMACHER; LIBERALESSO, 2012). Assim, este resultado mostra a importância deste nutriente na fase de muda das progênies de eucalipto devido às alterações nos caracteres morfológicos, a fim de compensar explorar maior volume de solo e absorver mais o nutriente em áreas que não estavam sendo exploradas.

A eficiência de utilização de um determinado nutriente pode variar à medida que sua disponibilidade no solo seja modificada; em geral a eficiência de uso do nutriente pela planta aumenta com a redução de sua disponibilidade no solo (BARROS et al., 1986). BARROS; NOVAIS; NEVES (1990) relatam que a alta eficiência para um dado nutriente pode não estar associada à alta eficiência para os demais nutrientes. Essas informações relatadas por esses autores são confirmadas neste trabalho, pois a eficiência de utilização de P e de K foi maior quando houve a restrição desses nutrientes no solo, além de que nem sempre as progênies que foram eficientes no uso de P foram também eficientes no uso de K (Quadros 37 e 38).

É importante ressaltar, que as progênies 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11, que apresentaram maior eficiência de utilização de P, também apresentaram maior massa de matéria seca total, enquanto, as progênies 1, 3, 5, 7, 10 e 11, com maior eficiência de uso de K, não apresentaram diferença em relação à biomassa produzida. É relevante destacar, que as progênies 5, 7, 10 e 11 foram mais eficientes no uso tanto de P quanto de K, em condições de limitação desses nutrientes no solo.

A limitação de nitrogênio no solo foi acarretou maiores redução na produção de massa de matéria seca na parte aérea e na raiz das progênies de eucalipto, assim como as demais características das progênies avaliadas. No tratamento que houve a limitação de N, P e K em conjunto no solo, os valores das características analisadas sempre foram iguais ou próximos daqueles de quando houve a limitação só de N no solo. Esses resultados reafirmam a maior demanda das plantas por N, comparativamente a P e K (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Quando houve limitação de N no solo, as progênies de eucalipto não apresentaram diferença entre si tanto no crescimento, acúmulo de N, eficiência de absorção (EA) e utilização (EU) de N (Quadros 14, 15, 29, 30, 33 e 39). Experimentos conduzidos em condições de campo têm demonstrado resposta pequena ou nula à aplicação de N (LIMA; SOUSA, 2014; SGARBI et al., 1999) ao contrário do que tem sido observado em condições de casa de vegetação (FERNANDES, 2013; PINTO et al., 2011; LOCATELLI et al., 1984). Essas diferenças de respostas nesses dois ambientes podem ser explicadas por diferenças na dinâmica do N, pelo volume de substrato explorado pelas raízes e demanda temporal das plantas pelo nutriente. Em condições de campo, a taxa decomposição da matéria orgânica no solo segue ritmo diferente em razão

da disponibilidade de umidade e temperatura, entrada de N no sistema, seja pelas chuvas ou decomposição da serapilheira, fixação simbiótica, etc (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

Apesar da não distinção entre as progênes na EAN e na EUN na restrição de N, foi neste tratamento que as progênes apresentaram os maiores valores de área de superfície específica de raízes, sendo a progênie 8 a que apresentou maior valor dessa característica em relação as demais progênes nesta condição nutricional imposta. Assim, estes resultados indicam que sob baixa disponibilidade de N, o aumento da superfície específica radicular pode ser uma estratégia adaptativa para aumentar a absorção de N, já que no tratamento completo os valores dessa características nas progênes foram menores. Porém, esse aumento não foi o suficiente para elevar a EAN.

De modo geral, com restrição de N no solo, as progênes apresentaram quedas de 13% na superfície específica foliar e de 39 % na taxa fotossintética líquida (*A*). Queda na fotossíntese devido à limitação de N foi encontrada em diversos trabalhos (BIEMOND; VOS, 1992; CECHIN; DE; FUMIS, 2004; HOSSAIN; TALIB, 2010; TÓTH et al., 2002). Segundo ARAUJO; JUNIOR (2013), a área foliar de uma planta é influenciada por fatores do ambiente de crescimento, como a condição hídrica, a temperatura do ar e a fertilidade do solo, e pela própria variação genotípica. A influência da condição nutricional na área foliar foi mostrada nos trabalhos de WIEDENFELD; ENCISO (2008), nos quais o aumento do índice de área foliar de cana-de-açúcar irrigada aconteceu quando elevaram a dose de nitrogênio, e no trabalho de GIMENEZ; CONNOR; RUEDA (1994) que demonstraram maior crescimento da parte aérea da planta de girassol em resposta a níveis de nitrogênio durante a fase vegetativa, com maior interceptação da radiação solar devido ao aumento da área foliar. Contudo, em nosso trabalho, a queda expressiva na *A* foi também pelo dano fotoquímico causado ao aparato fotossintético, visto não ter havido limitação estomática (g_s e a relação C_i/C_a mantiveram-se normais), possivelmente pelo baixo acúmulo de N na planta. As progênes apresentaram queda de 37% na taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) do fotossistema II, 50 % no rendimento quântico efetivo do FSII, dissipando o excesso de energia mais na forma de calor em relação a de fluorescência. Os resultados de pigmentos confirmam o dano no aparato fotossintético já que as relações entre Chl *a/b* e Chl (*a+b*)/carotenoides foi baixa, ou seja, as progênes foram capazes de produzir maior teor de chl *b* e de carotenoides, o que implica em maior dano no fotossistema II das progênes de eucalipto. Os carotenoides

e a chl b atuam como pigmento auxiliar à Chl a, evitando sua degradação em caso de estresse oxidativo. Resultados semelhantes estes foram registrados em diversos trabalhos na literatura, indicando também uma limitação na fase fotoquímica e bioquímica da fotossíntese sob condição de estresse abiótico (FERNANDES, 2013; JOLIOT; JOLIOT, 2006; LU; ZHANG, 2000; MÜLLER, 2011; SHANGGUAN; SHAO; DYCKMANS, 2000).

Segundo HIKOSAKA (2004), o acúmulo de nitrogênio foliar não só é fortemente relacionado com a capacidade fotossintética, como também com outras características relacionadas à fotossíntese, como a capacidade de carboxilação e a taxa de transporte de elétrons. No trabalho realizado por GRASSI et al. (2002), os autores concluem que o nitrogênio é o grande determinante da capacidade fotossintética de *E. grandis*, o que se justifica pelo fato de aproximadamente 50% do N fotossintético ser utilizado para constituir a Rubisco, que é a enzima mais abundante e importante da fotossíntese (ONODA; HIKOSAKA; HIROSE, 2004). Segundo WARREN; CHEN; ADAMS(2000), o *Eucalyptus* aloca comparativamente uma grande proporção de N para a Rubisco. Portanto, os teores e relações entre estes pigmentos estão ligados à capacidade fotossintética das plantas, e servem como indicadores de situações de estresse (HENDRY; PRICE, 1993).

O N é o nutriente que mais influencia no teor das clorofilas, pois até cerca de 80 % do N encontram-se nos cloroplastos (LANGSDORF et al., 2000). Assim, limitações de N levam à diminuição fotossintética, seja pelo menor teor de clorofila e rubisco, seja pela menor capacidade da planta em resistir a estresses oxidativos (BUNGARD et al., 1997). A desestruturação de pigmentos dos complexos fotossintéticos promove alteração no transporte de elétrons, ocasionando diminuição na taxa de assimilação líquida de CO₂ e, com isso, perda da capacidade de fixação de carbono nos cloroplastos (DESIMONE; HENKE; WAGNER, 1996; DUBEY; MISHRA, 2005).

O elevado dano causado nas progênies de eucalipto em função da restrição de N no solo, como citado acima, pode ser explicado em parte também pela demanda de N exigida de acordo com o estágio vegetativo que a planta se encontra. Essa flutuação durante o ciclo de vida da planta é, em parte, explicada pela disponibilidade de N no solo e por fatores inerentes à planta, que podem ter papel relevante nesse processo. Entre esses, BREDEMEIER; MUNDSTOCK (2000) sugeriram os mecanismos do ciclo de

aminoácidos e o suprimento de carboidratos às raízes. O mecanismo proposto por IMSANDE; TOURAINE(1994) prevê que o nível de aminoácidos no floema da raiz regula a absorção e a assimilação de nitrogênio pela planta, e durante o rápido crescimento vegetativo as taxas de redução de nitrato e síntese de aminoácidos nas folhas são altas, e esses aminoácidos são utilizados em sua maioria na síntese de clorofila, rubisco e outras proteínas. Com isso, a translocação de aminoácidos no floema para as raízes é baixa, enquanto na fase reprodutiva, diminui a taxa de redução de nitrato em função da remobilização do N foliar para o desenvolvimento das inflorescências e aumenta a exportação de aminoácidos das folhas para as raízes.

Em relação aos biomarcadores de N avaliados neste trabalho, verifica-se que a atividade da enzima de N, a nitrato redutase (NR) na folha foi um bom biomarcador para o *status* nutricional de N das onze progênies de eucalipto, pois sob limitação de N no solo, as progênies apresentaram, de modo geral, redução do teor de N nas folhas e maior atividade NR. Reduções nos teores de N nas folhas levam a maior atividade de NR neste compartimento. O mesma relação não foi observada para a atividade da nitrato redutase nas raízes e da glutamina sintetase nas folhas e raízes (Quadros 23, 24, 29, 30, 40, 41, 42 e 43). Nos trabalhos de FERNANDES et al. (2016) e FERREIRA et al. (2015) a atividade da NR na folha também foi maior quando teve omissão ou limitação de N na solução nutritiva.

A maior atividade da NR nas folhas indica que o NO_3^- foi absorvido e translocado em maior proporção para as folhas, onde ocorreu a maior redução do nitrato a amônio. Outra hipótese, é que as progênies de eucalipto podem ter absorvido no início do seu desenvolvimento maior quantidade de N na forma de amônio em relação a nitrato. Assim o amônio foi assimilado e utilizado em processos metabólicos, já que a assimilação do N necessita de um menor gasto energético e metabólico, enquanto o nitrato que era absorvido menor proporção era assimilado e a maior parte teria sido estocada no vacúolo. Com o crescimento das mudas, a exigência de N é maior, o que, com a restrição na disponibilidade de N, o nitrato estocado no vacúolo teria sido translocado para o citossol para sua redução, fazendo com que aumentasse a atividade da NR. O nitrato pode ser armazenado em maiores quantidades no vacúolo e ser usado em períodos em que o fornecimento de N é limitado ou interrompido (SRIVASTAVA; SINGH, 2006). Segundo CHARDON et al.(2010) e NORTH et al.(2009), a maior velocidade de retorno da atividade da NR está relacionada à tolerância a baixa disponibilidade de N.

SCHRADER; THOMAS (1981) compararam os gastos energéticos para a conversão de NO_3^- em glutamato em folhas e em raízes. A assimilação de uma molécula de NO_3^- em aminoácidos em raízes consumiu energia equivalente à absorção de 35 fótons, enquanto que nas folhas esse mesmo processo consumiu a energia equivalente à absorção de 20 fótons. Essa vantagem energética é a base da seleção de linhagens que maximizam a redução de NO_3^- nas folhas, para reduzir as exigências energéticas e aumentar a produtividade. Assim, a maior atividade de NR observada nas folhas das progênes de eucalipto pode ser uma forma de minimizar os gastos energéticos na redução do nitrato nas raízes sob condição limitada de N, e minimizar outros danos sofridos pela planta, como, por exemplo, os danos na fotossíntese e na síntese de clorofila.

A atividade da GS nas folhas das progênes não apresentou diferença em relação à condição de N no solo, ao contrário das raízes, em que a atividade da GS foi menor no tratamento -(N). Aparentemente, a redução do nitrato ocorreu preferencialmente na folha e a assimilação do amônio nas raízes das progênes de eucalipto. Segundo SHAN et al. (2012), a maior atividade da GS na raiz está mais associada à assimilação do amônio proveniente da absorção direta do solo, enquanto, nas folhas está mais relacionada com o amônio proveniente da redução do nitrato, remobilização do vacúolo, reassimilação do amônio fotorrespirado e de parte do amônio translocado da raiz para a folha.

A atividade da NR foi em média seis vezes maior na folha do que na raiz, enquanto para a atividade da GS a maior atividade foi encontrada na raiz (quadros 45, 46, 47 e 48). Em outro estudo realizado com *Eucalyptus* envolvendo a nitrato redutase (NR) e a glutamina sintetase (GS) como possíveis indicadoras do status de N em clones de eucalipto, verificou-se que a atividade da NR nas folhas foi maior do que a da GS (FERREIRA et al., 2015), corroborando com o encontrado neste trabalho. No trabalho de FERNANDES et al. (2016), sobre omissão e ressuprimento de N na fisiologia, atividades enzimáticas e a expressão gênica de clones de eucalipto, foi constatado que a NR e a GS apresentaram maior atividade nas folhas do que nas raízes sob condições de omissão de N, ressuprimento de N e na condição ideal de N (tratamento controle). Contudo, a atividade da GS sempre foi maior na folha, diferindo do aqui relatado, em que a atividade da GS foi maior na raiz.

Na condição em que o N, P e o K foram supridos de forma adequada (tratamento completo) as progênes de eucalipto não diferiram entre si na eficiência de utilização

desses nutrientes, tendo em vista o adequado suprimento dos mesmos. Em relação a eficiência de absorção desses nutrientes, as progênies diferiram na eficiência de absorção de P, sendo as progênies 8 e 11 as que apresentaram maior valores de EAP. Essas progênies apresentaram diferenças no comprimento radicular, onde a progênie 8 apresentou menor comprimento radicular e a progênie 11 maior valor.

A exigência nutricional das progênies em K, no tratamento completo, foi igual em todas progênies, porém para N e P ocorreu de forma diferenciada, sendo que as progênies de eucalipto 6, 8, 9 e 10 apresentaram maior conteúdo de P na parte aérea, enquanto, para o N somente a progênie 6 que obteve maior acúmulo de N. Assim, esses resultados mostram que mesmo em condições adequadas as progênies têm demanda diferenciada para cada nutriente. Em relação a biomassa as progênies não diferiram entre si, mas a taxa fotossintética líquida foi maior nas progênies 1, 2, 5, 7, 9 e 10, onde dessas progênies somente a progênie 9 que apresentou maior área de superfície específica foliar.

A NR na folha e APase nas folhas e raízes mostraram-se bons indicadores do status nutricional para N e P, respectivamente, tendo em vista suas maiores atividades na condição de restrição desses nutrientes.

CONCLUSÕES

O crescimento das progênies de eucalipto em casa de vegetação é mais afetado pela limitação de nitrogênio, seguido da limitação de fósforo e de potássio no solo.

A fotossíntese e os teores dos pigmentos fotossintéticos nas progênies de eucalipto são mais afetados negativamente pela restrição de nitrogênio no solo, seguido da restrição de potássio.

A limitação de nitrogênio no solo causa redução da taxa fotossintética líquida nas progênies de eucalipto pelo dano fotoquímico e bioquímico.

As progênies de eucalipto apresentam respostas diferenciais ao estresse nutricional pela limitação de nitrogênio, de fósforo ou de nitrogênio, fósforo e potássio em conjunto no solo, sendo as atividades enzimáticas da nitrato redutase e fosfatase ácida biomarcadores potenciais para uso na diagnose do status nutricional de nitrogênio e fósforo nas progênies.

A atividade enzimática da fosfatase ácida na folha e na raiz foi o biomarcador mais responsivo à limitação na disponibilidade de fósforo e da nitrato redutase na folha a mais responsiva à limitação de nitrogênio.

As progênies 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 são as progênies com maior crescimento e eficiência na utilização de fósforo, em condição restrita desse nutriente no solo.

A progênie 5 apresenta maior eficiência na absorção e utilização de fósforo em condição restrita desse nutriente no solo.

A maior eficiência de uso de potássio é encontrada nas progênies 1, 3, 5, 7, 10 e 11 em condição de limitação de potássio no solo.

As progênies 5, 7, 10 e 11 são mais eficientes na utilização tanto de fósforo como de potássio, em condição de limitação desses nutrientes.

Restrições fortes no suprimento de nitrogênio não permitem que progênies de eucalipto se diferenciem na absorção e utilização do nutriente.

CONCLUSÕES GERAIS

As progênies de eucalipto 1, 3, 5, 6, 9 e 10 são os materiais genéticos com maior eficiência de absorção de fósforo, no estudo da cinética de absorção desse nutriente, conforme indicada pela constante de Michaelis-Menten (K_m) e pela velocidade máxima de absorção (V_{max}) de fósforo. Em condição restrita de fósforo no solo, as progênies 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 apresentam maior eficiência de utilização de fósforo, destacando-se a progênie 5, que apresenta também maior eficiência de absorção desse nutriente, nessa condição de limitação de fósforo no solo. Deste modo, as progênies 5, 6, 9 e 10 são materiais genéticos potenciais para produção de materiais clonais com maior eficiência de absorção e utilização de fósforo em solos que apresenta restrição desse nutriente.

As progênies 1, 3 e 6 são os materiais genéticos com maior eficiência de absorção de potássio. No solo com limitação da disponibilidade de potássio, as progênies 1, 3, 5, 7, 10 e 11 foram as que apresentaram maior eficiência de utilização desse nutriente. Assim, as progênies 1 e 3 apresenta potencial para a produção de materiais clonais com maior eficiência de absorção e utilização de potássio, em solos com restrição de desse nutriente.

As progênies 1, 3 e 6 são as progênies com maior eficiência de absorção tanto para fósforo quanto para potássio, contudo, não são eficientes na utilização para ambos nutrientes.

As progênies de eucalipto apresentam respostas diferenciais ao estresse nutricional pela limitação de nitrogênio, de fósforo ou de nitrogênio, fósforo e potássio em conjunto no solo, sendo as atividades enzimáticas da nitrato redutase e fosfatase ácida biomarcadores potenciais para uso na diagnose do status nutricional de nitrogênio e fósforo nas progênies.

Há necessidade de estudos sobre a translocação, a síntese e a degradação de açúcares, amido e aminoácidos nas progênies de eucalipto, nas condições de limitação nutricional, para tentar entender os mecanismos envolvidos na eficiência de utilização de N, P e K por essas progênies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, S.; GLUND, K. Localization of RNA-degrading enzyme activity within vacuoles of cultured tomato cells. **Physiologia Plantarum**, v. 66, n. 1, p. 79–86, jan. 1986.

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 21–26, mar. 1998.

ABRAF. **Associação Brasileira de Produtores de Florestas plantadas**. Brasília. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2010, 2013.

ADAMS, M. A.; ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia. **Plant and Soil**, v. 92, n. 3, p. 341–362, 1986.

ALVAREZ V., V. H. et al. **Métodos de Análises de Enxofre em Solos e Plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2001.

ALVES, M. V. C. et al. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Ceres**, v. 43, n. 248, p. 435–443, 1996.

ALVES, V. M. C. et al. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 1, p. 85–92, 2002.

ANGHINONI, I. et al. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 355–361, 1989.

JUNIOR, R. A. F. **Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada**. Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de ciências agrônômicas câmpus de Botucatu, 2013.(Tese de doutorado)

BALDWIN, J. C.; KARTHIKEYAN, A. S.; RAGHOTHAMA, K. G. LEPS2, a phosphorus starvation-induced novel acid phosphatase from tomato. **Plant physiology**, v. 125, n. 2, p. 728–37, fev. 2001.

BAPTISTA, J. D. A.; FERNANDES, M. S.; DE SOUZA, S. R. Cinética de absorção de amônio e crescimento radicular das cultivares de arroz Agulha e Bico Ganga. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1325–1330, 2000.

BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

BARROS, N. et al. Classificação nutricional de sítios florestais: Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 112–120, 1986.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. . et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa- MG: Folha de Viçosa, 2002. p. 487–592.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (Eds.). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: VIC: CSIRO Publishing, 1996. p. 335–356.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127–186.

BARROS, N. F. DE; NOVAIS, R. F. **Relação solo- eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990.

BATISTA, R. O. **Cinética De Absorção De Nutrientes, Morfologia Radicular E Eficiência Nutricional De Clones De Cedro Australiano**. Universidade Federal de Lavras, 2014. (Tese de doutorado)

BATISTA, R. O. et al. Root morphology and nutrient uptake kinetics by australian cedar clones. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 153–162, 2016.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. German: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992.

BIEMOND, H.; VOS, J. Effects of Nitrogen on the Development and Growth of the Potato Plant. 2. The Partitioning of Dry Matter, Nitrogen and Nitrate. **Annals of Botany**, v. 70, n. 1, p. 37–45, 1992.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v. 25, n. 3, p. 173–185, set. 1990.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll Fluorescence as a Probe of the Photosynthetic Competence of Leaves in the Field: A Review of Current Instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497, 1989.

BOSSE, D.; KOCK, M. Influence of phosphate starvation on phosphohydrolases during development of tomato seedlings. **Plant, Cell and Environment**, v. 21, n. 3, p. 325–332, mar. 1998.

BOZZO, G. G.; DUNN, E. L.; PLAXTON, W. C. Differential synthesis of phosphate-starvation inducible purple acid phosphatase isozymes in tomato (*Lycopersicon esculentum*) suspension cells and seedlings. **Plant, Cell and Environment**, v. 29, n. 2, p. 303–313, fev. 2006.

BRADFORD, M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 7 maio 1976.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e planta. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73–85, 1974.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365–372, abr. 2000.

BUNGARD, R. A. et al. Effects of Nitrogen on the Photosynthetic Apparatus of *Clematis vitalba* Grown at Several Irradiances. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 24, n. 2, p. 205, 1997.

CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de

Schizolobium amazonicum (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 40, n. 94, p. 213–221, 2012.

CALDEIRA, M. V. W. .; NETO, R. M. R.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii de wild.*). **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 615–620, 2002.

CAMACHO, R. et al. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 771–776, 2002.

CAMARGO, M. L. P. DE et al. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica, Jaboticabal**, v. 36, n. 2, p. 191–196, 2004.

CAMBRAIA, J. et al. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 12, p. 1435–1445, 21 dez. 1989.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the Gap between Biochemistry and Physiology. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 277–303, jun. 1999.

CECHIN, I.; DE, T.; FUMIS, F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. **Plant Science**, v. 166, p. 1379–1385, 2004.

CHARDON, F. et al. Natural variation of nitrate uptake and nitrogen use efficiency in *Arabidopsis thaliana* cultivated with limiting and ample nitrogen supply. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 9, p. 2293–2302, 1 maio 2010.

CLARK, R. B. Characterization of phosphates of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 23, n. 1, p. 458–460, 1975.

CLÁRK, R. B. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. **Plant and Soil**, v. 72, n. 2–3, p. 175–196, jun. 1983.

CLARKSON, D. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P. C. (Ed.). **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p. 45–75.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The Mineral Nutrition of Higher Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, n. 1, p. 239–298, jun. 1980.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C. DA; CUNHA, G. DE M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 563–570, ago. 2005.

DA SILVA, J. V. et al. Produção e acúmulo de nutrientes em povoamento de eucalipto em consequência da intensidade do desbaste e da fertilização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1555–1562, 2012.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91 – 132.

DESIMONE, M.; HENKE, A.; WAGNER, E. Oxidative stress induces partial

degradation of the large subunit of Ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase in isolated chloroplasts of barley. **Plant Physiology**, v. 111, p. 789–796, 1996.

DUBEY, R. S.; MISHRA, S. Heavy Metal Toxicity Induced Alterations in Photosynthetic Metabolism in Plants. In: **Handbook of Photosynthesis**,. Books in Soils, Plants, and the Environment. 2. ed. CRC Press, 2005.

DUFF, S. M. G.; SARATH, G.; PLAXTON, W. C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, v. 90, n. 4, p. 791–800, abr. 1994.

EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia**, v. 49, n. 3, p. 366–370, jul. 1981.

ELLIOTT, W. H. Isolation of glutamine synthetase and glutamotransferase from green peas. **The Journal of biological chemistry**, v. 201, n. 2, p. 661–72, abr. 1953.

EPSTEIN, E. Physiological genetics of plant nutrition. In: EPSTEIN, E. (Ed.). **Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives**. New York: J. Wiley, 1972. p. 325–344.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006.

ERNANI, P. R. et al. Prediction of phosphorus uptake by a mechanistic model in a low phosphorus highly weathered soil as affected by mycorrhizae inoculation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 6, p. 1067–1078, 1 maio 1994.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6–16, abr. 1998.

FERNANDES, L. V. **Alterações nutricionais, fisiológicas e moleculares em clones de eucalipto submetidos à omissão e ao ressuprimento de N ou P**. Universidade Federal de Viçosa, 2013.(Tese de doutorado)

FERNANDES, L. V. et al. Omission and Resupply of Nitrogen Affect Physiological and Enzymatic Activities and the Gene Expression of Eucalypt Clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–13, 2016.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 115–152.

FERREIRA, E. V. DE O. et al. Nitrate reductase (NR) and glutamine synthetase (GS) can be used as indicators of nitrogen status in eucalyptus clones. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 6, p. 561–569, 2015.

FONSECA, A. F. A. DA et al. Divergência genética em café conilon. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 599–605, 2006.

FOYER, C.; SPENCER, C. The relationship between phosphate status and photosynthesis in leaves - Effects on intracellular orthophosphate distribution, photosynthesis and assimilate partitioning. **Planta**, v. 167, n. 3, p. 369–375, mar. 1986.

FURTINI NETO, A. . et al. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus spp* em relação

a fósforo. **Revista Árvore**, v. 20, p. 17–28, 1996.

GAMA-RODRIGUES, E. F. DA et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893–901, dez. 2005.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J.-M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects**, v. 990, n. 1, p. 87–92, jan. 1989.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 453–480.

GIMENEZ, C.; CONNOR, D. J.; RUEDA, F. Canopy development, photosynthesis and radiation-use efficiency in sunflower in response to nitrogen. **Field Crops Research**, v. 38, n. 1, p. 15–27, jul. 1994.

GRASSI, G. et al. Photosynthetic parameters in seedlings of *Eucalyptus grandis* as affected by rate of nitrogen supply. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 12, p. 1677–1688, dez. 2002.

GRESPLAN, S.; DIAS, L.; NOVAIS, R. Crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato por mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 667–674, 1998.

HAMMOND, J. P.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Genetic Responses to Phosphorus Deficiency. **Annals of Botany**, v. 94, n. 3, p. 323–332, 3 ago. 2004.

HENDRICKSON, L.; FURBANK, R. T.; CHOW, W. S. A Simple Alternative Approach to Assessing the Fate of Absorbed Light Energy Using Chlorophyll Fluorescence. **Photosynthesis Research**, v. 82, n. 1, p. 73–81, 2004.

HENDRY, G. A. .; PRICE, A. . Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G.A.F; GRIME, J. . (Ed.). **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, London, 1993. p. 148–152.

HERMANS, C. et al. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 12, p. 610–617, dez. 2006.

HIKOSAKA, K. Interspecific difference in the photosynthesis- nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. **Journal of Plant Research**, v. 117, n. 6, p. 481–494, 2 dez. 2004.

HIREL, B. et al. Physiology of maize II: Identification of physiological markers representative of the nitrogen status of maize (*Zea mays*) leaves during grain filling. **Physiologia Plantarum**, v. 124, n. 2, p. 178–188, jun. 2005.

HORN, D. et al. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 77–85, 2006.

HOSSAIN, D.; TALIB, J. Effects of Nitrogen , Phosphorus and Potassium Levels on Kenaf (*Hibiscus cannabinus L .*) Growth and Photosynthesis under Nutrient Solution. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 2, p. 49–58, 2010.

HSIAO, T.; LAUCHLI, A. Role of potassium in plant-water relations. **Advances in Plant Nutrition**, v. 2, p. 281–312, 1986.

IBÁ, 2016. **Relatório Ibá, 2016. Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília. http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf, , 2016.

IMSANDE, J.; TOURAINÉ, B. N. Demand and the Regulation of Nitrate Uptake. **Plant physiology**, v. 105, n. 1, p. 3–7, maio 1994.

IVOGLO, M. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 823–831, dez. 2008.

JOLIOT, P.; JOLIOT, A. Cyclic electron flow in C3 plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1757, n. 5, p. 362–368, 2006.

KAWACHI, T. et al. Role of xylem sap nitrate in the regulation of nitrate reductase gene expression in leaves of barley (*Hordeum vulgare L.*) seedlings. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 48, n. 1, p. 79–85, fev. 2002.

KRAMER, D. M. et al. New Fluorescence Parameters for the Determination of QA Redox State and Excitation Energy Fluxes. **Photosynthesis Research**, v. 79, n. 2, p. 209–218, 2004.

KUMAR, P. A.; ABROL, Y. P. Ammonia assimilation in higher plants. In: **Nitrogen in higher plant**. Taunton: Somerset: Research Studies Press, 1990. p. 159–179.

LACLAU, J. P. et al. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, v. 29, n. 1, p. 111–124, 2009.

LAISK, A.; LORETO, F. Determining Photosynthetic Parameters from Leaf CO₂ Exchange and Chlorophyll Fluorescence: Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase Specificity Factor, Dark Respiration in the Light, Excitation Distribution between Photosystems, Alternative Electro. **Plant physiology**, v. 110, n. 3, p. 903–9012, 1996.

LAMBERS, H. et al. Phosphorus-mobilization ecosystem engineering: the roles of cluster roots and carboxylate exudation in young P-limited ecosystems. **Annals of Botany**, v. 110, n. 2, p. 329–348, 1 jul. 2012.

LANGSDORF, G. et al. Multicolour Fluorescence Imaging of Sugar Beet Leaves with Different Nitrogen Status by Flash Lamp UV-Excitation. **Photosynthetica**, v. 38, n. 4, p. 539–551, 2000.

LI- COR BIOSCIENSES INC. **LI-3100C area meter instruction manual**. USA, 2004.

LI, B.; MCKEAND, S. E. .; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Society of American Foresters**, v. 37, n. 2, p. 613–626, 1991.

LIMA, A. M. N. et al. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺

em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 903–909, 2005.

LIMA, F. DE S.; SOUSA, C. DA S. Crescimento e nutrição de mudas de clones de eucalipto inoculadas com fungos micorrízicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 110–118, jun. 2014.

LIU, T.-Y.; CHANG, C.-Y.; CHIOU, T.-J. The long-distance signaling of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 312–319, jun. 2009.

LOCATELLI, M. et al. Efeito de formas de nitrogênio sobre o crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 8, p. 53–69, 1984.

LOUZADA, J. N. C.; SCHOEREDER, J.; DE MARCO, P. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus spp.* crop in Brazil: a comparison. **Forest Ecology and Management**, v. 94, n. 1, p. 31–36, 1997.

LU, C.; ZHANG, J. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. **Plant Science**, v. 151, p. 135–143, 2000.

MACHADO, C. T. D. T.; FURLANI, Â. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 1, p. 69–76, 2004.

MACHADO, C. T. DE T.; FURLANI, A. M. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 225–238, 2001.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1989.

MARSCHENER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes concentrações de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 239–244, 1993.

MARTINS, L. D. et al. Nutritional Efficiency in Clones of Conilon Coffee for Phosphorus. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 1, p. 130, 12 dez. 2012.

MENDIBURU, F. DE. **Agricolae: statistical procedures for agricultural researchR package version**, 2014.

MIFLIN, B. J.; HABASH, D. Z. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 370, p. 979–987, 1 abr. 2002.

MORAIS, E. J. et al. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n.

3, p. 353–362, 1990.

MÜLLER, C. **Resposta fotossintética à toxidez de ferro em diferentes cultivares de arroz**. Universidade Federal de Viçosa, 2011. (Tese de doutorado)

NANAMORI, M. et al. Low Phosphorus Tolerance Mechanisms: Phosphorus Recycling and Photosynthate Partitioning in the Tropical Forage Grass, *Brachiaria Hybrid Cultivar Mulato* Compared with Rice. **Plant and Cell Physiology**, v. 45, n. 4, p. 460–469, 15 abr. 2004.

NAVROSKI, M. C. et al. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell Biomass quantification and fine roots length in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell stands. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 535–540, 2010.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Determination of total nitrogen in plant material. **Journal Agronomy**, v. 65, p. 109–112, 1973.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa-MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 100–124.

NORTH, K. A. et al. Natural variation in Arabidopsis adaptation to growth at low nitrogen conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 10, p. 912–918, 2009.

NUNES, F. M. et al. Atividade de fosfatases em gramíneas forrageiras em resposta à disponibilidade de fósforo no solo e à altura de corte das plantas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1899–1909, 2008.

NYE, P. .; TINKER, P. The uptake properties of the root system. In: TINKER, P. B.; NYE, P. . (Eds.). **Solute movement in the rhizosphere**. New York: Oxford University Press, 2000. p. 448.

ONODA, Y.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Allocation of nitrogen to cell walls decreases photosynthetic nitrogen-use efficiency. **Functional Ecology**, v. 18, n. 3, p. 419–425, jun. 2004.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from intact leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, n. 12, p. 1473–1483, dez. 1997.

OZAWA, K. et al. Purification and properties of acid phosphatase secreted from lupin roots under phosphorus-deficiency conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 41, n. 3, p. 461–469, set. 1995.

PINTO, S. I. D. C. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto**. Universidade Federal de Lavras, 2009. (Tese de doutorado)

PINTO, S. I. DO C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 1, p. 523–533, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R Internals. **R Development Core Team**, v. 1, p. 63, 2015.

RADIN, J. W. Distribution and Development of Nitrate Reductase Activity in Germinating Cotton Seedlings. **Plant Physiology**, v. 53, n. 3, p. 458–463, 1 mar. 1974.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 665–693, jun. 1999.

RAUSCH, C.; BUCHER, M. **Molecular mechanisms of phosphate transport in plants** *Planta*, 2002.

RICHARDSON, A. E.; HADOBAS, P. A.; HAYES, J. E. Acid phosphomonoesterase and phytase activities of wheat (*Triticum aestivum L.*) roots and utilization of organic phosphorus substrates by seedlings grown in sterile culture. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n. 4, p. 397–405, abr. 2000.

RUIZ, H. A.; FERNANDES FILHO, E. I. Cinética: software para estimar as constantes V_{max} e K_m da equação de Michaelis-Menten. In: **XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, p. 124–125, 1992.

SAMAL, D. et al. Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays L.*), wheat (*Triticum aestivum L.*), and sugar beet (*Beta vulgaris L.*) evaluated with a mechanistic model. **Plant and Soil**, v. 332, n. 1–2, p. 105–121, 23 jul. 2010.

SANES, F. S. M. et al. Morfologia de raízes e cinética de absorção de potássio em genótipos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 3, p. 688–697, 2013.

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

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. **Plant physiology**, v. 116, n. 2, p. 447–53, 1 fev. 1998.

SCHRADER, L. E.; THOMAS, R. J. Nitrate Uptake, Reduction and Transport in the Whole Plant. In: **Nitrogen and Carbon Metabolism**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1981. p. 49–93.

SGARBI, F. et al. **Enfluência da aplicação de fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de um clone de Eucalyptus urophylla**. (IPEF, Ed.) Ciliar Comércio e Serviços Agroflorestais Ltda. R. **Anais**. Piracicaba: Simpósio sobre Fertilização e Nutrição Florestal, 1999

SHAN, A. et al. Assimilação metabólica de nitrogênio em plântulas de seringueira cultivadas com nitrato ou amônio. v. 47, n. 6, p. 754–762, 2012.

SHANGGUAN, Z.; SHAO, M.; DYCKMANS, J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, v. 156, n. 1, p. 46–51, 2000.

SIDDIQUI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the

estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 289–302, 1981.

SILVA, S. R. et al. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1001–1010, dez. 2002.

SILVA, N. F. DA. **Produtividade, demanda e eficiência nutricional de clones de eucalipto em regime de alto fuste e talhadia**. Universidade Federal de Viçosa, 2013. (Tese de doutorado)

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa- MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215–252.

SRIVASTAVA, A. K.; SINGH, S. Biochemical Markers and Nutrient Constraints Diagnosis in Citrus: A Perspective. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, n. 5, p. 827–855, 14 jun. 2006.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687–1699, 1994.

TÓTH, V. R. et al. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, n. 6, p. 627–634, 2002.

VENEKLAAS, E. J. et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**, v. 195, n. 2, p. 306–320, jul. 2012.

VÉRY, A.-A.; SENTENAC, H. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, n. 1, p. 575–603, 2003.

VIERA, M. A.; SCHUMACHER, M. V. .; LIBERALESSO, E. Mixed and monospecific stands of *Eucalyptus* and black-wattle. **Ciencia Rural**, v. 42, n. 10, p. 1818–1825, 2012.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 91–96, 1984.

WARREN, C. R.; CHEN, Z.-L.; ADAMS, M. A. Effect of N source on concentration of Rubisco in *Eucalyptus diversicolor*, as measured by capillary electrophoresis. **Physiologia Plantarum**, v. 110, n. 1, p. 52–58, set. 2000.

WELLBURN, A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, set. 1994.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 665–671, 2008.

WILSON, C. M. Plant Nucleases. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 187–208, jun. 1975.

YAN, X. et al. Induction of a major leaf acid phosphatase does not confer adaptation to low phosphorus availability in common bean. **Plant physiology**, v. 125, n. 4, p. 1901–11, abr. 2001.

YUN, S. J.; KAEPLER, S. M. Induction of maize acid phosphatase activities under phosphorus starvation. **Plant and Soil**, v. 237, n. 1, p. 109–115, 2001.

ZONTA, E. et al. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. (Eds.). . **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7–52.

APÊNDICE- Capítulo 1

A.1- Parâmetros cinéticos de fósforo e de potássio das progênes de eucalipto

Progênie	Bloco	P				K			
		Vmax	Km	Cmin estimado	α	Vmax	Km	Cmin estimado	α
		$\mu\text{mol/g}\cdot\text{h}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\text{l/g}\cdot\text{h}$	$\mu\text{mol/g}\cdot\text{h}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\text{l/g}\cdot\text{h}$
1	1	2,132	4,740	4,510E-05	0,450	0,800	18,880	3,776	4,236E-02
1	2	2,695	5,590	4,473E-05	0,482	0,969	20,565	3,808	4,710E-02
1	3	2,413	5,165	4,491E-05	0,467	1,071	22,250	3,839	4,813E-02
2	1	1,896	5,740	2,659E-03	0,330	0,756	27,674	6,528	2,731E-02
2	2	1,692	3,890	3,019E-05	0,435	0,963	26,580	5,084	3,625E-02
2	3	2,101	7,590	3,186E-04	0,277	0,860	27,127	5,806	3,169E-02
3	1	1,801	4,875	5,474E-04	0,369	0,729	20,880	4,479	3,493E-02
3	2	1,822	5,530	8,492E-04	0,330	0,750	20,030	4,203	3,745E-02
3	3	1,780	4,220	2,456E-04	0,422	0,708	21,730	4,755	3,260E-02
4	1	1,758	5,840	2,624E-03	0,301	0,949	22,480	4,195	4,223E-02
4	2	1,436	5,690	4,400E-03	0,252	0,666	18,630	3,770	3,574E-02
4	3	2,645	8,370	1,824E-04	0,316	1,233	26,330	4,620	4,682E-02
5	1	2,752	9,780	1,338E-03	0,281	0,822	19,680	3,562	4,179E-02
5	2	2,108	5,200	8,349E-05	0,405	0,842	18,040	2,863	4,666E-02
5	3	2,430	7,490	7,108E-04	0,324	0,803	21,320	4,262	3,767E-02
6	1	2,161	9,630	2,166E-02	0,224	0,966	19,570	2,961	4,936E-02
6	2	1,906	6,580	1,362E-03	0,290	0,782	19,370	3,570	4,038E-02
6	3	1,630	4,690	2,964E-03	0,348	0,626	16,970	2,607	3,688E-02
7	1	1,953	8,520	7,634E-03	0,229	0,617	14,380	1,977	4,293E-02

7	2	1,652	7,600	2,739E-03	0,217	0,807	16,620	2,876	4,853E-02
7	3	1,859	5,880	3,088E-04	0,316	0,706	21,030	4,193	3,355E-02
8	1	2,411	7,750	9,325E-04	0,311	0,595	13,760	2,497	4,324E-02
8	2	2,402	9,050	1,444E-03	0,265	0,981	17,990	3,516	5,454E-02
8	3	2,048	5,130	1,568E-04	0,399	0,667	19,970	3,699	3,342E-02
9	1	1,350	4,960	1,252E-03	0,272	1,155	23,350	3,957	4,946E-02
9	2	1,394	4,020	7,553E-04	0,347	0,922	26,950	5,147	3,422E-02
9	3	1,123	2,710	1,353E-04	0,414	0,941	22,500	4,251	4,180E-02
10	1	0,880	2,050	2,419E-04	0,429	1,053	20,510	3,861	5,135E-02
10	2	1,268	3,990	1,581E-04	0,318	0,920	18,895	3,618	4,870E-02
10	3	1,125	3,530	2,152E-03	0,319	0,787	17,280	3,375	4,556E-02
11	1	1,703	7,400	4,953E-03	0,230	1,043	25,320	4,857	4,121E-02
11	2	2,015	6,970	1,107E-03	0,289	0,932	20,290	3,610	4,592E-02
11	3	1,647	4,900	3,677E-04	0,336	0,781	24,900	6,982	3,137E-02

P- fósforo, K- potássio, Vmax- velocidade máxima de absorção do nutriente em estudo, Km- Constante de Michaelis- Menten, Cmin estimado- Cmin estimado e α - poder de absorção do nutriente em estudo.

A.2- Teor de macronutrientes na parte aérea e raízes das progênes de eucalipto

Progênie	P		K		N		S		Ca		Mg	
	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz
	g/ kg											
1	1,87	1,42	14,07	9,54	27,15	14,10	4,43	8,08	5,01	1,93	2,46	0,67
2	1,69	1,36	13,39	8,70	27,01	13,92	4,21	7,42	5,60	2,24	2,44	0,86
3	1,75	1,46	13,09	9,44	23,61	16,40	4,55	7,19	5,46	1,86	2,68	0,92
4	1,55	1,47	12,40	9,20	22,97	15,25	4,54	7,65	4,73	1,93	2,41	0,64
5	1,70	1,35	12,83	9,23	25,04	15,44	5,54	10,35	5,27	1,87	2,44	0,81
6	1,77	1,51	13,93	9,26	27,75	15,44	5,92	10,36	6,03	2,20	2,70	0,87
7	1,76	1,30	12,87	8,81	26,78	14,75	5,10	8,42	7,06	2,60	2,72	0,95
8	1,73	1,28	13,29	9,34	25,27	14,75	4,86	8,70	5,79	2,03	2,55	0,80
9	1,75	1,35	12,52	9,33	24,21	14,24	4,03	5,77	5,12	1,84	2,39	0,68
10	1,72	1,51	13,35	9,04	23,98	14,84	4,75	6,51	5,12	2,00	2,41	0,66
11	1,53	1,52	13,39	9,10	24,81	15,80	4,36	6,94	5,37	2,10	2,28	0,70
Média	1,71	1,41	13,19	9,18	25,33	14,99	4,75	7,94	5,51	2,05	2,50	0,78

P- fósforo, K- potássio, N- nitrogênio, S- enxofre, Ca- cálcio, Mg- magnésio, PA- parte aérea

A.3- Teor de micronutrientes na parte aérea e raízes das progênes de eucalipto

Progênie	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz
	mg/kg									
1	32,59	8,73	14,57	39,85	34,23	54,80	42,32	5,35	41,93	187,00
2	29,92	9,69	14,03	36,40	30,55	49,98	45,33	4,43	40,52	151,50
3	31,49	8,61	12,33	40,78	29,55	67,70	41,82	7,47	34,08	213,83
4	32,97	10,51	12,10	29,90	27,53	55,58	38,67	4,65	35,95	141,83
5	29,32	9,85	14,10	47,77	30,40	62,77	37,62	5,52	39,23	188,50
6	38,16	10,85	13,48	54,88	32,55	66,90	44,78	4,93	46,02	250,17
7	33,82	8,79	14,32	36,13	37,90	59,43	42,12	4,62	36,55	175,67
8	31,78	9,80	13,95	43,00	28,13	49,75	39,90	4,60	35,27	158,33
9	29,58	8,31	11,95	28,30	27,93	38,25	36,42	4,35	31,80	123,42
10	32,52	10,55	11,85	40,47	29,17	54,58	41,37	4,60	33,72	171,33
11	30,26	9,26	13,80	30,27	31,02	56,35	39,12	4,55	34,65	153,00
Média	32,04	9,54	13,32	38,89	30,81	56,01	40,86	5,01	37,25	174,05

B-boro, Cu- cobre, Fe- ferro, Mn- manganês, Zn- zinco, PA- parte aérea

A.4- Acúmulo de macronutrientes na parte aérea e raízes das progênes de eucalipto

Progênie	N		S		Ca		Mg	
	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz
	mg/ pl							
1	396,94	63,46	64,69	36,97	73,44	8,69	35,89	3,03
2	407,17	83,56	63,31	44,47	84,58	13,43	36,85	5,11
3	368,63	77,71	71,04	33,93	85,48	8,79	41,88	4,33
4	360,03	84,25	71,22	42,79	74,81	10,65	38,12	3,53
5	409,20	82,77	90,17	55,31	85,84	9,97	39,81	4,36
6	433,65	74,19	92,09	50,33	93,55	10,92	42,01	4,23
7	420,69	90,05	80,11	50,97	110,98	15,89	42,65	5,73
8	384,27	79,99	73,44	47,05	87,03	10,92	38,42	4,33
9	400,97	76,29	66,22	30,71	84,04	9,81	39,39	3,64
10	384,37	79,59	75,96	34,74	81,92	10,79	38,53	3,50
11	391,35	89,69	68,49	39,10	84,53	11,92	35,84	3,95
Média	396,12	80,14	74,25	42,40	86,02	11,07	39,04	4,16

N- nitrogênio, S- enxofre, Ca- cálcio, Mg- magnésio, PA- parte aérea

A.5- Acúmulo de micronutrientes na parte aérea e raízes das progênes de eucalipto

Progênie	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz
	µg/pl									
1	476,55	39,41	212,94	179,61	499,14	249,84	619,18	24,24	615,29	853,82
2	452,18	57,33	211,51	217,02	460,98	299,73	684,55	26,18	611,60	904,67
3	492,10	40,97	192,64	192,12	461,33	318,65	653,06	35,91	532,10	1007,64
4	518,64	57,96	191,22	166,74	435,31	308,84	609,99	25,90	568,66	787,79
5	480,35	53,10	230,31	256,63	496,28	336,71	613,62	29,37	639,44	1011,93
6	591,39	53,52	210,26	270,03	509,21	325,81	697,90	24,16	719,92	1225,26
7	530,93	53,83	224,84	218,32	595,15	362,10	660,99	28,32	573,99	1061,65
8	476,08	52,76	210,58	237,09	424,78	272,09	600,00	24,97	532,98	858,56
9	486,23	44,63	196,88	150,56	459,18	202,89	598,34	23,23	524,07	660,59
10	519,10	56,28	189,55	215,82	464,71	290,97	660,61	24,77	539,51	917,66
11	476,88	52,86	217,69	171,14	489,38	317,35	615,89	25,81	547,04	862,00
Média	500,04	51,15	208,04	206,83	481,40	298,63	637,65	26,62	582,24	922,87

B-boro, Cu- cobre, Fe- ferro, Mn- manganês, Zn- zinco, PA- parte aérea

A.6- Eficiência de utilização de macronutrientes na parte aérea e total das progênie de eucalipto

Progênie	N		S		Ca		Mg	
	PA	Total	PA	Total	PA	Total	PA	Total
	mg/ pl							
1	544	800	3351	3723	2926	4475	6048	9528
2	570	914	3641	4182	2722	4561	6188	10571
3	665	934	3502	4054	2957	4554	5845	9035
4	722	1056	3665	4030	3370	5370	6635	11057
5	654	957	3029	3263	3141	4953	6711	10663
6	564	829	2703	2993	2710	4153	5854	9178
7	588	932	3108	3655	2235	3761	5825	9865
8	601	915	3105	3503	2626	4308	5931	9844
9	705	1022	4083	4895	3224	5058	6879	11033
10	680	1006	3462	4253	3213	5073	6814	11175
11	637	959	3754	4428	2964	4798	7074	11753
Média	630	939	3400	3907	2917	4642	6346	10337

N- nitrogênio, S- enxofre, Ca- cálcio, Mg- magnésio, PA- parte aérea

A.7- Eficiência de utilização de micronutrientes na parte aérea e total das progênie de eucalipto

Progênie	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	PA	Total	PA	Total	PA	Total	PA	Total	PA	Total
	µg/pl									
1	454	715	1014	941	440	506	351	577	349	257
2	505	870	1082	1036	500	588	333	624	374	293
3	497	780	1272	1089	534	545	377	607	461	273
4	497	810	1331	1279	578	616	416	727	445	337
5	569	905	1158	968	537	565	435	732	420	285
6	438	683	1164	881	481	505	352	589	340	219
7	470	820	1101	1081	434	508	378	697	432	292
8	486	807	1082	953	538	605	381	676	428	303
9	557	895	1379	1365	590	717	454	765	518	402
10	508	822	1384	1163	571	628	399	686	487	325
11	524	871	1144	1196	512	580	407	723	458	335
Média	500	816	1192	1087	519	579	389	673	428	302

B-boro, Cu- cobre, Fe- ferro, Mn- manganês, Zn- zinco, PA- parte aérea

Capítulo 2

A.8- Rendimento quântico máximo potencial do FS II (Fv/Fm) das progênie de eucalipto

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	0,91 A a	0,73 A a	0,83 A a	0,86 A a	0,55 A a
2	0,90 A a	0,85 A a	0,86 A a	0,86 A a	0,84 A a
3	0,88 A a	0,85 A a	0,86 A a	0,93 A a	0,87 A a
4	0,86 A a	0,81 A a	0,70 A a	0,92 A a	0,83 A a
5	0,92 A a	0,80 A a	0,84 A a	0,82 A a	0,94 A a
6	0,89 A a	0,84 A a	0,88 A a	0,84 A a	0,82 A a
7	0,81 A a	0,85 A a	0,78 A a	0,88 A a	0,85 A a
8	0,94 A a	0,84 A a	0,83 A a	0,90 A a	0,83 A a
9	0,88 A a	0,83 A a	0,86 A a	0,89 A a	0,81 A a
10	0,87 A a	0,86 A a	0,89 A a	0,91 A a	0,85 A a
11	0,85 A a	0,68 A a	0,84 A a	0,92 A a	0,87 A a
Média	0,88 a	0,81 a	0,83 a	0,88 a	0,78 a

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A.9- Taxa aparente de transporte de elétrons do FSII (ETR) das progênie de eucalipto

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
1	98,76 A a	42,65 A b	81,97 A a	97,32 A a	44,25 B b
2	102,92 A a	44,27 A b	63,74 A b	121,84 A a	41,48 B b
3	81,60 A a	43,21 A b	57,54 A b	104,68 A a	38,78 B b
4	86,37 A a	42,44 A b	75,76 A a	110,86 A a	49,81 B b
5	96,40 A a	44,38 A b	65,71 A b	117,57 A a	52,43 B b
6	73,12 A b	30,79 A c	78,69 A b	132,47 A a	43,61 B c
7	90,27 A a	40,14 A b	60,67 A b	126,74 A a	40,00 B b
8	73,93 A b	45,85 A b	61,05 A b	104,87 A a	39,87 B b
9	77,30 A a	38,81 A b	76,26 A a	102,03 A a	41,20 B b
10	73,46 A b	54,16 A b	82,83 A b	94,26 A b	134,04 A a
11	59,95 A b	53,21 A b	55,32 A b	109,40 A a	36,67 B b
Média	83,10 b	43,63 d	69,05 c	111,09 a	51,10 d

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A.10- Teor de clorofila *adas* progênes de eucalipto

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/g				
1	2,01 A a	0,92 A b	1,98 B a	1,83 A a	0,69 A b
2	1,92 A a	0,87 A b	1,63 B a	2,14 A a	0,71 A b
3	1,67 A a	0,86 A a	1,63 B a	1,92 A a	0,54 A a
4	1,26 A a	0,74 A a	1,09 B a	1,80 A a	0,71 A a
5	1,26 A a	0,82 A a	1,14 B a	1,88 A a	0,67 A a
6	1,06 A a	0,87 A a	1,77 B a	2,12 A a	0,72 A a
7	1,22 A a	0,98 A a	1,34 B a	1,71 A a	0,72 A a
8	1,54 A b	0,88 A b	4,85 A a	1,72 A b	0,65 A b
9	1,41 A a	1,29 A a	1,69 B a	2,16 A a	0,97 A a
10	1,44 A a	1,70 A a	1,38 B a	1,84 A a	0,60 A a
11	1,13 A a	1,31 A a	0,98 B a	1,82 A a	0,55 A a
Média	1,45 b	1,02 c	1,77 a	1,90 a	0,68 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A.11- Teor de clorofila *bdas* progênes de eucalipto

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mg/g				
1	0,83 A a	0,41 A a	0,89 B a	0,82 A a	0,35 A a
2	1,04 A a	0,42 A a	0,74 B a	0,84 A a	0,39 A a
3	0,71 A a	0,39 A a	0,71 B a	0,78 A a	0,26 A a
4	0,49 A a	0,36 A a	0,48 B a	0,71 A a	0,56 A a
5	0,51 A a	0,41 A a	0,52 B a	0,73 A a	0,34 A a
6	0,49 A a	0,43 A a	0,82 B a	0,82 A a	0,37 A a
7	0,53 A a	0,49 A a	0,61 B a	0,66 A a	0,36 A a
8	0,73 A b	0,54 A b	2,19 A a	0,69 A b	0,48 A b
9	0,60 A a	0,69 A a	0,73 B a	0,89 A a	0,53 A a
10	0,60 A a	0,73 A a	0,58 B a	0,81 A a	0,30 A a
11	0,51 A a	0,77 A a	0,47 B a	0,78 A a	0,30 A a
Média	0,64 a	0,51 b	0,79 a	0,78 a	0,39 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A.12- Massa de matéria seca total das progênes de eucalipto

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	g				
1	21,78 A A	7,49 A B	21,96 A A	12,22 B B	9,12 A B
2	27,94 A A	11,07 A B	22,49 A A	19,59 B A	13,32 A B
3	28,09 A A	13,23 A B	25,13 A A	16,42 B B	11,10 A B
4	29,39 A A	10,91 A B	22,43 A A	22,57 A A	9,65 A B
5	25,51 A A	10,32 A B	27,36 A A	30,33 A A	8,12 A B
6	29,82 A A	9,86 A B	16,70 A B	23,55 A A	6,44 A B
7	26,39 A A	9,73 A B	22,45 A A	21,44 A A	10,34 A B
8	34,03 A A	10,03 A B	19,09 A B	15,57 B B	9,55 A B
9	31,46 A A	12,42 A B	16,66 A B	25,19 A A	9,23 A B
10	34,99 A A	9,58 A B	18,24 A B	29,51 A A	10,51 A B
11	31,36 A A	13,03 A B	27,13 A A	28,14 A A	10,54 A B
Média	29,16 b	10,70 c	21,79 b	22,23 b	9,81 c

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A.13- Diâmetroradicular das progênes de eucalipto

Progênie	Limitante				
	Completo	-(NPK)	-(K)	-(P)	-(N)
	mm				
1	0,40 C B	0,33 B B	0,33 A B	0,52 A A	0,31 A B
2	0,34 C B	0,45 A A	0,29 A B	0,38 A A	0,30 A B
3	0,37 C A	0,29 B A	0,34 A A	0,43 A A	0,37 A A
4	0,38 C A	0,30 B A	0,38 A A	0,48 A A	0,41 A A
5	0,44 C A	0,46 A A	0,33 A B	0,50 A A	0,37 A B
6	0,32 C A	0,32 B A	0,42 A A	0,40 A A	0,31 A A
7	0,47 B A	0,32 B B	0,36 A B	0,43 A A	0,41 A A
8	0,59 A A	0,35 B B	0,43 A B	0,43 A B	0,42 A B
9	0,42 C A	0,38 A A	0,38 A A	0,42 A A	0,34 A A
10	0,35 C A	0,40 A A	0,39 A A	0,38 A A	0,32 A A
11	0,40 C A	0,38 A A	0,36 A A	0,49 A A	0,39 A A
Média	0,41 a	0,36 b	0,37 b	0,44 a	0,36 b

Valores seguidos de mesma letra maiúscula, em cada coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %. Valores seguidos de mesma letra minúscula, em cada linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott a 10 %.

A.14- Teor de macronutrientes na folha, caule e raiz das progênies de eucalipto

Progênie	Tratamento	P			K			N			Ca			Mg			S		
		folha	caule	raiz	folha	caule	raiz	folha	caule	raiz	folha	caule	raiz	folha	caule	raiz	folha	caule	raiz
g/kg																			
1	Completo	1,378	1,594	1,328	10,036	9,894	10,092	14,723	5,145	7,419	6,383	12,216	5,567	1,407	0,794	1,605	0,447	0,234	0,523
2	Completo	1,161	1,407	1,265	8,724	9,497	9,496	13,724	4,525	8,108	5,300	8,913	5,237	1,347	0,799	1,185	0,401	0,210	0,670
3	Completo	1,326	1,755	1,073	7,931	9,231	8,816	13,089	4,491	9,142	6,237	9,641	6,355	1,526	0,608	1,408	0,248	2,020	0,730
4	Completo	1,182	1,728	1,271	8,231	8,204	9,040	14,482	4,559	7,695	4,850	8,654	5,582	1,273	0,770	1,155	0,406	0,216	0,639
5	Completo	1,569	1,729	1,091	10,563	10,425	8,135	15,964	5,076	5,765	6,491	8,594	5,367	1,514	0,570	1,238	0,578	0,244	0,568
6	Completo	1,263	1,805	1,298	7,942	7,719	9,317	17,549	4,778	8,269	4,398	7,797	5,195	1,214	0,511	1,331	0,392	0,200	0,796
7	Completo	1,268	1,701	1,062	8,461	8,743	8,364	13,449	4,766	7,764	6,041	8,646	5,166	1,440	0,590	0,971	0,507	0,180	0,501
8	Completo	1,278	1,834	1,177	7,598	8,776	9,064	11,531	4,364	7,029	6,392	9,971	4,735	1,383	0,604	1,014	0,448	0,341	0,728
9	Completo	1,322	1,819	1,005	8,194	8,966	8,173	12,101	4,249	6,730	6,678	8,523	6,972	1,485	0,692	1,894	0,492	0,162	0,629
10	Completo	1,251	1,892	0,828	8,344	9,684	7,355	12,828	4,353	6,248	5,971	8,633	5,155	1,411	0,508	0,959	0,385	0,394	0,483
11	Completo	1,249	1,967	1,015	7,559	8,819	8,330	11,554	3,905	8,384	5,871	11,788	5,761	1,323	0,804	1,494	1,147	0,188	0,598
1	-(NPK)	0,825	1,213	0,693	5,088	5,414	4,860	8,039	3,354	5,651	6,635	8,446	4,366	3,414	1,903	3,086	0,374	0,205	0,717
2	-(NPK)	1,687	1,155	0,648	4,182	5,857	2,475	7,316	2,664	5,237	7,714	8,655	6,239	3,605	1,982	3,119	0,441	0,228	0,616
3	-(NPK)	1,122	1,130	0,633	3,242	4,843	4,646	8,797	3,009	4,146	7,139	8,828	4,936	3,479	1,707	2,775	0,399	0,295	0,467
4	-(NPK)	1,298	1,390	0,584	3,468	3,076	3,037	6,937	3,285	4,318	8,640	10,664	5,152	3,887	2,809	3,440	0,356	0,243	0,661
5	-(NPK)	0,799	1,116	0,637	3,881	4,276	3,935	7,798	3,009	5,386	7,790	8,542	4,104	3,842	2,255	3,476	0,449	0,247	0,656
6	-(NPK)	0,780	1,039	0,703	3,164	3,568	2,815	6,707	3,354	5,559	8,178	10,087	5,675	3,737	1,727	3,948	0,389	0,205	0,926
7	-(NPK)	1,143	1,468	0,561	3,674	4,240	3,486	7,591	2,906	4,112	8,538	10,850	4,992	3,917	2,095	3,650	0,374	0,240	0,695
8	-(NPK)	0,873	1,109	0,567	3,785	3,784	3,186	8,143	3,181	4,456	10,095	10,226	4,759	3,881	2,410	3,751	0,360	0,225	0,761
9	-(NPK)	0,901	1,289	0,582	3,300	3,677	2,516	7,006	3,009	4,628	7,204	8,397	4,239	3,531	1,892	3,261	0,317	0,181	0,709
10	-(NPK)	1,172	1,127	0,800	3,866	4,882	2,740	8,453	4,077	4,353	7,095	8,642	4,000	3,531	1,889	2,699	0,540	0,236	0,543
11	-(NPK)	1,570	1,411	0,593	3,374	3,559	2,701	6,764	3,491	4,559	11,868	10,369	5,126	4,575	2,642	3,702	0,852	0,336	0,903

1	-(K)	1,971	1,348	1,053	2,175	2,176	1,835	20,305	5,007	7,281	7,868	8,363	4,914	3,870	2,639	3,466	0,732	0,596	0,859
2	-(K)	2,191	1,661	1,398	3,626	2,826	2,171	19,846	6,615	9,969	8,939	9,057	5,480	4,245	2,536	3,404	0,810	0,387	0,922
3	-(K)	1,827	1,642	1,236	1,798	1,912	1,613	18,341	6,110	8,625	8,939	8,315	4,729	3,776	2,195	3,482	0,707	0,186	0,694
4	-(K)	1,726	1,604	1,055	2,174	2,177	1,800	19,926	5,696	8,763	8,027	6,398	5,244	3,895	2,099	3,121	0,866	0,172	0,610
5	-(K)	1,760	1,714	1,157	1,836	2,214	1,461	16,791	5,352	8,246	9,471	8,963	4,946	4,364	2,162	2,510	0,603	0,661	0,566
6	-(K)	2,256	1,544	1,392	2,544	2,358	2,285	22,338	6,144	8,636	7,707	10,630	5,926	3,696	2,576	3,364	0,745	0,205	0,425
7	-(K)	1,664	1,910	1,355	1,739	1,839	1,939	17,595	6,340	9,555	7,562	10,782	5,828	3,622	3,207	3,082	0,506	0,168	0,589
8	-(K)	2,492	1,849	1,239	2,100	2,740	1,914	23,681	5,317	9,452	12,368	9,242	4,438	4,593	3,117	3,167	0,778	0,252	0,889
9	-(K)	2,179	1,569	1,247	2,435	2,026	1,970	23,647	7,833	7,993	9,538	7,529	4,610	4,440	2,384	3,110	0,845	0,276	1,006
10	-(K)	1,805	1,760	1,378	1,276	1,923	1,622	17,640	5,421	9,463	8,798	7,967	5,285	3,689	2,075	3,297	0,994	0,252	0,787
11	-(K)	1,932	1,715	1,164	1,912	2,176	1,912	19,616	6,294	7,902	9,159	9,954	5,390	4,367	2,879	3,374	0,719	0,199	0,637
1	-(P)	0,774	0,563	0,730	8,254	8,881	9,355	18,789	6,202	8,361	5,774	9,132	6,060	2,729	2,314	2,633	0,407	0,148	0,411
2	-(P)	0,971	0,538	0,572	10,651	9,262	9,787	20,512	6,558	10,279	6,666	6,437	5,024	3,330	1,376	3,210	0,670	0,150	0,631
3	-(P)	0,806	0,727	0,657	12,043	9,215	9,348	20,925	5,972	10,554	6,677	7,539	5,028	3,183	1,473	3,168	0,477	0,198	0,602
4	-(P)	0,847	0,513	0,694	10,008	9,557	10,569	17,411	5,248	9,590	5,510	8,326	5,425	3,139	2,058	3,139	0,897	0,259	0,781
5	-(P)	0,956	0,518	0,787	11,709	9,361	9,492	19,960	5,317	9,038	6,548	9,932	4,891	3,201	2,142	3,284	0,782	0,299	0,743
6	-(P)	1,026	0,560	0,657	11,013	10,368	7,063	19,432	5,329	9,555	6,355	6,631	5,176	3,047	1,047	3,205	1,192	0,197	0,602
7	-(P)	0,934	0,614	0,767	12,003	7,987	9,407	19,926	7,178	10,566	7,470	10,547	4,733	3,569	2,343	3,598	0,858	0,209	0,584
8	-(P)	0,959	0,582	0,585	10,275	5,558	9,041	18,341	5,145	8,039	5,599	8,227	6,284	2,702	2,277	3,336	0,502	0,279	0,593
9	-(P)	0,825	0,414	0,520	8,357	9,040	9,007	18,192	5,053	5,972	5,655	6,759	5,896	3,165	1,596	3,340	0,427	0,156	0,612
10	-(P)	0,739	0,465	0,824	9,711	8,098	8,658	15,929	4,973	8,005	5,810	9,612	6,325	2,992	2,081	3,312	0,514	0,223	1,901
11	-(P)	0,885	1,318	1,011	8,807	10,015	8,682	17,101	4,801	8,797	5,767	6,920	5,796	3,103	1,456	3,724	0,436	0,187	0,743
1	-(N)	2,878	3,685	1,736	11,928	11,289	5,699	7,970	3,664	5,662	4,892	7,532	4,272	2,360	1,498	2,587	0,319	0,188	0,556
2	-(N)	2,607	3,856	2,160	10,972	9,876	6,215	6,983	3,399	5,191	5,156	6,980	4,892	2,501	1,409	2,109	0,284	0,305	0,435
3	-(N)	2,414	3,943	2,359	10,133	9,828	7,540	6,248	3,250	5,248	4,159	6,203	5,079	1,839	1,292	2,221	0,236	0,408	0,775
4	-(N)	1,970	3,501	1,848	11,360	10,503	10,165	6,937	3,698	5,559	4,606	5,969	4,701	2,554	1,717	2,002	0,338	0,211	0,671
5	-(N)	3,045	3,954	1,386	13,303	10,511	6,604	7,488	3,939	5,180	5,674	8,072	4,158	2,650	1,805	1,959	0,380	0,236	0,527
6	-(N)	2,688	4,289	2,227	12,761	10,911	6,666	7,075	4,226	7,718	5,631	9,210	5,271	2,544	1,898	2,233	0,391	0,250	0,527

7	-(N)	2,347	3,523	2,357	12,205	10,058	7,817	7,789	3,583	5,605	5,923	7,663	5,010	3,146	1,499	2,050	0,344	0,257	0,543
8	-(N)	2,188	2,492	2,106	11,062	9,079	7,868	6,868	2,906	5,869	4,077	6,472	4,366	1,910	1,410	1,833	1,183	0,182	0,704
9	-(N)	1,885	3,801	1,836	10,100	9,977	5,288	7,419	3,181	5,180	4,415	6,412	4,688	2,306	1,816	2,200	0,283	0,499	0,518
10	-(N)	2,562	3,668	2,410	13,274	10,506	6,788	5,076	3,388	6,282	4,723	8,039	4,508	2,557	1,767	2,040	0,412	0,181	0,528
11	-(N)	2,342	3,619	2,022	11,518	8,888	7,312	9,211	4,190	5,421	4,148	7,350	4,541	2,073	1,646	2,292	1,568	0,220	0,549

A.15- Teor de micronutrientes na folha e caule das progênies de eucalipto

Progênie	Tratamento	B			Cu		Mn		Fe		Zn	
		folha	caule	raiz	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule
		mg/kg										
1	Completo	229,42	60,30	52,76	3,81	3,85	212,78	76,15	69,45	46,01	29,54	29,14
2	Completo	227,19	52,64	66,45	3,28	3,56	173,50	83,31	74,91	45,14	26,85	32,14
3	Completo	283,00	47,34	101,76	3,13	3,45	192,43	55,98	93,83	42,01	25,81	24,24
4	Completo	214,64	43,47	56,36	2,95	3,49	153,50	54,68	52,48	29,66	25,18	19,34
5	Completo	277,52	49,99	99,35	3,45	3,73	190,78	54,51	71,88	35,68	32,98	26,41
6	Completo	162,86	42,96	62,68	2,45	3,63	138,55	47,02	54,38	33,05	21,60	26,35
7	Completo	223,05	47,77	58,91	3,09	3,08	154,90	52,14	47,88	24,31	28,55	16,85
8	Completo	207,13	32,32	39,93	2,18	3,25	152,87	48,22	66,83	62,23	26,45	21,28
9	Completo	258,07	41,98	68,21	2,86	3,08	168,36	45,30	63,05	40,83	28,36	20,19
10	Completo	233,28	38,27	68,96	2,31	3,14	173,59	52,24	106,21	51,73	29,74	24,63
11	Completo	188,77	47,97	76,32	2,04	3,03	146,35	50,69	51,56	46,46	17,71	21,60

1	-(NPK)	332,03	57,97	90,66	3,87	6,50	147,63	102,33	55,02	39,68	26,85	29,70
2	-(NPK)	373,23	53,08	80,71	4,10	5,48	133,80	105,03	35,71	39,06	19,71	18,75
3	-(NPK)	376,84	53,25	99,62	3,34	4,64	136,16	75,73	40,28	31,40	24,40	21,93
4	-(NPK)	388,66	49,14	97,90	3,91	6,21	111,48	73,13	39,21	45,96	19,39	19,51
5	-(NPK)	380,32	87,21	96,96	3,86	7,05	225,93	96,30	43,06	40,40	34,20	37,59
6	-(NPK)	390,20	45,28	103,71	4,08	5,18	86,88	72,33	126,05	41,65	24,28	31,48
7	-(NPK)	411,14	77,07	112,72	4,05	6,81	135,63	68,10	38,40	23,59	26,53	19,13
8	-(NPK)	372,47	42,49	106,10	5,19	7,03	121,15	57,46	46,74	35,98	29,34	16,21
9	-(NPK)	445,41	52,26	84,97	3,69	6,70	112,31	58,33	34,16	32,68	21,30	16,69
10	-(NPK)	442,31	52,39	95,03	3,81	5,63	162,44	78,15	39,61	29,15	34,19	24,11
11	-(NPK)	372,43	52,88	100,77	4,38	9,38	147,81	56,03	50,26	87,71	22,59	23,14
1	-(K)	428,14	37,69	57,98	3,29	3,75	286,73	62,84	99,93	72,88	39,38	37,13
2	-(K)	494,36	40,00	57,36	4,32	2,82	286,58	54,32	108,35	33,92	46,27	27,72
3	-(K)	439,61	34,75	35,76	3,04	2,95	241,43	51,79	73,78	43,24	38,65	29,84
4	-(K)	380,40	31,49	47,45	3,46	3,08	250,30	55,23	77,29	34,64	38,63	22,31
5	-(K)	331,75	27,46	34,43	3,64	3,30	261,43	49,03	86,59	40,20	44,76	36,14
6	-(K)	453,67	43,37	60,19	4,19	3,51	255,99	60,10	69,69	33,49	49,36	41,49
7	-(K)	463,26	41,93	64,91	3,03	3,73	260,07	60,40	72,22	37,73	40,38	31,10
8	-(K)	485,66	37,09	49,08	6,68	3,25	356,43	58,71	79,75	43,18	69,58	33,10
9	-(K)	456,92	39,31	56,40	4,70	3,39	313,31	49,24	75,15	32,90	51,08	26,74
10	-(K)	346,74	29,15	49,07	3,15	3,50	298,80	80,70	182,53	65,45	34,98	25,28
11	-(K)	350,40	42,20	45,99	3,49	2,91	259,26	47,74	62,86	43,30	39,84	25,79

1	-(P)	633,52	71,70	110,48	9,18	8,15	142,02	63,68	56,50	34,45	55,87	35,08
2	-(P)	472,68	162,56	81,80	8,34	6,35	103,11	32,15	61,21	25,63	46,28	22,25
3	-(P)	583,82	62,30	80,16	9,04	7,78	143,38	48,61	73,75	58,63	51,66	29,13
4	-(P)	437,24	51,93	77,91	7,14	7,08	81,33	35,05	70,03	29,41	45,01	23,48
5	-(P)	419,35	52,75	102,77	9,15	9,33	109,50	33,81	68,55	40,33	39,35	24,49
6	-(P)	312,23	48,13	65,39	6,87	7,25	90,03	34,37	62,13	42,38	43,35	24,72
7	-(P)	447,87	61,09	99,67	8,10	6,84	90,13	35,94	64,49	75,91	56,51	29,41
8	-(P)	500,08	50,44	123,64	10,05	7,33	133,11	46,75	68,26	66,83	47,85	22,96
9	-(P)	366,19	55,74	73,70	6,60	7,15	94,73	33,43	61,63	46,35	33,23	16,15
10	-(P)	372,47	57,56	66,23	5,75	6,14	77,99	39,41	69,40	52,94	34,65	17,79
11	-(P)	304,92	51,70	76,83	6,51	6,98	82,33	35,58	66,89	44,76	33,83	19,79
1	-(N)	422,58	55,78	125,70	3,91	5,19	109,74	85,41	54,01	85,05	22,90	22,41
2	-(N)	505,20	79,15	121,31	3,43	3,77	104,57	83,67	46,52	29,63	22,40	16,75
3	-(N)	441,19	55,90	115,21	3,10	3,35	119,21	119,45	39,70	28,33	20,41	22,00
4	-(N)	411,14	170,51	115,64	3,99	4,06	118,04	74,86	50,73	60,90	25,15	22,24
5	-(N)	467,30	68,66	145,05	3,58	4,15	127,36	100,28	58,14	29,10	28,65	25,89
6	-(N)	469,04	294,12	145,17	3,52	4,32	100,62	72,82	32,40	22,32	22,28	25,75
7	-(N)	418,61	63,35	115,55	3,43	4,03	150,55	95,93	52,50	58,77	22,25	18,70
8	-(N)	349,57	60,32	117,89	3,60	3,90	112,64	91,04	38,36	30,75	22,68	20,53
9	-(N)	287,99	40,08	147,82	2,83	4,63	136,10	83,64	39,58	42,28	21,88	30,54
10	-(N)	472,49	63,03	140,00	3,23	4,18	136,76	136,54	76,68	30,25	26,21	21,73
11	-(N)	440,24	167,86	122,35	3,36	3,90	101,75	76,26	39,48	32,04	21,06	18,41

A.16- Conteúdo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea e raízes das progênes de eucalipto

Progênie	Tratamento	Ca		Mg		S		B		Cu	Mn	Fe	Zn
		PA	raiz	PA	raiz	PA	raiz	PA	raiz	PA	PA	PA	PA
		mg/pl						µg/pl					
1	Completo	210,40	251,37	29,27	41,13	9,68	13,31	4004,36	4321,02	91,74	3615,72	1477,67	686,50
2	Completo	177,27	222,94	31,59	41,61	9,27	15,54	4460,12	5088,79	90,32	3722,71	1828,87	771,53
3	Completo	216,27	273,78	34,66	47,43	24,99	31,70	5616,95	6596,15	88,85	4119,11	1990,06	718,63
4	Completo	190,99	243,94	33,42	43,98	9,59	15,16	4545,03	5073,94	91,16	3550,41	1304,56	688,51
5	Completo	175,69	218,37	27,27	36,71	9,02	13,14	4409,42	5102,45	83,31	3293,96	1314,40	692,64
6	Completo	204,69	244,31	30,37	40,44	9,56	15,50	3699,14	4175,13	94,05	3309,21	1496,52	790,73
7	Completo	206,25	248,06	34,23	42,03	11,69	15,63	4907,96	5370,31	92,59	3561,81	1187,44	732,62
8	Completo	262,58	314,06	37,57	48,03	13,13	20,17	4893,40	5243,92	85,94	3941,61	2143,34	817,60
9	Completo	240,92	305,39	37,64	54,49	11,02	16,69	5425,46	6031,25	93,78	3891,12	1726,00	805,04
10	Completo	214,51	270,98	32,91	43,30	12,49	17,83	4840,48	5532,80	79,73	3858,91	2497,24	806,71
11	Completo	270,46	328,31	40,21	55,25	30,76	36,72	4995,39	5737,12	80,73	3953,27	1725,74	657,90
1	-(NPK)	55,01	66,09	23,07	31,24	2,23	4,00	1900,74	2108,51	35,11	926,14	307,61	184,34
2	-(NPK)	76,31	100,92	28,45	40,41	3,35	5,58	2393,95	2687,56	42,22	1154,38	349,47	179,09
3	-(NPK)	67,58	93,65	24,35	38,30	3,27	5,29	2274,97	2751,47	33,55	838,03	301,03	194,98
4	-(NPK)	98,75	117,45	37,40	49,78	3,42	5,81	2933,61	3315,56	49,55	1063,45	445,14	208,27
5	-(NPK)	53,26	68,36	23,96	38,00	2,57	5,06	2046,76	2408,33	35,87	1485,52	282,30	241,25

6	-(NPK)	90,41	109,24	32,11	45,19	3,42	6,48	2911,05	3254,03	45,81	848,04	1041,66	271,73
7	-(NPK)	82,83	99,81	29,37	42,12	2,87	5,03	2627,07	3030,57	43,46	1001,87	283,88	205,59
8	-(NPK)	91,44	108,02	30,53	43,52	2,72	5,18	2367,04	2731,50	52,27	948,35	380,28	223,44
9	-(NPK)	75,37	92,73	30,11	43,48	2,72	5,80	3021,02	3418,90	47,69	954,68	342,27	194,19
10	-(NPK)	63,17	76,44	23,51	32,61	3,66	5,45	2231,10	2534,24	36,46	765,86	273,96	216,35
11	-(NPK)	112,52	137,21	39,30	56,97	6,51	11,07	2657,36	3163,27	60,05	1218,79	613,06	228,34
1	-(K)	153,78	185,84	64,82	87,00	13,31	19,08	5454,11	5805,13	66,36	3745,34	1729,25	739,82
2	-(K)	165,66	201,27	62,53	83,97	9,36	14,71	5287,58	5643,19	63,07	3469,98	1301,62	629,20
3	-(K)	197,91	234,85	69,66	95,74	9,27	14,38	5821,20	6092,49	66,08	3670,45	1329,16	758,99
4	-(K)	152,12	187,92	64,88	86,57	13,11	17,62	4831,02	5182,87	65,07	3302,21	1204,59	642,64
5	-(K)	229,96	271,47	85,62	106,65	14,01	18,69	5208,90	5463,38	83,61	4341,84	1668,77	954,54
6	-(K)	152,76	184,57	53,80	70,43	7,05	9,44	4806,72	5036,87	61,15	2664,73	839,27	700,03
7	-(K)	197,75	237,57	76,32	96,87	8,17	12,07	6666,43	7082,75	74,29	4087,98	1269,68	831,73
8	-(K)	189,02	215,03	67,48	86,07	9,54	14,61	4987,88	5272,47	88,18	3844,95	1090,50	913,29
9	-(K)	157,86	183,88	62,84	80,05	9,86	14,03	4875,80	5101,55	75,17	3464,61	1013,14	704,31
10	-(K)	172,58	197,81	61,29	78,23	14,60	18,75	4421,25	4665,79	66,98	4201,50	3026,51	619,67
11	-(K)	224,05	271,12	88,31	117,82	11,25	16,69	5319,99	5706,21	78,75	4072,77	1286,18	807,43
1	-(P)	96,44	115,11	34,80	40,94	4,42	5,80	3706,69	3948,18	100,13	1198,12	727,39	537,14
2	-(P)	115,94	148,30	45,82	66,59	8,81	12,94	6174,50	6705,74	131,45	1371,86	860,38	647,70
3	-(P)	90,53	119,97	34,06	53,03	5,64	9,55	4913,55	5435,25	106,55	1362,06	1042,24	552,43
4	-(P)	137,96	178,66	55,61	78,09	10,86	15,78	6061,97	6619,43	142,00	1424,57	1141,85	695,65

5	-(P)	112,30	171,55	41,76	87,10	7,83	18,25	4128,90	5073,13	130,56	1139,44	957,98	501,99
6	-(P)	132,57	169,71	46,02	68,37	13,47	17,73	4368,40	4822,31	138,94	1457,89	1074,90	713,85
7	-(P)	116,38	153,13	43,51	70,33	6,27	10,63	4518,44	5130,85	110,06	1083,14	865,87	724,13
8	-(P)	83,32	113,79	34,35	52,20	6,43	10,01	3911,02	4395,17	114,13	1019,99	999,88	515,64
9	-(P)	139,21	189,18	59,98	88,46	7,31	12,64	5320,48	5941,63	156,66	1611,93	1319,12	623,34
10	-(P)	181,67	240,52	63,14	93,80	8,71	23,67	5013,75	5610,57	145,24	1707,74	1425,26	667,83
11	-(P)	149,57	203,99	60,86	93,81	8,01	14,74	5303,88	5979,00	155,33	1640,29	1407,26	654,18
1	-(N)	44,57	59,36	15,96	24,91	2,28	4,35	2235,74	2669,67	31,73	731,41	517,54	158,63
2	-(N)	58,70	83,13	21,79	32,38	2,82	5,08	3704,24	4331,38	36,60	1018,20	407,64	213,91
3	-(N)	44,02	64,28	14,84	23,58	2,77	5,78	2710,17	3167,18	27,18	1051,19	315,65	184,28
4	-(N)	39,13	55,75	17,48	24,24	2,25	4,90	2512,36	2898,17	27,70	718,81	388,29	174,10
5	-(N)	39,41	52,44	14,16	20,10	2,35	4,11	2072,63	2515,24	20,77	697,27	288,02	162,50
6	-(N)	43,42	55,27	15,76	20,93	2,79	3,92	2679,84	2992,40	25,10	622,24	203,91	156,94
7	-(N)	46,34	64,49	17,82	25,25	2,31	4,68	2038,36	2452,04	28,55	949,21	401,67	154,81
8	-(N)	37,91	52,98	13,23	19,48	6,38	8,89	2093,77	2490,21	27,44	807,19	267,26	162,90
9	-(N)	41,34	57,02	16,46	23,93	3,32	5,07	1323,47	1743,56	24,92	875,27	282,05	167,42
10	-(N)	51,21	68,75	20,48	28,44	3,16	5,25	3171,34	3751,76	29,38	1120,29	528,72	210,97
11	-(N)	71,40	88,79	30,61	39,51	30,88	33,07	5655,12	6124,51	48,62	1397,48	589,19	304,49

A.17- Eficiência de utilização de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea e totaldas progênie de eucalipto

Progênie	Tratamento	Ca		Mg		S		B		Cu	Mn	Fe	Zn
		PA	Total	PA	Total	PA	Total	PA	Total	PA	PA	PA	PA
		g ² /g						mg ² /mg					
1	Completo	1088	1949	7555	11534	25479	39635	57	115	2653	69	152	333
2	Completo	2370	3948	12358	20590	51529	65556	86	163	4228	104	199	499
3	Completo	1837	3047	11034	17028	32883	40682	67	125	4350	92	195	532
4	Completo	2131	3589	12069	19710	49597	64274	92	175	4740	115	314	591
5	Completo	1758	3014	11336	17959	46535	61623	71	134	3824	96	253	466
6	Completo	2436	3667	18625	23598	54054	58168	171	247	5508	180	359	652
7	Completo	1822	3040	10180	16953	40243	56939	77	144	3839	96	290	472
8	Completo	2093	3730	14599	24471	50720	68475	113	231	6896	139	284	684
9	Completo	2214	3439	13481	18326	54723	72973	95	167	5648	131	296	629
10	Completo	2790	4711	18143	29522	77741	95782	123	235	7500	153	280	803
11	Completo	1735	3056	11581	17965	43384	55881	93	177	5713	119	267	692
1	-(NPK)	451	853	1136	1882	11353	14487	14	28	702	27	94	143
2	-(NPK)	752	1272	1915	3109	20549	28927	22	47	1268	50	171	300
3	-(NPK)	1049	1962	3335	5003	21580	35656	33	71	2246	127	293	386
4	-(NPK)	536	1018	1406	2419	15701	20963	18	36	1074	51	123	255
5	-(NPK)	942	1927	1740	2838	16504	21332	21	45	1146	41	159	188
6	-(NPK)	480	902	1332	2155	12827	16657	15	30	942	51	73	164

7	-(NPK)	493	966	1424	2298	15754	20564	15	32	978	47	157	209
8	-(NPK)	478	941	1431	2318	17400	21250	19	38	831	51	117	196
9	-(NPK)	841	1721	2313	3957	23921	29011	21	46	1426	76	212	338
10	-(NPK)	639	1203	1738	2828	15522	19586	19	40	1106	65	160	199
11	-(NPK)	642	1362	1859	3220	14015	20192	25	55	1218	70	129	300
1	-(K)	1523	2895	3545	6082	34140	39779	47	104	3566	63	151	316
2	-(K)	1494	2514	4034	6105	44188	51766	50	95	4025	83	277	461
3	-(K)	1574	2770	4415	6755	40819	52652	59	116	4617	83	245	409
4	-(K)	1598	2756	3710	5851	22124	32069	50	101	3948	75	201	390
5	-(K)	1567	2895	4213	7260	34720	51048	70	146	4180	81	219	392
6	-(K)	907	1531	2593	4064	25651	36335	30	58	2311	56	185	208
7	-(K)	1229	2125	3239	5306	31934	44048	40	79	3277	59	199	292
8	-(K)	929	1706	2600	4275	18926	25700	36	70	2064	46	160	194
9	-(K)	1199	1832	2795	3806	19726	22224	33	59	2164	46	157	226
10	-(K)	1070	1796	2927	4322	18921	24575	41	75	2771	43	91	285
11	-(K)	1543	2784	3888	6374	32928	47958	66	135	4705	84	269	425
1	-(P)	792	1299	2206	3746	17283	25772	27	49	872	74	106	170
2	-(P)	1516	2668	3840	5906	29808	40144	33	67	1345	130	205	267
3	-(P)	1266	2362	3239	5191	23305	31637	25	54	1085	90	130	209
4	-(P)	1754	2870	4405	6622	31299	42840	41	80	1765	170	215	389
5	-(P)	4936	6873	11971	11304	98863	57797	138	294	3807	497	364	1074
6	-(P)	1898	3399	5635	8661	41413	51610	57	120	1897	180	255	376
7	-(P)	1651	3096	4332	6678	35973	46834	47	102	1694	189	227	257

8	-(P)	1334	2300	3443	5180	25700	32053	31	67	939	135	110	217
9	-(P)	1946	3379	4538	7310	39244	51635	66	134	1734	182	214	440
10	-(P)	2324	3718	6613	9466	58808	69799	84	161	2810	282	332	621
11	-(P)	2347	4035	5942	9383	52369	59841	68	146	2416	209	256	619
1	-(N)	786	1427	2114	3380	16969	21045	16	32	1134	47	74	233
2	-(N)	1193	2190	3195	5502	28405	41733	20	42	1975	72	179	346
3	-(N)	1170	1935	3459	5235	24034	26083	19	40	1953	49	167	288
4	-(N)	979	1685	2235	3893	18964	20746	16	34	1518	57	112	223
5	-(N)	660	1272	1923	3357	16013	18672	13	26	1490	38	105	168
6	-(N)	407	753	1149	2014	11723	15305	8	16	716	30	93	116
7	-(N)	936	1704	2481	4407	22978	23746	24	49	1484	46	154	278
8	-(N)	1013	1805	2874	4874	14177	15590	23	44	1402	48	142	236
9	-(N)	926	1557	2205	3597	16749	21266	40	65	1507	44	128	223
10	-(N)	887	1616	2270	3931	18312	26051	20	38	1576	43	119	223
11	-(N)	784	1429	2156	3622	10646	16347	12	25	1127	43	118	201

A.18- Eficiência de translocação de cálcio, magnésio, enxofre e boro das progênes de eucalipto

Progênie	Tratamento	Ca	Mg	S	B
		mg/mg			µg/µg
1	Completo	0,835	0,726	0,721	0,925
2	Completo	0,789	0,761	0,618	0,882
3	Completo	0,774	0,721	0,691	0,868
4	Completo	0,784	0,756	0,616	0,893

5	Completo	0,807	0,741	0,669	0,867
6	Completo	0,830	0,749	0,612	0,879
7	Completo	0,821	0,813	0,725	0,908
8	Completo	0,835	0,778	0,638	0,930
9	Completo	0,792	0,691	0,669	0,898
10	Completo	0,791	0,758	0,643	0,877
11	Completo	0,818	0,723	0,680	0,876
1	-(NPK)	0,829	0,731	0,578	0,880
2	-(NPK)	0,745	0,698	0,595	0,891
3	-(NPK)	0,762	0,684	0,628	0,844
4	-(NPK)	0,838	0,753	0,589	0,888
5	-(NPK)	0,785	0,636	0,515	0,838
6	-(NPK)	0,826	0,711	0,560	0,897
7	-(NPK)	0,832	0,708	0,578	0,878
8	-(NPK)	0,848	0,707	0,528	0,862
9	-(NPK)	0,815	0,698	0,495	0,890
10	-(NPK)	0,837	0,745	0,638	0,891
11	-(NPK)	0,823	0,688	0,574	0,847
1	-(K)	0,825	0,744	0,652	0,935
2	-(K)	0,815	0,730	0,612	0,925
3	-(K)	0,840	0,722	0,638	0,948
4	-(K)	0,798	0,738	0,711	0,932
5	-(K)	0,836	0,788	0,720	0,939
6	-(K)	0,844	0,780	0,758	0,952

7	-(K)	0,832	0,787	0,671	0,944
8	-(K)	0,877	0,784	0,648	0,945
9	-(K)	0,838	0,778	0,701	0,949
10	-(K)	0,865	0,780	0,736	0,947
11	-(K)	0,828	0,753	0,672	0,929
1	-(P)	0,814	0,800	0,750	0,937
2	-(P)	0,778	0,684	0,628	0,912
3	-(P)	0,758	0,657	0,582	0,910
4	-(P)	0,779	0,718	0,670	0,918
5	-(P)	0,730	0,626	0,596	0,831
6	-(P)	0,782	0,672	0,685	0,903
7	-(P)	0,775	0,633	0,627	0,853
8	-(P)	0,745	0,682	0,647	0,888
9	-(P)	0,732	0,679	0,579	0,891
10	-(P)	0,754	0,673	0,494	0,894
11	-(P)	0,746	0,662	0,538	0,897
1	-(N)	0,762	0,663	0,529	0,854
2	-(N)	0,711	0,674	0,575	0,852
3	-(N)	0,680	0,623	0,469	0,852
4	-(N)	0,708	0,711	0,490	0,857
5	-(N)	0,765	0,710	0,549	0,828
6	-(N)	0,787	0,752	0,623	0,885
7	-(N)	0,721	0,708	0,530	0,829

8	-(N)	0,738	0,706	0,636	0,810
9	-(N)	0,704	0,686	0,551	0,742
10	-(N)	0,747	0,716	0,626	0,809
11	-(N)	0,763	0,717	0,769	0,897

A.19- Sintomas visuais da deficiência de nitrogênio, fósforo e potássio das progênes de eucalipto nas condições nutricionais impostas no segundo experimento

Nitrogênio



Fósforo



Potássio

