

RODOLFO DE NIRO GAZOLA

**ADUBAÇÃO NITROGENADA, FOSFATADA E POTÁSSICA NA
PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E NO BALANÇO
NUTRICIONAL DO EUCALIPTO**

Ilha Solteira

2017

RODOLFO DE NIRO GAZOLA

**ADUBAÇÃO NITROGENADA, FOSFATADA E POTÁSSICA NA
PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E NO BALANÇO
NUTRICIONAL DO EUCALIPTO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
do Campus de Ilha Solteira – UNESP como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Doutor em Agronomia. Especialidade:
Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Salatiér Buzetti
Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

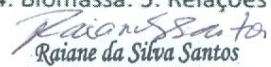
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G291a Gazola, Rodolfo de Niro.
Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produtividade, ciclagem de nutrientes e no balanço nutricional do eucalipto / Rodolfo de Niro Gazola. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
183 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Salatiér Buzetti
Inclui bibliografia

1. *Eucalyptus*. 2. Fertilização. 3. Macronutrientes. 4. Biomassa. 5. Relações log isométricas (ilr).


Raiane da Silva Santos
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao Usuário e Documentação
Supervisora Técnica de Seção
CRB CRB-0/0000

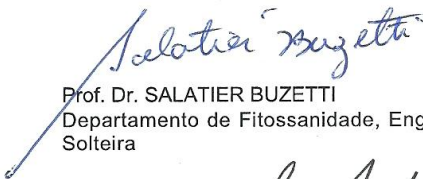
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produtividade, ciclagem de nutrientes e no balanço nutricional do eucalipto

AUTOR: RODOLFO DE NIRO GAZOLA

ORIENTADOR: SALATIER BUZETTI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SALATIER BUZETTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



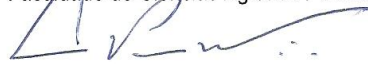
Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - SP



Profa. Dra. ELISANGELA DUPAS

Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados



Dr. GUSTAVO PAVAN MATEUS

Departamento de Descentralização do Desenvolvimento / Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

Ilha Solteira, 21 de dezembro de 2017

DEDICO

A Deus, por tudo, em todos os momentos.

À Raíssa Pereira Dinalli Gazola, por todo carinho, amor e companheirismo.

Ao Prof. Dr. Salatiér Buzetti, por toda a dedicação, atenção e amizade concedidas, orientando-me também na vida. Quem me ensinou que não há barreiras para o esforço; que todo esforço será recompensado e que tudo tem solução.

A sua orientação acadêmica foi uma etapa da minha vida e a amizade será pra sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

À Raíssa Pereira Dinalli Gazola por todo apoio e por compartilhar todos os momentos, com muito amor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Salatiér Buzetti, pela oportunidade de poder ter sido seu orientado.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Marcelo C. M. Teixeira Filho, grande amigo, cuja contribuição foi imprescindível para a realização desse trabalho; meu espelho de garra, determinação, competência, humildade e entendimento para com o próximo.

Ao Prof. Dr. Mário Luiz Teixeira de Moraes pela atenção e colaboração em todos os momentos em que precisei.

Aos meus pais, Maria Angélica Pereira Gazola e Nirovaldo Gazola, pelo carinho e preocupação em todos os momentos. A você pai, obrigado por ser meu esteio nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos, Rafael Fernando Arantes Pereira Gazola e Ana Cláudia Gazola, meus primeiros amigos, por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus avós Lucília Carreto Gazola e Antônio Gazola (*in memoriam*), sei que estão comigo. E, Maria Aurea Arantes Pereira e Francisco Alves Pereira por toda atenção e amor dedicados.

Aos avós da Raíssa, Irineu Dinalli (*in memoriam*), meu grande amigo e a Therezinha Rodrigues Dinalli (*in memoriam*) pelo amor e carinho.

Aos meus tios, tias, primos e primas, parceiros de toda vida. À tia Zilda Gazola, agradeço com muito carinho, por todas as vezes que nos recebeu em sua casa com tanto amor e dedicação.

Às minhas mães do coração Fátima Galdino Arantes e Ana Rosa Pavan Mateus pelo carinho e amizade.

Aos queridos amigos Rose Viudes Parra dos Santos, Marcondes dos Santos, Rosana Camargo Sanitá, Lucilene Barbosa de Souza Celestrino, Aurélio Celestrino, Alzira Barbosa de Souza, Rosângela Tucunduva, Carol Tucunduva pelo apoio, carinho e atenção.

Aos meus “amigos-irmãos”, Thiago de Souza Celestrino e Saelen R. Penteado pelo apoio e amizade.

À Elisângela Dupas, pela amizade, incentivo, ensinamentos e contribuição de grande importância.

Aos professores e amigos Rafael Montanari e Regina M. M. de Castilho, sempre dispostos a contribuir no que fosse preciso.

À Cargill Agrícola S/A, pela concessão da área experimental.

Aos funcionários da Cargill Agrícola S/A, em especial ao Alexandre Costa da Silva e Jefferson dos Santos.

Aos técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo, Carlos Araújo da Silva e João Batista Mariano de Carvalho, e do Laboratório de Nutrição de Plantas, Marcelo Rinaldi da Silva, pelo auxílio nas análises.

A todos os professores pela dedicação e contribuição.

À banca do exame geral de qualificação, professores Rafael Montanari e Marcelo C. M. Teixeira Filho. Obrigado pelas sugestões e contribuições.

À banca da defesa, professores Marcelo Andreotti, Mário Luiz Teixeira de Moraes, Elisângela Dupas e Gustavo Pavan Mateus, pelas contribuições e sugestões.

Ao João de Oliveira e José de Oliveira, sempre dedicados, que foram de extrema importância para a avaliação do experimento.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa, em especial ao José Cambuim, por todo auxílio e sugestões.

Aos funcionários da Seção de Pós-graduação e ao José Carlos (Seção Técnica Administrativa).

Aos funcionários da Biblioteca, em especial a Raiane da Silva Santos, pelas correções e gentileza.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de estudo nos primeiros meses do Doutorado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de Doutorado (FAPESP - processo: 2014/02641-6).

À Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, por todas as oportunidades a mim concedidas.

A todos que contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

“Ora em Silêncio e confia em Deus, esperando pela Divina Providência, porque Deus tem estradas, onde o mundo não tem caminhos. É por isto que a tempestade pode rugir à noite, mas não existem forças na Terra que impeçam, cada dia a chegada de novo amanhecer.”

(Francisco Cândido Xavier- Meimei)

RESUMO

As áreas de cultivo do eucalipto têm ocupado novas regiões do Brasil, sendo que o estado do Mato Grosso do Sul lidera esta expansão. Nessas novas áreas, a condição edafoclimática é um fator limitante ao desenvolvimento dessa cultura, pois os solos do bioma Cerrado apresentam baixa fertilidade natural, com pouca disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K), e baixo teor de matéria orgânica (M.O.), além disso, o clima é caracterizado pela presença de déficit hídrico acentuado e frequente. Portanto, a carência de nutrientes no solo aliado às condições climáticas influenciam no desenvolvimento da cultura. Neste contexto, objetivou-se avaliar a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica dado à importância desses nutrientes na cultura do eucalipto, e a suas limitações no solo em estudo. O experimento foi conduzido na Fazenda Renascença, fundo agrícola administrado pela Cargill Agrícola S/A, localizado no município de Três Lagoas/MS, de setembro de 2011 a julho de 2017, em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos de doses de nitrogênio (N) (0, 70, 105 e 140 kg ha⁻¹), de P (0, 40, 70 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e de K (0, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O). Cada parcela foi composta por 56 plantas, distribuídas em sete linhas de oito plantas cada, totalizando 420 m². Nas linhas de plantio, as mudas do clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) foram espaçadas em 2,5 m e nas entrelinhas em 3,0 m. Foram avaliados: a produtividade de madeira; as concentrações de nutrientes nas folhas; a produtividade de folhedos, as concentrações e a transferência de nutrientes de folhedos; a disponibilidade dos macronutrientes no solo; o balanço dos nutrientes nas folhas e no solo (relação log isométrica); a produção, concentrações de nutrientes e seu acúmulo na biomassa e a eficiência no uso dos nutrientes. A adubação nitrogenada, fosfatada e potássica aumentaram a produção de biomassa, volume de madeira e estoque de nutrientes na biomassa. As doses de N influenciaram nas concentrações de N na folha e no folheto, nos balanços foliares de [N | P], [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg] e na ciclagem de K e não interferiram na produtividade de folheto, nos teores de P, K, Ca, Mg e S no solo e na eficiência da utilização dos nutrientes. As doses de P influenciaram positivamente na transferência de P e K para solo, no balanço foliares de [N | P], nos teores de P solo e não interferiram na produtividade de folheto, nos teores de K, Ca, Mg e S no solo e na eficiência da utilização dos nutrientes. As doses de K influenciaram positivamente nas concentrações de K e negativamente nas de Mg na folha e no folheto, na transferência de K e Mg para o solo, nos balanços foliares de [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg] e do solo de [K, Ca, Mg | H+Al] e [K | Ca, Mg], na eficiência da utilização do N e não interferiram na produtividade de folheto e nos teores de P, Ca, Mg e S no solo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*. Fertilização. Macronutrientes. Biomassa. Relações log isométricas (ilr).

ABSTRACT

The areas of eucalyptus cultivation have occupied new regions of Brazil, being that the state of Mato Grosso do Sul leads this expansion. In these new areas, the soil and soil conditions of the Cerrado biome have low natural fertility, with low availability of phosphorus (P) and potassium (K), and low organic matter (OM), in addition, the climate is characterized by the presence of accentuated and frequent water deficit. Therefore, the lack of nutrients in the soil combined with climatic conditions influence the development of the crop. In this context, the objective was to evaluate the nitrogen, phosphate and potassium fertilization given to the importance of these nutrients in the eucalyptus crop and its limitations in the soil under study. The experiment was conducted at Fazenda Renascença, an agricultural fund managed by Cargill Agrícola S / A, located in the municipality of Três Lagoas / MS, from September 2011 to July 2017, in a Entisols. A randomized block design with four treatments and five replications. The treatments were composed rates of nitrogen (N) (0, 70, 105 and 140 kg ha⁻¹), P (0, 40, 70 and 100 kg ha⁻¹ P₂O₅) and K (0, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹ K₂O). Each plot was composed of 56 plants, distributed in seven lines of eight plants each, totaling 420 m². In the planting lines, the seedlings of clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) were spaced at 2.5 m and in between lines at 3.0 m. The following were evaluated: wood productivity; nutrient concentrations in leaves; foliar productivity, nutrient concentrations and transfer of foliage; the availability of macronutrients in soil; nutrient balance in leaves and soil (isometric log ratio); production, nutrient concentrations and their accumulation in the biomass and the efficiency in the use of the nutrients. Nitrogen, phosphate and potassium fertilization increased biomass production, wood volume and nutrient stock in biomass. N rates influenced leaf and leaf N concentrations in leaf balances of [N | P], [K | Ca, Mg] and [Ca | Mg and K cycling and did not interfere in leaf productivity, P, K, Ca, Mg and S contents in the soil and nutrient utilization efficiency. The P rates influenced positively the transfer of P and K to soil, in the leaf balance of [N | P] levels in soil P and did not interfere with leaf productivity, soil K, Ca, Mg and S contents and nutrient utilization efficiency. The K rates influenced positively K concentrations and negatively Mg concentrations in leaf and leaf, K and Mg transfer to soil, in the leaf swings of [K | Ca, Mg] and [Ca | Mg] and the soil of [K, Ca, Mg | H + Al] and [K | Ca, Mg] in the efficiency of N utilization and did not interfere in leaf productivity and soil P, Ca, Mg and S contents.

Keywords: *Eucalyptus*. Fertilization. Macronutrients. Biomass. Isometric log ratio (ilr).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Acumulados mensais da precipitação pluvial registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas/MS, 2012/17.....	37
Figura 2 -	Croqui da área experimental com os tratamentos distribuídos em cinco blocos.....	40
Figura 3 -	Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	49
Figura 4 -	Concentrações de nitrogênio (A) e magnésio (B) nas folhas do eucalipto aos 36 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015.....	52
Figura 5 -	Produtividade média de folheto de plantas de eucalipto nas quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	54
Figura 6 -	Concentrações médias de nitrogênio (A) e potássio (B) no folheto do eucalipto entre o período de 36 a 42 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/16.....	58
Figura 7 -	Quantidade de K transferida ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	61
Figura 8 -	Balanço [N P] (36 meses), [K Ca, Mg] (30 e 36 meses) e [Ca Mg] (36 meses) nas folhas de eucalipto, em função de doses de N (A, B e C, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2014/15.....	74
Figura 9 -	Biomassa de folhas, galhos, lenho e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.....	77
Figura 10 -	Acúmulos de N, P, K, Ca e S (A, B, C, D e E, respectivamente) nos compartimentos folhas, galhos, lenho, casca e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.....	82
Figura 11 -	Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto em função de doses de P ₂ O ₅ . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	87
Figura 12 -	Concentrações de fósforo nas folhas do eucalipto aos 42 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P ₂ O ₅ . Três Lagoas/MS, 2015.....	90

Figura 13 -	Produtividade média de folheto de plantas de eucalipto nas quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	92
Figura 14 -	Concentrações de fósforo no folheto do eucalipto entre o período de 42 a 54 e 54 a 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	95
Figura 15 -	Quantidade de fósforo (A) e potássio (B) transferido ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	99
Figura 16 -	Teores de P no solo na linha nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (A e B, respectivamente) e na entrelinha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (C e D, respectivamente), aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	102
Figura 17 -	Teores de K no solo na linha nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (A e B, respectivamente) e na entrelinha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (C e D, respectivamente), aos 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	107
Figura 18 -	Balanço [N, P S] e [N P] nas folhas de eucalipto aos 42 e 66 meses de idade em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	112
Figura 19 -	Biomassa de folhas, lenho e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	114
Figura 20 -	Acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S (A, B, C, D, E e F, respectivamente) nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	118
Figura 21 -	Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	124
Figura 22 -	Concentrações de N, K, Ca e Mg (A, B, C e D) aos 30, 36 e 66 meses de idade do eucalipto, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	128
Figura 23 -	Produtividade média de folheto de plantas de eucalipto nas quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	131

Figura 24 -	Concentrações de K, Ca e Mg no folheto do eucalipto entre o período de 30 a 66 meses de idade, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	134
Figura 25 -	Quantidades de P, K e Mg transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	138
Figura 26 -	Teores de P no solo na entrelinha de plantio do eucalipto (0-20 cm) aos 36 meses de idade, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015.....	142
Figura 27 -	Teores de K no solo na linha de plantio do eucalipto (0-20 cm) aos 36 e 66 meses de idade após o plantio e na entrelinha (20-40 cm) aos 36, 48, 60 e 66 meses, em função de doses de K ₂ O (A e B, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2015/17.....	146
Figura 28 -	Balanço [K Ca, Mg] e [Ca Mg] nas folhas de eucalipto aos 30 e 36 meses de idade, em função de doses de K ₂ O (A e B, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2014/15.....	151
Figura 29 -	Balanço [K Ca, Mg] na linha de plantio (0,0-20,0 e 20,0-40,0 cm) aos 36 meses de idade e na entrelinha (20,0-40,0 cm) aos 36 e 48 meses, em função de doses de K ₂ O (A e B, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2015/16.....	154
Figura 30 -	Biomassa de folhas, lenho e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	156
Figura 31 -	Concentrações de potássio e magnésio nas folhas do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	159
Figura 32 -	Acúmulos de K, Ca, Mg e S (A, B, C e D, respectivamente) nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	161
Figura 33 -	Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017...	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.....	36
Tabela 2 -	Análise química inicial do solo. Três Lagoas/MS, 2011.....	36
Tabela 3 -	Quantidade parcial e total de nutrientes aplicados nos tratamentos. Três Lagoas/MS, 2012/13.....	40
Tabela 4 -	Partição binária sequencial do balanço de nutrientes nas folhas.....	44
Tabela 5 -	Partição binária sequencial do balanço catiônico no solo.....	45
Tabela 6 -	Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	49
Tabela 7 -	Concentrações de macronutrientes aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	51
Tabela 8 -	Produtividade de folheto entre os períodos de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e 30 a 66 meses (total) após o plantio do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	54
Tabela 9 -	Concentrações médias de macronutrientes nos folhetos de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	57
Tabela 10 -	Quantidades de macronutrientes transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	60
Tabela 11 -	Teores de fósforo no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	63
Tabela 12 -	Teores de enxofre no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	66
Tabela 13 -	Teores de potássio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	67

Tabela 14 -	Teores de cálcio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	69
Tabela 15 -	Teores de magnésio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	71
Tabela 16 -	Balanço dos macronutrientes (relação log isométrica) nas folhas de eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	72
Tabela 17 -	Faixas de balanços de nutrientes obtidas pelos teores-padrão de nutrientes indicados por Gonçalves (2011).....	74
Tabela 18 -	Balanço catiônico no solo [K, Ca, Mg H+Al] em plantação de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	76
Tabela 19 -	Biomassa dos compartimentos do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.....	77
Tabela 20 -	Concentrações dos nutrientes nos componentes das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.....	79
Tabela 21 -	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.....	81
Tabela 22 -	Eficiência de utilização do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.....	85
Tabela 23 -	Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P ₂ O ₅ . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	87
Tabela 24 -	Concentrações de macronutrientes aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P ₂ O ₅ . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	89
Tabela 25 -	Produtividade de folheto entre os períodos de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e 30 a 66 meses (total) após o plantio do eucalipto, em função de doses de P ₂ O ₅ . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	91

Tabela 26 -	Concentrações de macronutrientes nos folhedos de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	94
Tabela 27 -	Quantidades de macronutrientes transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	98
Tabela 28 -	Teores de fósforo no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	101
Tabela 29 -	Teores de enxofre no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	104
Tabela 30 -	Teores de potássio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	106
Tabela 31 -	Teores de cálcio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	109
Tabela 32 -	Teores de magnésio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.....	110
Tabela 33 -	Balanço dos macronutrientes (relação log isométrica) nas folhas de eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses de idade, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.....	111
Tabela 34 -	Biomassa dos compartimentos do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	113
Tabela 35 -	Concentrações dos nutrientes nos componentes das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	116
Tabela 36 -	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	117
Tabela 37 -	Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre das árvores de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.....	121

Tabela 38 -	Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	124
Tabela 39 -	Concentrações de macronutrientes aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	126
Tabela 40 -	Produtividade de folheto entre os períodos de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e 30 a 66 meses (total) após o plantio do eucalipto, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	130
Tabela 41 -	Concentrações de macronutrientes nos folhetos de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	133
Tabela 42 -	Quantidades de macronutrientes transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	137
Tabela 43 -	Teores de fósforo no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	141
Tabela 44 -	Teores de enxofre no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	143
Tabela 45 -	Teores de potássio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	145
Tabela 46 -	Teores de K no solo na entrelinha das plantas do híbrido <i>E. urophylla</i> , nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, avaliados aos 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	147
Tabela 47 -	Teores de cálcio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	148
Tabela 48 -	Teores de magnésio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	150

Tabela 49 -	Balanço dos macronutrientes (relação log isométrica) nas folhas de eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	151
Tabela 50 -	Balanço catiônico no solo [K Ca, Mg] em plantação de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	153
Tabela 51 -	Balanço catiônico no solo [Ca Mg] em plantação de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2015/17.....	154
Tabela 52 -	Biomassa dos compartimentos do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	156
Tabela 53 -	Concentrações dos nutrientes nos componentes das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	158
Tabela 54 -	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	160
Tabela 55 -	Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre das árvores de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K ₂ O. Três Lagoas/MS, 2017.....	165

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	CULTURA DO EUCALIPTO.....	22
2.2	CLONE I144 (<i>Eucalyptus urophylla</i>).....	24
2.3	ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	25
2.4	ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	28
2.5	ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	31
2.6	CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	33
2.7	BALANÇO NUTRICIONAL - Relação log-isométrica (ilr).....	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1	LOCAL E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	36
3.2	DESCRIÇÕES DAS PRÁTICAS SILVICULTURAIS.....	38
3.2.1	Implantação (2011/12).....	38
3.2.2	Manutenção (2012).....	38
3.2.3	Manutenção (2013).....	39
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	39
3.4	AVALIAÇÕES.....	41
3.4.1	Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca.....	41
3.4.2	Concentrações dos nutrientes nas folhas.....	41
3.4.3	Folhedo.....	42
3.4.3.1	<i>Produtividade de folhedo (deposição de folhas senescentes).....</i>	<i>42</i>
3.4.3.2	<i>Concentrações dos nutrientes no folhedo.....</i>	<i>42</i>

3.4.3.3	<i>Transferências dos nutrientes para o solo via folhede.....</i>	43
3.4.4	Fertilidade do Solo.....	43
3.4.5	Balanço dos nutrientes.....	44
3.4.5.1	<i>Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr).....</i>	44
3.4.5.2	<i>Balanço catiônico no solo (relação log isométrica - ilr).....</i>	45
3.4.6	Avaliação da biomassa de eucalipto.....	46
3.4.6.1	<i>Produção de biomassa.....</i>	46
3.4.6.2	<i>Concentrações dos nutrientes nos compartimentos.....</i>	46
3.4.6.3	<i>Nutrientes acumulados na biomassa.....</i>	47
3.4.7	Eficiência no uso dos nutrientes.....	47
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1	ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	48
4.1.1	Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca.....	48
4.1.2	Concentrações dos nutrientes nas folhas.....	50
4.1.3	Folhede.....	53
4.1.3.1	<i>Produtividade de folhede.....</i>	53
4.1.3.2	<i>Concentrações dos nutrientes no folhede.....</i>	57
4.1.3.3	<i>Transferências dos nutrientes para o solo via folhede.....</i>	59
4.1.4	Fertilidade do Solo.....	63
4.1.5	Balanço dos nutrientes.....	71
4.1.5.1	<i>Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr).....</i>	71
4.1.5.2	<i>Balanço catiônico no solo (relação log isométrica - ilr).....</i>	75
4.1.6	Avaliação da biomassa de eucalipto.....	77

4.1.6.1	<i>Produção de biomassa.....</i>	77
4.1.6.2	<i>Concentrações dos nutrientes nos compartimentos.....</i>	79
4.1.6.3	<i>Nutrientes acumulados na biomassa.....</i>	80
4.1.7	Eficiência no uso dos nutrientes.....	84
4.2	ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	86
4.2.1	Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca.....	86
4.2.2	Concentrações dos nutrientes nas folhas.....	88
4.2.3	Folhedo.....	91
4.2.3.1	<i>Produtividade de folhedo.....</i>	<i>91</i>
4.2.3.2	<i>Concentrações dos nutrientes no folhedo.....</i>	<i>94</i>
4.2.3.3	<i>Transferências dos nutrientes para o solo via folhedo.....</i>	<i>97</i>
4.2.4	Fertilidade do Solo.....	100
4.2.5	Balanço dos nutrientes.....	111
4.2.5.1	<i>Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr).....</i>	<i>111</i>
4.2.6	Avaliação da biomassa de eucalipto.....	113
4.2.6.1	<i>Produção de biomassa.....</i>	<i>113</i>
4.2.6.2	<i>Concentrações dos nutrientes nos compartimentos.....</i>	<i>115</i>
4.2.6.3	<i>Nutrientes acumulados na biomassa.....</i>	<i>116</i>
4.2.7	Eficiência no uso dos nutrientes.....	121
4.3	ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	123
4.3.1	Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca.....	123
4.3.2	Concentrações dos nutrientes nas folhas.....	126
4.3.3	Folhedo.....	129
4.3.3.1	<i>Produtividade de folhedo.....</i>	<i>129</i>

4.3.3.2	<i>Concentrações dos nutrientes no folheto.....</i>	133
4.3.3.3	<i>Transferências dos nutrientes para o solo via folheto.....</i>	136
4.3.4	Fertilidade do Solo.....	140
4.3.5	Balanço dos nutrientes.....	150
4.3.5.1	<i>Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr).....</i>	150
4.3.5.2	<i>Balanço catiônico no solo (relação log isométrica - ilr).....</i>	153
4.3.6	Avaliação da biomassa de eucalipto.....	155
4.3.6.1	<i>Produção de biomassa.....</i>	155
4.3.6.2	<i>Concentrações dos nutrientes nos compartimentos.....</i>	158
4.3.6.3	<i>Nutrientes acumulados na biomassa.....</i>	159
4.3.7	Eficiência no uso dos nutrientes.....	163
5	CONCLUSÕES.....	167
	REFERÊNCIAS.....	168

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas com plantios de Eucalipto, no Brasil, é notório, visto que há investimentos de empresas nacionais do segmento de papel e celulose e a inserção de novas áreas de cultivo. Apesar disso, no País, grande parte do plantio da cultura encontra-se em áreas de solos com baixa fertilidade, pequena disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), e baixo teor de matéria orgânica (M.O.), o que implica em limitante fornecimento desses nutrientes à planta, refletindo na redução da produtividade. Além disso, a ação antrópica nesses solos, com o depauperamento por longos anos proporcionado pela pecuária extensiva, modificou suas propriedades químicas, com esgotamento dos nutrientes sem sua devida reposição, o que influenciou negativamente a produtividade do povoamento recém florestado.

Considerando que as espécies de eucaliptos são exigentes em nutrientes, a adubação torna-se, diante deste cenário, essencial. Há necessidade de avaliação da influência da adubação nitrogenada em plantios de eucalipto, pois os resultados de alguns estudos tem sido contraditórios, evidenciando que a cultura apresenta ou não resposta para as diferentes condições edafoclimáticas. A aplicação de P e K, cujos teores em solos do Cerrado são geralmente baixos, o que limita a produção, também é importante, sendo a de K de extrema importância, principalmente, para regiões que apresentam longo período de estiagem, como do Bioma de Cerrado.

O estudo de doses da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica serve como base para recomendações adequadas de fertilização, o que para a cultura do eucalipto é de grande relevância frente à carência de recomendação mais atual, posto que as quantidades recomendadas estão bem aquém das utilizadas atualmente pelas empresas.

Recomendações de adubações nas doses corretas e a escolha do material genético adequado garantem economia por parte das empresas e garantia de produtividade. O excesso, além de onerar mais os custos com a fertilização, pode implicar em desequilíbrio nutricional na planta e/ou no desbalanço nos atributos químicos do solo, pois adubação nitrogenada pode influenciar na acidez do solo e a potássica na soma de bases.

O aumento das doses de fertilizantes resulta em ganhos na produtividade da cultura do eucalipto devido a maior disponibilidade de nutrientes, principalmente, nas condições do solo em estudo. Além disso, há de se esperar também que esse aumento tenha efeito na ciclagem dos nutrientes e no balanço nutricional (interações dos nutrientes na folha e no solo).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DO EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália e pertencente à família Myrtaceae, possui mais de 900 espécies adaptadas às mais diversas condições de clima e solo, sendo amplamente plantado no Brasil devido ao seu rápido crescimento, produção de madeira de boa qualidade e com diversas finalidades, além de boa adaptação às condições edafoclimáticas (BERGER et al., 2002; SOCIEDADE BRASILEIRA SILVICULTURA - SBS, 2006; PREVEDELLO et al., 2013; FLORES et al., 2016). A cultura apresenta baixos custos de produção (LIMA; GARCIA, 2008), devido a sua maior capacidade de produção de madeira por unidade de área, dentro de ciclo relativamente curto (BERTI, 2010).

Em 2016, a área de plantios de *Eucalyptus* no Brasil totalizou 5,7 milhões de hectares (ha), representando crescimento nos últimos cinco anos de 2,4% ao ano (a.a.). No País os plantios estão localizados, principalmente, nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%), estado esse que tem liderado esta expansão, registrando aumento de 400 mil ha neste período, com uma taxa média de crescimento de 13% a.a. (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2017), sendo que essas áreas concentram-se na parte leste do Estado, em função do baixo valor relativo das terras, abrangendo os municípios de Três Lagoas e Ribas do Rio Pardo (SANTOS, 2011). Dessa forma, o seu cultivo tem ocupado novas regiões do País, além das tradicionais, como a Sul e Sudeste (SANTANA et al., 2008a)

Sendo assim, os florestamentos têm se expandido em regiões que apresentam solos de baixa fertilidade natural e déficit hídrico acentuado e frequente, como no bioma Cerrado (GAVA et al., 1997; OLIVEIRA NETO et al., 2010; ALVES, 2011). Os solos dessa região caracterizam-se por apresentarem elevada acidez, permeabilidade, saturação por alumínio, além de baixa saturação por bases, teores de P e matéria orgânica. Somado a essas características naturais, a ação antrópica nesses solos, depauperados por longos anos pela pecuária extensiva, modificou suas propriedades químicas, implicando na maior redução dos nutrientes.

As espécies de eucaliptos são consideradas exigentes em nutrientes, sendo que o seu acúmulo no tronco e na parte aérea total segue a seguinte ordem: N > cálcio (Ca) > K >

magnésio (Mg) > P (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Benatti (2013) obteve em clones de eucalipto, aos seis anos e meio de idade, a seguinte sequência: Ca > N > K > Mg > P, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumulada foi praticamente semelhante. Vieira et al. (2012) relataram a mesma sequência obtida pelo autor citado, com híbrido *Eucalyptus urograndis*, aos 18 meses de idade. Com base nessas constatações, verifica-se que, dentre os macronutrientes primários, o N e o K são os mais extraídos e o P o menos.

Em relação à adubação de NPK nos plantios de eucalipto, a adubação nitrogenada tem sido contraditória na literatura, sendo os ganhos de produtividade desses plantios em resposta à sua fertilização relativamente baixa ou ausente. Enquanto que a fosfatada é de grande importância, pois o nutriente é um dos que mais limita a produção na região do Cerrado, em função de seus baixos teores na solução do solo, bem como de sua alta capacidade de adsorção e precipitação, uma vez que esses solos são extremamente ácidos e com altos teores de Al trocável (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004; SILVEIRA; GAVA, 2004). Juntamente com o P, o K é dos nutrientes que mais limita a produção nesses solos, sendo que a sua utilização tem possibilitado aumentos significativos de produtividade em grande parte das áreas plantadas, decorrentes dos baixos teores desse nutriente nos solos (ALMEIDA et al., 2007).

O estudo da calibração de adubação NPK serve como base para recomendações adequadas, o que para a cultura do eucalipto é relevante frente à carência de recomendação mais atual, uma vez que as quantidades recomendadas estão bem aquém das utilizadas atualmente pelas empresas. De acordo com Silva (2011) diversos experimentos têm demonstrado maior produtividade do eucalipto com o aumento das doses de fertilizantes. O autor menciona que esses resultados mudaram o manejo da fertilização nos plantios comerciais, visto que no passado não se aplicava fertilizante ou a quantidade aplicada era pequena e, atualmente, estes recebem doses elevadas de fertilizantes. A calibração de adubação NPK evita também a aplicação de elevadas doses de fertilizantes, o que implica em menor custo na produção. Castro (2011) relatou que a adubação assume, dentro dos aspectos da cultura do eucalipto, importância ímpar, uma vez que é parcela significativa dos custos de produção.

Considerando o exposto, as recomendações de adubação devem ser definidas em nível regional para as espécies e tipos de solo mais representativos (FERREIRA, 2011); pois a

produtividade do eucalipto, de acordo com Stape, Binkley e Ryan (2008), é governada pelas condições ambientais, sendo a disponibilidade de água um dos principais fatores que limitam o crescimento da cultura. Nesse sentido, doses adequadas de N, P e K variam com as condições do ambiente.

2.2 CLONE I144 (*Eucalyptus urophylla*)

Além dos fatores ambientais como clima e solo, deve-se considerar a adoção de genótipos mais produtivos e provavelmente mais exigentes nutricionalmente. Atualmente, como mencionado anteriormente, a maioria dos reflorestamentos usam clones, como o *E. urograndis*, que é híbrido resultante do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (VALERI et al., 2001). Esses são caracterizados como plantas de desenvolvimento acelerado, tolerantes às doenças ou às adversidades climáticas e que geram produtos de qualidade (BENATTI, 2013). Segundo Paludzyszyn Filho et al. (2004), dessa combinação interespecífica, espera-se árvores vigorosas, com madeira de maior densidade e com alta resistência ao cancro causado pelo fungo *Cryptonectria cubensis*, sendo esse híbrido um dos mais plantados no Brasil.

Alves (2011) salienta que devem ser realizadas recomendações específicas de adubação para cada genótipo devido às exigências marcantes e diferenciadas entre eles por nutrientes. Segundo Silva (2011), a recomendação de adubação da literatura precisa ser reavaliada, principalmente devido à utilização de genótipos mais produtivos e provavelmente mais exigentes que os utilizados para gerar a recomendação.

Nesse sentido, Dias, Barros Filho e Barros (2011) estudaram teores críticos de nutrientes em mini jardim clonal de eucalipto, e constataram que adubações generalistas não foram totalmente eficazes no suprimento de nutrientes à diferentes clones, pois os mesmos podem apresentar teores críticos distintos. Além disso, os genótipos podem ser agrupados quanto às exigências nutricionais, visando manejo de adubação mais específico por grupo. Também Matos et al. (2012) avaliaram o desenvolvimento inicial e o estado nutricional de cinco clones de eucalipto provenientes de locais de seleção no nordeste do Pará, e identificaram grupos de clones com diferentes padrões de absorção de macronutrientes, e que tais padrões indicam, pelo menos inicialmente, que os genótipos da Amazônia oriental, e os

vindos do sudeste do País, diferem quanto a absorção de Mg e P, o que pode implicar em manejo diferenciado das adubações.

Segundos Neves et al. (2011), os clones I144 e I220 (*Eucalyptus urophylla*), por apresentarem maiores valores de densidade básica da madeira, são considerados os mais indicados para produção de bioenergia. Esses clones também apresentam elevado teor de lignina, o que os qualifica para a produção de carvão vegetal.

Faria et al. (2008) constataram que híbridos de *Eucalyptus urophylla* são mais produtivos e mais eficientes na absorção e utilização de N, P e K. Exemplos de estudos envolvendo a utilização do clone I144 (*Eucalyptus urophylla*), utilizado nesta pesquisa são os de Pinto et al. (2011), que estudaram a eficiência nutricional de seis clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. Os resultados obtidos demonstraram que entre os genótipos avaliados os clones 386 e I144 foram os mais eficientes na utilização de N e na absorção e utilização de P, sendo esses clones fundamentais para o uso mais racional de P, contribuindo para a redução dos custos da fertilização, sem comprometer a produtividade do sítio florestal, e apresentando ainda maior eficiência na utilização de K, pois conseguem se estabelecer em solos com menor disponibilidade desse nutriente sem comprometer a produção de biomassa.

Pinto (2009) verificaram que, de forma geral, os clones podem ser separados, quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte sequência: I144 > 386 > 58 $\approx$ GG100 > VM1 > I042, sendo que o clone I144 mostrou-se mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e enxofre (S), com maior eficiência na absorção e utilização destes nutrientes na produção de biomassa. Tal constatação é de grande importância, pois visa estabelecer determinados materiais (clones de espécies ou híbrido de eucalipto) compatíveis com as condições do solo, sendo essas, uma das mais limitantes para o desenvolvimento da cultura.

2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA

O N é constituinte de vários compostos em plantas, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila. No solo, a principal fonte de N para as plantas é proveniente da mineralização da matéria orgânica (M.O.) (CANTARELLA, 2007). Na camada arável do solo o N encontra-se principalmente em formas orgânicas, ligado a restos vegetais parcialmente

decompostos, ao húmus e, em menores quantidades, nas formas de nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+), expressivamente assimiláveis pelas plantas (LOPES; BASTOS; DAHER, 2007). O NH_4^+ proveniente da fertilização nitrogenada e da mineralização da M.O. é absorvido pelas plantas, entretanto, o NO_3^- é a forma de N predominantemente absorvida (MALAVOLTA, 2006).

Os sintomas visuais da deficiência de N em *Eucalyptus* são verificados quando da ocorrência de folhas velhas inicialmente apresentando coloração verde clara, que vão ficando amarelcidas e com pequenos pontos avermelhados ao longo do limbo; posteriormente, os pontos cobrem todo o limbo, ocorrendo avermelhamento generalizado (SILVEIRA et al., 2001). Segundo Wadt et al. (1999), as variações no estado nutricional de eucaliptos sob influência de genótipos e da idade da árvore demonstraram que a deficiência de N é maior no início do ciclo da cultura. A concentração foliar de N associado a altas produtividades de *E. grandis* encontra-se entre 21 a 23 g kg⁻¹ (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Gonçalves (2011) considera que as concentrações foliares de N adequadas para as espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil esta entre 21 a 30 g kg⁻¹.

O acúmulo de nutrientes no tronco e na parte aérea total das espécies de *Eucalyptus* segue a seguinte ordem: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Entretanto, Benatti (2013) constatou em clones de eucalipto, aos seis anos e meio de idade, a seguinte sequência: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumulada foi praticamente semelhante. Nesse sentido, dentre os macronutrientes primários verifica-se que o N é o mais extraído pela cultura.

No entanto, a influência da adubação nitrogenada tem sido contraditória em plantios de eucalipto. Os ganhos de produtividade desses plantios em resposta à sua fertilização têm sido relativamente baixos ou ausentes, o que indica que o solo tem sido capaz de suprir boa parte da demanda deste nutriente para as plantas, o que pode ser atribuído à maior quantidade de N mineralizado da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES, 1997; GAMA-RODRIGUES et al., 2005). Jesus (2008) salientou em sua pesquisa que poucos trabalhos no País foram encontrados sobre a resposta do eucalipto à adubação nitrogenada e, os poucos consultados mostraram a inconsistência das respostas e dados contrastantes com relação à taxa de recuperação do N do fertilizante.

De acordo com Gonçalves, Raij e Gonçalves (1997), a recomendação de doses de N em plantios de eucalipto é baseada no teor de M.O. do solo, partindo da suposição de que, em

solos com teores mais elevados de M.O., o estoque de N é maior, sendo para esta condição recomendado a menor dose. Segundo Maeda (2010), para a recomendação de adubação nitrogenada baseada no teor de M.O., supõe-se que o N nela presente será liberado com a sua mineralização, e que o conteúdo de N tem relação direta com o conteúdo de matéria orgânica. De acordo com Takahashi et al. (2004) a dose adequada de N para NEOSSOLO QUARTZARÊNICO com baixo teor de M.O. ($10\text{-}20\text{ g dm}^{-3}$) está compreendida entre 80 e 120 kg ha^{-1} de N.

Gava, Araújo e Silveira (2003) avaliaram o crescimento de clones de *Eucalyptus* em função da aplicação de N em solos com alto teor de M.O., e sugeriram que existe potencial de reposta do eucalipto à aplicação de N mesmo em solos com teores mais elevados de M.O. Em trabalho desenvolvido por Araújo et al. (2003), o potencial de resposta do *Eucalyptus* à aplicação de N em solos com baixo teor de M.O. (20 g dm^{-3}) foi segundo esses autores maior que os relatados em vários trabalhos. Ainda, de acordo com os autores, para aumentar a eficiência de resposta, sugere-se que as doses sejam mais elevadas que as comumente utilizadas ($> 150\text{ kg ha}^{-1}$ de N).

Melo (2014) avaliou a nutrição e fertilização de plantações de eucalipto em diferentes condições edafoclimáticas e, constatou que no experimento com adubação nitrogenada no município de Ribas do Rio Pardo/MS para *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, a dose que proporcionou máxima produtividade de madeira foi de 97,7; 86,3 e $83,8\text{ kg ha}^{-1}$ de N (aos 36, 48 e 60 meses de idade, respectivamente). Nos municípios de Mogi-Guaçu/SP (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO) e Luís Antônio/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO) aos 36 meses, a resposta foi linear com máxima produtividade obtida com a dose de 150 kg ha^{-1} de N. De acordo com o autor, os ganhos em produtividade do eucalipto no sítio localizado no município de Ribas do Rio Pardo/MS com a dose de 100 kg ha^{-1} de N em comparação a testemunha foram crescentes com a idade da cultura, aos 24 meses de 23% e aos 60 meses de 60%, e que isso, deve-se ao elevado déficit hídrico presente na região de estudo, o que explica a resposta contínua ao N.

A prática da adubação nitrogenada é realizada normalmente no período entre o plantio até o fechamento da copa, posto que a alta demanda por nutrientes, principalmente pelo N, é requerida até à formação da copa (ciclo geoquímico). Segundo Benatti (2013), nesse ciclo a relação solo/planta representa a disponibilidade dos nutrientes para o desenvolvimento das plantas, e nesse sentido as adubações devem ser realizadas neste período, pois, de maneira

geral, os solos brasileiros apresentam baixos teores de nutrientes. Após esse período a ciclagem de nutrientes, pela deposição folhas, galhos e demais partes da planta que caem sobre o solo, formam a serrapilheira que assume papel importante no fornecimento de nutrientes para as plantas por meio da sua decomposição. Esse novo ciclo da cultura é denominado de ciclo biogeoquímico, em que, segundo Gonçalves et al. (2000) a demanda das plantas pelos nutrientes do solo diminui, em virtude da otimização desse ciclo, logo a resposta à fertilização mineral é cada vez menor.

Segundo Santana et al. (2008b) aproximadamente, 75 % de N, P, K, Ca e Mg estão em outros componentes da parte aérea da árvore, e não no lenho, evidenciando a importância do descascamento e manutenção da copa no campo no processo de colheita. Somado a isso, de acordo com Vieira et al. (2009), na serrapilheira depositada sobre o solo, o N é o nutriente mais representativo, seguido pelo Ca, K e Mg, sendo o N e Ca os elementos de maior expressão na serrapilheira do *Eucalyptus urograndis* para transferência ao solo.

Portanto, a prática da adubação nitrogenada na fase inicial de crescimento até o fechamento da copa da cultura é de grande importância, visto que nesse período há maior requisição dos nutrientes, em especial do N. Esse fato aliado ao baixo teor de M.O. do solo propicia condições para respostas da cultura à fertilização nitrogenada.

2.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA

O P é componente vital para todos os seres vivos, pois compõe a estrutura genética fundamental (DNA e RNA) e está envolvido em produção, transferência e armazenamento de energia via ATP e NADPH em todos os processos biológicos na natureza. Nas plantas, o P é necessário para fotossíntese, respiração, função celular, transferência de genes bem como reprodução (STAUFFER; SLULEWSKI, 2004). O íon H_2PO_4^- no solo é a forma preferencialmente absorvida pelas plantas (RAIJ, 2011). O contato entre o P na solução do solo e a raiz se faz quase que exclusivamente por difusão, processo segundo o qual o elemento movimenta-se a curtas distâncias dentro de fase aquosa estacionária, denominada solução do solo, a favor do gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2006).

O sintoma característico de deficiência severa de P na cultura do eucalipto, no campo, de acordo com Silveira e Gava (2004), é a redução do tamanho das plantas, as quais ficam completamente arroxeadas. Esses autores, a partir de dados propostos por vários outros

autores para valores de faixas de deficiência e adequadas concentrações de P em folhas recém-maduras de espécies de eucalipto nos estádios juvenil e adulto, constataram variação dos valores das faixas de deficiência e adequadas para os dois estádios: juvenil 0,4-1,0 g kg⁻¹ (deficientes) e 1,0-4,0 g kg⁻¹ (adequadas); adulto 0,7-1,1 g kg⁻¹ (deficientes) e 0,8-3,1 g kg⁻¹ (adequadas).

As espécies de *Eucalyptus* são consideradas exigentes em P principalmente na fase inicial do crescimento (STAHL, 2009). Considerando o acúmulo dos nutrientes no tronco e na parte aérea total seguem a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > P (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Baseando-se nesses dados, dentre os macronutrientes, o P é o menos extraído pela cultura. No entanto, é dos que mais limita a produção na região do Cerrado, pois os seus teores na solução do solo são geralmente baixos, além de apresentar alta capacidade de adsorção e precipitação, uma vez que esses solos são extremamente ácidos e com altos teores de Al trocável (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004; SILVEIRA; GAVA, 2004). Uma forma de compensar essa baixa disponibilidade é a aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados, porém tal prática onera bastante os custos de implantação do eucalipto. Portanto, a prática racional da adubação otimizando a utilização de recursos financeiros e ambientais depende de criteriosos estudos de calibração (BOGNOLA et al., 2011; MAEDA; BOGNOLA, 2012).

Os fertilizantes fosfatados mais comumente utilizados nos plantios de eucalipto no País são o superfosfato simples e o superfosfato triplo, isoladamente ou junto com formulação NPK (06-30-06), aplicados na cova ou no sulco de plantio, e os fosfatos naturais reativos aplicados em faixa de 1,0 a 1,5 m de largura e incorporados ou em sulcos de 15 a 30 cm de profundidade (SILVEIRA; GAVA, 2004). Segundo Paula e Lopes (2003), os tratamentos que receberam superfosfato triplo apresentaram ganho médio em altura de 10, 25 e 34% em relação aos tratamentos com superfosfato simples, fosfato natural e a testemunha (sem P), respectivamente. De acordo com Leite et al. (2009), a prática de localizar fertilizantes fosfatados solúveis em parte do volume de solo cultivado, pode reduzir a fixação do P e otimizar a sua absorção pelas plantas. Outra forma de manejo da adubação fosfatada é a combinação de fontes solúveis com pouco solúveis, preconizando que as fontes solúveis como superfosfato simples ou triplo forneça P na fase inicial do crescimento (arranque inicial), enquanto que as de baixa solubilidade como os fosfatos reativos forneceria P nas fases de

manutenção e crescimento em idades adultas (FERNANDEZ et al. 2000; BARROS; NEVES; NOVAIS, 2005).

A fertilização corretiva de NPK, com alta proporção de P, melhora o crescimento do eucalipto (PEÑALOZA, 2005). Neste contexto, de acordo com Gava et al. (1997), a maioria das áreas em cultivo e grande parte daquelas que serão agregadas respondem positivamente à adubação, principalmente a fosfatada.

Costa et al. (2008) constataram em solo de cerrado, que para o máximo crescimento em altura do *Eucalyptus camaldulensis* aos quatro meses após o seu plantio, são indicadas as doses de 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados no sulco de plantio, 50 e 33 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, no primeiro parcelamento das adubações nitrogenada e potássica. Dessa forma, os resultados de Rocha et al. (2011) para o índice de sobrevivência e desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus urograndis* no campo produzidas sob doses crescentes de P, demonstraram que a adubação fosfatada em mudas de eucalipto aumentou 27% o índice de sobrevivência das mudas no campo. Paula e Lopes (2003) estimaram que a dose para obtenção do máximo crescimento em altura do eucalipto seria de 155 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, para teores médios de P no solo.

Melo (2014) avaliou a nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas e constatou que nos experimentos com adubação fosfatada no município de Ribas do Rio Pardo/MS, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, as doses estimadas para obtenção das máximas produções do *Eucalyptus grandis* x *urophylla* aos 24 e 48 meses de idade foram de 72,2 e 95,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, e superior a 90,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aos 60 meses, o que indicou o aumento das respostas ao P com a idade. No município de Mogi-Guaçu/SP (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO) as doses estimadas para obtenção das máximas produções do *Eucalyptus urophylla* x *globulus* aos 18 e 48 meses de idade foram de 70,0 e 57,4 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, ou seja, houve a diminuição das respostas com a idade. O autor explica que essa diferença entre os dois locais deve-se ao teor inicial de P no solo, sendo de 1,3 mg dm⁻³ de P em Ribas do Rio Pardo/MS e de 4,0 mg dm⁻³ de P em Mogi-Guaçu/SP. De acordo com Gonçalves et al. (2008), em solos com teores de P acima de 4 mg dm⁻³ as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada.

2.5 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

O K não desempenha função estrutural na planta, sendo o seu principal papel nos vegetais o de atuar na ativação enzimática (MALAVOLTA, 1980). Segundo Taiz e Zeiger (2013), o K é requerido como cofator de mais de 40 enzimas, também é o principal cátion no estabelecimento do turgor celular e manutenção da eletroneutralidade celular. É absorvido da solução do solo pelas plantas na forma K^+ (DECHEN; NATHTIGALL, 2007).

Em relação a sintomas de deficiência de K em algumas espécies de *Eucalyptus*, há variações de coloração e de intensidade; alguns genótipos apresentam clorose marginal como sintoma característico, enquanto em outros, o sintoma de avermelhamento das bordas das folhas é o mais marcante (SILVEIRA; GAVA; MALAVOLTA, 2005).

O K é dos elementos que mais limitam a produtividade do *Eucalyptus* no Brasil (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). É o segundo ou o terceiro nutriente mais acumulado, ficando às vezes abaixo do N e do Ca, sendo requerido na fase juvenil e adulta, ao contrário do P que é mais exigido na fase inicial (SILVEIRA; GAVA; MALAVOLTA, 2005; STAHL, 2009).

De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o teor foliar de K associado a altas produtividades de *Eucalyptus grandis* encontra-se entre 9 a 10 g kg⁻¹. Silveira e Malavolta (2003) avaliaram o efeito do K no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva, e verificaram diferenças quanto à faixa adequada de K nas folhas no período da fase juvenil entre as progênies, e constataram que a concentração adequada para a progênie mais responsiva ficou entre 6,4 a 15,3 g kg⁻¹, enquanto que para a menos responsiva a faixa foi de 3,1 a 14,0 g kg⁻¹.

Vários trabalhos consultados na literatura relatam resposta do *Eucalyptus* em solo cujos teores de K estão abaixo de 1,0 mmol_c dm⁻³ (GALO, 1993; SCATOLINI et al., 1996; GAVA, 1997; MELO, 2014; GAZOLA et al., 2015). Sendo assim, nas condições de teores mais elevados no solo, as respostas do *Eucalyptus* à aplicação desse nutriente não têm sido tão consistentes, tendo efeito apenas em solos cujos teores não ultrapassam 1,0 mmol_c dm⁻³ (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

A prática da fertilização potássica tem possibilitado aumentos significativos de produtividade em grande parte das áreas plantadas, decorrentes dos baixos teores desse

nutriente nos solos (ALMEIDA et al., 2007). A recomendação racional de adubação de K no campo e viveiro bem como locação das espécies nas áreas de plantio, em função de suas características nutricionais e dos teores de K no solo, são de grande importância (TEIXEIRA; GONÇALVES; ARTHUR JUNIOR, 2006).

Melo (2014) avaliou no município de Ribas do Rio Pardo/MS em NEOSSOLO QUATZARÊNICO ($0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K) a aplicação de doses de K_2O (0,0; 50,0; 100,0 e 150,0 kg ha^{-1} de K_2O) em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, e verificou que a resposta às doses desse nutriente aumentou entre 24 e 60 meses de idade, sendo que aos 24 meses a dose que propiciou máxima produção de madeira foi de 148 kg ha^{-1} de K_2O , e a partir dos 36 meses, superior a 150 kg ha^{-1} de K_2O . No município de Mogi-Guaçu/SP em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ($0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K) as respostas a adubação potássica foram verificadas a partir dos 36 meses, sendo que a dose de 221,7 kg ha^{-1} de K_2O nessa idade e aos 48 meses de 184 kg ha^{-1} de K_2O propiciaram a produtividade máxima do eucalipto. Dentre esses dois sítios, Ribas do Rio Pardo apresentou as menores precipitações médias anuais e maiores evapotranspirações, o que explica a manutenção das respostas com a idade da planta. Tal fato deve-se segundo Siddiqui, Shah e Tariq (2008) às funções realizadas por esse nutriente na planta, dentre as quais, o controle osmótico que confere a planta maior eficiência no uso da água.

Laclau et al. (2009) avaliaram a influência da adubação nitrogenada e potássica em *Eucalyptus grandis* e, verificaram resposta a adubação potássica com incremento na altura da árvore de 3,7 m aos 36 meses em relação a testemunha. Gonçalves et al. (2008) relataram que a aplicação desse nutriente pode propiciar em aumentos nas respostas com a idade da cultura, ao contrário de aplicações de N e P, que de maneira geral as respostas diminuem com a idade. Gazola et al. (2015) constataram que a adubação potássica foi mais pronunciada em relação ao N e ao P, influenciando na produção de madeira do eucalipto, com a máxima produtividade de volume obtida aos 18 e 21 meses de idade com a dose de 94 e 125 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente, e que a maior dose dessa avaliação em relação à anterior está associado a maior requisição desse nutriente durante o ciclo da cultura.

2.6 CICLAGEM DE NUTRIENTES

Os florestamentos de eucalipto manejados em curta rotação apresentam dois ciclos distintos. Primeiro o ciclo geoquímico, que compreende da fase juvenil da cultura até o fechamento das copas, durante a qual a extração de nutrientes das reservas do solo atende a maior demanda do que é requisitado pela cultura, portanto, nesse período a relação solo/planta representa a disponibilidade dos nutrientes para o desenvolvimento das plantas, sendo necessárias as adubações, pois, de maneira geral, os solos brasileiros apresentam baixos teores de nutrientes. Na fase que antecede a colheita, caracterizada por intensa reciclagem dos nutrientes, seja pela retranslocação interna (ciclo bioquímico) ou da mineralização da matéria orgânica retornada ao solo com a serrapilheira (ciclo biogeoquímico). No ciclo biogeoquímico, a ciclagem de nutrientes é responsável pela manutenção e o fornecimento de nutrientes para as plantas, por meio da deposição de folhas, galhos e demais partes da planta sobre o solo, formando a serrapilheira que se decompõem, fornecendo os nutrientes para a cultura. O ciclo bioquímico engloba as transferências internas dos nutrientes entre os diferentes componentes das árvores (raízes, folhas, ramos, lenho e casca), incluindo a reciclagem dos nutrientes dos órgãos senescentes para os tecidos em formação, especialmente das folhas (LACLAU et al., 2003; SILVA, 2011; BENATTI, 2013).

A ciclagem de nutrientes pela deposição das folhas senescentes (folheto) é um processo dinâmico, sendo influenciado por vários fatores, que são decorrentes de aspectos fenológicos das plantas ou motivadas por fatores de ordem climática (SOUZA; DAVIDE, 2001, SILVA et al. 2014), da temperatura e umidade relativa do ar (SALVADOR; CONSENSA; ARAÚJO, 2014), da precipitação pluvial (VIEIRA et al., 2009, SOUZA, 2015, GIÁCOMO et al., 2017), de fatores climáticos extremos, como ventos fortes (SCHUMACHER et al., 2008), do espaçamento entre as plantas (FLORES, 2016), do crescimento das plantas (SOUZA, 2015), da idade do povoamento (VIEIRA et al., 2014), da disponibilidade de nutrientes e períodos de seca (LARCHER, 2000).

Silva (2011) avaliou o impacto das doses e do parcelamento da fertilização na ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto na fase inicial do crescimento em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, e constatou que a produção de folheto durante a fase inicial de crescimento do eucalipto foi beneficiada nos tratamentos com as doses mais elevadas de fertilizantes adicionados ao solo, com produção de mais de 3500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de

folheto no tratamento sem aplicação de fertilizantes e $7100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no tratamento com a maior dose. Andrade et al. (2006) avaliaram em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO a aplicação de lixo urbano e de nutrientes minerais no *Eucalyptus grandis*, e verificaram aos 86 meses de idade a produção média de serrapilheira (folhas, cascas e ramos) de 21300 kg ha^{-1} . Laclau et al. (2009) avaliaram a influência da adubação nitrogenada e potássica em *Eucalyptus grandis*, e constataram que não houve efeito na produção de folheto entre o período de 9 a 36 meses de idade.

Salvador, Consensa e Araújo (2014) verificaram que da serrapilheira depositada no piso florestal, em relação ao K, a fração folha é a mais notável. Segundo Caldeira et al. (2008), a ciclagem desse nutriente na relação solo/planta é mais rápida do que a de outros, por se tratar de um cátion monovalente e não constituinte de tecidos na planta. De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica foram do K.

Silva (2011) verificou que dos 12 aos 24 meses do eucalipto, o Ca e N foram os nutrientes mais transferidos via deposição de folheto. Salvador, Consensa e Araújo (2014) constataram em povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 4,4 anos de idade que o material depositado (serrapilheira: folhas, galhos finos, galhos grossos e miscelânea) contribuiu significativamente para a manutenção do ciclo biogeoquímico pela elevada liberação dos macronutrientes para o sítio florestal, os quais apresentaram a seguinte ordem de contribuição: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Vieira et al. (2014) verificaram que a magnitude média de transferência de macronutrientes ao solo do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* aos 5,5 anos de idade foi: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses, as quantidades de N, K, Ca, Mg e S transferidas pela deposição de folheto no solo, pelo *Eucalyptus urophylla* x *grandis*, foram maiores nos tratamentos com a aplicação de fertilizantes, devido principalmente à maior produção de folheto nesses tratamentos. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *E. grandis*, e constataram que a aplicação de lodo de esgoto propiciou maior reciclagem de nutrientes devido ao aumento na queda das folhas.

2.7 BALANÇO NUTRICIONAL - Relação log-isométrica (ilr)

A prática da adubação pode gerar modificações na condutividade elétrica, disponibilidade de nutrientes e no pH do solo (SMETHURST et al., 2001). Teixeira, Natale e Ruggiero (2001) avaliaram as alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo, e verificaram efeitos da adubação nitrogenada sobre as alterações de pH e saturação por bases e da adubação potássica sobre o teor de K trocável. A aplicação de N causou redução de pH superior a uma unidade ao final de um ano, sendo a acidificação proporcional à dose de N aplicada.

Montes (2013) utilizou a análise composicional, com auxílio das coordenadas ilr (relação log-isométrica), a fim de avaliar o efeito da adubação nitrogenada e potássica em goiabeira, na sua produtividade, equilíbrio catiônico do solo e no balanço dos nutrientes na planta, e constatou que no balanço catiônico do solo a adubação com N diminui os valores do balanço $[K, Ca, Mg | H^+Al]$ e, conseqüentemente, o valor do pH do solo, enquanto a fertilização potássica aumentou os valores do balanço $[K | Ca, Mg]$. Nas plantas a adubação nitrogenada alterou os balanços de $[N, P, S | K, Ca, Mg]$, $[N, P | S]$ médio e $[N | P]$, e a potássica modificou os balanços $[K | Ca, Mg]$ e $[Ca | Mg]$.

A análise composicional (Diagnose da Composição Nutricional - CND) é um método multivariado de diagnose que considera as interações de todos os nutrientes em diagnóstico entre si, diferente do DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação), que envolve a comparação das relações de cada par de nutrientes (método bivariado) (CANTARUTTI et al., 2007).

Esse método, de acordo com Egozcue e Pawlowski-Glahn (2011), é estabelecido em três passos: primeiro a representação dos dados em coordenadas ilr; depois a análise de variância das coordenadas como variáveis aleatórias reais; e, por último a interpretação dos resultados em termos de balanço.

Estudos com a utilização dessa técnica mostrou-se apropriado para a análise dos atributos químicos do solo (PARENT, 2011; PARENT et al., 2012a; MONTES, 2013) e para nutrição de plantas (PARENT et al., 2012b; HERNANDES et al., 2012; MONTES, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido de setembro de 2011 a julho de 2017, na Fazenda Renascença, fundo agrícola administrado pela Cargill Agrícola S/A, com latitude 20° 34' S, longitude 51° 50' O e altitude média de 305 m, no município de Três Lagoas/MS. A área experimental era ocupada por vegetação natural principalmente por plantas do bioma de Cerrado e antes da implantação do experimento por pastagem degradada. O solo é classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (SANTOS et al., 2013).

Essa classe de solo é constituída principalmente pela fração areia ao longo do perfil (Tabela 1). Os teores de M.O. e dos nutrientes são muito baixos (Tabela 2). Além da baixa fertilidade natural, a lixiviação de nitratos e de sulfatos é intensa devido à alta macroporosidade e permeabilidade dos solos de textura arenosa, e pela baixa CTC.

Tabela 1 - Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.

Profundidades (cm)	Argila	Silte	Areia Total
	g kg ⁻¹		
0-20	85	17	898
20-40	104	20	876
40-60	114	17	869
60-80	121	18	861
80-100	130	21	849
100-120	145	24	831

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A amostragem para análise química do solo foi realizada nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (Tabela 2), segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

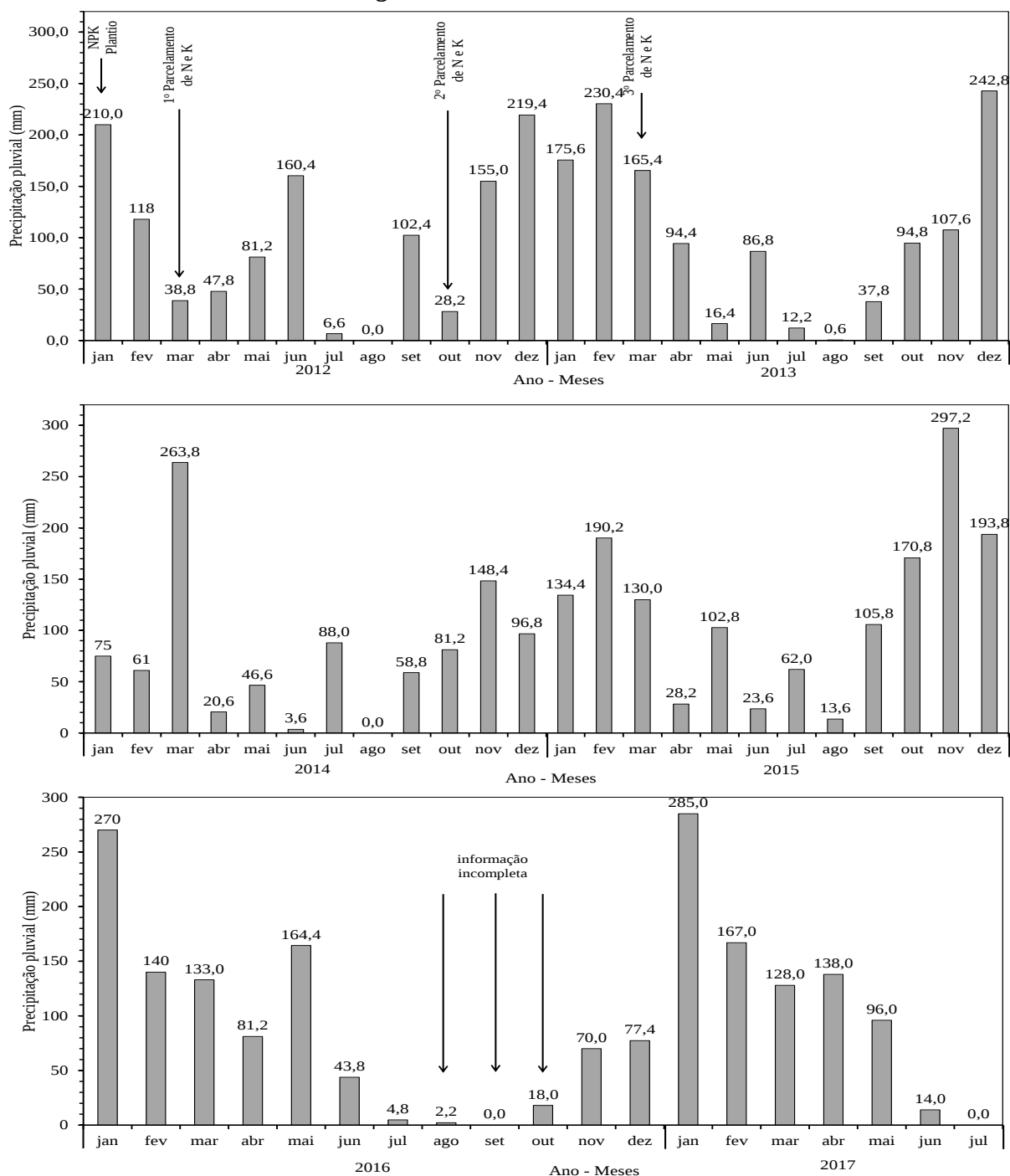
Tabela 2 - Análise química inicial do solo. Três Lagoas/MS, 2011.

Prof. (cm)	P _{resina} mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	H+Al	Al	SB
0-20	1	7,4	4,2	0,2	4,2	1,9	17	4,3	6,3
20-40	1	6,8	4,2	0,3	1,6	1,1	18	4,5	3,0
Prof. (cm)	CTC mmol _c dm ⁻³	V %	m	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu mg dm ⁻³	Zn	Mn	Fe
0-20	23,3	27	25	4,7	0,27	0,4	0,2	1,5	13
20-40	21,0	14	25	4,0	0,20	0,5	0,2	1,4	20

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A classificação climática da região de acordo com Köppen é Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados da precipitação pluvial registrados no período compreendido entre o plantio até aos 66 meses de idade da cultura do eucalipto constam na Figura 1.

Figura 1 - Acumulados mensais da precipitação pluvial registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas/MS, 2012/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.2 DESCRIÇÕES DAS PRÁTICAS SILVICULTURAIS

3.2.1 Implantação (2011/12)

Em setembro de 2011 iniciaram-se as atividades operacionais para a instalação do experimento: a) controle inicial das formigas cortadeiras: 10 a 12 de setembro de 2011, com aplicação de isca formicida granulada ($1,5 \text{ g ha}^{-1}$ do ingrediente ativo (i.a.) sulfluramida); b) calagem: 24 de setembro de 2011, com aplicação de 1500 kg ha^{-1} de calcário de PRNT 80% a lanço em área total; c) gessagem: 25 de setembro de 2011, com aplicação de 500 kg ha^{-1} de gesso a lanço em área total; d) controle de pré-plantio das formigas cortadeiras, em duas etapas: 5 a 7 de dezembro de 2011 e 2 a 4 de janeiro de 2012, com aplicação de isca formicida granulada ($0,9$ e $0,6 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a. sulfluramida, respectivamente); e) controle químico em área total “dessecação”: 20 de janeiro de 2012, sendo aplicados 2880 g ha^{-1} do i.a. do glyphosate; f) preparo do solo: 27 de janeiro de 2012, subsolagem na linha de plantio, com utilização de subsolador, até a profundidade média de 45 cm; g) plantio das mudas e demarcação das parcelas experimentais: 28 de janeiro de 2012; h) fertilização de base: em 29 de janeiro de 2012, realizada a aplicação manual dos fertilizantes, sendo aplicado em filete contínuo na linha do sulco de plantio, simulando a aplicação realizada comercialmente, sendo as quantidades aplicadas conforme os tratamentos; i) irrigação manual das mudas: 28 a 31 de janeiro; j) replantio das mudas mortas: em 20 de fevereiro de 2012 e k) irrigação manual das mudas: 20 a 23 de fevereiro de 2012.

3.2.2 Manutenção (2012)

Em 30 de março de 2012 foi realizada a primeira fertilização de cobertura, sendo os adubos aplicados manualmente na entre linha (projeção da copa), distribuídos em meia-lua na parte superior da linha de plantio, e as quantidades aplicadas conforme os tratamentos. Além dessa prática foram realizadas outras atividades operacionais para a manutenção do experimento: a) controle químico de plantas daninhas na entrelinha: 12 de março e 5 de novembro de 2012, foram aplicados 2880 g ha^{-1} do i.a. do glyphosate; b) controle químico de plantas daninhas na linha de plantio: 9 de maio de 2012, com aplicação de herbicida pré-emergente, sendo aplicado $0,14 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a. isoxaflutol; c) controle de manutenção das

formigas cortadeiras: 4 de junho e 7 de setembro de 2012, com aplicação de isca formicida granulada (0,3 e 1,5 g ha⁻¹ do i.a. de sulfluramida, respectivamente) e d) segunda fertilização de cobertura: 29 de outubro de 2012.

3.2.3 Manutenção (2013)

a) controle químico de plantas daninhas na entrelinha de plantio: 22 de janeiro e 5 de novembro de 2013, foram aplicados 2880 g ha⁻¹ do i.a. do glyphosate; b) terceira fertilização de cobertura: 30 de março de 2013; c) controle de manutenção das formigas cortadeiras: 22 de maio e 1 de setembro de 2013, com aplicação de isca formicida granulada (1,5 e 0,3 g ha⁻¹ do i.a. da sulfluramida, respectivamente).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi implantado em janeiro de 2012, com dez tratamentos distribuídos de forma casualizada em cinco blocos (Figura 2). Cada parcela foi composta por 56 plantas, distribuídas em sete linhas de oito plantas cada, totalizando 420 m². Nas linhas de plantio, as mudas do clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) foram espaçadas em 2,5 m e nas entrelinhas em 3,0 m. Como área útil da parcela foram consideradas apenas as 30 plantas centrais, descontando-se a bordadura simples, totalizando área efetiva de amostragem de 225 m² por parcela.

Os tratamentos 2, 3, 4 e 1 corresponderam às doses de N de 0, 70, 105 e 140 kg ha⁻¹, respectivamente. Na adubação de plantio foram aplicados 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Superfosfato triplo) e 15 kg ha⁻¹ de K₂O (Cloreto de potássio) e 49,5; 49,5 e 66 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura (aos dois, nove e 14 meses, respectivamente). As épocas e as quantidades aplicadas dos tratamentos de doses de N constam na Tabela 3.

Os tratamentos 5, 6, 1 e 7 corresponderam às doses de P de 0, 40, 70 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, aplicadas totalmente no sulco de plantio, utilizando o superfosfato triplo como fonte. Na adubação de plantio foram aplicados 15 kg ha⁻¹ de N (ureia) e K₂O (cloreto de potássio). Na adubação de cobertura de N e K₂O foram aplicados 37,5; 37,5 e 50 kg ha⁻¹ de N e 49,5; 49,5 e 66 kg ha⁻¹ de K₂O (aos dois, nove e 14 meses, respectivamente) utilizando o nitrato de amônio e cloreto de potássio como fontes, respectivamente (Tabela 3).

Figura 2 - Croqui da área experimental com os tratamentos distribuídos em cinco blocos.

8	9	5	10	1
7	3	1	3	2
4	6	10	5	7
6	5	9	2	5
2	10	2	1	4
1	2	8	4	6
10	4	3	8	9
9	1	6	7	8
5	7	4	6	3
3	8	7	9	10
BLOCO A	BLOCO B	BLOCO C	BLOCO D	BLOCO E

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 3 - Quantidade parcial e total de nutrientes aplicados nos tratamentos. Três Lagoas/MS, 2012/13.

Trat.	Quantidade de nutriente (kg ha ⁻¹)											
	Total			Adubação de Plantio			Adubação de Cobertura					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	2 meses		9 meses		14 meses	
1	140	70	180	15,0	70,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
2	0	70	180	0,0	70,0	15,0	0,0	49,5	0,0	49,5	0,0	66,0
3	70	70	180	15,0	70,0	15,0	16,5	49,5	16,5	49,5	22,0	66,0
4	105	70	180	15,0	70,0	15,0	27,0	49,5	27,0	49,5	36,0	66,0
5	140	0	180	15,0	0,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
6	140	40	180	15,0	40,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
7	140	100	180	15,0	100,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
8	140	70	0	15,0	70,0	0,0	37,5	0,0	37,5	0,0	50,0	0,0
9	140	70	90	15,0	70,0	15,0	37,5	22,5	37,5	22,5	50,0	30,0
10	140	70	135	15,0	70,0	15,0	37,5	36,0	37,5	36,0	50,0	48,0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os tratamentos 8, 9, 10 e 1 corresponderam às doses de K₂O (0, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente). Na adubação de plantio foram aplicados 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfossato triplo) e 15 kg ha⁻¹ de N (ureia) e 37,5; 37,5 e 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura (aos dois, nove e 14 meses, respectivamente), utilizando o nitrato de amônio como fonte. As épocas e as quantidades aplicadas dos tratamentos de doses de K₂O estão apresentadas na Tabela 3.

Foram aplicados, no plantio, os seguintes micronutrientes em todos os tratamentos: 1,0 kg ha⁻¹ de boro (B) (ácido bórico), 1,0 kg ha⁻¹ de zinco (Zn) (sulfato de zinco) e 1,0 kg ha⁻¹ de cobre (Cu) (sulfato de cobre), sendo aplicados no sulco de plantio. Nas adubações de cobertura de N e K₂O aos nove e 14 meses após o plantio foi aplicado manualmente na entrelinha (projeção da copa) 1,0 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico) em todos os tratamentos, com distribuição em meia-lua na parte superior da linha de plantio.

3.4 AVALIAÇÕES

3.4.1 Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca

Foram realizadas as medições do diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura das plantas de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, sendo realizado nas áreas úteis de todas as parcelas dos cinco blocos do experimento, totalizando 30 plantas por parcela. A medição do DAP foi realizada a 1,30 m de altura da planta com auxílio de uma fita métrica e para a altura utilizou-se o hipsômetro Forestor Vertex.

O volume total de madeira com casca foi estimado pelas seguintes equações (1) e (2):

$$V_i = \frac{\pi (DAP_i)^2 ff H_i}{4} \quad (1)$$

$$V_{tc} = \sum \frac{V_i}{A_i} 10000 \quad (2)$$

Onde: V_i = volume de madeira com casca da planta; A_i = área da parcela útil (225 m²); V_{tc} = volume total de madeira com casca (m³ ha⁻¹); DAP_i = diâmetro à altura do peito de cada planta (m); ff = fator de forma ($ff = 0,42$), neste caso, determinado aos 66 meses após o plantio do eucalipto pela cubagem rigorosa e H_i = altura total de cada planta (m).

3.4.2 Concentrações dos nutrientes nas folhas

Foram coletadas quatro folhas adultas e maduras por planta, nos quatro pontos cardeais, sendo amostras no terço superior das copas de oito plantas centrais dentro da área

útil das parcelas de cada tratamento. As folhas foram secas em estufa (65°C, por 72 horas) e em seguida moídas em moinho tipo Willey e encaminhadas para o laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Unesp/Ilha Solteira, para análise química dos macronutrientes segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). As coletas foram realizadas aos 30, 36 e 42 meses após o plantio do eucalipto e aos 66 meses foram coletadas folhas das plantas abatidas para avaliação dos nutrientes acumulados na biomassa e também nos diferentes compartimentos (folhas, galhos e tronco), sendo essas amostras coletadas no terço médio superior das copas de quatro plantas.

3.4.3 Folheto

3.4.3.1 Produtividade de folheto (deposição de folhas senescentes)

Para quantificar a produção de folheto (deposição de folhas senescentes), foram utilizadas telas do tipo sombrite fixadas em quatro plantas de eucalipto e suspensa a 1,20 m acima do solo (3,00 x 2,50 m, respectivamente, espaçamento entre as plantas na entrelinha e linha). Foram estudados todos os tratamentos com três coletores por parcela, distribuídos dentro da área útil das parcelas. As coletas foram realizadas trimestralmente, em quatro períodos, que corresponderam às estações do ano (verão, outono, inverno e primavera). Os coletores foram instalados aos 30 meses após o plantio do eucalipto (21 de junho - início do inverno), com a primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta, sétima, oitava, nona, décima, décima primeira e décima segunda coletas realizadas aos 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses. Os dados apresentados correspondem à quantidade total depositada entre o período de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e de 30 a 66 meses (acumulado em 36 meses - total) após o plantio do eucalipto.

3.4.3.2 Concentrações dos nutrientes no folheto

Das amostras de folheto coletadas para avaliação da sua produção, foi retirada após a homogeneização, uma parte para formar a amostra composta. Essas foram acondicionadas em sacos de papel identificados, secas em estufa (65°C, por 72 horas) e em seguida moídas em moinho tipo Willey e encaminhadas para o laboratório de Nutrição de Plantas do

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Unesp/Ilha Solteira, para análise química dos macronutrientes segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). As análises foram realizadas aos 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio do eucalipto. Os dados apresentados correspondem às médias das concentrações dos nutrientes nos folhedos entre o período de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto.

3.4.3.3 Transferências dos nutrientes para o solo via folheto

A transferência de nutrientes (TN) das árvores para o solo foi estimada pela queda das folhas, multiplicando-se a biomassa de folheto depositada (BF) pela concentração dos nutrientes no folheto (NF) de acordo com a equação (3):

$$TN = BF \times [NF] \quad (3)$$

Os dados apresentados correspondem à quantidade total dos nutrientes transferidos para o solo pela deposição do folheto entre o período de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e de 30 a 66 meses (acumulado em 36 meses - total) após o plantio do eucalipto.

3.4.4 Fertilidade do Solo

Aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto foram coletadas quatro amostras simples por parcela na linha de plantio, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, e na entrelinha (projeção da copa - perpendicular à linha de plantio, à distância de 0,50 m da planta) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (nas profundidades de 40-60 e 60-80 cm - somente na última avaliação para os tratamentos de doses de K_2O), com a utilização de trado de caneca. Essas amostras foram homogeneizadas, e dessas retirada parte para formar a amostra composta, sendo essas acondicionadas em sacos plásticos identificados, secas, passadas em peneira de 2 mm e levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, da Unesp/Ilha Solteira para determinação da análise química do solo segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001). Com essas quatro avaliações foi possível avaliar a disponibilidade dos nutrientes no solo em função do tempo.

Sendo essa informação de extrema importância para compreensão da dinâmica dos nutrientes durante o ciclo da cultura.

3.4.5 Balanço dos nutrientes

3.4.5.1 Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr)

Para esse estudo nas folhas de eucalipto, foi utilizada a metodologia proposta por Egozcue et al. (2003), sendo o espaço composicional (S) definido por:

$$S^D = C(N, P, S, K, Ca \text{ e } Mg)$$

Onde: D = seis componentes e C = operador de encerramento da função.

Foram estabelecidos balanços, empregando-se coordenadas ilr (relação log isométrica), e a partição sequencial (PBS) foi arranjada conforme as recomendações de Parent (2011) e Rozane et al. (2012), apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Partição binária sequencial do balanço de nutrientes nas folhas.

ilr	Nutrientes						Balanço de nutrientes	r*	s**
	N	P	S	K	Ca	Mg			
1	1	1	1	-1	-1	-1	[N, P, S K, Ca, Mg]	3	3
2	1	1	-1	0	0	0	[N, P S]	2	1
3	1	-1	0	0	0	0	[N P]	1	1
4	0	0	0	1	-1	-1	[K Ca, Mg]	1	2
5	0	0	0	0	1	-1	[Ca Mg]	1	1

Nota: * = número de componentes positivos e ** = número de componentes negativos.

Fonte: Parent (2011) e Rozane et al. (2012)

Os cálculos da relação ilr foram realizados, utilizando o programa Excel, de acordo com Egozcue e Pawlowsky-Glahn (2005), expressa pela seguinte equação (4).

$$ilr_j = \sqrt{\frac{rs}{r+s}} \ln \frac{g(c+)}{g(c-)} \quad j = [1, 2, \dots, D-1] \quad (4)$$

Onde: r = número de componentes positivos; s = número de componentes negativos; g(c+) = média geométrica dos componentes positivos; e g(c-) = média geométrica dos componentes negativos.

A relação *ilr* foi realizada com dados das concentrações dos macronutrientes nas folhas do eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses após o seu plantio.

3.4.5.2 Balanço catiônico no solo (relação log isométrica - *ilr*)

Para esse estudo, foi utilizada a metodologia proposta por Egozcue et al. (2003). Dessa forma, o espaço composicional (*S*) para análise foi definido como:

$$S^D = C(K, Ca, Mg \text{ e } H+Al)$$

Onde: *D* = quatro componentes e *C* = operador de encerramento da função referente à capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.

A partição binária sequencial foi construída de maneira a facilitar a interpretação dos resultados (Tabela 5). O primeiro contraste (Bases trocáveis vs. acidez potencial) foi utilizado para avaliar o efeito das doses de nitrogênio sobre a acidez do solo. O segundo (*K* vs. *Ca* e *Mg*) foi empregado com intuito de verificar possíveis efeitos da adição de doses de potássio na soma de bases do solo. Por último, foi utilizado o contraste entre os dois cátions divalentes (*Ca* e *Mg*).

Tabela 5 - Partição binária sequencial do balanço catiônico no solo.

<i>ilr</i>	Cátions trocáveis				Balanço	<i>r</i> [*]	<i>s</i> ^{**}
	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>H+Al</i>			
1	1	1	1	-1	[<i>K</i> , <i>Ca</i> , <i>Mg</i> <i>H+Al</i>]	3	1
2	1	-1	-1	0	[<i>K</i> <i>Ca</i> , <i>Mg</i>]	1	2
3	0	1	-1	0	[<i>Ca</i> <i>Mg</i>]	1	1

Nota: * = número de componentes positivos e ** = número de componentes negativos.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os cálculos da relação *ilr* foram realizados, utilizando o programa Excel, de acordo com Egozcue e Pawlowsky-Glahn (2005), expressa pela seguinte equação (5).

$$ilr_j = \sqrt{\frac{rs}{r+s}} \ln \frac{g(c+)}{g(c-)} \quad j = [1, 2, \dots, D-1] \quad (5)$$

Onde: r = número de componentes positivos; s = número de componentes negativos; $g(c+)$ = média geométrica dos componentes positivos; e $g(c-)$ = média geométrica dos componentes negativos.

A relação ilr foi realizada com dados da análise química do solo, com os resultados da acidez potencial ($H+Al$) e teores de K, Ca e Mg do solo aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto.

3.4.6 Avaliação da biomassa de eucalipto

3.4.6.1 Produção de biomassa

Foram selecionadas quatro árvores por tratamento para serem cortadas, sendo uma árvore representativa da classe inferior, duas da classe intermediária e uma da classe superior, segundo a metodologia descrita por Silva (2011). O bloco B foi utilizado para a obtenção das amostras destrutivas e todas as árvores selecionadas da área útil da parcela e sem falhas ao redor. Após serem cortadas, foi realizada a desfolha das mesmas, sobre lona plástica.

Devido ao tamanho das árvores aos 66 meses de idade, os diferentes compartimentos (folhas, galhos e tronco) foram fracionados e pesados no campo com balança digital com precisão de 0,05 kg e capacidade máxima de 150 kg. Foram retiradas de maneira manual amostras de todos os componentes das árvores para determinação da umidade em laboratório e posterior quantificação da biomassa seca. As amostras obtidas do tronco foram separadas em casca e lenho no laboratório, antes da secagem. Com os valores da massa de cada compartimento, foi estimada a produtividade da biomassa dos diferentes componentes das plantas de eucalipto, sendo esses valores expressos em $kg\ ha^{-1}$.

3.4.6.2 Concentrações dos nutrientes nos compartimentos

As amostras vegetais dos componentes das árvores foram secas em estufas de ventilação forçada ($65^{\circ}C$, por 72 horas), pesadas em balança com precisão de 0,1 g e moídas em moinho do tipo Willey. Posteriormente foram realizadas as análises químicas para determinar a concentração dos macronutrientes segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para a determinação das concentrações de nutrientes no

lenho e na casca foram consideradas as concentrações médias obtidas nos discos coletados na base, DAP, 10%, 30%, 50% e 70% da altura total das plantas.

3.4.6.3 Nutrientes acumulados na biomassa

Com os valores das concentrações em cada compartimento, foi estimado o acúmulo dos macronutrientes nos diferentes componentes das árvores (mineralomassa), sendo obtido pela multiplicação do valor da biomassa do compartimento pela concentração do nutriente, sendo expresso em kg ha⁻¹.

3.4.7 Eficiência no uso dos nutrientes

A eficiência no uso do nutriente foi avaliada, conforme a metodologia apresentada por Barros et al. (1986) e comumente verificado em trabalhos de nutrição de eucalipto (MELO et al., 1995; FARIA et al., 2008).

Foi calculada a Eficiência de Uso (EU) como sendo a relação entre a Biomassa Seca do Tronco (BST) e a mineralomassa do Nutriente Acumulado no Tronco (NAT), sendo realizado o cálculo para os macronutrientes aos 66 meses de idade pela equação (6), sendo expresso em kg de biomassa kg de nutriente⁻¹.

$$EU = \frac{BST}{NAT} \quad (6)$$

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados pela análise de regressão para doses de N, P₂O₅ e K₂O; e a análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias das concentrações de nutrientes nos folhedos em três períodos (30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 meses), das quantidades de nutrientes transferidas ao solo em três períodos (30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 meses), da disponibilidade dos nutrientes no solo em quatro períodos (36, 48, 54 e 66 meses) e teores de K no solo em quatro profundidades, utilizando-se do programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ADUBAÇÃO NITROGENADA

4.1.1 Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca

O volume total de madeira aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto foi influenciado pelas doses de N (Tabela 6). A produtividade de madeira aumentou linearmente com incremento das doses de N, sendo a máxima obtida com 140 kg ha⁻¹ de N de 123,1; 169,7; 213,1 e 235,6 m³ ha⁻¹, aos 36, 48, 60 e 66 meses de idade respectivamente (Figura 3). O aumento das doses de N propiciou incremento de 25,8; 30,3; 32,6 e 34,5%, comparando a maior dose em relação à testemunha.

Esses resultados reforçam a importância da fertilização nitrogenada em solos com baixo teor de M.O., como o deste estudo (7 g dm⁻³ de M.O.). Gonçalves, Raij e Gonçalves (1997) propuseram recomendações para adubação nitrogenada na cultura do eucalipto e consideraram que para teores de M.O. no solo entre 0-15 g dm⁻³, a dose recomendada é de 60 kg ha⁻¹ de N, ficando abaixo dos resultados obtidos na presente pesquisa, pois a cultura tem potencial de resposta a doses superiores a aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N, mesmo em solo com baixo teor de matéria orgânica.

A recomendação de adubação nitrogenada embasada no teor de M.O. do solo, presume-se que o N nela presente será liberado com a sua mineralização, e que o seu conteúdo tem relação direta com o conteúdo de M.O (MAEDA, 2010). De acordo com Takahashi et al. (2004), a dose recomendada de N para o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO com baixo teor de M.O. (10-20 g dm⁻³) está compreendida entre 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, sendo essa recomendação mais condizente com os resultados obtidos neste estudo.

Gava et al. (2003) constataram que existe potencial de reposta de clones de *Eucalyptus* à aplicação de N mesmo em solos com teores mais elevados de matéria orgânica. Em trabalho desenvolvido por Araújo et al. (2003), o potencial de resposta do *Eucalyptus* ao N, em solos com baixo teor de M.O. (20 g dm⁻³), foi segundo esses autores, maior que os relatados em vários outros trabalhos. Ainda, de acordo com os autores, para aumentar a eficiência de resposta, sugere-se que as doses sejam mais elevadas que as comumente utilizadas (> 150 kg ha⁻¹ de N).

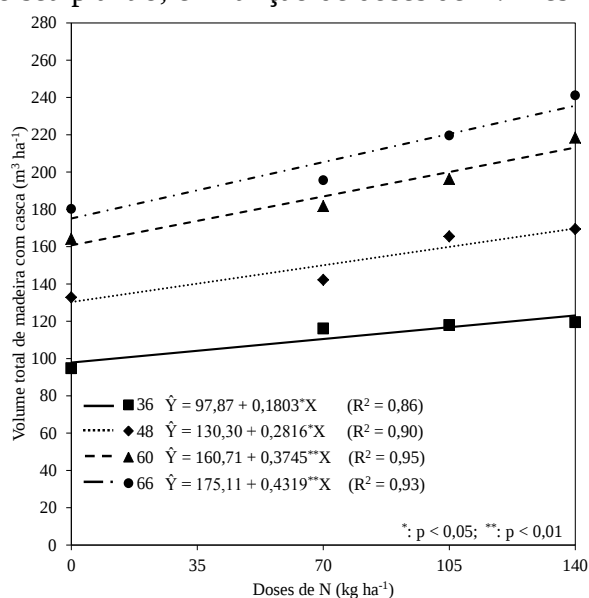
Tabela 6 - Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Vt (m ³ ha ⁻¹) nas idades avaliadas			
	36 meses	48 meses	60 meses	66 meses
0	94,8*	132,8*	164,2**	180,2**
70	116,1	142,2	181,8	195,6
105	117,9	165,5	196,3	219,6
140	119,5	169,4	218,5	241,1
C.V. (%)	13,69	12,35	6,48	2,53

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 3 - Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pulito (2009) avaliou a resposta do *Eucalyptus* à fertilização nitrogenada e o estoque de N biodisponível nos solos e constatou que, nos dois primeiros anos, a produtividade relativa da testemunha foi, em média, 16% menor do que a obtida nos tratamentos que receberam adubação nos solos de textura arenosa; 9% menor nos solos de textura média e 10% menor nos solos de textura argilosa e muito argilosa. Sendo que, o maior potencial de resposta à fertilização, em idade jovem, ocorreu nos solos onde foram encontrados os menores teores de N total e N mineralizável. Em estudo com doses de N parceladas em três épocas com o clone de *Eucalyptus urophylla* em solo de Cerrado, Jesus et al. (2012) constataram, aos 30 meses após o plantio, que a dose de 154 kg ha⁻¹ de N proporcionou a máxima

produtividade, com incremento de 58,1% superior à produção sem adubação nitrogenada, e para obter 90% da produção máxima, a dose recomendada foi de 74 kg ha⁻¹. Além dos tratamentos com doses de N, esses autores utilizaram tratamento adicional que consistiu na aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N como nitrato de amônio, e verificaram que esse não diferiu da mesma dose de N com sulfato de amônio, o que indica que a resposta deve-se ao suprimento de N e não de S.

Melo (2014) avaliou a nutrição e fertilização de plantações de eucalipto em diferentes condições edafoclimáticas e, constatou que no experimento com adubação nitrogenada no município de Ribas do Rio Pardo/MS para *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, a dose que proporcionou máxima produtividade de madeira foi de 97,7; 86,3 e 83,8 kg ha⁻¹ de N, aos 36, 48 e 60 meses de idade, respectivamente. Nos municípios de Mogi-Guaçu/SP (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO) e Luís Antônio/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO) aos 36 meses, a resposta foi linear com máxima produtividade obtida com a dose de 150 kg ha⁻¹ de N. De acordo com esse autor, os ganhos em produtividade do eucalipto no sítio de Ribas do Rio Pardo/MS com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, em comparação à testemunha, foram crescentes com a idade da cultura, aos 24 meses de 23% e aos 60 meses de 60%, e que isso, deve-se ao elevado déficit hídrico presente na região de estudo, o que explica a resposta contínua ao N. Tal fato, também foi constatado no presente estudo que apresenta o mesmo tipo de solo e condição climática (Figura 1), sendo verificado aumento de 25,8% e 34,5% na produtividade da cultura aos 36 e 66 meses após o seu plantio, respectivamente, com a dose de 140 kg ha⁻¹ de N, em comparação à testemunha.

4.1.2 Concentrações dos nutrientes nas folhas

As concentrações foliares de P, K, Ca e S não foram influenciadas pelas doses de N nas quatro épocas de avaliações, sendo o seu efeito verificado somente nas concentrações de N e Mg aos 36 meses (Tabela 7).

Aos 36 meses de idade, a dose calculada de 70,2 kg ha⁻¹ de N propiciou maior concentração de N (19,7 g kg⁻¹) e a testemunha a menor (15,9 g kg⁻¹) (Figura 4A). No entanto, esses valores não estão em conformidade com a faixa adequada de 21 a 30 g kg⁻¹ proposta por Gonçalves (2011) e de 14 a 16 g kg⁻¹ descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), pois não permitem relacionar a produtividade da cultura com a concentração de N. Melo (2014)

constatou em seus experimentos com adubação nitrogenada, concentrações de N aos 24 e 36 meses entre 12,2 e 16,4 g kg⁻¹ para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *globulus* localizado no município de Mogi-Guaçu/SP e concentrações de 20,7 e 20,4 g kg⁻¹ para *Eucalyptus grandis* x *urophylla* aos 36 meses (0 e 150 kg ha⁻¹ de N, respectivamente) em Ribas do Rio Pardo/MS. Nesse sentido, não verificando relação entre a produtividade da cultura com as concentrações de N foliar. Jesus et al. (2012) e Ferreira (2013) constataram também baixa correlação entre a produtividade da cultura eucalipto com as concentrações de nitrogênio foliares.

Tabela 7 - Concentrações de macronutrientes aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Idade	Doses de N (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
30 meses	0	15,3 ^{ns}	1,2 ^{ns}	4,7 ^{ns}	7,5 ^{ns}	2,0 ^{ns}	1,5 ^{ns}
	70	17,3	0,9	5,3	7,7	2,0	1,5
	105	17,8	1,0	5,3	7,6	1,3	1,5
	140	15,6	1,0	6,7	6,0	1,8	1,3
C.V. (%)		15,60	14,78	21,85	11,51	13,98	13,69
36 meses	0	15,9 [*]	1,3 ^{ns}	6,7 ^{ns}	8,3 ^{ns}	2,9 ^{**}	1,4 ^{ns}
	70	19,1	1,1	6,7	8,5	2,9	1,4
	105	19,7	1,1	6,7	8,4	2,3	1,5
	140	15,6	1,2	8,7	8,4	2,2	1,2
C.V. (%)		13,60	13,10	16,10	8,65	10,31	14,35
42 meses	0	17,3 ^{ns}	1,0 ^{ns}	6,0 ^{ns}	7,2 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,5 ^{ns}
	70	18,2	1,1	6,4	7,3	2,1	1,5
	105	13,9	1,1	6,1	7,1	1,6	1,5
	140	16,2	1,0	5,8	7,7	2,0	1,3
C.V. (%)		9,52	13,80	14,68	7,53	15,65	9,25
66 meses	0	16,7 ^{ns}	1,1 ^{ns}	7,6 ^{ns}	6,6 ^{ns}	2,5 ^{ns}	1,4 ^{ns}
	70	17,4	1,2	7,5	6,7	2,8	1,4
	105	14,9	1,2	7,5	6,6	2,4	1,4
	140	16,0	1,1	7,4	6,6	2,3	1,3
C.V. (%)		6,24	8,85	3,92	5,07	7,18	6,58

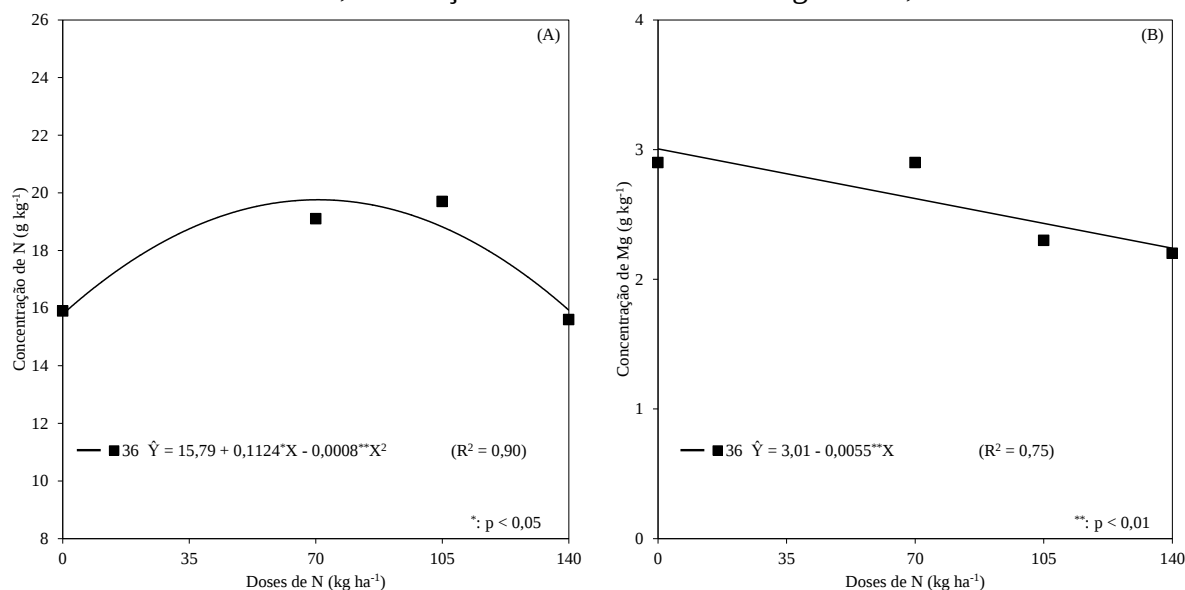
ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As concentrações de Mg decresceram em função do aumento das doses de N (Figura 4 B) provavelmente devido ao efeito diluição desse nutriente na folha, uma vez que, com aumento das doses de N houve maior crescimento das plantas (Figura 3). Silva (2015) constatou que a adubação do *Eucalyptus urophylla* x *grandis* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO propiciou maior crescimento da cultura e menor concentração de N, P,

Mg e S foliares devido ao efeito diluição. Com relação ao Mg, Andrade et al. (2006) verificaram correlação positiva dos teores de Mg na casca com o volume da árvore, indicando que as de maior volume possuem concentrações mais elevadas desses nutrientes nesse compartimento, e portanto, menor nas folhas.

Figura 4 - Concentrações de nitrogênio (A) e magnésio (B) nas folhas do eucalipto aos 36 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em experimento com determinação da biomassa de compartimentos aéreos conduzido por Laclau et al. (2003) verificou-se a diminuição da participação das folhas na massa total da planta com idade, sendo que 30% da massa total da planta é constituído por tecido foliar, ao final do primeiro ano, e apenas 15% aos 4 anos. Tal resultado evidencia maior demanda pelos nutrientes armazenados nas folhas pelos compartimentos caule, casca e raízes, sendo esses mais representativos.

As concentrações de P, K, Ca, Mg e S nas quatro épocas estiveram dentro da faixa descrita como adequada por Gonçalves (2011). Esse autor propõe as seguintes faixas consideradas adequadas para concentrações foliares das espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil: N de 21 a 30 g kg⁻¹; P de 1 a 3 g kg⁻¹; K de 5,5 a 8,5 g kg⁻¹; Ca de 3,5 a 6,0 g kg⁻¹; Mg de 2 a 3 g kg⁻¹ e S de 0,5 a 1,5 g kg⁻¹. No entanto as concentrações N aos 30, 36, 42 e 66 meses ficaram abaixo da faixa adequada, sendo que em média os valores das concentrações aos 30, 42 e 66 meses, que compreende o período de estiagem da região

(inverno) foram menores que aos 36 meses (período chuvoso - verão). Nesse sentido, Assis, Ferreira e Cargnelutti Filho (2006) constataram que as concentrações dos nutrientes nas folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla* variam com a época de amostragem, sendo os menores teores obtidos no período seco, para os nutrientes N, K e P.

4.1.3 Folheto

4.1.3.1 Produtividade de folheto

A produtividade total de folheto não foi influenciada pela adubação nitrogenada nos três períodos de avaliação e no total do ciclo avaliado (Tabela 8). No entanto, Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses foram produzidas pelos clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis* mais de 3500 kg ha⁻¹ de folheto sem a aplicação de fertilizantes (NPK) e 7100 kg ha⁻¹ com a maior dose de fertilizante na fase inicial de crescimento, o que demonstra que a produção de folheto foi maior com as doses mais elevadas de fertilizantes. Segundo o autor essa maior produção deve-se ao menor tempo de duração da permanência das folhas fixadas aos galhos do eucalipto em decorrência da adição de fertilizantes que acelera o crescimento das árvores, antecipando a competição intra-específica por luz e água, devido ao sombreamento mútuo das copas que acelera o processo de senescência das folhas, que perderam sua eficiência fotossintética. No presente estudo, a adubação nitrogenada influenciou no crescimento das plantas de eucalipto, propiciando maior produtividade de madeira (Figura 3), no entanto não interferiu na produção de folheto entre o período de 30 a 66 meses. Laclau et al. (2009) avaliaram a influência da adubação nitrogenada em *Eucalyptus grandis*, e constataram que não houve efeito na produção de folheto entre o período de 9 a 36 meses de idade.

A maior produtividade média de folheto ocorreu na época do inverno (Figura 5). Essa estação é caracterizada por baixa precipitação pluvial por longo período de tempo (estiagem), típico das regiões de Cerrado que apresenta duas estações climáticas bem definidas, com inverno seco e verão chuvoso (Figura 1). Tal fato evidencia que a queda de folhas senescentes pela cultura nesse período é de grande importância para a economia de água. De acordo com Florence (2004), mesmo o eucalipto não sendo uma espécie caducifolia, apresenta como estratégica para reduzir o consumo de água nas épocas de secas do ano, promover a abscisão

de suas folhas. Segundo Taiz e Zeiger (2013), umas das primeiras mudanças na planta para tolerar o estresse causado pela seca é a elevação da sua síntese de etileno, o que resulta na abscisão foliar.

Tabela 8 - Produtividade de folheto entre os períodos de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e 30 a 66 meses (total) após o plantio do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.

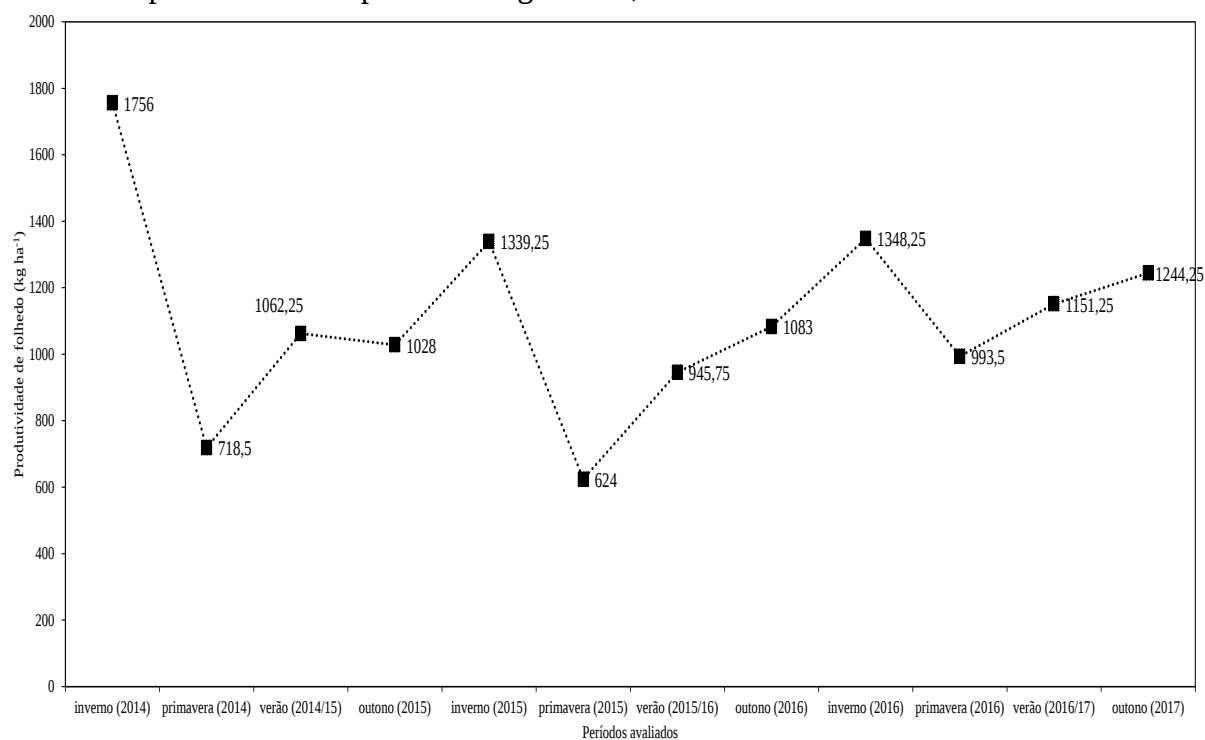
Doses de N (kg ha ⁻¹)	Produtividade de folheto nos períodos avaliados (meses)			
	30 a 42	42 a 54	54 a 66	Total
	kg ha ⁻¹			
0	4574 ^{ns}	4027 ^{ns}	4666 ^{ns}	13267 ^{ns}
70	4659	3845	4749	13253
105	4335	3799	4864	12998
140	4692	4298	4671	13661
Média	4565 a	3992 b	4738 a	13295
D.M.S. (5%)		247		
C.V. (%)	3,30	5,89	6,50	3,55

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 5 - Produtividade média de folheto de plantas de eucalipto nas quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto. Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silva (2011) constatou em seu estudo de impactos das doses e do parcelamento da fertilização na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que a maior taxa de deposição de folheto ocorreu no início da estiagem. Conti Junior, Silva e Couto (2017) verificaram que a maior deposição de folheto teve início em agosto, período de menor pluviosidade. De acordo com Silva, Poggiani e Laclau (2011) há interação entre o período de ocorrência de estresse hídrico (seca) com a produção de folheto, sendo verificado maiores taxas de produção no início da estiagem. Barbosa et al. (2017) avaliaram os estoques de biomassa da serrapilheira acumulada em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana e de dois plantios florestais puros (*Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), no sudoeste da Bahia, e constataram que os maiores estoques de biomassa da serrapilheira ocorreram na estação chuvosa, para os povoamentos de *P. nitens* e de floresta nativa, e na estação seca, para o povoamento de eucalipto. De acordo com Silva et al. (2014), as condições climáticas exercem um papel importante na produção de folheto, sendo observado uma alta produção durante a estação seca para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*.

No entanto, outros estudos constataram maior deposição de serrapilheira nos períodos mais quentes e com maiores índices pluviométricos. Vieira et al. (2009) verificaram em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* dos 7 aos 8 anos de idade maior produção mensal de serrapilheira fina (composto por folhas, casca, frutos e ramos finos) nos meses mais quentes e com maiores precipitações. Salvador, Consensa e Araújo (2014) constataram em povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 4,4 anos de idade em São Gabriel/RS que a deposição de serrapilheira foi alta, principalmente no mês de janeiro e baixa no mês de maio, sendo que a fração folhas foi predominante na sua composição total. Souza (2015) em povoamento de *Eucalyptus grandis* entre 7 e 8 anos de idade, localizada no município de Itatinga/SP, verificou que a deposição de serrapilheira de folhas apresentou variação sazonal, sendo que as maiores ocorreram nos períodos de maior precipitação pluvial, temperatura e crescimento das árvores. Giacomini et al. (2017) constataram em plantio de *Eucalyptus urograndis* que a maior quantidade de folheto foi depositada durante a estação chuvosa até o início da estação seca (período entre dezembro e abril), no entanto, não apresentou correlação entre a deposição de folheto e a precipitação.

Variações na deposição de folhas senescentes são decorrentes de aspectos fenológicos das plantas ou motivadas por fatores de ordem climática (SOUZA; DAVIDE, 2001, SILVA et al., 2014), da temperatura e umidade relativa do ar (SALVADOR; CONSENSA; ARAÚJO, 2014), da precipitação pluvial (VIEIRA et al., 2009, SOUZA, 2015, GIÁCOMO et al., 2017), de fatores climáticos extremos, como ventos fortes (SCHUMACHER et al., 2008), do espaçamento entre as plantas (FLORES, 2016), do crescimento das plantas (SOUZA, 2015), da idade do povoamento (VIEIRA et al., 2014), da disponibilidade de nutrientes e seca (LARCHER, 2000). Portanto, de acordo com Selle (2007), o acúmulo da serrapilheira está sujeito a variações que depende da espécie, da idade, do sítio florestal e da disponibilidade de nutrientes no solo. Nesse sentido, a dinâmica da deposição de folheto e do acúmulo da serrapilheira é um processo complexo, pois pode ser influenciados por diversos fatores bióticos e abióticos.

Em relação aos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto) a menor produção de 3992 kg ha⁻¹ de folheto ocorreu entre 42 e 54 meses (Tabela 8). Nesse período, foi verificada maior precipitação acumulada de 1655 mm, enquanto que entre 30 a 42 e 54 a 66 meses de 1062 e 1030 mm, respectivamente (produção de 4565 e 4738 kg ha⁻¹ de folheto, respectivamente), nesses constatou-se maior produção de folheto em relação ao segundo período. Assim, a maior deposição de folheto em períodos de menor precipitação representa uma estratégia para reduzir o consumo de água pela cultura, pois minimiza as perdas por evapotranspiração. Segundo Silva, Poggiani e Laclau (2011), a maior abscisão de folhas ocorre em momentos de déficit hídrico o que pode ser resultado da "estratégia" dos eucaliptos para reduzir o consumo de água mediante a diminuição acentuada de folhas.

A produtividade média de folheto entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto foi de 4554 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Conti Junior, Silva e Couto (2017) constataram para clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, aos 48 meses de idade que em média, a produção de folheto foi de 2500 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo esse valor inferior aos encontrados na literatura para eucaliptos no Brasil. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *Eucalyptus grandis* nos primeiros 36 meses após o seu plantio, e verificaram que a deposição foi de 5200 a 5400 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Enquanto que Vieira et al. (2014) constataram em seu estudo com *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* aos 5,5 anos de idade, que a deposição de folha ao longo do período de quatro anos foi de 5045 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A diferença na produção de

folheto é atribuída ao efeito de fatores como a idade do plantio, intensidade de competição entre as plantas, condições ambientais e genótipos avaliados (CONTI JUNIOR; SILVA; COUTO, 2017).

4.1.3.2 Concentrações dos nutrientes no folheto

As doses de N não influenciaram as concentrações de P, Ca, Mg e S do folheto nos períodos avaliados (Tabela 9).

Tabela 9 - Concentrações médias de macronutrientes nos folhedos de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Períodos (meses)	Doses de N (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹							
30 a 42	0	8,6*	0,7	3,4*	9,3 ^{ns}	1,8 ^{ns}	1,3 ^{ns}
	70	9,1	0,7	3,5	8,8	1,8	1,2
	105	9,3	0,7	3,6	7,9	1,7	1,4
	140	8,7	0,7	4,1	8,4	1,7	1,4
C.V. (%)		3,06	6,52	6,26	7,41	8,79	10,78
42 a 54	0	8,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,6 ^{ns}	9,0 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}
	70	8,8	0,7	4,7	8,7	2,1	1,3
	105	8,2	0,8	4,2	8,6	2,1	1,3
	140	8,5	0,7	4,7	8,6	2,0	1,3
C.V. (%)		5,82	9,43	14,99	3,55	4,48	7,87
54 a 66	0	6,7 ^{ns}	0,6 ^{ns}	3,6 ^{ns}	8,6 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,2 ^{ns}
	70	6,7	0,6	4,3	8,1	1,8	1,2
	105	6,8	0,7	4,0	8,4	1,8	1,2
	140	6,7	0,7	4,4	8,5	1,7	1,2
C.V. (%)		3,51	13,26	10,74	7,08	8,74	1,59
Média							
30 a 42		9,0 a	0,7 a	3,6 a	8,6 a	1,8 a	1,3 a
42 a 54		8,5 b	0,7 a	4,3 a	8,7 a	2,1 a	1,3 a
54 a 66		6,7 c	0,7 a	4,1 a	8,4 a	1,8 a	1,1 b
D.M.S. (5%)		0,4	0,1	0,7	0,6	0,4	0,1
C.V. (%)		4,86	10,65	13,57	6,96	7,59	7,66

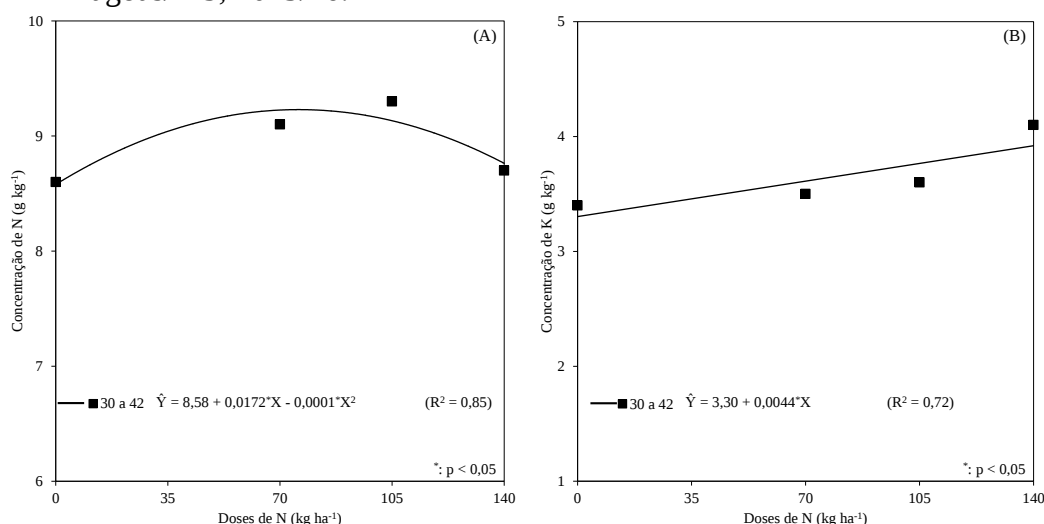
ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Houve aumento da concentração de N e K no folheto no período de 30 a 42 meses com as doses de N. Para as concentrações de N foliar, verificou-se efeito quadrático, sendo que a maior foi de 9,3 g kg⁻¹ de N, com a dose estimada de 86 kg ha⁻¹ de N. Para as concentrações de K houve efeito linear positivo, sendo a máxima obtida com 140 kg ha⁻¹ de N

de 4,1 g kg⁻¹ (Figuras 6 A e B). O aumento da concentração de N no folheto deve-se ao aumento de teor foliar aos 36 meses de idade (Figura 4A). Para as concentrações de K pode ser atribuído ao efeito da interação N x K, que de acordo com Abreu-Junior et al. (2013) essa interação destaca-se, não somente pelo efeito direto sobre a produtividade das culturas, mas também pelos aspectos relacionados ao uso da água. Vários estudos em diferentes culturas demonstram o efeito positivo dessa interação para o desenvolvimento das plantas (SILVEIRA; CROCOMO, 1991, MEGDA; MONTEIRO, 2010; VIANA; KIEHL, 2010, GRZEBISZ et al., 2017).

Figura 6 - Concentrações médias de nitrogênio (A) e potássio (B) no folheto do eucalipto entre o período de 36 a 42 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/16.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação aos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto), houve redução das concentrações de N e S no folheto com a idade da cultura do eucalipto (Tabela 8). Melo (2014) constatou que as concentrações foliares de N, P, Ca, Mg e S do eucalipto diminuíram com a idade, indicando o efeito diluição com o crescimento da floresta. Além, dessa constatação, essa diminuição pode ser atribuída à menor disponibilidade de N e S no solo com o aumento da idade do povoamento (aumento da absorção desses nutrientes), e conseqüentemente, nas suas concentrações na folha. Outro fator de remoção desses nutrientes deve-se ao elevado potencial de perda pelo processo de lixiviação, pois os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS são constituídos principalmente pela

fração areia ao longo do perfil (Tabela 1), o que propicia a intensa lixiviação de nitratos e de sulfatos devido a grande macroporosidade e permeabilidade dos solos de textura arenosa.

As concentrações dos macronutrientes no folheto nesses 36 meses avaliados (30 a 66 meses) ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ (Tabela 8). Vieira et al. (2014) constataram em seu estudo de deposição de serrapilheira do *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* que a ordem relativa da concentração de macronutrientes nas frações folhas, galhos finos e galhos grossos foi exatamente a mesma de $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Salvador, Consensa e Araújo (2014) avaliaram a produção de serrapilheira em povoamento de *Eucalyptus saligna* em São Gabriel/RS entre o período de 53 a 65 meses de idade, e verificaram a mesma ordem de concentração dos nutrientes nas folhas senescentes ($\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$).

O cálcio apresenta a maior concentração na fração folha da serrapilheira, tal fato, deve-se a baixa taxa de redistribuição desse nutriente na planta, fato atribuído a sua baixa solubilidade e concentração no floema, sendo que, a maior parte desse nutriente no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis, como o pectato da lamela média da parede celular (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006).

Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a retranslocação dos nutrientes em *E. grandis* nos primeiros 36 meses após o seu plantio, e constataram valores negativos para a retranslocação de Ca, atribuindo esse fato a acumulação desse nutrientes nas folhas senescentes. De acordo com Silva (2011) esse nutriente é imóvel na planta e uma das suas principais funções está relacionada à estrutura da planta, como parte integrante da parede celular o que gera acúmulo do nutriente no folheto. Portanto, esse nutriente apresenta baixa retranslocação na planta, e consequentemente baixa “ciclagem interna” (ciclo bioquímico). Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) constataram em seu estudo com ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense, que o Ca apresentou as menores intensidades de ciclagem bioquímica. Contudo, esse nutriente pode vir a ser disponibilizado na degradação do folheto.

4.1.3.3 Transferências dos nutrientes para o solo via folheto

As quantidades de N, P, Ca, Mg e S transferida ao solo via deposição de folheto não foram influenciadas pelas doses de N em todos os períodos avaliados (30 a 42, 42 a 54 e 54 a

66 meses após o plantio do eucalipto), sendo o seu efeito verificado somente para a quantidade de K (Tabela 10).

Tabela 10 - Quantidades de macronutrientes transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Períodos (meses)	Doses de N (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹							
30 a 42	0	40,4 ^{ns}	3,2 ^{ns}	14,4 [*]	43,3 ^{ns}	8,2 ^{ns}	5,8 ^{ns}
	70	43,8	3,4	14,8	42,0	8,6	5,8
	105	41,0	3,0	14,5	34,9	7,5	6,1
	140	41,8	3,4	17,9	39,8	8,4	6,5
C.V. (%)		6,14	5,52	9,52	9,19	5,79	14,06
42 a 54	0	33,9 ^{ns}	2,9 ^{ns}	14,4 [*]	36,4 ^{ns}	8,9 ^{ns}	5,1 ^{ns}
	70	34,2	2,8	17,5	33,8	8,1	4,8
	105	31,5	2,9	16,0	33,1	8,1	5,0
	140	36,7	3,3	20,2	37,1	8,7	5,7
C.V. (%)		7,95	9,58	17,12	5,75	8,04	9,53
54 a 66	0	31,3 ^{ns}	2,6 ^{ns}	16,4 [*]	40,0 ^{ns}	8,9 ^{ns}	5,5 ^{ns}
	70	31,8	2,9	20,6	38,5	8,8	5,8
	105	33,4	3,4	19,5	40,5	8,9	5,7
	140	31,3	3,3	20,5	38,9	8,2	5,4
C.V. (%)		4,90	18,93	13,12	5,74	12,03	7,55
Total	0	105,5 ^{ns}	8,6 ^{ns}	45,3 [*]	119,6 ^{ns}	25,9 ^{ns}	16,5 ^{ns}
	70	109,8	9,0	52,9	114,3	25,5	16,4
	105	105,9	9,3	50,0	108,5	24,5	16,7
	140	109,8	9,9	58,6	115,9	25,2	17,6
C.V. (%)		4,85	9,89	10,48	2,96	4,96	8,93
Média							
30 a 42		41,7 a	3,2 a	15,4 b	40,0 a	8,2 a	6,0 a
42 a 54		34,1 b	3,0 a	17,1 ab	35,1 b	8,5 a	5,2 b
54 a 66		31,9 b	3,1 a	19,2 a	39,5 a	8,7 a	5,6 a
D.M.S. (5%)		2,5	0,4	2,8	3,3	0,8	0,6
C.V. (%)		6,82	13,04	16,06	8,50	9,29	10,40
Total		107,7	9,3	51,7	114,6	25,4	16,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

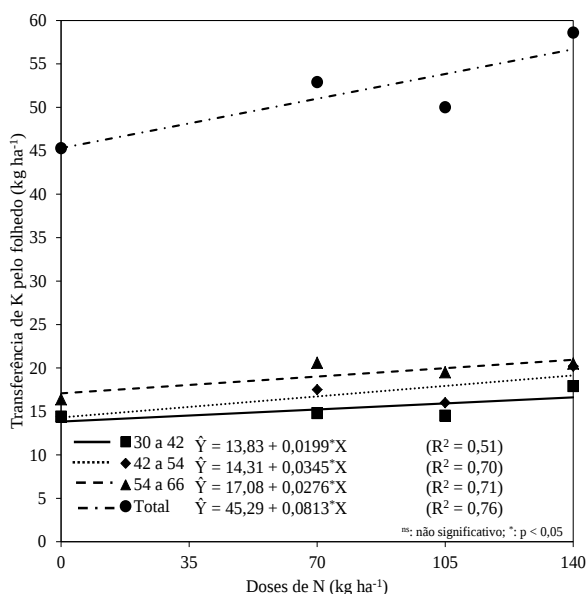
ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A transferência de potássio aumentou linearmente com o incremento das doses de N em todos os períodos e no total (30 a 66 meses) (Figura 7), sendo que a quantidade total obtida com a maior dose de N (140 kg ha⁻¹) em 36 meses (30 a 66 meses) foi de 56,7 kg ha⁻¹ de K e com a testemunha (0 kg ha⁻¹ de N) de 45,3 kg ha⁻¹ de K, o que corresponde no aumento

de 25,2% de K transferido para o solo. Tal fato está associado ao fornecimento crescente de nitrogênio à planta que propiciou, como relatado, no aumento das concentrações de K no folheto (Figura 6B), pois a produção de folheto não foi influenciada pelas doses de N (Tabela 8). Portanto, a adubação nitrogenada teve efeito na ciclagem de K (ciclo biogeoquímico), alterando positivamente o retorno desse nutriente ao solo. Além disso, fornecem às árvores de forma contínua os nutrientes para o sistema radicular, por meio da degradação do folheto depositado sobre o solo e sua consequente mineralização.

Figura 7 - Quantidade de K transferida ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses após o plantio as quantidades de N, K, Ca, Mg e S transferidas pela deposição de folheto no solo pelo *Eucalyptus urophylla* x *grandis* foram maiores nos tratamentos com a aplicação de fertilizantes, devido principalmente à maior produção de folheto nesses tratamentos. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *E. grandis*, e constataram que a aplicação de lodo de esgoto propiciou maior reciclagem de nutrientes devido ao aumento na queda das folhas.

Nos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto) houve redução da transferência de N para o solo pelo folheto (Tabela 10), tal fato, deve-se a diminuição da concentração desse nutriente no folheto com a idade da cultura do

eucalipto (Tabela 9). A transferência de Ca e S foram menores no período de 42 a 54 meses, devido a menor produção de folheto nesse período (Tabela 8). Enquanto que a quantidade de K transferida pelo folheto foi maior no período de 54 a 66 meses em relação ao primeiro (30 a 42 meses), em consequência, da maior produção de folheto no último período em relação ao primeiro (Tabela 8).

Em relação ao total transferido dos macronutrientes pelas plantas de eucalipto entre o período de 30 e 66 meses, ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ com as seguintes quantidades (kg ha^{-1}): $\text{Ca} = 114,6$; $\text{N} = 107,7$; $\text{K} = 51,7$; $\text{Mg} = 25,4$; $\text{S} = 16,8$ e $\text{P} = 9,3$. O K é o terceiro nutriente mais transferido, no entanto, é o que se disponibiliza mais rapidamente para as plantas, pois de acordo com Meurer (2006) esse nutriente não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, sendo encontrado como cátion livre. Assim, o K é liberado rapidamente durante o processo de decomposição do folheto, apresentando as maiores intensidades de ciclagem biogeoquímica.

Salvador, Consensa e Araújo (2014) verificaram que da serrapilheira depositada no piso florestal, o potássio tem a fração folha como maior fornecedora. Segundo Caldeira et al. (2008), a ciclagem de K na relação solo/planta é mais rápida do que a de outros nutrientes, por se tratar de um cátion monovalente, livre no citoplasma. De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica da serrapilheira foram do K.

Silva (2011) verificou que dos 12 aos 24 meses após o plantio, o Ca e N foram os nutrientes mais transferidos via deposição de folheto do eucalipto. Salvador, Consensa e Araújo (2014) constataram em povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 4,4 anos de idade, que o material depositado (serrapilheira: folhas, galhos finos, galhos grossos e miscelânea) contribuiu significativamente para a manutenção do ciclo biogeoquímico pela elevada liberação dos macronutrientes para o sítio florestal, os quais apresentaram a seguinte ordem de contribuição: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Vieira et al. (2014) também verificaram que a magnitude média de transferência de macronutrientes ao solo do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* aos 5,5 anos de idade foi: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

4.1.4 Fertilidade do Solo

A adubação nitrogenada não influenciou os teores fósforo no solo cultivado com eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio (Tabela 11).

Tabela 11 - Teores de fósforo no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

P_{resina} (mg dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de N (kg ha⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	14,00 ^{ns}	9,30 ^{ns}	8,23 ^{ns}	8,00 ^{ns}
	70	14,00	10,60	9,03	8,30
	105	18,30	9,30	8,39	8,33
	140	11,70	9,00	7,92	7,67
C.V. (%)		15,38	26,89	8,31	17,00
Média		14,50 a	9,58 b	8,39 b	8,08 b
D.M.S. (5%)			2,05		
C.V. (%)			18,18		
20-40	0	15,00 ^{ns}	11,00 ^{ns}	9,82 ^{ns}	9,60 ^{ns}
	70	15,40	11,00	9,50	9,00
	105	14,00	11,60	10,13	9,67
	140	10,00	8,30	8,55	9,66
C.V. (%)		13,61	25,74	16,04	13,25
Média		13,58 a	10,50 b	9,50 b	9,50 b
D.M.S. (5%)			2,00		
C.V. (%)			16,68		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	3,00 ^{ns}	2,30 ^{ns}	2,38 ^{ns}	2,66 ^{ns}
	70	3,70	2,67	1,90	1,33
	105	3,00	4,00	3,00	2,33
	140	2,70	2,00	1,90	2,00
C.V. (%)		17,25	10,63	19,85	14,67
Média		3,08 a	2,75 a	2,30 a	2,08 a
D.M.S. (5%)			1,00		
C.V. (%)			13,97		
20-40	0	2,70 ^{ns}	2,00 ^{ns}	2,06 ^{ns}	2,33 ^{ns}
	70	2,70	2,30	1,58	1,00
	105	2,33	2,30	2,06	2,00
	140	2,00	1,67	1,58	1,66
C.V. (%)		14,94	26,53	13,02	11,78
Média		2,42 a	2,08 ab	1,82 ab	1,75 b
D.M.S. (5%)			0,59		
C.V. (%)			26,49		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Melo (2014) avaliou a adubação nitrogenada em plantações de eucalipto em diferentes condições edafoclimáticas, e constatou que os teores de P no solo aos 24 e 48 meses não

apresentaram grandes variações em função dos tratamentos (doses de N) no sítio florestal de Ribas do Rio Pardo/MS para o *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO. Em outro sítio florestal, localizado no município de Luís Antônio/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO), verificou-se que os teores desse nutriente no solo apresentaram variações aos 48 meses de idade nas três profundidades de solo (0-10; 10-20 e 20-40 cm), no entanto, também não houve relação com as doses de N. Para povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* localizado no município de Paulistânia/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO), constatou-se que embora não significativos, os teores de P no solo nas três profundidades, aos 48 meses, foram inversamente proporcionais às doses de N, sendo que a diminuição dos teores de P pode estar associada ao maior crescimento da cultura em função do incremento das doses de N e, consequentemente, maior quantidade de P absorvidas do solo.

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de P na linha, aos 36 e 48 meses de idade, são classificados como alto (9 a 16 mg dm⁻³ de P, para espécies florestais) e aos 60 e 66 meses estão próximo do médio (6 a 8 mg dm⁻³ de P). Na entrelinha de plantio, aos 60 e 66 meses de idade, os teores de P estão próximo do muito baixo (0 a 2 mg dm⁻³ de P). Os maiores valores verificados na linha devem-se a aplicação desse nutriente no sulco de plantio.

A disponibilidade de P no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 11), sendo que os maiores teores desse nutriente foram verificados aos 36 meses após o plantio e os menores nos meses subsequentes. A maior redução nos teores de P no solo ocorreu entre os 36 e 48 meses de idade, não apresentando diferença para os seus teores nas avaliações posteriores aos 48 meses. Entre o período de 36 e 66 meses após o plantio do eucalipto, os teores de fósforo reduziram de 44; 30 e 28% (0 a 20 cm - L; 20 a 40 cm - L e 20 a 40 cm - EL, respectivamente), essa redução pode estar associada ao maior crescimento da cultura com a idade e consequentemente, maior quantidade de P absorvida do solo. No entanto, Melo (2014) verificou em seu estudo com a adubação nitrogenada em quatro povoamentos de eucaliptos em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de P apresentaram pequenas variações ou não variaram entre as épocas.

Silveira e Gava (2004) relataram que o P disponível pelo método resina, considerando diversos tipos de solo, não seria suficiente para atender à demanda total média do nutriente para *Eucalyptus* com idade de 7 anos aproximadamente, sendo esse de 9,8 kg ha⁻¹ nos

primeiros 20 cm. Considerando os teores de P disponível na linha de plantio e na camada arável do solo aos 66 meses de idade, o valor de P em kg ha^{-1} seria de 16,2 e na entrelinha de plantio de 4,2. Portanto, em relação ao cultivo de segunda rotação (replantio ou condução de rebrota) é interessante destacar que os teores desse nutriente estão adequados, não sendo necessária a adubação fosfatada para o próximo ciclo, devido ao efeito residual deste nutriente, além disso, a decomposição da serrapilheira (folhas, galhos e casca) pode transferir esse nutriente para o solo, sendo que entre o período de 30 a 36 meses foi transferido via deposição de folheto 9,3 kg ha^{-1} de P. Assim sendo, não haveria respostas dos ciclos subsequentes da cultura à adubação fosfatada, pois de acordo com Gonçalves et al. (2008) em solos com teores de P acima de 4 mg dm^{-3} , as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada.

A adubação nitrogenada também não influenciou os teores de enxofre no solo cultivado com eucalipto nos quatro períodos de avaliação (Tabela 12). De acordo com os limites de interpretação dos teores desse nutriente proposto por Raij et al. (1997), os seus teores podem ser classificados como de médio a baixo (5 a 10 e 0 a 4 mg dm^{-3} de S, respectivamente), sendo que os maiores valores ocorreram na entrelinha na camada de 20 a 40 cm, mesmo com a aplicação de gesso (500 kg ha^{-1}) a lanço e em área total antes da implantação do experimento.

A disponibilidade de S no solo foi influenciada nas quatro épocas (Tabela 12), sendo que os maiores teores desse nutriente foram aos 36 meses após o plantio e os menores nos meses subsequentes. Entre o período de 36 a 66 meses após o plantio do eucalipto os teores de enxofre reduziram de 26; 41 e 39% (0 a 20 cm - L; 0 a 20 cm - EL e 20 a 40 cm - EL, respectivamente), essa redução pode estar associada ao maior crescimento da cultura com a idade e consequentemente, maior quantidade de S absorvida do solo pelas plantas, o que explica a diminuição das concentrações desse nutriente no folheto entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto (Tabela 9).

Raij (2011) relatou que em muitos casos, o ânion SO_4^{2-} não fica retido no solo, sendo esse facilmente lixiviado, e em condições que predominam óxidos Fe e Al no solo, pode haver a adsorção deste ânion no subsolo. No presente trabalho, são propícias as condições para ocorrências desses efeitos, pois trata-se de um solo com textura arenosa, o que resulta em maior lixiviação desse nutriente, o que pode ser verificado pela sua maior disponibilidade, nos quatro períodos avaliados, na camada mais profunda (20 a 40 cm). Além, dessa constatação,

esse declínio de teores de S pode ser atribuída à diminuição da disponibilidade do nutriente no solo com o aumento da idade do povoamento (aumento da absorção do nutriente).

Tabela 12 - Teores de enxofre no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

S-SO₄ (mg dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de N (kg ha⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	4,00 ^{ns}	3,30 ^{ns}	3,01 ^{ns}	3,00 ^{ns}
	70	3,00	3,33	2,85	2,66
	105	4,30	3,00	3,01	3,30
	140	4,30	3,00	2,69	2,67
C.V. (%)		16,60	10,53	9,05	18,95
Média		3,92 a	3,17 ab	2,89 b	2,91 b
D.M.S. (5%)			1,00		
C.V. (%)			28,04		
20-40	0	4,00 ^{ns}	3,30 ^{ns}	2,85 ^{ns}	2,66 ^{ns}
	70	3,60	3,30 ^{ns}	3,00	3,00
	105	3,00	3,30 ^{ns}	2,85	2,67
	140	4,00	3,30 ^{ns}	3,17	3,30
C.V. (%)		17,60	15,00	11,89	12,78
Média		3,67 a	3,33 a	2,97 a	2,91 a
D.M.S. (5%)			0,83		
C.V. (%)			23,21		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	4,70 ^{ns}	3,30 ^{ns}	2,85 ^{ns}	2,66 ^{ns}
	70	3,70	3,30	2,85	2,66
	105	4,33	3,70	3,00	2,66
	140	6,00	3,70	3,17	3,00
C.V. (%)		15,97	17,17	8,75	18,18
Média		4,67 a	3,50 b	2,97 bc	2,75 c
D.M.S. (5%)			0,68		
C.V. (%)			17,58		
20-40	0	5,30 ^{ns}	5,00 ^{ns}	4,12 ^{ns}	3,67 ^{ns}
	70	6,32	5,30	4,43	4,00
	105	6,33	4,67	3,96	3,67
	140	6,00	6,70	4,75	3,33
C.V. (%)		15,96	23,03	15,44	15,08
Média		6,00 a	5,42 ab	4,32 bc	3,67 c
D.M.S. (5%)			1,12		
C.V. (%)			20,71		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de K também não foram influenciados pela adubação nitrogenada (Tabela 13). De acordo com os limites de interpretação dos teores desse nutriente proposto por Raij et al. (1997), os seus teores na linha e na entrelinha de plantio são classificados como muito baixos ($< 0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K) com valores semelhantes ao encontrado na análise inicial do

solo (0,2 e 0,3 mmol_c dm⁻³ de K, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente) o que evidencia a elevada extração desse nutriente pela cultura ao longo do 5 anos e meio de cultivo. Além disso, a textura arenosa do solo apresenta condição propícia para ocorrência do processo de lixiviação do nutriente. Essas duas condições favorecem a menor disponibilidade do K nas duas profundidades avaliadas.

Tabela 13 - Teores de potássio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

K (mmol_c dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de N (kg ha⁻¹)	Linha			
		36	48	60	66
0-20	0	0,17 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,40 ^{ns}
	70	0,37	0,26	0,29	0,33
	105	0,20	0,33	0,32	0,35
	140	0,33	0,33	0,34	0,40
C.V. (%)		8,30	22,13	12,29	21,65
Média		0,27 b	0,29 ab	0,32 ab	0,37 a
D.M.S. (5%)			0,09		
C.V. (%)			26,09		
20-40	0	0,10 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,20 ^{ns}
	70	0,40	0,30	0,32	0,33
	105	0,16	0,23	0,23	0,25
	140	0,20	0,23	0,22	0,23
C.V. (%)		8,92	8,62	5,84	5,02
Média		0,21 a	0,26 a	0,24 a	0,25 a
D.M.S. (5%)			0,12		
C.V. (%)			6,79		
Entrelinha (Projeção da Copa)					
0-20	0	0,27 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,27 ^{ns}
	70	0,23	0,33	0,27	0,23
	105	0,23	0,37	0,30	0,26
	140	0,16	0,26	0,22	0,20
C.V. (%)		7,33	23,56	26,88	5,40
Média		0,22 a	0,29 a	0,25 a	0,24 a
D.M.S. (5%)			0,10		
C.V. (%)			5,78		
20-40	0	0,23 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,26 ^{ns}
	70	0,37	0,23	0,21	0,20
	105	0,26	0,26	0,24	0,23
	140	0,33	0,27	0,24	0,23
C.V. (%)		8,81	6,17	4,81	6,06
Média		0,30 a	0,24 a	0,23 a	0,23 a
D.M.S. (5%)			0,12		
C.V. (%)			7,22		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A disponibilidade de K no solo foi influenciada nas quatro épocas (Tabela 13), sendo que os seus teores na camada superficial da linha de plantio aumentaram em 37% entre o período de 36 a 66 meses, tal aumento pode ser explicado pelo processo da ciclagem biogeoquímica, pois o potássio foi o terceiro nutriente mais transferido para o solo via deposição de folheto (Tabela 10). Melo (2014) constatou em um dos sítios florestais avaliados, que os teores de K aumentaram entre 24 e 48 meses, atribuindo a esse efeito ao processo de ciclagem de nutrientes, oriundos da deposição de galhos e folhas. Segundo Gonçalves et al. (2008) esse processo tem início a partir do segundo ano do ciclo da cultura do eucalipto, sendo responsável pela mineralização dos nutrientes contidos na serrapilheira.

Salvador, Consensa e Araújo (2014) verificaram que da serrapilheira depositada no piso florestal, a fração folha é a mais notável na ciclagem de K. Segundo Caldeira et al. (2008), a ciclagem desse nutriente na relação solo/planta é mais rápida do que a de outros nutrientes, por se tratar de um cátion monovalente e não estrutural nos tecidos da planta. De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica foram do K. Além disso, esse nutriente não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, sendo encontrado como cátion livre ou adsorvido (MEURER, 2006). Segundo Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), cerca de 50% do K foi rapidamente liberado da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* até os 116 dias. O que evidencia o seu rápido retorno para o solo via a decomposição de folheto. No entanto, os seus teores são ainda classificados como muito baixos, sendo necessária a adubação potássica para os próximos ciclos.

Os teores de cálcio não foram influenciados pela adubação nitrogenada (Tabela 14). De forma geral, os teores de Ca de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1997) estão baixos ($< 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca), mesmo com aplicação a lanço e em área total de 1500 kg ha⁻¹ de calcário (PRNT de 80%) e 500 kg ha⁻¹ de gesso antes da implantação do experimento. Melo (2014) constatou em seu estudo com a adubação nitrogenada em quatro povoamentos de eucaliptos, em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de Ca nas três profundidades do solo (0-10; 10-20 e 20-40 cm) não foram influenciados pelas doses de N (0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de N) nas diferentes idades da cultura.

A disponibilidade de Ca no solo não foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 14). Melo (2014) constatou que os teores de Ca na profundidade de 0 a 10 cm aumentaram entre 0 e 48 meses de idade (2,0 e 6,2 mmol_c dm⁻³ de Ca, respectivamente) no

sítio florestal de Ribas do Rio Pardo/MS para o *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, atribuindo esse efeito a aplicação de 2000 kg ha⁻¹ de Calcário dolomítico. O mesmo foi verificado para povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* localizado no município de Paulistânia/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO) quando aumentou entre 0 e 48 meses de idade de 3,0 para 4,9 mmol_c dm⁻³ de Ca, respectivamente.

Tabela 14 - Teores de cálcio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

Ca (mmol _c dm ⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Linha			
		36	48	60	66
0-20	0	1,67 ^{ns}	1,33 ^{ns}	2,08 ^{ns}	3,00 ^{ns}
	70	1,67	2,30	2,24	2,30
	105	1,67	2,30	2,40	2,66
	140	2,00	2,30	2,56	3,00
C.V. (%)		18,84	17,94	27,80	15,89
Média		1,75 a	2,08 a	2,32 a	2,75 a
D.M.S. (5%)		1,04			
C.V. (%)		17,59			
20-40	0	1,30 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,66 ^{ns}
	70	1,70	1,30	1,44	1,67
	105	1,30	1,00	1,28	1,66
	140	1,30	1,33	1,28	1,30
C.V. (%)		12,98	28,57	23,47	12,44
Média		1,42 a	1,17 a	1,32 a	1,58 a
D.M.S. (5%)		0,48			
C.V. (%)		31,36			
Entrelinha (Projeção da Copa)					
0-20	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,67 ^{ns}
	70	1,70	2,30	1,92	1,66
	105	2,00	2,30	1,92	1,66
	140	4,33	1,33	1,12	1,00
C.V. (%)		15,51	17,62	27,62	19,25
Média		2,25 a	1,75 a	1,56 a	1,50 a
D.M.S. (5%)		0,91			
C.V. (%)		16,43			
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	70	1,30	1,30	1,12	1,00
	105	1,00	1,30	1,28	1,30
	140	1,00	1,00	1,00	1,00
C.V. (%)		26,65	12,24	30,54	26,65
Média		1,08 a	1,17 a	1,08 a	1,08 a
D.M.S. (5%)		0,37			
C.V. (%)		30,08			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O Ca foi o macronutriente mais transferido pelas plantas de eucalipto para o solo via deposição de folheto entre o período de 30 e 66 meses ($114,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca) (Tabela 10). No entanto, não influenciou na disponibilidade desse nutriente no solo. Tal fato pode ser atribuído à baixa mobilidade do nutriente na planta, sendo que, a maior parte do Ca no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis, como o pectato da lamela média da parede celular (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006). Portanto, o Ca apresenta baixa liberação para o solo pela decomposição de folheto, que de acordo com Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), a liberação líquida de Ca da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no período de 1 ano foi de apenas valores entre 18 e 20%.

Os teores de Mg também não foram influenciados pela adubação nitrogenada (Tabela 15). De forma geral, os teores de Mg de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1997) foram baixos ($< 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg), mesmo com aplicação a lanço e em área total de 1500 kg ha^{-1} de calcário (PRNT de 80%) três anos antes da implantação do experimento. Também Melo (2014) constatou em quatro povoamentos de diferentes espécies de eucalipto em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de Mg do solo não foram influenciados pelas doses de N (0; 50; 100 e 150 kg ha^{-1} de N) nas diferentes idades da cultura.

A disponibilidade de Mg no solo não foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 15). Melo (2014) constatou que os teores de Mg na profundidade de 0 a 10 cm aumentou entre 0 e 48 meses de idade ($1,0$ e $1,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg, respectivamente) no sítio florestal de Ribas do Rio Pardo/MS para o *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, atribuindo esse efeito a aplicação de 2000 kg ha^{-1} de Calcário dolomítico. O mesmo foi verificado para povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* localizado no município de Paulistânia/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO) que aumentou entre 0 e 48 meses de idade.

O Mg foi o quarto macronutriente mais transferido pelas plantas de eucalipto para o solo via decomposição de folheto entre o período de 30 e 66 meses ($25,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg) (Tabela 10). No entanto, não influenciou na disponibilidade do nutriente no solo pelo processo de ciclagem (ciclo biogeoquímico). Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005) constataram em seu estudo de decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte Fluminense, que o Mg apresentou liberação líquida de apenas 33% no período de 1 ano.

Tabela 15 - Teores de magnésio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

Mg (mmol_c dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de N (kg ha⁻¹)	Linha			
		36	48	60	66
0-20	0	1,30 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,60 ^{ns}	2,30 ^{ns}
	70	1,00	1,67	1,76	2,00
	105	1,30	2,00	1,92	2,00
	140	1,00	1,30	1,76	2,33
	C.V. (%)	12,24	16,69	24,48	13,00
Média		1,17 a	1,50 a	1,76 a	2,17 a
D.M.S. (5%)			1,03		
C.V. (%)			34,46		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	70	1,30	1,00	1,00	1,00
	105	1,00	1,00	1,12	1,30
	140	1,00	1,00	1,00	1,00
	C.V. (%)	26,65	2,86	13,86	26,65
Média		1,08 a	1,00 a	1,00 a	1,08 a
D.M.S. (5%)			0,24		
C.V. (%)			20,85		
Entrelinha (Projeção da Copa)					
0-20	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	70	1,70	1,70	1,44	1,33
	105	2,00	1,70	1,28	1,00
	140	3,00	1,00	1,00	1,00
	C.V. (%)	15,37	11,70	23,89	26,65
Média		1,92 a	1,33 ab	1,16 b	1,08 b
D.M.S. (5%)			0,70		
C.V. (%)			14,81		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	70	1,30	1,00	1,12	1,33
	105	1,00	1,00	1,00	1,00
	140	1,00	1,00	1,00	1,00
	C.V. (%)	26,65	2,86	14,11	26,65
Média		1,08 a	1,00 a	1,00 a	1,08 a
D.M.S. (5%)			0,24		
C.V. (%)			20,82		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.1.5 Balanço dos nutrientes

4.1.5.1 Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr)

Os balanços de [N, P, S | K, Ca, Mg] e [N, P | S] nas folhas do eucalipto não foram influenciados pela adubação nitrogenada (Tabela 16).

Montes (2013) avaliou em cinco ciclos de pomar de goiabeiras os efeitos da adubação nitrogenada na planta e na sua produtividade, e constatou que com exceção do primeiro ciclo produtivo, houve efeito significativo da adubação nitrogenada no balanço [N, P, S | K, Ca, Mg]. Também verificou que a relação [N, P | S] médio foi significativo. Tal fato deve-se, provavelmente, a grande quantidade de N aplicada, pois em seu estudo foi avaliado a aplicação de 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de N, o que corresponde para o espaçamento de 7 x 5 metros do pomar de goiabeira a quantidade de 0; 143; 286 e 572 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de N. Nesse estudo, com a cultura do eucalipto a dose máxima foi de 140 kg ha⁻¹ de N, aplicadas no plantio e em três coberturas. Vale ressaltar que essas quantidades mencionadas no estudo do autor foram aplicadas em apenas 1 ciclo, do total de 5 ciclos da cultura.

Tabela 16 - Balanço dos macronutrientes (relação log isométrica) nas folhas de eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Idade	Doses de N (kg ha ⁻¹)	ilr1	ilr2	ilr3	ilr4	ilr5
		adim.				
30 meses	0	-0,39 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,15 [*]	0,96 ^{ns}
	70	-0,49	0,80	2,05	0,23	0,95
	105	-0,25	0,83	2,02	0,44	1,27
	140	-0,47	0,91	1,92	0,60	0,89
	C.V. (%)	13,21	16,28	8,72	9,37	18,93
36 meses	0	-0,70 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,77 [*]	0,25 [*]	0,75 [*]
	70	-0,70	0,94	2,03	0,23	0,75
	105	-0,54	0,98	2,00	0,36	0,94
	140	-0,79	1,02	1,84	0,58	0,97
	C.V. (%)	17,31	14,16	7,62	24,09	15,61
42 meses	0	-0,48 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,00 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,90 ^{ns}
	70	-0,47	0,90	1,97	0,40	0,89
	105	-0,46	0,77	1,82	0,50	1,07
	140	-0,59	0,91	1,98	0,32	0,96
	C.V. (%)	11,82	7,96	3,83	30,69	17,03
66 meses	0	-0,62 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,70 ^{ns}
	70	-0,63	0,95	1,89	0,44	0,60
	105	-0,64	0,87	1,80	0,52	0,71
	140	-0,64	0,94	1,89	0,31	0,74
	C.V. (%)	10,76	4,20	2,62	9,26	9,58

Obs.: Relações log isométricas (ilr): ilr1, ilr2, ilr3, ilr4 e ilr5, respectivamente, [N, P, S | K, Ca, Mg], [N, P | S], [N | P], [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg]

ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Gazola (2017) constatou em seu estudo com grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.) que houve diferença, quando da aplicação de N, para os valores do balanço [N, P, S | K, Ca, Mg], na primeira e terceira avaliações, sendo os maiores valores desse balanço obtidos quando da adubação com 180 kg ha⁻¹ de N (parcelada em 3 aplicações).

Montes (2013) constatou que o balanço [N | P] variou em resposta à adubação nitrogenada, e que o seu aumento foi devido à elevação da concentração do nitrogênio no tecido vegetal, o que também pode estar relacionado à maior absorção de nitrogênio em relação ao fósforo, devido à sua maior disponibilidade. Tal resultado foi verificado no presente estudo, pois os valores do balanço [N | P] aos 36 meses de idade ajustaram-se a função quadrática, sendo o máximo estimado com a aplicação de 74,5 kg ha⁻¹ de N (Figura 8A). Esse aumento deve-se a maior concentração de N no tecido foliar em função do incremento das doses de N (Figura 4A).

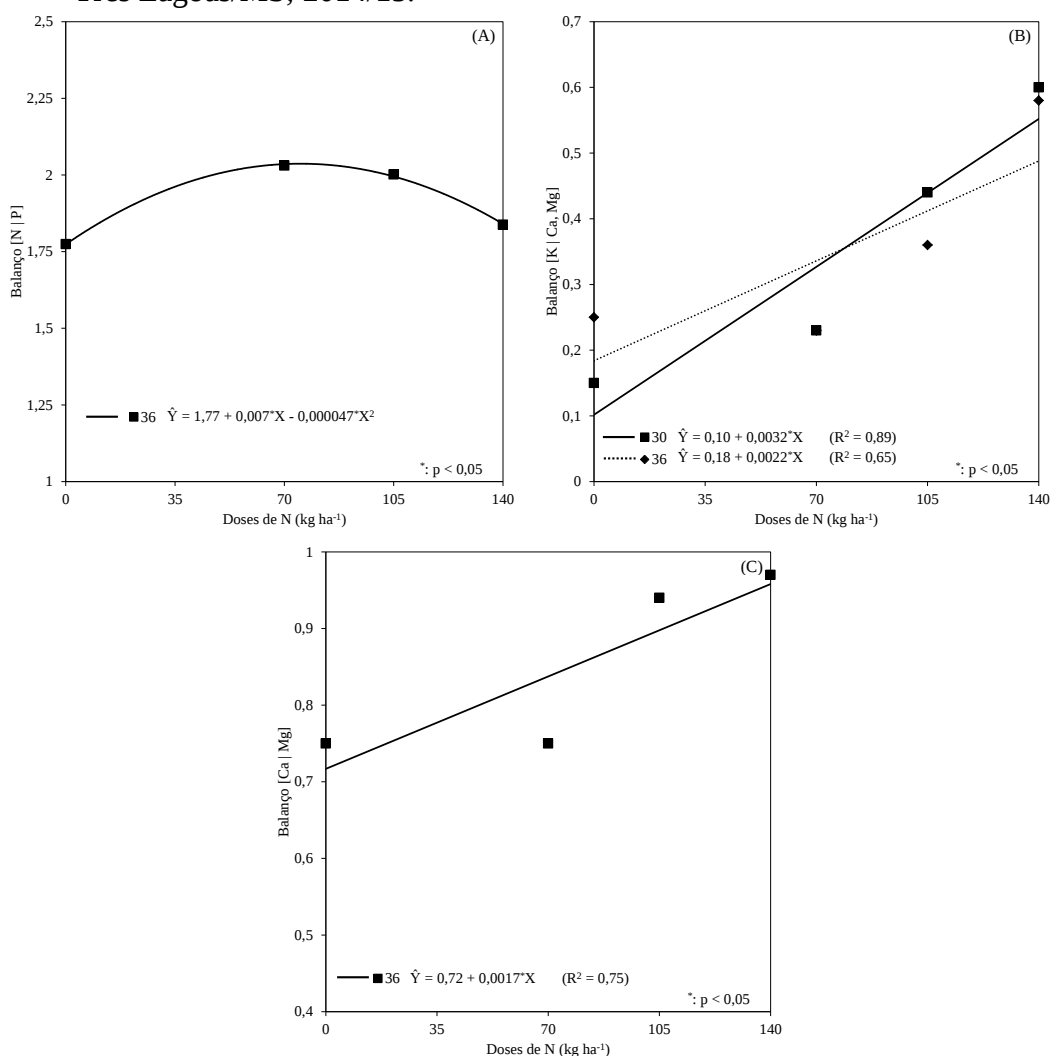
Os balanços [K | Ca, Mg] aos 30 e 36 meses e o [Ca | Mg] aos 36 meses após o plantio do eucalipto aumentaram com incremento das doses de N (Figuras 8 B e C). Montes (2013) não constatou esse efeito para adubação nitrogenada, mas para a potássica, que resultou no aumento na relação [K | Ca, Mg], devido a maior concentração de K no tecido vegetal, em razão da maior disponibilidade do nutriente no solo, podendo também ser resultado da inibição competitiva entre K, Ca e Mg. Exemplo tradicional da inibição competitiva é dado por altas concentrações de K no meio e no seu efeito na absorção do Ca e Mg (MALAVOLTA, 2006).

As quantidades fornecidas de K, Ca e Mg para o eucalipto foram as mesmas para todos tratamentos, sendo de 180 kg ha⁻¹ de K₂O e 1500 kg ha⁻¹ de calcário, portanto, o aumento nessas relações devem-se, provavelmente, a diminuição das concentrações de Mg no tecido foliar (Figura 4B) devido ao efeito diluição desse nutriente em função do maior crescimento da planta com o aumento das doses de N (Figura 3).

A fim de avaliar os balanços nutricionais encontrados neste estudo, foram elaboradas faixas de balanços de nutrientes foliares baseadas nos teores-padrão de elementos indicados por Gonçalves (2011): faixas consideradas adequadas para concentrações foliares das espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil: N de 21 a 30 g kg⁻¹; P de 1 a 3 g kg⁻¹; K de 5,5 a 8,5 g kg⁻¹; Ca de 3,5 a 6,0 g kg⁻¹; Mg 2 a 3 g kg⁻¹ e S de 0,5 a 1,5 g kg⁻¹. Os limites inferiores e superiores foram estabelecidos de acordo com Hernandez et al. (2012), em que os limites inferiores foram estabelecidos usando os menores valores no numerador, e os mais elevados,

no denominador, enquanto os limites superiores foram obtidos pela relação entre os maiores valores de teores no numerador, e os menores, no denominador. Essas faixas de balanços estão apresentadas na Tabela 17.

Figura 8 - Balanço [N | P] (36 meses), [K | Ca, Mg] (30 e 36 meses) e [Ca | Mg] (36 meses) nas folhas de eucalipto, em função de doses de N (A, B e C, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2014/15.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 17 - Faixas de balanços de nutrientes obtidas pelos teores-padrão de nutrientes indicados por Gonçalves (2011).

Balanço de nutrientes	Faixa de Balanços de Nutrientes Foliares	
	Limite inferior	Limite superior
[N, P, S K, Ca, Mg]	-1,09	0,17
[N, P S]	0,91	2,06
[N P]	1,97	2,41
[K Ca, Mg]	0,21	0,95
[Ca Mg]	0,11	0,78

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os balanços de [N, P, S | K, Ca, Mg] e [K | Ca, Mg] estão dentro da faixa, os de [N, P | S] e [N | P] estão próximos do limite inferior, o de [Ca | Mg] acima ou próximo do limite superior (Tabela 17). Valores de [N, P | S] e [N | P] abaixo do limite inferior é indicativo de baixa suplementação de N para cultura, no entanto, a não diferença entre os tratamentos, principalmente, entre a maior dose de N (140 kg ha^{-1} de N) e a testemunha (0 kg ha^{-1} de N) para os valores desses balanços não condiz com o desempenho de crescimento da cultura, pois com a maior dose de N houve maior produção de madeira em relação à testemunha (Figura 3). Assim, não foi possível estabelecer relação entre a produtividade da cultura com esses balanços, talvez a faixa estabelecida por Gonçalves (2011) para N (21 a 30 g kg^{-1}) não seja adequada para o clone utilizado nesta pesquisa, pois as concentrações de N foliar associadas às maiores produtividades de madeira (Figura 3) estão abaixo da faixa consideradas como adequada pelo autor.

Para os valores da relação [Ca | Mg] acima do limite superior é indicativo de baixa suplementação de Mg para cultura. Montes (2013) constatou que a relação [Ca | Mg] foi significativa em resposta à adubação potássica e que essa pode ter prejudicado mais na absorção do Mg do que na absorção de Ca, em função da quantidade de Ca no solo ser superior à de Mg. Na presente pesquisa embora os teores de K, Ca e Mg estão muito baixos no solo, os de Ca foram superiores ao de K e Mg, devido a aplicação de calcário e gesso. Além disso, as menores concentrações de Mg foliares devido ao efeito diluição desse nutriente em função do maior crescimento da planta propiciam menores valores do balanço.

4.1.5.2 Balanço catiônico no solo (relação log isométrica - ilr)

O balanço [K, Ca, Mg | H+Al] foi o contraste (Bases trocáveis vs. acidez potencial) utilizado para avaliar o efeito das doses de nitrogênio sobre a acidez do solo, entretanto esse não foi influenciado pela adubação nitrogenada (Tabela 18).

Montes (2013) constatou que as doses de N (0 ; $0,5$; $1,0$ e $2,0 \text{ kg planta}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) utilizando como fonte a ureia, o que corresponde para o espaçamento de 7×5 metros do pomar de goiabeira, à quantidade de 0 ; 143 ; 286 e $572 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ de N, diminuiu os valores do balanço [K, Ca, Mg | H+Al] no solo, durante cinco ciclos produtivos consecutivos da goiabeira ‘Paluma’. Tal fato, segundo o autor, deve-se ao processo de nitrificação, que resultou na transformação do nitrogênio na forma amoniacal para a forma nítrica, ocasionando

a liberação de íons H^+ , aumentando a acidez potencial do solo (H+Al) e, consequentemente, com diminuição do balanço [K, Ca, Mg | H+Al], no solo.

Gazola (2017) verificou para a grama esmeralda que a maior quantidade de N aplicada em cada ano, ou seja, cinco aplicações de 60 kg ha^{-1} de N, total de 300 kg ha^{-1} de N não influenciou no balanço de [K, Ca, Mg | H+Al] no solo. No presente estudo, com a cultura do eucalipto, ao considerar a maior quantidade de N aplicada, ou seja, de 140 kg ha^{-1} , foi apenas 25% da maior dose testada por Montes (2013) em apenas 1 ciclo da goiabeira. Portanto, a alteração, neste balanço, pode estar associada à aplicação de elevadas doses de N, diferente do atual estudo.

Tabela 18 - Balanço catiônico no solo [K, Ca, Mg | H+Al] em plantação de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2015/17.

[K, Ca, Mg H+Al] nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de N (kg ha⁻¹)	Linha			
		36	48	60	66
0-20	0	-3,03 ^{ns}	-3,03 ^{ns}	-2,73 ^{ns}	-2,60 ^{ns}
	70	-2,86	-2,63	-2,63	-2,69
	105	-2,97	-2,62	-2,70	-2,83
	140	-2,90	-2,76	-2,61	-2,57
C.V. (%)		8,08	8,36	7,56	12,69
20-40	0	-3,25 ^{ns}	-3,14 ^{ns}	-3,13 ^{ns}	-3,18 ^{ns}
	70	-2,81	-2,86	-2,90	-3,01
	105	-3,14	-3,11	-3,11	-3,17
	140	-3,14	-3,03	-3,07	-3,17
C.V. (%)		7,53	4,03	5,37	7,39
Entrelinha (Projeção da Copa)					
0-20	0	-3,07 ^{ns}	-3,14 ^{ns}	-3,09 ^{ns}	-3,11 ^{ns}
	70	-2,90	-2,66	-2,82	-3,07
	105	-2,94	-2,77	-2,93	-3,19
	140	-2,56	-3,06	-3,16	-3,31
C.V. (%)		9,47	6,65	6,88	7,38
20-40	0	-3,11 ^{ns}	-3,21 ^{ns}	-3,15 ^{ns}	-3,18 ^{ns}
	70	-2,86	-3,01	-3,03	-3,12
	105	-3,18	-3,07	-3,13	-3,25
	140	-2,99	-2,98	-3,09	-3,24
C.V. (%)		5,67	5,25	3,41	3,25

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.1.6 Avaliação da biomassa de eucalipto

4.1.6.1 Produção de biomassa

A adubação nitrogenada influenciou na produção de biomassa das folhas, dos galhos, do lenho e total da parte aérea das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 19). A produção desses compartimentos e total da parte aérea das plantas aumentaram linearmente com incremento das doses de N, sendo a máxima obtida com 140 kg ha⁻¹ de N de 4792, 4631, 167880 e 190557 kg ha⁻¹ (folhas, galhos, lenho e total, respectivamente) (Figuras 9 A e B).

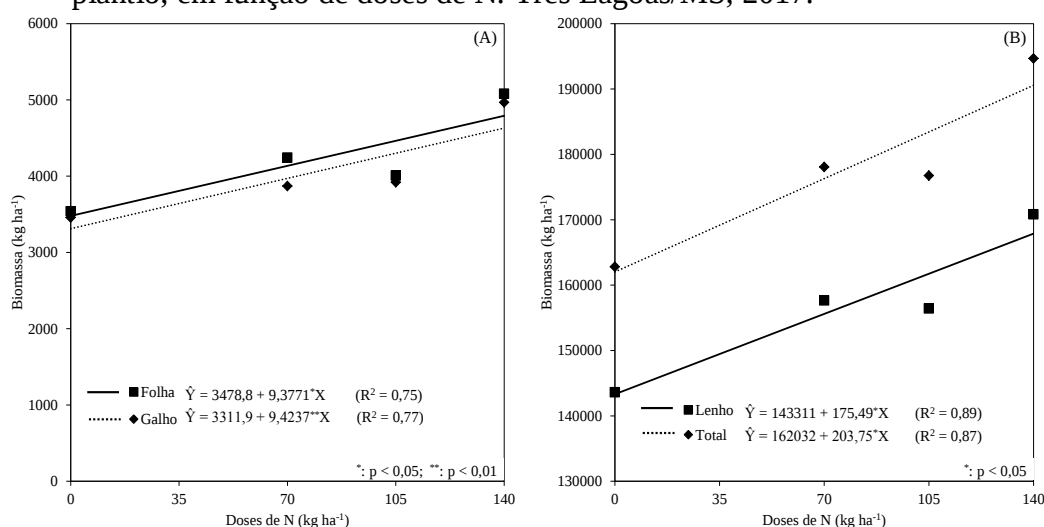
Tabela 19 - Biomassa dos compartimentos do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Folhas	Galhos	Lenho kg ha ⁻¹	Casca	Total aéreo
0	3539*	3458**	143607*	12204 ^{ns}	162809*
70	4243	3870	157661	12301	178075
105	4007	3920	156424	12407	176758
140	5080	4968	170833	13786	194668
Média	4217	4050	157131	12675	178077
C.V. (%)	17,62	14,60	26,54	16,36	19,37

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 9 - Biomassa de folhas, galhos, lenho e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Portanto, a produção de biomassa teve o mesmo comportamento do crescimento em volume (Figura 3). Silva (2011) avaliou o impacto das doses e do parcelamento da fertilização em plantações de eucalipto na fase inicial de crescimento em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e, constatou que a produção de biomassa foi maior com o aumento da dose de fertilizante em todos os compartimentos (folhas, galhos, tronco e total da parte aérea) e em todas as idades avaliadas (aos 3, 6, 12 e 24 meses de idade). Sendo que aos 24 meses, os tratamentos que receberam a maior dose de fertilizante propiciaram 50% a mais de biomassa em relação aos que não receberam. Silva, Poggiani e Laclau (2011) constataram que a aplicação de lodo de esgoto aumentou a produção de biomassa da madeira do *E. grandis* em comparação com o tratamento controle (testemunha). Enquanto que Oliveira Neto et al. (2003) verificaram que adubação de NPK influenciou a produção de biomassa de *Eucalyptus camaldulensis*, aos 32 meses de idade.

Em média, a produção de biomassa dos compartimentos folhas, galhos, lenho, casca e total da parte aérea do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio foi de 4217, 4050, 157131, 12675 e 178077 kg ha⁻¹, respectivamente. Benatti (2013) avaliou a compartimentalização de biomassa de clones de eucalipto (I-144) e constatou que a produção de biomassa dos compartimentos folhas, galhos vivo, lenho, casca e total da parte aérea aos 6,5 anos de idade foi de 4250, 4120, 103310, 10200 e 128140 kg ha⁻¹, respectivamente. Faria et al. (2008) constataram que os híbridos de *Eucalyptus urophylla* foram os que apresentaram maior produção de biomassa de tronco (150300 kg ha⁻¹) aos 57 meses de idade em relação aos híbridos provenientes do cruzamento *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus grandis* (102500 kg ha⁻¹).

A distribuição da biomassa nos diferentes componentes da parte aérea do eucalipto aos 5,5 anos (66 meses) apresentou a seguinte magnitude: lenho (88,2%) > casca (7,1%) > folha (2,4%) > galhos vivos (2,3%). Santana et al. (2008b) avaliaram a alocação dos nutrientes em diversas espécies de eucalipto aos 4,5 anos, e constataram que 90% da biomassa estão distribuídos nos componentes lenho + casca. Faria et al. (2008) verificaram que os híbridos de *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade, tenderam alocar maior porcentagem, em termos médios, de biomassa de tronco (92,3%) em relação à copa (7,7%). Gonsaga (2017) constatou que aos 6 anos, os cinco clones resultantes do cruzamento entre *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram médias de alocação da biomassa diferentes das encontradas aos 2,25 anos, sendo que a madeira continuou sendo a maior parte e aumentou sua participação na biomassa

total da parte aérea, chegando a 84,54%, seguida pela casca (7,81%), galhos (4,68%) e, por último, folhas (2,97%).

4.1.6.2 Concentrações dos nutrientes nos compartimentos

A adubação nitrogenada não influenciou nas concentrações dos nutrientes nos compartimentos folhas, galhos, lenho e casca das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 20).

Tabela 20 - Concentrações dos nutrientes nos componentes das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
	Folhas					
0	16,1 ^{ns}	1,3 ^{ns}	9,1 ^{ns}	6,1 ^{ns}	2,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}
70	16,6	1,3	8,6	6,0	3,6	1,4
105	15,8	1,3	8,9	6,0	3,2	1,3
140	15,8	1,2	8,9	5,5	2,7	1,3
Média	16,1	1,3	8,9	5,9	3,1	1,3
C.V. (%)	8,86	8,72	7,78	8,89	9,43	11,72
Galhos						
0	2,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	4,2 ^{ns}	6,6 ^{ns}	1,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}
70	2,2	0,3	3,8	6,9	1,9	0,4
105	2,6	0,5	3,9	6,0	1,2	0,3
140	2,6	0,4	4,4	7,0	1,9	0,4
Média	2,5	0,4	4,1	6,6	1,6	0,4
C.V. (%)	19,82	31,53	11,55	12,85	13,72	35,02
Lenho						
0	0,9 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}
70	0,9	0,1	1,4	0,5	0,4	0,1
105	0,7	0,1	1,4	0,5	0,3	0,1
140	0,7	0,1	1,3	0,5	0,3	0,2
Média	0,8	0,1	1,4	0,5	0,4	0,1
C.V. (%)	23,52	35,97	17,44	4,76	8,14	18,03
Casca						
0	3,1 ^{ns}	0,8 ^{ns}	5,5 ^{ns}	15,8 ^{ns}	3,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}
70	3,0	0,5	4,9	21,0	4,6	0,7
105	3,2	0,7	5,3	17,5	3,2	0,7
140	3,4	0,7	5,3	23,0	3,9	0,7
Média	3,2	0,7	5,2	19,3	3,9	0,7
C.V. (%)	10,94	25,07	25,96	11,43	27,01	10,16

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silva (2011) avaliou o efeito das doses de NPK e do parcelamento da fertilização de N e K em plantações de eucalipto em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e, constatou que aos 24 meses a adubação propiciou maiores concentração de N no lenho e na casca e maiores de K em todos os compartimentos (folhas, galhos, lenho e casca). No presente estudo, as dose de N não influenciaram nas concentrações de nutrientes em todos os compartimentos.

As menores concentrações de nutrientes foram verificadas no compartimento lenho, as maiores de N, P, K e S nas folhas e as de Ca e Mg na casca (Tabela 20). De acordo com Florence (2004), as concentrações dos nutrientes no tronco do eucalipto diminuem em idade mais avançada, pois na fase inicial de crescimento utiliza esse compartimento como dreno de armazenamento. Segundo Vieira (2012), o componente com maiores concentrações de nutrientes é a fração folha e o com menor é a madeira, devido à tendência que a maioria dos nutrientes tem de concentrar-se nas estruturas mais novas da planta, de maior atividade metabólica.

4.1.6.3 Nutrientes acumulados na biomassa

A adubação nitrogenada influenciou no acúmulo de N, P, K, Ca e S no compartimento folhas, N; K e Ca nos galhos, de Ca no lenho, de Ca e S na casca e de Ca no total da parte aérea da planta (Tabela 21). Silva (2011) constatou aos 12 e 24 meses de idade após o plantio do *Eucalyptus urophylla x grandis* que as maiores doses de NPK tiveram efeito positivo na produção da mineralomassa (nutrientes acumulados na biomassa). Souza (2015) verificou que a omissão de algum nutriente resultou em menor produção de biomassa das árvores de eucalipto aos dois, quatro, seis e oito anos de idade e/ou da concentração de nutrientes nos compartimentos da parte aérea.

Os acúmulos desses nutrientes nas plantas de eucalipto aumentaram linearmente com incremento das doses de N. O conteúdo de N aumentou com o incremento das doses de N nas folhas e galhos, sendo que com a maior dose de N os aumentos foram de 33 e 40%, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 10A). Houve aumento também para o estoque de P nas folhas sendo que o aumento com a maior dose foi de 32% em relação à testemunha (Figura 10B). Os acúmulos de K aumentaram nos compartimentos folhas e galhos, com incremento de 36 e 50%, respectivamente, quando comparado a maior dose de N com a testemunha (Figura 10C). Para Ca houve aumento em todos os compartimentos e total

da parte aérea, com incrementos de 28; 43; 19; 50 e 40% (folhas, galhos, lenho, casca e total, respectivamente), quando comparado a maior dose de N com a testemunha (Figura 10D). Enquanto que para o acúmulo de S aumentaram nos compartimentos folhas e casca de 38 e 19%, respectivamente (maior dose de N em relação à testemunha) (Figura 10E).

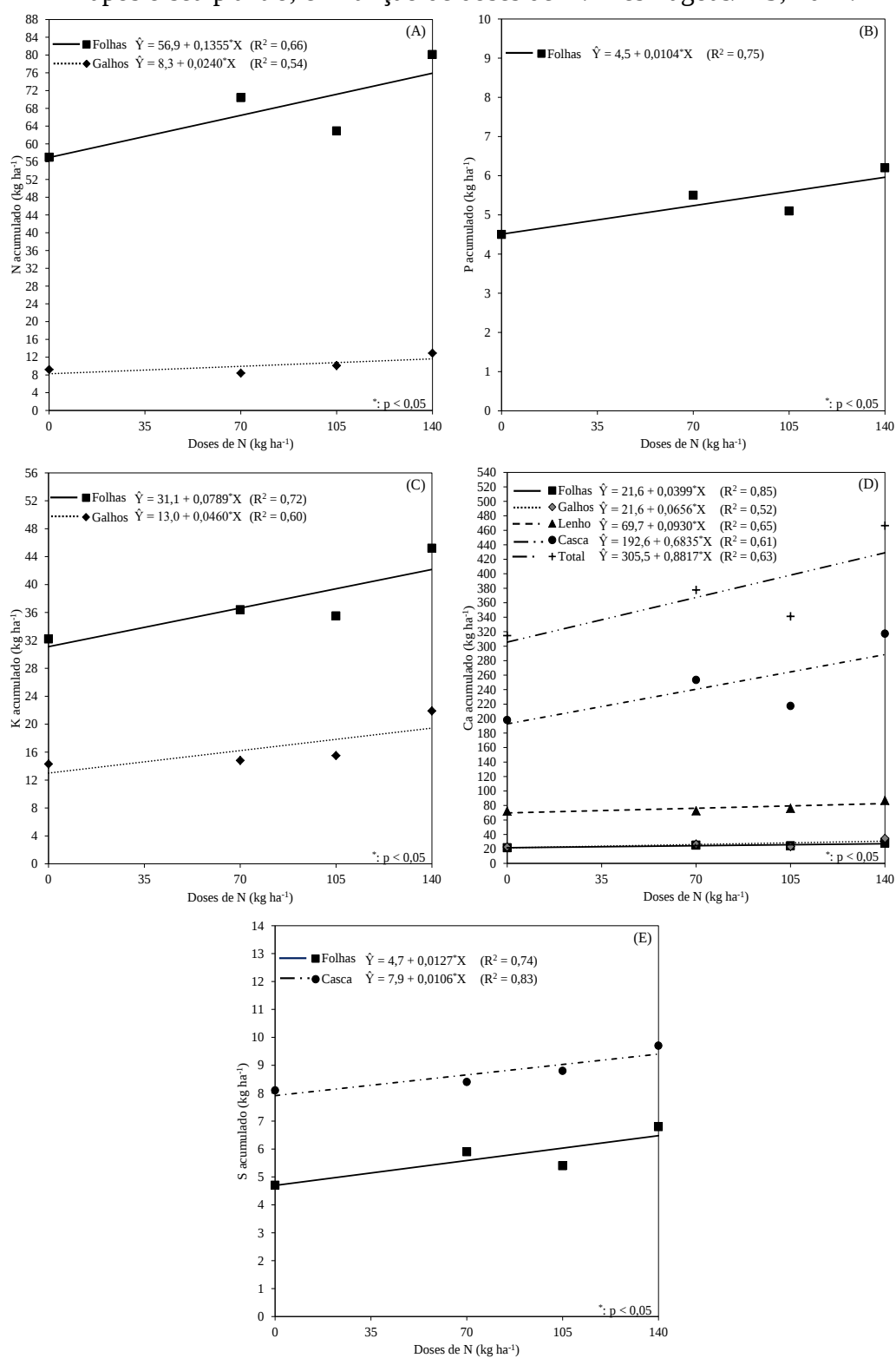
Tabela 21 - Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
	Folhas					
0	57,0*	4,5*	32,2*	21,6*	10,4 ^{ns}	4,7*
70	70,4	5,5	36,4	25,2	15,0	5,9
105	62,9	5,1	35,5	24,4	12,7	5,4
140	80,1	6,2	45,2	27,9	13,5	6,8
C.V. (%)	16,61	21,74	17,26	20,69	13,67	22,20
	Galhos					
0	9,2*	1,2 ^{ns}	14,3*	22,7*	5,3 ^{ns}	2,0 ^{ns}
70	8,4	1,1	14,8	26,5	7,5	1,6
105	10,1	1,9	15,5	23,2	4,8	1,4
140	12,9	1,8	21,9	34,5	9,6	1,9
C.V. (%)	18,21	31,23	19,37	14,73	13,18	16,41
	Lenho					
0	135,0 ^{ns}	13,2 ^{ns}	277,2 ^{ns}	72,3*	56,0 ^{ns}	20,9 ^{ns}
70	136,5	13,7	249,3	72,7	58,8	21,5
105	106,4	10,1	235,5	76,1	55,0	19,7
140	121,8	16,3	239,0	87,0	62,2	33,1
C.V. (%)	22,07	25,92	15,71	18,84	18,66	12,57
	Casca					
0	37,5 ^{ns}	9,6 ^{ns}	68,1 ^{ns}	198,0*	46,8 ^{ns}	8,1*
70	36,7	6,1	59,3	253,3	55,9	8,4
105	39,4	8,6	64,6	217,4	38,9	8,8
140	46,3	9,1	72,9	317,2	53,9	9,7
C.V. (%)	20,17	29,81	25,03	19,83	17,89	18,68
	Total					
0	238,8 ^{ns}	28,6 ^{ns}	364,0 ^{ns}	314,6*	118,6 ^{ns}	35,8 ^{ns}
70	252,0	26,4	334,9	377,6	137,3	37,4
105	218,9	25,8	327,6	341,2	111,5	35,2
140	261,2	33,4	355,2	466,5	139,3	51,5
C.V. (%)	12,71	28,75	13,62	16,98	20,98	12,48

ns, *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 10 - Acúmulos de N, P, K, Ca e S (A, B, C, D e E, respectivamente) nos compartimentos folhas, galhos, lenho, casca e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os aumentos dos acúmulos dos nutrientes nos diferentes compartimentos do eucalipto em função da adubação nitrogenada devem-se ao maior crescimento da planta (Figura 3). De acordo com Faquin (2005), o N apresenta a maior quantidade de interações com nutrientes no tecido vegetal. Além disso, o aumento da disponibilidade desse nutriente, em função da sua aplicação, estimula o crescimento da planta e, conseqüentemente, a absorção dos demais nutrientes (FAGERIA, 2001; FAQUIN, 2005).

Em relação aos compartimentos, no lenho os estoques dos nutrientes das plantas de eucalipto aos 5,5 anos pós-plantio ocorreu na seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > S > P$ e na parte aérea das plantas de eucalipto: $Ca > K > N > Mg > S > P$. Com base nessas constatações, verifica-se que, o K é o nutriente que apresentou maior estoque no lenho e o N o segundo, assim esses nutrientes são os mais exportados por ocasião da colheita apenas do compartimento lenho. Com a retirada da casca na colheita mantêm-se cerca de 66% do Ca na área florestal, pois esse nutriente tem maior acúmulo nesse compartimento.

Faria et al. (2008) constataram que a exploração somente da parte comercializável da planta (lenho) é uma forma de reduzir a exportação de nutrientes do sítio florestal, mantendo assim a sua capacidade produtiva por maior período de tempo. De acordo com Souza (2015), depois do N, o Ca e o K são os que mais poderão limitar a produtividade das próximas rotações, considerando-se a colheita do tronco (lenho + casca). Esta limitação pode ser substancialmente reduzida, principalmente para o Ca, com a retirada da casca da madeira. Segundo Santana et al. (2008b), cerca de 75% de N, P, K, Ca e Mg estão em outros componentes da parte aérea da árvore, e não no lenho, evidenciando a importância do descascamento na colheita, portanto, essa prática além de reduzir a exportação de Ca, minimiza também a exportação de outros nutrientes.

Faria et al. (2008) constataram que o acúmulo de nutrientes na parte aérea e no tronco, em termos médios, apresentaram a seguinte sequência: $N > Ca > K > Mg > P$ para diferentes genótipos de *Eucalyptus* aos 57 meses de idade, sendo o Ca e o K presentes em maior quantidade no tronco. Benatti (2013) também verificou para diferentes clones de eucalipto aos seis anos e meio de idade a seguinte sequência: $Ca > N > K > Mg > P$, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumuladas foi praticamente semelhante. Enquanto que Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) constataram em seu estudo com ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden aos 8 anos de idade que o acúmulo de nutrientes no lenho, apresentou a seguinte sequência: $Ca > N > K > Mg > P$.

Santana, Barros e Neves (2002) constataram que o K é o nutriente mais abundante no lenho e o Ca na casca, sendo o primeiro mais exportado pela retirada na colheita do tronco (lenho + casca). Segundo Silveira, Gava e Malavolta (2005) esse nutriente é o segundo ou o terceiro mais acumulado na cultura, ficando às vezes abaixo do N e do Ca. De acordo com Schumacher e Poggiani (1993), o acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto varia de nutriente para nutriente, sendo essa em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade da floresta. Tal afirmação esclarece a diferença do acúmulo de N obtidos neste estudo em relação aos encontrados na literatura.

4.1.7 Eficiência no uso dos nutrientes

A adubação nitrogenada não influenciou na eficiência de utilização dos macronutrientes das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 22). A não eficiência no uso de N em função da adubação nitrogenada deve-se, provavelmente, ao aumento da produção da biomassa do lenho (Figura 9B) e do acúmulo de N na casca (Tabela 21), pois a eficiência no uso dos nutrientes é calculada pela relação entre a biomassa seca do tronco (lenho + casca) e a do nutriente acumulado no tronco. Portanto, o aumento da biomassa e do estoque de N no tronco em função do incremento das doses de N não alterou essa relação. Tal explicação pode ser aplicada à não eficiência no uso dos outros nutrientes, pois o aumento do acúmulo dos nutrientes (Figura 10) foi proporcional ao aumento da produção de biomassa (Figura 9).

Galo (1993) verificou em seu estudo de resposta do eucalipto à adubação potássica em solo de cerrado, que a eficiência de utilização de K na produção de tronco e de copa diminuiu com a elevação da dose desse nutriente. Essa menor eficiência deve-se segundo Silva et al. (2002) à maior absorção desse nutriente pelas plantas devido ao aumento da sua concentração na solução do solo, no entanto, se a taxa de crescimento das plantas for menor que a da absorção, reduz a sua eficiência de utilização do nutriente em questão.

Silva (2011) avaliou o efeito das doses (NPK) e do parcelamento da fertilização (NK) em plantações de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* na fase inicial de crescimento e, constatou que as plantas de eucalipto que não foram adubadas foram mais eficientes no uso do N e do K aos 24 meses de idade, tendo essas menor produção de biomassa. Faria et al. (2008) constataram que o clone de eucalipto mais produtivo não apresentou maior eficiência de

utilização para todos os nutrientes. Barros et al. (1986) verificaram que a eficiência no uso dos nutrientes pelas plantas de eucalipto aumentou com a redução de sua disponibilidade no solo. Nesse estudo, a menor e a maior produção de biomassa propiciada pela testemunha e a dose de 140 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, não diferiram quanto à eficiência no uso de N, portanto, não houve relação direta entre produção de biomassa e eficiência no uso de nutrientes.

Tabela 22 - Eficiência de utilização do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg de biomassa/kg de nutriente					
0	927,7 ^{ns}	9056,5 ^{ns}	500,4 ^{ns}	597,8 ^{ns}	1582,6 ^{ns}	5351,6 ^{ns}
70	983,0	8808,7	604,9	527,1	1495,8	5738,0
105	1176,2	9523,1	613,6	569,0	1800,1	5904,3
140	1094,7	7720,3	643,6	455,5	1592,6	4381,0
C.V. (%)	20,05	33,99	20,51	11,12	17,67	15,32

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Estudos mostram variações entre espécies e clones de eucalipto quanto à eficiência nutricional. Faria et al. (2008) avaliaram a eficiência de utilização de nutrientes em diferentes espécies de *Eucalyptus* e constataram que o clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) aos 57 meses de idade apresentou maior eficiência de utilização de N. Pinto et al. (2011) estudaram a eficiência nutricional de seis clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva e, verificaram que clone I144 foi mais eficiente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e na utilização desses nutrientes na produção de biomassa. Além das características genéticas outros fatores podem influenciar na eficiência e no uso dos nutrientes pela cultura do eucalipto, como a idade das plantas, disponibilidade de nutrientes no solo, as condições ambientais e os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica (FLORENCE, 2004, FARIA et al., 2008, SILVA, 2011, ROSIM, 2013, GONSAGA, 2017). No presente estudo, a maior disponibilidade de N no solo propiciada pela adubação nitrogenada não influenciou na eficiência no uso de nutrientes pela cultura do eucalipto.

Em relação eficiência no uso dos nutrientes no tronco (lenho + casca) das plantas de eucalipto aos 5,5 anos pós-plantio ocorreu na seguinte ordem: P > S > Mg > N > K > Ca. Gonsaga (2017) constatou que a eficiência de utilização dos nutrientes na madeira (lenho) de

Eucalyptus grandis x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos apresentou a seguinte ordem decrescente quanto aos nutrientes: $P > Mg > N > Ca > K$. Enquanto que Santana, Barros e Comeford (2000) verificaram para plantações de eucalipto em diferentes locais no Brasil a seguinte ordem: $P > Mg > K > N \approx Ca$. Faria et al. (2008) verificaram que depois do Ca, o N é o que apresenta a menor eficiência de utilização entre os híbridos de eucalipto avaliados. Nesse sentido, N, K e Ca apresentam menor eficiência no uso desses nutrientes pela cultura do eucalipto, portanto, são necessárias maiores quantidades aplicadas ou disponíveis para produção de biomassa da cultura.

O fósforo denota maior eficiência no uso dos nutrientes pelo eucalipto, tal fato deve-se ao mecanismo de absorção desse nutriente pela cultura em função do crescimento do sistema radicular com a idade da cultura. Barros et al. (1981) mencionaram em seu estudo com adubação de NPK, na produção do eucalipto em solo de cerrado, que o P foi o principal fator limitante ao crescimento, e que à medida que o eucalipto se desenvolve, sua capacidade de absorver esse nutriente aumenta, em função do desenvolvimento de seu sistema radicular que explora maior volume de solo. Segundo Silva (2017), a menor eficiência de utilização de P nas progênies de *Eucalyptus grandis*, cultivadas no solo com restrição desse nutriente, foi encontrada nas 4 progênies das 11 estudadas. Essa menor eficiência no uso foi em razão do menor crescimento, tanto da parte aérea como do sistema radicular, resultando em menor biomassa total. De acordo com Gonçalves et al. (2008), em solos com teores de P acima de 4 mg dm^{-3} as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada. Assim, deve-se garantir certa quantidade de P no início do desenvolvimento da cultura, principalmente, em solos com baixa disponibilidade desse nutriente, como os do Bioma Cerrado.

4.2 ADUBAÇÃO FOSFATADA

4.2.1 Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca

O volume total de madeira aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto foi influenciado pelas doses de P_2O_5 (Tabela 23). Em todas as avaliações, as produtividades de madeira ajustaram-se à função quadrática, sendo o máximo estimado de 115,6; 161,3; 208,2 e

230,3 m³ ha⁻¹, obtido, com a aplicação de 64,1; 73,3; 74,7 e 78,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aos 36, 48, 60 e 66 meses, respectivamente (Figura 11).

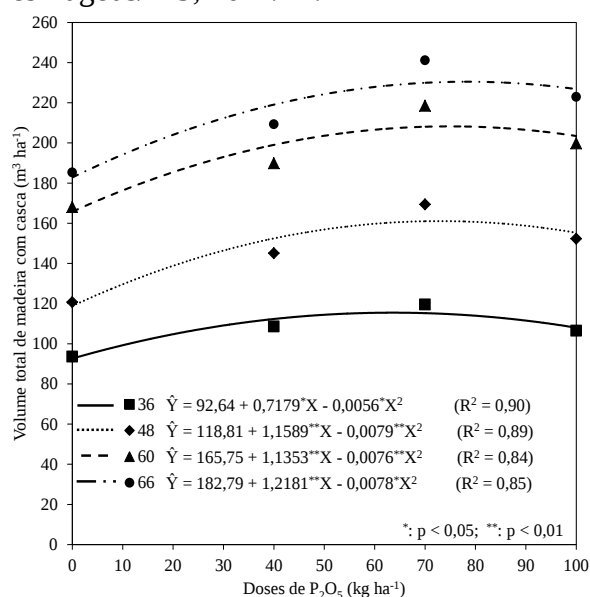
Tabela 23 - Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P₂O₅. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Vt (m ³ ha ⁻¹) nas idades avaliadas			
	36 meses	48 meses	60 meses	66 meses
0	93,6*	120,7**	168,1**	185,3**
40	108,6	145,1	189,9	209,3
70	119,5	169,4	218,5	241,1
100	106,5	152,3	199,8	222,9
C.V. (%)	12,78	6,42	3,29	2,30

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 11 - Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto em função de doses de P₂O₅. Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Melo (2014) avaliou a nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas, e constatou que nos experimentos com adubação fosfatada no município de Ribas do Rio Pardo/MS em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, as doses estimadas para obtenção das máximas produções do *Eucalyptus grandis* x *urophylla* aos 24 e 48 meses de idade foram de 72,2 e 95,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, e superior aos 90,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aos 60 meses, o que indicaram o aumento das respostas ao P com a idade da planta. No município de Mogi-Guaçu/SP (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO) as

doses estimadas para obtenção das máximas produções do *Eucalyptus urophylla* x *globulus* aos 18 e 48 meses de idade foram de 70,0 e 57,4 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, ou seja, houve a diminuição das respostas com a idade. O autor explica que essa diferença entre os dois locais deve-se ao teor inicial de P no solo, sendo de 1,3 mg dm⁻³ de P em Ribas do Rio Pardo/MS e de 4,0 mg dm⁻³ de P em Mogi-Guaçu/SP. No presente estudo, houve aumento da resposta com a idade de 36 para 66 meses (64,1 e 78,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente). Tal fato, deve-se a baixa disponibilidade inicial de P (1,0 mg dm⁻³ de P) no solo. Pois de acordo com Gonçalves et al. (2008), em solos com teores de P acima de 4 mg dm⁻³ as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada, o que justifica a resposta da cultura a adubação fosfatada nesta pesquisa.

Paula e Lopes (2003) avaliaram, aos seis meses de idade, o crescimento do eucalipto sob doses de P₂O₅ em áreas de cultivo mínimo, onde os teores médios P no solo variaram de baixo a médio, e estimaram que a dose para obtenção do máximo crescimento em altura foi de 155 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Gazola et al. (2015) constataram que a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ propiciou a maior produtividade de madeira do eucalipto aos 21 meses de idade, no entanto, esses autores verificaram que os incrementos para esse parâmetro decresceram no período de 12 a 21 meses pós-plantio entre dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e a testemunha. Tal resultado reforça a assertiva de que esse elemento é mais exigido na fase inicial do crescimento, pois responde a menores doses de P, como encontrado neste estudo e no de Melo (2014).

Os valores dos níveis críticos de P no solo na fase de manutenção da cultura (adulta) são menores do que os da implantação (fase inicial), logo a requisição desse nutriente diminui com aumento da idade (NOVAIS; RÊGO; GOMES, 1982; NOVAIS; BARROS; NEVES, 1986). Barros et al. (1981) constataram que o P foi o principal fator limitante ao crescimento do eucalipto em solo de cerrado, e que à medida que o eucalipto se desenvolve, sua capacidade de absorver esse nutriente aumenta, em função do desenvolvimento de seu sistema radicular que explora maior volume de solo. De acordo com Fernandez et al. (2000), com o desenvolvimento do sistema radicular, as plantas de eucalipto têm mais condições de acesso a maiores quantidade de fósforo no solo.

4.2.2 Concentrações dos nutrientes nas folhas

Somente as concentrações foliares de fósforo aos 42 meses de idade foram influenciadas pelas doses de P₂O₅, sendo que essas aumentaram linearmente com incremento

das doses de P_2O_5 (Tabela 24 e Figura 12). Melo (2014) verificou que as concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S não foram influenciadas pela aplicação de P_2O_5 para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* aos 12, 24 e 36 meses pós-plantio. Em outro experimento desenvolvido por esse autor, a concentração de P foi influenciada pela dose de P_2O_5 para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *globulus* localizado em Mogi-Guaçu/SP, no entanto, não foram verificadas variações para os demais nutrientes.

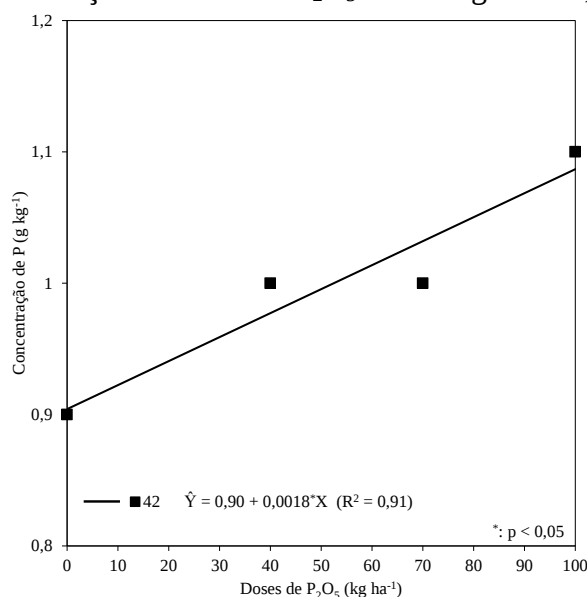
Tabela 24 - Concentrações de macronutrientes aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.

Idade	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
30 meses	0	15,5 ^{ns}	1,1 ^{ns}	5,3 ^{ns}	7,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,5 ^{ns}
	40	13,9	0,9	4,7	8,1	1,5	1,5
	70	15,6	1,0	6,7	7,6	1,8	1,3
	100	14,2	1,0	5,3	7,1	1,3	1,4
	C.V. (%)	11,06	12,66	21,85	11,40	25,05	13,12
36 meses	0	17,3 ^{ns}	1,1 ^{ns}	6,7 ^{ns}	7,9 ^{ns}	2,7 ^{ns}	1,3 ^{ns}
	40	15,7	1,2	6,7	8,8	2,3	1,3
	70	15,6	1,2	8,7	8,4	2,2	1,2
	100	16,0	1,2	6,7	7,8	2,0	1,2
	C.V. (%)	10,14	14,59	13,95	10,40	22,33	11,53
42 meses	0	17,0 ^{ns}	0,9 [*]	6,0 ^{ns}	7,4 ^{ns}	1,8 ^{ns}	1,4 ^{ns}
	40	15,7	1,0	5,6	7,2	1,5	1,4
	70	16,2	1,0	5,8	7,7	2,0	1,3
	100	15,5	1,1	6,1	6,2	1,3	1,4
	C.V. (%)	10,34	4,46	7,10	7,91	17,99	8,33
66 meses	0	16,4 ^{ns}	1,0 ^{ns}	7,2 ^{ns}	6,6 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,4 ^{ns}
	40	15,7	1,0	6,8	6,5	2,3	1,4
	70	16,0	1,1	7,4	6,6	2,3	1,3
	100	15,5	1,1	7,1	5,8	1,9	1,2
	C.V. (%)	6,40	4,58	5,57	5,56	5,87	5,52

ns; * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 12 - Concentrações de fósforo nas folhas do eucalipto aos 42 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

As concentrações de P, K, Ca, Mg e S nas quatro épocas de avaliação estiveram dentro da faixa descrita como adequada por Gonçalves (2011), somente na ausência da aplicação de fósforo a concentração foliar de P, aos 42 meses ficou abaixo da faixa descrita. Esse autor propõe as seguintes faixas consideradas adequadas para concentrações foliares das espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil: N de 21 a 30 g kg⁻¹; P de 1 a 3 g kg⁻¹; K de 5,5 a 8,5 g kg⁻¹; Ca de 3,5 a 6,0 g kg⁻¹; Mg 2 a 3 g kg⁻¹ e S de 0,5 a 1,5 g kg⁻¹. No entanto, as concentrações N aos 30, 36, 42 e 66 meses ficaram abaixo da faixa adequada, sendo que em média os valores das concentrações aos 30, 42 e 66 meses, que compreende o período de estiagem da região (inverno) foram menores que do que aos 36 meses (período chuvoso - verão). Nesse sentido, Assis, Ferreira e Cargnelutti Filho (2006) constataram que as concentrações dos nutrientes nas folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla* variam com a época de amostragem, sendo os menores teores obtidos no período seco, para N, K e P.

As concentrações de P foliar nas quatro épocas de avaliação estão próxima a 1 g kg⁻¹ e de acordo com Melo (2014), os maiores teores de P, verificados aos 6 meses, foram atribuídos a aplicação de P_2O_5 em dose única e, por isso, diminuiram gradativamente com a idade (12, 24, 36 e 48 meses), a partir dos 6 meses, variando de 1,4 para 0,8 g kg⁻¹. Silva (2015) avaliou o manejo da fertilização NK em plantio de *Eucalyptus urophylla* em solo de cerrado e, constatou que as concentrações de P nas folhas aos 12 meses estiveram próxima a 2,0 g kg⁻¹ e

aos 36 meses a $1,0 \text{ g kg}^{-1}$. Tais resultados indicam que as plantas absorveram grande parte do P aplicado nos primeiros meses de idade, sendo esse período de maior exigência ao nutriente pela cultura.

4.2.3 Folheto

4.2.3.1 Produtividade de folheto

A produtividade total de folheto não foi influenciada pela adubação fosfatada nos três períodos de avaliação (Tabela 25). No entanto, Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses foram produzidas pelos clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis* mais de 3500 kg ha^{-1} de folheto sem a aplicação de fertilizantes (NPK) e 7100 kg ha^{-1} com a maior dose de fertilizante, o que demonstra que a produção de folheto foi maior com as doses mais elevadas de fertilizantes. Segundo o autor essa maior produção deve-se ao menor tempo de duração da permanência das folhas fixadas aos galhos do eucalipto em decorrência da adição de fertilizantes que aceleram o crescimento das árvores, antecipando a competição intra-específica por luz e água, devido ao sombreamento mútuo das copas que acelera o processo de senescência das folhas, que perderam à sua eficiência fotossintética. No presente estudo, a adubação fosfatada influenciou no crescimento das plantas de eucalipto, propiciando maior produtividade de madeira (Figura 11), no entanto não interferiu na produção de folheto entre o período de 30 a 66 meses.

Tabela 25 - Produtividade de folheto entre os períodos de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e 30 a 66 meses (total) após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.

Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Produtividade de folheto nos períodos avaliados (meses)			
	30 a 42	42 a 54	54 a 66	Total
	kg ha^{-1}			
0	4549 ^{ns}	3321 ^{ns}	4780 ^{ns}	12650 ^{ns}
40	4291	4033	5019	13343
70	4692	4298	4671	13661
100	4247	3755	4831	12833
Média	4445 a	3852 b	4825 a	13121
D.M.S. (5%)		401		
C.V. (%)	4,71	12,16	8,63	7,93

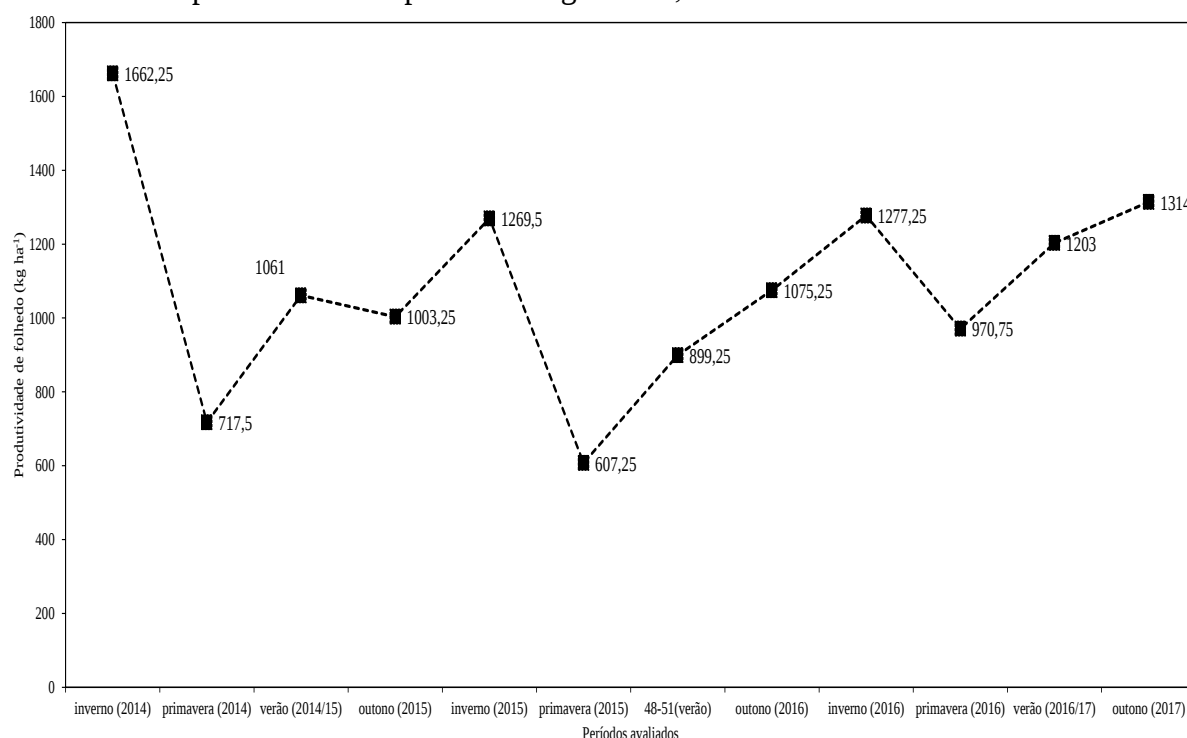
Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A maior produtividade média de folheto ocorreu na época do inverno (Figura 13). Essa estação é caracterizada por baixa precipitação pluvial por longo período de tempo (estiagem), típico das regiões de Cerrado que apresenta duas estações climáticas bem definidas, com inverno seco e verão chuvoso. Tal fato evidencia que a queda de folhas senescentes pela cultura nesse período é de grande importância para a economia de água, pois de acordo com Florence (2004), mesmo o eucalipto não sendo uma espécie caducifolia, apresenta como estratégia para reduzir o consumo de água nas épocas de secas do ano, derrubando suas folhas. Segundo Taiz e Zeiger (2013), umas das primeiras mudanças na planta para tolerar o estresse causado pela seca é a elevação da sua síntese de etileno, o que resulta na abscisão foliar.

Figura 13 - Produtividade média de folheto de plantas de eucalipto nas quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto. Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silva (2011) constatou em seu estudo o efeito das doses de NPK e do parcelamento da fertilização de NK na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que a maior taxa de deposição de folheto

ocorreu no início da estiagem. Também Conti Junior, Silva e Couto (2017) verificaram que a maior deposição de folheto teve início em agosto, período de menor pluviosidade. De acordo com Silva, Poggiani e Laclau (2011) há interação entre o período de ocorrência de estresse hídrico (seca) com a produção de folheto, sendo verificado maiores taxas de produção no início da estiagem. Barbosa et al. (2017) avaliaram os estoques de biomassa da serrapilheira acumulada em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana e dois plantios florestais puros (*Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), no sudoeste da Bahia, e constataram que os maiores estoques de biomassa da serrapilheira ocorreram na estação chuvosa, para os povoamentos de *P. nitens* e de floresta nativa, e na estação seca, para o povoamento de eucalipto. De acordo com Silva et al. (2014), as condições climáticas exercem um papel importante na produção de folheto, sendo observado uma alta produção durante a estação seca para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*.

Em relação aos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto) a menor produção de 3852 kg ha⁻¹ de folheto ocorreu entre 42 e 54 meses (Tabela 25). Nesse período foi verificado maior precipitação acumulada de 1655 mm, enquanto que entre 30 a 42 e 54 e 66 meses de 1062 e 1030 mm, respectivamente (produção de 4445 e 4825 kg ha⁻¹ de folheto, respectivamente), nesses constataram-se maiores produções de folheto em relação ao segundo período. Portanto, a maior deposição de folheto em períodos de menor precipitação pluvial representa uma estratégia para reduzir o consumo de água pela cultura, pois minimiza as perdas por evapotranspiração. Segundo Silva, Poggiani e Laclau (2011), a maior abscisão de folhas ocorrendo em momentos de déficit hídrico pode ser resultado da "estratégia" dos eucaliptos para reduzir o consumo de água mediante da redução acentuada de folhas.

A produtividade média de folheto entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto foi de 4374 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Conti Junior, Silva e Couto (2017) constataram para clones de *E. urophylla* x *E. grandis* aos 48 meses de idade que em média, a produção de folheto foi de 2500 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo esse valor inferior aos encontrados na literatura para eucaliptos no Brasil. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *E. grandis* nos primeiros 36 meses após o seu plantio, e verificaram que a deposição foi de 5200 a 5400 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Enquanto que Vieira et al. (2014) constataram em seu estudo de deposição de serrapilheira do *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* aos 5,5 anos de idade que a deposição de folha ao longo do período de quatro anos foi de 5045 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A diferença

na produção de folheto é atribuída ao efeito de fatores como a idade do plantio, intensidade de competição entre as plantas, condições ambientais e genótipo avaliado (CONTI JUNIOR; SILVA; COUTO, 2017).

4.2.3.2 Concentrações dos nutrientes no folheto

As concentrações foliares de fósforo no folheto entre os períodos de 42 a 54 e 54 a 66 meses foram influenciadas pelas doses de P_2O_5 , sendo que essas aumentaram com incremento das doses (Tabela 26 e Figura 14). Entre o período de 42 a 54 meses, as concentrações ajustaram-se à função quadrática, sendo o máximo estimado de $0,76 \text{ g kg}^{-1}$ com a dose de $65,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , no período subsequente, as concentrações de P aumentaram linearmente, com o máximo obtido ($0,78 \text{ g kg}^{-1}$) com a maior dose de P_2O_5 . O aumento da concentração de P no folheto deve-se ao seu incremento nas folhas com as doses de P_2O_5 (Figura 12).

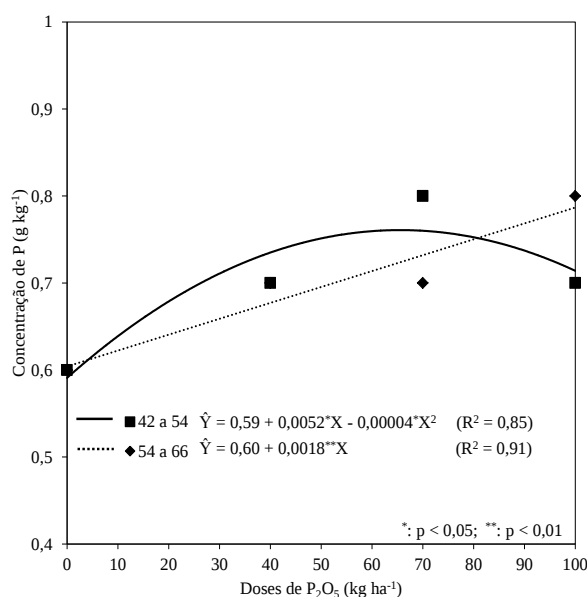
Tabela 26 - Concentrações de macronutrientes nos folhedos de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.

Períodos (meses)	Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg^{-1}							
30 a 42	0	8,8 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,6 ^{ns}	8,9 ^{ns}	1,8 ^{ns}	1,3 ^{ns}
	40	9,6	0,8	3,7	8,6	1,8	1,3
	70	8,7	0,7	4,5	8,4	1,7	1,4
	100	9,9	0,8	3,7	7,8	1,9	1,3
C.V. (%)		4,56	5,32	6,91	8,12	7,91	11,50
42 a 54	0	8,0 ^{ns}	0,6 [*]	4,1 ^{ns}	9,2 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}
	40	8,9	0,7	4,8	8,9	2,0	1,3
	70	8,5	0,8	4,7	8,6	2,0	1,3
	100	8,7	0,7	4,1	8,6	2,1	1,4
C.V. (%)		3,34	7,33	11,75	5,17	7,66	4,20
54 a 66	0	7,0 ^{ns}	0,6 ^{**}	4,1 ^{ns}	8,6 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,2 ^{ns}
	40	7,0	0,7	4,0	8,2	1,8	1,2
	70	6,7	0,7	4,4	8,5	1,8	1,2
	100	6,8	0,8	4,2	8,3	1,8	1,2
C.V. (%)		2,15	8,41	9,38	5,02	8,80	3,18
Média							
30 a 48		9,3 a	0,7 a	3,9 a	8,4 a	1,8 a	1,3 a
48 a 54		8,5 b	0,7 a	4,4 a	8,8 a	2,0 a	1,3 a
54 a 66		6,9 c	0,7 a	4,2 a	8,4 a	1,8 a	1,1 b
D.M.S. (5%)		0,5	0,1	0,5	0,5	0,3	0,1
C.V. (%)		5,54	10,58	10,68	6,37	6,88	7,66

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 14 - Concentrações de fósforo no folheto do eucalipto entre o período de 42 a 54 e 54 a 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silva (2011) constatou em seu estudo de impactos das doses (NPK) e do parcelamento da fertilização (NK) na ciclagem de nutrientes em plantações de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que as concentrações de P no folheto foram maiores nas plantas que não receberam fertilizante em comparação aos que receberam doses mais elevadas, atribuindo esse resultado ao efeito concentração desse nutriente, pois houve menor crescimento dessas plantas. No entanto, em seu estudo, foram avaliados adubação de NPK, sendo que neste foi analisado apenas o efeito do fósforo.

Em relação aos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto), houve diminuição das concentrações de N e S no folheto com a idade da cultura do eucalipto (Tabela 26). Melo (2014) constatou que as concentrações foliares de N, P, Ca, Mg e S do eucalipto diminuíram com a idade, indicando o efeito diluição com o crescimento da floresta. Além, dessa constatação, essa redução pode ser atribuída à diminuição da disponibilidade de N e S no solo com o aumento da idade do povoamento (aumento da absorção desses nutrientes) e, consequentemente, nas suas concentrações nas folhas. Outro fator de remoção desses nutrientes deve-se ao elevado potencial de perda pelo processo de lixiviação, pois os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS são constituídos principalmente pela fração areia ao longo do perfil (Tabela 1), o que propicia a intensa

lixiviação de nitratos e de sulfatos devido a grande macroporosidade e permeabilidade dos solos de textura arenosa.

As concentrações de P no folheto nos três períodos não diferiram, apresentando o mesmo valor de $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 26). Considerando que as concentrações de P foliar nas quatro épocas (30, 36, 42 e 66 meses) foram próxima a de $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 24), pode-se inferir que 30% desse nutriente permaneceu nos tecidos para “ciclagem interna dos nutrientes” (ciclo bioquímico) que é a retranslocação de P das folhas senescentes nos eucaliptos para os tecidos mais novos da planta. No entanto, valores superiores a esse foram verificados em alguns trabalhos da literatura, como de Silva et al. (2013) em que a ciclagem interna (retranslocação) de fósforo apresentou em média 63% (coletas mensais de folhas e folheto de 12 aos 24 meses) para plantas de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que receberam adubação. Para Silva, Poggiani e Laclau (2011) no *Eucalyptus grandis* houve ciclagem média de 72% (coletas mensais de folhas e folheto de 12 aos 36 meses). Os maiores valores, obtidos por esses autores deve-se a metodologia adotada, com coletas mensais, diferindo deste estudo, em que foram utilizadas coletas a cada três meses, por estações (verão, outono, inverno e primavera).

As concentrações dos macronutrientes no folheto nesses 36 meses avaliados (30 a 66 meses) ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ (Tabela 26). Vieira et al. (2014) também constataram em seu estudo de deposição de serrapilheira do *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* que a ordem relativa da concentração de macronutrientes nas frações folhas, galhos finos e galhos grossos de $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Assim como Salvador, Consensa e Araújo (2014) avaliaram a produção de serrapilheira em povoamento de *Eucalyptus saligna* em São Gabriel/RS entre o período de 53 a 65 meses de idade, e verificaram a mesma ordem de concentração dos nutrientes nas folhas senescentes: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

O cálcio apresenta a maior concentração na fração folhas da serrapilheira, tal fato, deve-se a baixa taxa de redistribuição do nutriente na planta, fato atribuído a sua baixa solubilidade e concentração no floema, sendo que, a maior parte desse nutriente no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis, como o pectato da lamela média da parede celular (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006).

Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a retranslocação de nutrientes em *E. grandis* nos primeiros 36 meses após o seu plantio, e constataram valores negativos para a retranslocação de Ca, atribuindo esse fato à acumulação desse nutriente nas folhas

senescentes. De acordo com Silva (2011), esse nutriente é imóvel no floema e uma das suas principais funções está relacionada à estrutura da planta, como parte integrante da parede celular o que gera acúmulo do nutriente no folheto. Assim, esse nutriente apresenta baixa retranslocação na planta, e conseqüentemente, baixa “ciclagem interna” (ciclo bioquímico). Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) constataram em seu estudo com ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense, que o Ca apresentou as menores intensidades de ciclagem bioquímica.

4.2.3.3 Transferências dos nutrientes para o solo via folheto

As quantidades de N, Ca, Mg e S transferida ao solo via deposição de folheto não foram influenciadas pelas doses de P_2O_5 em todos os períodos de avaliação, sendo o seu efeito verificado somente para as quantidades de P e K (Tabela 27).

Entre o período de 42 a 54 e de 30 a 66 meses (total) as quantidades de P transferidas ao solo pela deposição de folheto ajustaram-se à função quadrática, sendo o máximo estimado de 3,4 e 10,0 kg ha⁻¹ de P, obtido, com a aplicação de 78,0 e 70,5 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Figura 15A). Tal fato está associado ao fornecimento crescente de fósforo à planta que propiciou como relatado, o aumento das concentrações desse nutriente no folheto (Figura 14), pois a produção de folheto não foi influenciada pelas doses de P_2O_5 (Tabela 25). Nesse sentido, a adubação fosfatada tem efeito na ciclagem de P (ciclo biogeoquímico), alterando positivamente o retorno desse nutriente ao solo. A maior ciclagem de fósforo ocorre nas plantas que apresentam maior concentração desse nutriente (BINKLEY; RYAN, 1998; SAUR, NAMBIAR; FIFE, 2000).

A transferência de potássio aumentou com o incremento das doses de P_2O_5 entre o período de 30 a 66 meses (Figura 15B), sendo a máxima estimada de 58,3 kg ha⁻¹ de K, obtida, com a aplicação de 56,1 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , o que corresponde no aumento de 22,4% de K transferido para o solo. Portanto, a adubação fosfatada teve efeito na ciclagem de P e K (ciclo biogeoquímico), alterando positivamente o retorno desses nutrientes ao solo. Além disso, fornecem às árvores de forma contínua os nutrientes para o sistema radicular, por meio da degradação do folheto depositado sobre o solo e sua conseqüente mineralização.

Tabela 27 - Quantidades de macronutrientes transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.

Períodos (meses)	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹							
30 a 42	0	41,2 ^{ns}	3,1 ^{ns}	15,4 ^{ns}	41,5 ^{ns}	8,4 ^{ns}	6,1 ^{ns}
	40	41,8	3,3	14,9	37,6	7,7	5,5
	70	41,8	3,4	19,6	39,8	8,4	6,5
	100	42,9	3,4	14,5	34,0	8,4	5,7
C.V. (%)		4,96	8,88	7,37	8,49	7,06	14,81
42 a 54	0	27,2 ^{ns}	2,2*	13,5 ^{ns}	30,4 ^{ns}	6,8 ^{ns}	4,0 ^{ns}
	40	36,3	2,9	19,3	35,4	8,3	5,1
	70	36,7	3,3	20,3	37,1	8,7	5,7
	100	33,2	2,8	15,6	32,5	8,1	5,0
C.V. (%)		13,27	9,03	19,30	11,21	15,98	14,74
54 a 66	0	33,7 ^{ns}	2,7 ^{ns}	19,4 ^{ns}	41,3 ^{ns}	8,4 ^{ns}	5,8 ^{ns}
	40	34,8	3,6	20,6	41,0	9,1	6,2
	70	31,3	3,3	20,5	38,9	8,2	5,4
	100	33,5	3,6	20,2	39,2	8,7	5,6
C.V. (%)		10,13	14,18	15,50	7,93	13,62	9,35
Total	0	102,1 ^{ns}	8,0*	48,3*	113,2 ^{ns}	23,6 ^{ns}	15,9 ^{ns}
	40	112,9	9,8	54,8	114,0	25,0	16,8
	70	109,8	9,9	60,4	115,9	25,2	17,6
	100	109,6	9,8	50,3	105,7	25,1	16,3
C.V. (%)		7,71	9,73	11,74	6,40	9,83	10,62
Média							
30 a 48		42,0 a	3,3 a	16,1 b	38,2 a	8,2 a	5,9 a
48 a 54		33,4 b	2,8 a	17,2 ab	33,8 b	8,0 a	5,0 b
54 a 66		33,3 b	3,3 a	20,2 a	40,1 a	8,6 a	5,7 a
D.M.S. (5%)		3,8	0,5	3,0	3,6	1,0	0,6
C.V. (%)		10,41	14,35	16,96	9,68	11,87	13,80

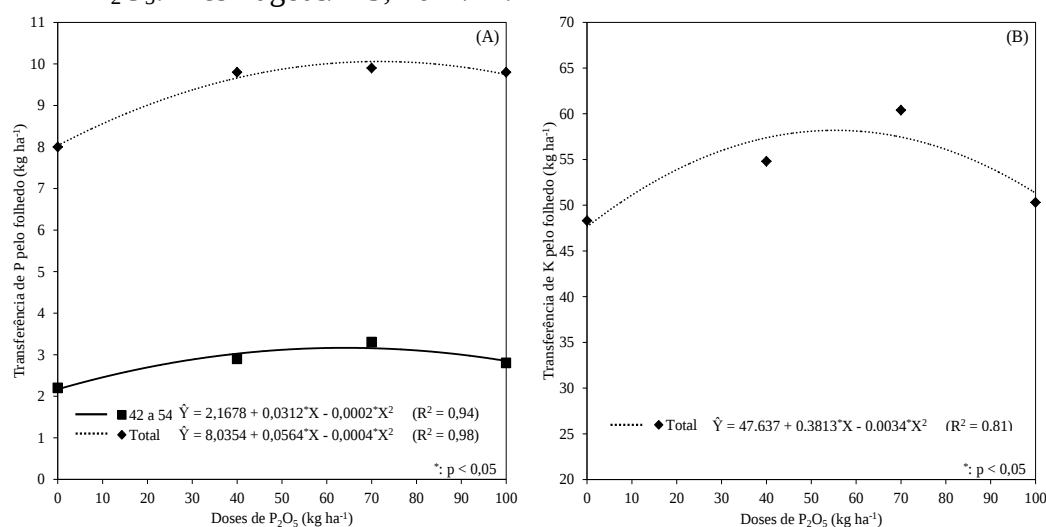
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses de idade as quantidades de N, K, Ca, Mg e S transferidas pela deposição do folheto no solo pelo *Eucalyptus urophylla* x *grandis* foram maiores nos tratamentos com a aplicação de fertilizantes, devido principalmente à maior produção de folheto nesses tratamentos, exceto o P, que não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, nem mesmo em relação ao tratamento sem aplicação do fertilizante, refletindo em maior reciclagem interna desse elemento pelos eucaliptos dos tratamentos com aplicação de fertilizantes. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *E. grandis*, e constataram que a aplicação de lodo de esgoto propiciou maior reciclagem de nutrientes devido ao aumento na abscisão foliar.

Figura 15 - Quantidade de fósforo (A) e potássio (B) transferido ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto) houve decréscimo da transferência de N para o solo pelo folheto (Tabela 27), tal fato, deve-se a diminuição da concentração desse nutriente no folheto com a idade da cultura do eucalipto (Tabela 26). A transferência de Ca e S foram menores no período de 42 a 54 meses, devido a menor produção de folheto nesse período (Tabela 25). A quantidade de K transferida pelo folheto foi maior no período de 54 a 66 meses em relação ao primeiro (30 a 42 meses), em consequência, da maior produção de folheto no último período em relação ao primeiro (Tabela 25).

Em relação ao total transferido dos macronutrientes pelas plantas de eucalipto entre o período de 30 e 66 meses, ocorreu na seguinte ordem: $Ca > N > K > Mg > S > P$ com as seguintes quantidades (kg ha⁻¹): $Ca = 112,1$; $N = 108,7$; $K = 53,5$; $Mg = 24,8$; $S = 16,6$ e $P = 9,4$. Portanto, o P é o nutriente com menor quantidade transferida, com retorno médio ao solo via ciclagem biogeoquímica de 3,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P. Laclau et al. (2010) avaliaram a ciclagem biogeoquímica de plantações de *Eucalyptus* no Congo e no Brasil e, constataram que em termos médios, após o primeiro ano, cerca de 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P retorna ao solo. Melo (2014) relatou que a elevação nos teores de P pela decomposição da serrapilheira é de pequena magnitude em plantações de eucalipto no Brasil, não sendo suficientes para alterar a fertilidade do solo.

O K é o terceiro nutriente mais transferido, no entanto, é o que se disponibiliza mais rapidamente para as plantas, pois de acordo com Meurer (2006) esse nutriente não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, sendo encontrado como cátion livre no citoplasma. Assim, o K é liberado rapidamente durante o processo de decomposição do folheto, apresentando as maiores intensidades de ciclagem biogeoquímica.

Salvador, Consensa e Araújo (2014) verificaram que da serrapilheira depositada no piso florestal, em relação ao potássio, a fração folha é a mais importante. Segundo Caldeira et al. (2008), a ciclagem desse nutriente na relação solo/planta é mais rápida do que a de outros, por se tratar de um cátion monovalente e não constituinte de tecidos. De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) em povoamentos de eucalipto as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica foram do K.

Silva (2011) verificou que dos 12 aos 24 meses de idade, o Ca e N foram os nutrientes mais transferidos via deposição de folhedos do eucalipto. Salvador, Consensa e Araújo (2014) constataram em povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 4,4 anos de idade que o material depositado (serrapilheira: folhas, galhos finos, galhos grossos e miscelânea) contribuiu significativamente para a manutenção do ciclo biogeoquímico através da elevada liberação dos macronutrientes para o sítio florestal, os quais apresentaram a seguinte ordem de contribuição: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Assim como Vieira et al. (2014) verificaram a magnitude média de transferência de macronutrientes ao solo do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* aos 5,5 anos de idade de $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

4.2.4 Fertilidade do Solo

A adubação fosfatada influenciou os teores de P no solo cultivado com eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio nas duas profundidades avaliadas na linha de plantio e na entrelinha na primeira avaliação (0-20 e 20-40 cm) e na terceira e quarta avaliações (20-40 cm) (Tabela 28).

Os teores de fósforo na linha e entrelinha de plantio aumentaram linearmente com incremento das doses de P_2O_5 (Figuras 16 A, B, C e D), independentemente da profundidade amostrada. A dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi suficiente para atingir teores de P no solo classificados como muito altos ($> 16 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, para espécies florestais) na profundidade de 20 a 40 cm na linha de plantio, sendo esses de 22,00; 19,66; 17,42 e 17,00 mg dm^{-3} de P, respectivamente, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto. E na linha de plantio

na camada superficial, classificados como altos (9 a 16 mg dm⁻³ de P), sendo os teores de 15,00; 13,67; 12,20 e 12,00 mg dm⁻³ de P, respectivamente, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto. No tratamento sem aplicação desse nutriente, os teores de P foram muito baixos (0-2 mg dm⁻³ de P) nas duas profundidades da linha e entrelinha de plantio.

Tabela 28 - Teores de fósforo no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P₂O₅. Três Lagoas/MS, 2015/17.

P_{resina} (mg dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	2,00**	2,66**	2,06**	1,66**
	40	3,67	5,30	4,75	4,67
	70	11,67	9,00	7,92	7,67
	100	15,00	13,67	12,20	12,00
C.V. (%)		7,43	28,09	22,21	19,36
Média		8,08 a	7,67 ab	6,73 ab	6,50 b
D.M.S. (5%)			1,58		
C.V. (%)			19,67		
20-40	0	2,00**	2,66**	2,06**	1,66**
	40	3,00	5,67	4,59	4,00
	70	10,00	8,33	8,55	9,66
	100	22,00	19,66	17,42	17,00
C.V. (%)		5,41	23,57	19,30	17,62
Média		9,25 a	9,08 a	8,15 b	8,08 b
D.M.S. (5%)			1,76		
C.V. (%)			18,38		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	2,33**	2,67 ^{ns}	2,22 ^{ns}	2,00 ^{ns}
	40	3,67	3,70	2,69	2,00
	70	2,67	2,00	1,90	2,00
	100	5,33	4,67	3,48	2,66
C.V. (%)		17,70	16,77	23,05	23,08
Média		3,50 a	3,25 ab	2,57 bc	2,17 c
D.M.S. (5%)			0,82		
C.V. (%)			25,79		
20-40	0	1,67*	2,00 ^{ns}	1,43*	1,00*
	40	2,67	2,00	1,59	1,30
	70	2,09	1,67	1,58	1,67
	100	3,09	3,00	2,38	2,00
C.V. (%)		10,93	11,82	23,98	13,43
Média		2,33 a	2,17 a	1,74 ab	1,50 b
D.M.S. (5%)			0,65		
C.V. (%)			30,41		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

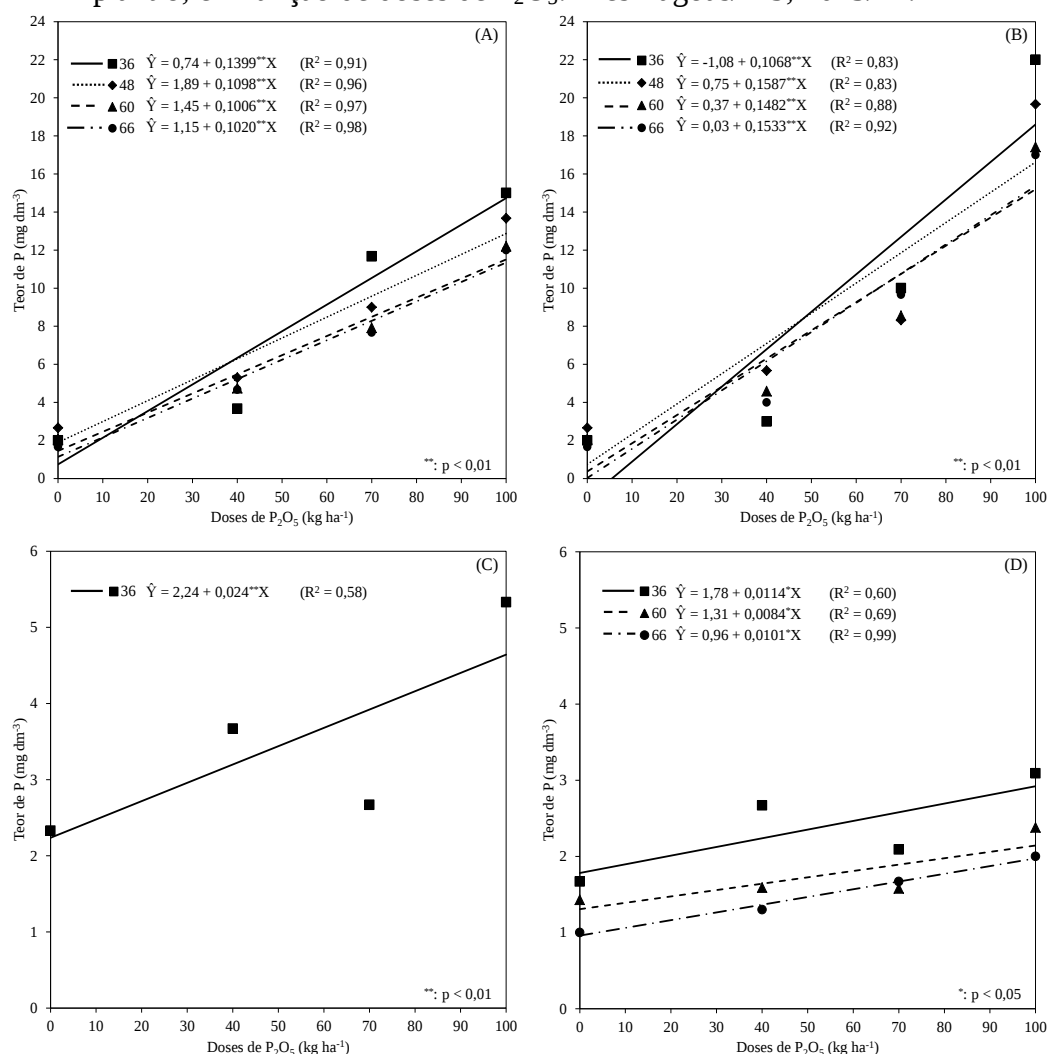
ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Melo (2014) avaliou no município de Ribas do Rio Pardo/MS em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO a aplicação localizada de P (coveta lateral) nas doses de 0, 30, 60 e 90

kg ha⁻¹ de P₂O₅ em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, e constatou aos 24 e 48 meses pós-plantio, que as doses desse nutriente não resultaram em diferenças nos teores de P no solo. O autor relatou ainda que devido à baixa mobilidade de P no solo, a elevação dos seus teores só seria possível em casos de aplicação em filetes ou faixas. Tal fato foi verificado nesse estudo, pois o modo da aplicação do nutriente foi em filete contínuo no sulco de plantio. Esse autor constatou em outro sítio florestal (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO) utilizando as mesmas doses de P₂O₅ e híbrido de eucalipto, que a adubação fosfatada também não apresentou diferenças no seu teor no solo dentro de uma mesma idade (24 e 48 meses) em todas as profundidades (0-10; 10-20 e 20-40 cm).

Figura 16 - Teores de P no solo na linha nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (A e B, respectivamente) e na entrelinha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (C e D, respectivamente), aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P₂O₅. Três Lagoas/MS, 2015/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A disponibilidade de P no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 28), sendo que os maiores teores desse nutriente ocorreram aos 36 meses após o plantio do eucalipto e os menores nos meses subsequentes. A maior redução nos teores de P no solo ocorreu entre os 36 e 48 meses de idade, não apresentando diferença para os seus teores nos períodos posteriores aos 48 meses. Entre o período de 36 e 66 meses após o plantio do eucalipto os teores de fósforo reduziram de 20; 13; 38 e 37% (0 a 20 cm - L; 20 a 40 cm - L; 0 a 20 cm - EL e 20 a 40 cm - EL, respectivamente). Essa redução pode estar associada ao maior crescimento da cultura com a idade e, conseqüentemente, maior quantidade de P absorvida do solo. No entanto, Melo (2014) verificou em seu estudo com a adubação fosfatada em quatro povoamentos de eucaliptos em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de P no solo apresentaram pequenas variações ou não variaram entre as épocas.

De acordo com Gonçalves et al. (2008), solos com teores de P acima de 4 mg dm^{-3} , as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada. Considerando esse valor de referência e os teores de P disponível na linha de plantio e na camada arável do solo aos 66 meses de idade, verifica-se que os teores de P no solo estão acima desse valor, para doses maiores que 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que com a maior dose (100 kg ha^{-1} de P_2O_5) o teor de P é três vezes maior que esse valor de referência (Figura 16B). Portanto, em relação ao cultivo de segunda rotação (replantio ou condução de rebrota) é interessante destacar que os teores desse nutriente estão adequados, não sendo necessária a adubação fosfatada para o próximo ciclo, devido ao efeito residual deste nutriente, além disso, a decomposição da serrapilheira (folhas, galhos e casca) pode transferir esse nutriente para o solo, sendo que entre o período de 30 a 36 meses foi transferido via deposição de folheto $9,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P. Assim sendo, não haveria respostas dos ciclos subsequentes da cultura a adubação fosfatada.

A adubação fosfatada não influenciou os teores de enxofre no solo cultivado com eucalipto nos quatro períodos de avaliação (Tabela 29). De acordo com os limites de interpretação dos teores de nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de S podem ser classificados como de médio a baixo (5 a 10 e 0 a 4 mg dm^{-3} de S, respectivamente), sendo que os maiores valores ocorreram na entrelinha na camada de 20 a 40 cm, mesmo com a aplicação de gesso (500 kg ha^{-1}) a lanço e em área total antes da implantação do experimento.

Tabela 29 - Teores de enxofre no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.

S-SO ₄ (mg dm ⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	5,00 ^{ns}	3,00 ^{ns}	2,85 ^{ns}	3,00 ^{ns}
	40	5,30	3,00	2,53	2,30
	70	4,30	3,00	2,69	2,67
	100	3,33	3,30	3,00	3,00
C.V. (%)		11,95	28,09	19,62	27,10
Média		4,50 a	3,08 b	2,77 b	2,75 b
D.M.S. (5%)			0,94		
C.V. (%)			25,78		
20-40	0	5,00 ^{ns}	3,67 ^{ns}	3,64 ^{ns}	4,00 ^{ns}
	40	4,33	3,00	2,85	3,00
	70	4,00	3,33	3,17	3,33
	100	5,00	3,00	2,69	2,66
C.V. (%)		17,64	15,40	13,26	21,14
Média		4,58 a	3,25 b	3,09 b	3,25 b
D.M.S. (5%)			1,19		
C.V. (%)			30,14		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	8,00 ^{ns}	3,30 ^{ns}	3,00 ^{ns}	3,00 ^{ns}
	40	4,70	3,00	2,69	2,66
	70	6,00	3,70	3,17	3,00
	100	4,00	3,33	2,70	2,30
C.V. (%)		22,91	13,96	21,20	13,55
Média		5,67 a	3,33 b	2,89 b	2,75 b
D.M.S. (5%)			1,60		
C.V. (%)			15,32		
20-40	0	7,00 ^{ns}	4,30 ^{ns}	3,64 ^{ns}	3,33 ^{ns}
	40	6,30	5,00	4,28	4,00
	70	6,00	6,67	4,75	3,30
	100	7,00	4,00	3,48	3,33
C.V. (%)		18,31	11,55	17,23	16,50
Média		6,58 a	5,00 ab	4,04 b	3,50 b
D.M.S. (5%)			1,85		
C.V. (%)			34,92		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A disponibilidade de S no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 29), sendo que os maiores teores desse nutriente foram verificados aos 36 meses após o plantio do eucalipto e os menores nos meses subsequentes. Entre o período de 36 a 66 meses após o plantio do eucalipto os teores de enxofre reduziram de 39; 29; 51 e 47% (0 a 20 cm - L; 20 a 40 cm - L; 0 a 20 cm - EL e 20 a 40 cm - EL, respectivamente). Essa redução pode estar associada ao maior crescimento da cultura com a idade e, conseqüentemente, maior quantidade de S absorvida do solo pelas plantas, o que explica a redução das concentrações

desse nutriente no folheto entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto (Tabela 26).

Raij (2011) relatou que em muitos casos, o ânion SO_4^{2-} não fica retido no solo, sendo esse facilmente lixiviado, e em condições que predominam óxidos Fe e Al no solo, pode haver a adsorção deste ânion no subsolo. No presente trabalho, são propícias as condições para ocorrências desses efeitos, pois se trata de um solo com textura arenosa, o que resulta em maior lixiviação desse nutriente, o que pode ser verificado pela sua maior disponibilidade, nos quatro períodos avaliados, na camada mais profunda (20 a 40 cm). Além dessa constatação, essa diminuição pode ser atribuída à menor disponibilidade de S no solo com o aumento da idade do povoamento (aumento da absorção desse nutriente).

A adubação fosfatada influenciou os teores de K no solo cultivado com eucalipto aos 66 meses após o seu plantio nas duas profundidades da linha e entrelinha de plantio (Tabela 30). Os teores de K na linha e entrelinha de plantio aumentaram linearmente com incremento das doses de P_2O_5 (Figuras 17 A, B, C e D), sendo os máximos teores de 0,40; 0,30; 0,30 e 0,23 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de K (0 a 20 cm - L; 20 a 40 cm - L; 0 a 20 cm - EL e 20 a 40 cm - EL, respectivamente), obtidos com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Tal fato pode ser explicado pelo processo da ciclagem biogeoquímica, pois a quantidade de potássio transferida pela deposição de folheto aumentou com o incremento das doses de P_2O_5 (Figura 15B) e, consequentemente, incrementou os teores desse nutriente no solo.

De acordo com os limites de interpretação dos teores desse nutriente proposto por Raij et al. (1997), os seus teores na linha e na entrelinha de plantio foram muito baixos ($< 0,7 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de K) com valores semelhantes ao encontrado na análise inicial do solo (0,2 e 0,3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de K, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente,) o que evidencia a elevada extração desse nutriente pela cultura ao longo do 5 anos e meio de cultivo. Além disso, a textura arenosa do solo apresenta condição propícia para ocorrência do processo de lixiviação desse nutriente. Essas duas condições favorecem a menor disponibilidade do elemento nas duas profundidades avaliadas, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio.

A disponibilidade de K no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 30), sendo que os seus teores na camada superficial da linha de plantio aumentaram em 48% entre o período de 36 a 66 meses, tal aumento pode ser explicado pelo processo da ciclagem biogeoquímica, pois o potássio foi o terceiro nutriente mais transferido para o solo via deposição de folheto (Tabela 27). Melo (2014) constatou em um dos sítios florestais

avaliados, que os teores de K aumentaram entre 24 e 48 meses, atribuindo esse efeito ao processo de ciclagem de nutrientes, oriundos da deposição de galhos e folhas. Segundo Gonçalves et al. (2008), esse processo tem início a partir do segundo ano do ciclo da cultura do eucalipto, sendo responsável pela mineralização dos nutrientes contidos na serrapilheira.

Tabela 30 - Teores de potássio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.

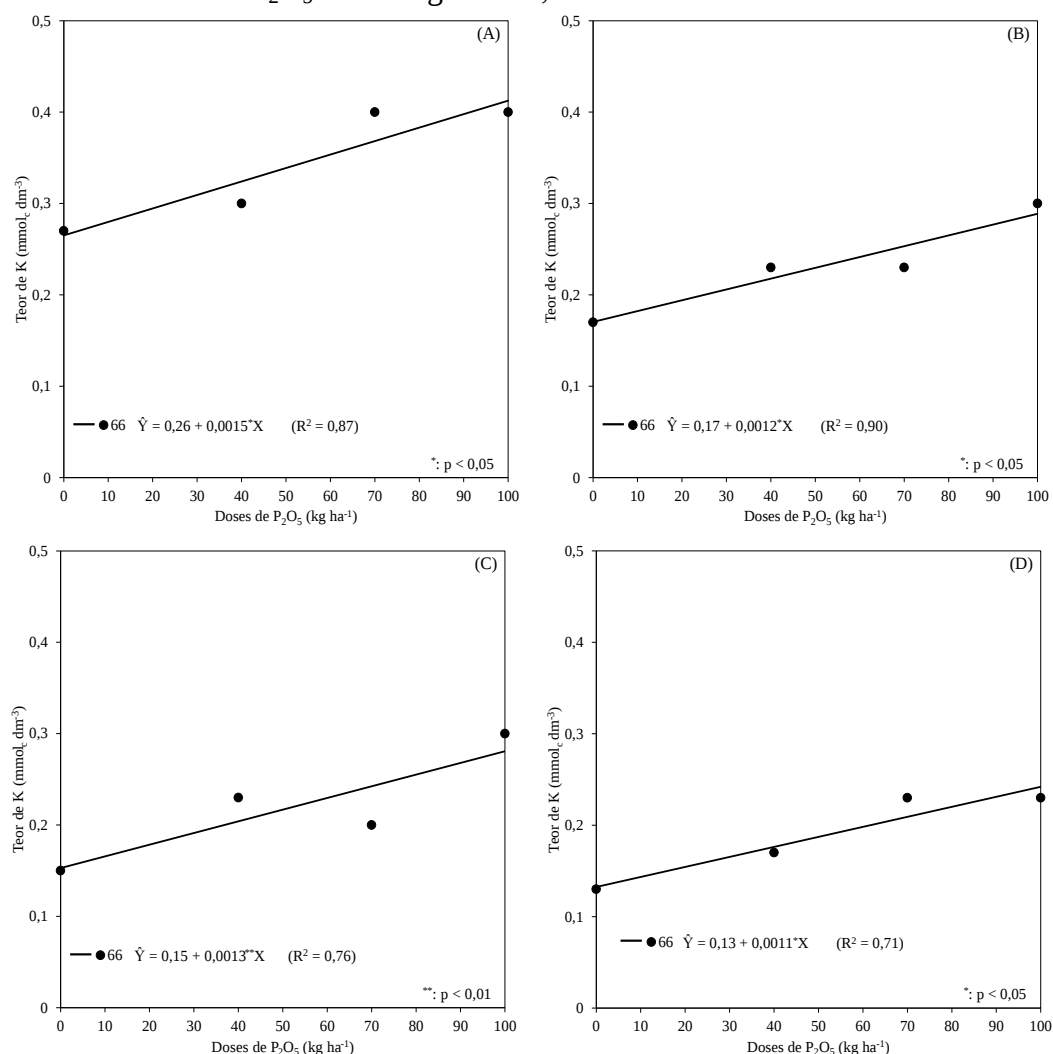
K (mmol _c dm ⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	0,20 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,27*
	40	0,20	0,33	0,30	0,30
	70	0,33	0,33	0,34	0,40
	100	0,20	0,27	0,31	0,40
C.V. (%)		24,74	17,14	10,77	18,89
Média		0,23 b	0,29 a	0,30 a	0,34 a
D.M.S. (5%)		0,06			
C.V. (%)		17,64			
20-40	0	0,10 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17*
	40	0,10	0,20	0,21	0,23
	70	0,20	0,23	0,22	0,23
	100	0,13	0,17	0,22	0,30
C.V. (%)		3,80	18,63	19,75	4,63
Média		0,13 a	0,20 a	0,21 a	0,23 a
D.M.S. (5%)		0,06			
C.V. (%)		28,13			
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	0,10 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,15**
	40	0,20	0,37	0,29	0,23
	70	0,17	0,27	0,22	0,20
	100	0,30	0,33	0,30	0,30
C.V. (%)		18,63	20,03	16,99	19,61
Média		0,20 a	0,30 a	0,25 a	0,22 a
D.M.S. (5%)		0,10			
C.V. (%)		17,79			
20-40	0	0,30 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,13*
	40	0,27	0,20	0,17	0,17
	70	0,33	0,23	0,22	0,23
	100	0,33	0,30	0,27	0,23
C.V. (%)		6,53	4,46	17,20	3,58
Média		0,32 a	0,24 ab	0,21 b	0,19 b
D.M.S. (5%)		0,10			
C.V. (%)		37,08			

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 17 - Teores de K no solo na linha nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (A e B, respectivamente) e na entrelinha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (C e D, respectivamente), aos 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Salvador, Consensa e Araújo (2014) verificaram que da serrapilheira depositada no piso florestal, que para o potássio, a fração folha é a mais importante. Segundo Caldeira et al. (2008), a ciclagem desse nutriente na relação solo/planta é mais rápida do que a de outros, por se tratar de um cátion monovalente e não constituinte de tecidos na planta. De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005), as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica foram de K para o eucalipto. Além disso, esse nutriente não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, sendo encontrado como cátion livre ou adsorvido (MEURER, 2006). Segundo Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), cerca de 50% do K foi rapidamente liberado da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis*

até os 116 dias. O que evidencia o seu rápido retorno para o solo via a decomposição do folheto. No entanto, os seus teores foram classificados como muito baixos, sendo necessária a adubação potássica para os próximos ciclos.

Os teores de Ca no solo não foram influenciados pela adubação fosfatada (Tabela 31). De forma geral, os teores de Ca de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1997) são classificados como baixos ($< 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca) mesmo com aplicação à lanço e em área total de 1500 kg ha^{-1} de calcário (PRNT de 80%) e mais 500 kg ha^{-1} de gesso antes da implantação do experimento. Melo (2014) constatou em quatro povoamentos de espécies de eucaliptos em diferentes condições edafoclimáticas, que as doses de 0; 30; 60 e 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 não influenciaram os teores de Ca no solo nas três profundidades em diferentes idades da cultura.

A disponibilidade de Ca no solo não foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 31). Melo (2014) constatou que os teores de Ca apresentaram pequenas variações entre os 24 e 48 meses após o plantio com teores médios de $22,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aos 48 meses na profundidade de 0 a 10 cm no sítio florestal de Luís Antônio/SP para o *Eucalyptus urophylla* x *globulus* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO. O mesmo foi verificado também para povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* localizado no município de Paulistânia/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO).

O Ca foi o macronutriente mais transferido pelas plantas de eucalipto para o solo via deposição de folheto entre o período de 30 e 66 meses ($112,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca) (Tabela 27). No entanto, não influenciou na disponibilidade desse nutriente no solo. Tal fato pode ser atribuído à baixa mobilidade do nutriente na planta, sendo que, a maior parte do Ca no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis, como o pectato da lamela média da parede celular (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006). Portanto, o Ca apresenta baixa liberação para o solo pela decomposição de folheto, que de acordo com Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), a liberação líquida de Ca da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no período de 1 ano foi de apenas valores entre 18 e 20%.

Tabela 31 - Teores de cálcio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.

Ca ($mmol_c dm^{-3}$) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de P_2O_5 ($kg ha^{-1}$)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	1,00 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,76 ^{ns}	2,30 ^{ns}
	40	2,00	3,67	2,88	2,33
	70	2,00	2,33	2,56	3,00
	100	1,67	2,33	2,32	2,50
	C.V. (%)	14,91	29,92	16,88	30,23
Média		1,67 a	2,42 a	2,38 a	2,54 a
D.M.S. (5%)			1,29		
C.V. (%)			19,15		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	40	1,00	1,00	1,28	1,67
	70	1,30	1,33	1,28	1,33
	100	1,30	1,33	1,60	2,00
	C.V. (%)	12,24	12,24	12,09	16,69
Média		1,17 a	1,17 a	1,28 a	1,50 a
D.M.S. (5%)			0,54		
C.V. (%)			12,89		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	1,70 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,67 ^{ns}
	40	2,67	2,67	1,92	1,30
	70	4,30	1,30	1,12	1,00
	100	2,00	2,30	1,92	1,66
	C.V. (%)	25,45	13,49	17,32	14,35
Média		2,67 a	1,92 a	1,60 a	1,42 a
D.M.S. (5%)			1,37		
C.V. (%)			16,61		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	40	1,70	1,00	1,00	1,00
	70	1,00	1,00	1,00	1,00
	100	1,00	2,03	1,47	1,03
	C.V. (%)	14,59	2,29	2,65	2,86
Média		1,17 a	1,26 a	1,09 a	1,01 a
D.M.S. (5%)			0,32		
C.V. (%)			25,36		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de Mg também não foram influenciados pela adubação fosfatada (Tabela 32). De forma geral, os teores de Mg de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1997) foram baixos (0 a $4 mmol_c dm^{-3}$ de Mg), mesmo com aplicação à lanço e em área total de $1500 kg ha^{-1}$ de calcário (PRNT de 80%), antes da implantação do experimento. Melo (2014) constatou em quatro povoamentos de espécies de eucaliptos em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de Mg do solo não foram influenciados pelas doses de P (0; 30; 60 e $90 kg ha^{-1}$ de P_2O_5) nas diferentes idades da cultura.

A disponibilidade de Mg no solo não foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 32). Melo (2014) constatou que os teores de Mg apresentaram pequenas variações entre os 24 e 48 meses com teores médios de $4,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, aos 48 meses, na profundidade de 0 a 10 cm no sítio florestal de Luís Antônio/SP para o *Eucalyptus urophylla* x *globulus* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO. Para o povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* localizado no município de Paulistânia/SP (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO), os teores de Mg também não foram reduzidos, sendo sua disponibilidade no solo classificada entre baixa a média por seus valores variarem entre 2,6 e $6,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Tabela 32 - Teores de magnésio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2015/17.

Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,66 ^{ns}
	40	1,66	3,67	2,56	1,67
	70	1,00	1,30	1,76	2,33
	100	1,33	2,00	2,08	2,33
C.V. (%)		17,89	19,35	15,88	17,50
Média		1,25 a	2,00 a	1,92 a	2,00 a
D.M.S. (5%)			0,90		
C.V. (%)			16,05		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	40	1,30	1,00	1,00	1,30
	70	1,00	1,00	1,00	1,00
	100	1,00	1,33	1,14	1,33
C.V. (%)		26,65	26,65	30,54	12,24
Média		1,08 a	1,08 a	1,08 a	1,17 a
D.M.S. (5%)			0,36		
C.V. (%)			29,22		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	2,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	40	1,33	2,00	1,60	1,33
	70	3,00	1,00	1,00	1,00
	100	1,67	1,33	1,12	1,00
C.V. (%)		23,94	16,15	30,06	26,65
Média		2,00 a	1,33 a	1,16 a	1,08 a
D.M.S. (5%)			0,96		
C.V. (%)			15,43		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	40	1,33	1,00	1,00	1,00
	70	1,00	1,00	1,00	1,00
	100	1,00	1,30	1,03	1,03
C.V. (%)		8,20	8,20	15,24	2,86
Média		1,08 a	1,08 a	1,00 a	1,01 a
D.M.S. (5%)			0,23		
C.V. (%)			19,45		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O Mg foi o quarto macronutriente mais transferido pelas plantas de eucalipto para o solo via decomposição de folheto entre o período de 30 e 66 meses (24,8 kg ha⁻¹ de Mg) (Tabela 27). No entanto, não influenciou na disponibilidade do nutriente no solo pelo processo de ciclagem (ciclo biogeoquímico). Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005) constataram em seu estudo de decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte Fluminense, que o Mg apresentou liberação líquida de apenas 33% no período de 1 ano.

4.2.5 Balanço dos nutrientes

4.2.5.1 Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr)

A adubação fosfatada influenciou no balanço de [N, P | S] e [N | P] nas folhas do eucalipto aos 42 e 66 meses de idade (Tabela 33).

Tabela 33 - Balanço dos macronutrientes (relação log isométrica) nas folhas de eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses de idade, em função de doses de P₂O₅. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Idade	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	ilr1	ilr2	ilr3	ilr4	ilr5
		adim.				
30 meses	0	-0,48 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,84 ^{ns}
	40	-0,42	0,69	1,90	0,22	1,18
	70	-0,57	0,91	1,92	0,50	1,06
	100	-0,33	0,81	1,85	0,46	1,21
	C.V. (%)	22,13	19,12	6,69	10,42	16,26
36 meses	0	-0,71 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,92 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,76 ^{ns}
	40	-0,65	0,96	1,79	0,33	0,97
	70	-0,79	1,02	1,84	0,58	0,97
	100	-0,60	1,07	1,82	0,43	0,97
	C.V. (%)	16,62	13,78	8,20	9,72	20,04
42 meses	0	-0,49 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,03*	0,40 ^{ns}	1,02 ^{ns}
	40	-0,43	0,84	1,96	0,45	1,13
	70	-0,59	0,91	1,98	0,32	0,96
	100	-0,32	0,90	1,87	0,62	1,09
	C.V. (%)	21,75	6,22	2,69	26,92	15,78
66 meses	0	-0,60 ^{ns}	0,90*	1,94**	0,52 ^{ns}	0,80 ^{ns}
	40	-0,62	0,90	1,92	0,46	0,74
	70	-0,64	0,94	1,90	0,51	0,74
	100	-0,53	0,99	1,85	0,62	0,79
	C.V. (%)	11,54	4,14	1,70	12,03	8,742

Obs.: Relações log isométricas (ilr): ilr1, ilr2, ilr3, ilr4 e ilr5, respectivamente, [N, P, S | K, Ca, Mg], [N, P | S], [N | P], [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg].

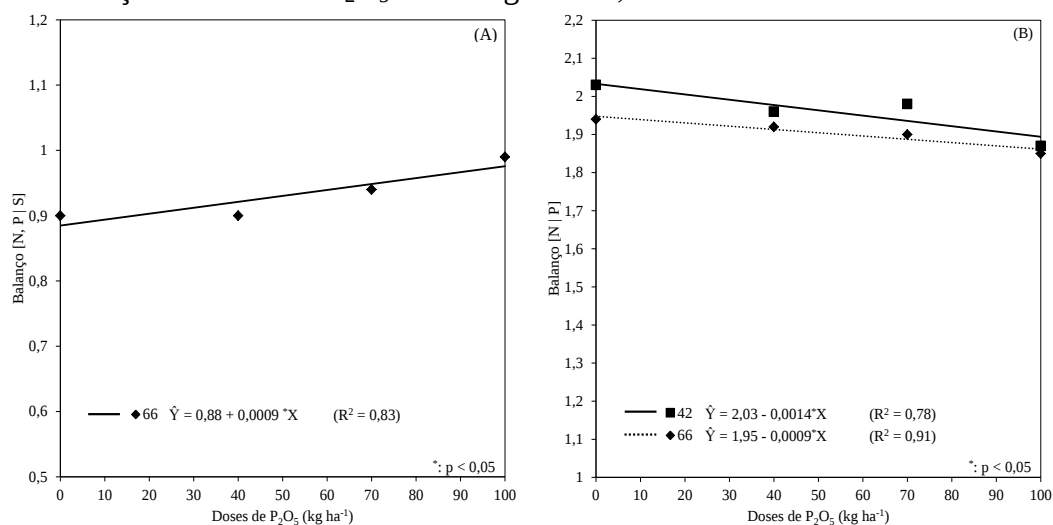
ns; *, - não significativo; significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O balanço de [N, P | S] aos 66 meses e o de [N | P] das folhas do eucalipto aos 42 e 66 meses após o seu plantio aumentaram e diminuíram linearmente com o incremento das doses de P_2O_5 , respectivamente (Figuras 18 A e B). Sendo que a dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 propiciou o maior balanço de [N, P | S] de 0,99 e o menor de [N | P] de 1,87 e 1,85, aos 42 e 66 meses, respectivamente. Montes (2013) constatou que o balanço [N | P] de folhas de goiabeiras variou em resposta à adubação nitrogenada, e que o seu aumento foi devido à elevação da concentração do nitrogênio no tecido vegetal, o que também pode estar relacionado à maior absorção de nitrogênio em relação ao fósforo, devido à sua maior disponibilidade. Nessa pesquisa, a adubação fosfatada diminui o balanço [N | P] nas folhas do eucalipto, devido à elevação da concentração de P nas folhas (Figura 12) em função da maior disponibilidade de fósforo no solo propiciada pelas doses de P_2O_5 (Figura 16).

Com base nos limites inferiores e superiores estabelecidos a partir dos teores-padrão de nutrientes nas folhas indicados por Gonçalves (2011) (Tabela 17). Valores de [N | P] acima de 2,41 é indicativo de baixa suplementação de P para cultura. Na ausência da adubação fosfatada foram obtidos valores abaixo desse limite superior (2,03 e 1,94, aos 42 e 66 meses, respectivamente) (Figura 18B). Assim, não foi possível estabelecer relação entre a produtividade da cultura com esses balanços, pois talvez a faixa estabelecida por Gonçalves (2011) para P (1 a 3 g kg^{-1}) não seja adequada para o clone utilizado nesta pesquisa, pois as concentrações de P foliar associadas às maiores produtividades de madeira (Figura 11) estão próximas do limite inferior da faixa tida como adequada por esse autor.

Figura 18 - Balanço [N, P | S] e [N | P] nas folhas de eucalipto aos 42 e 66 meses de idade em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os balanços de [N, P, S | K, Ca, Mg] e [K | Ca, Mg] estão dentro da faixa, os de [N, P | S] e [N | P] estão próximos do limite inferior, o de [Ca | Mg] acima ou próximo do limite superior (Tabela 33). Os valores da relação [Ca | Mg] acima do limite superior é indicativo de baixa suplementação de Mg para cultura. Montes (2013) constatou que a relação [Ca | Mg] foi significativa em resposta à adubação potássica e que essa pode ter prejudicado mais na absorção do Mg do que na absorção de Ca, em função da quantidade de Ca no solo ser superior à de Mg. Na presente pesquisa embora os teores de K, Ca e Mg estivessem muito baixos no solo, os de Ca são superiores ao de K e Mg.

4.2.6 Avaliação da biomassa de eucalipto

4.2.6.1 Produção de biomassa

A adubação fosfatada influenciou a produção de biomassa das folhas, do lenho e total da parte aérea das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 34).

Tabela 34 - Biomassa dos compartimentos do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Folhas	Galhos	Lenho kg ha ⁻¹	Casca	Total aéreo
0	3746*	4370 ^{ns}	125348*	10473 ^{ns}	143937*
40	4891	4797	159276	11491	180455
70	5080	4968	170833	13786	194668
100	4487	4647	157752	12981	179868
Média	4551	4695	153302	12183	174731
C.V. (%)	13,46	29,79	18,55	13,56	17,99

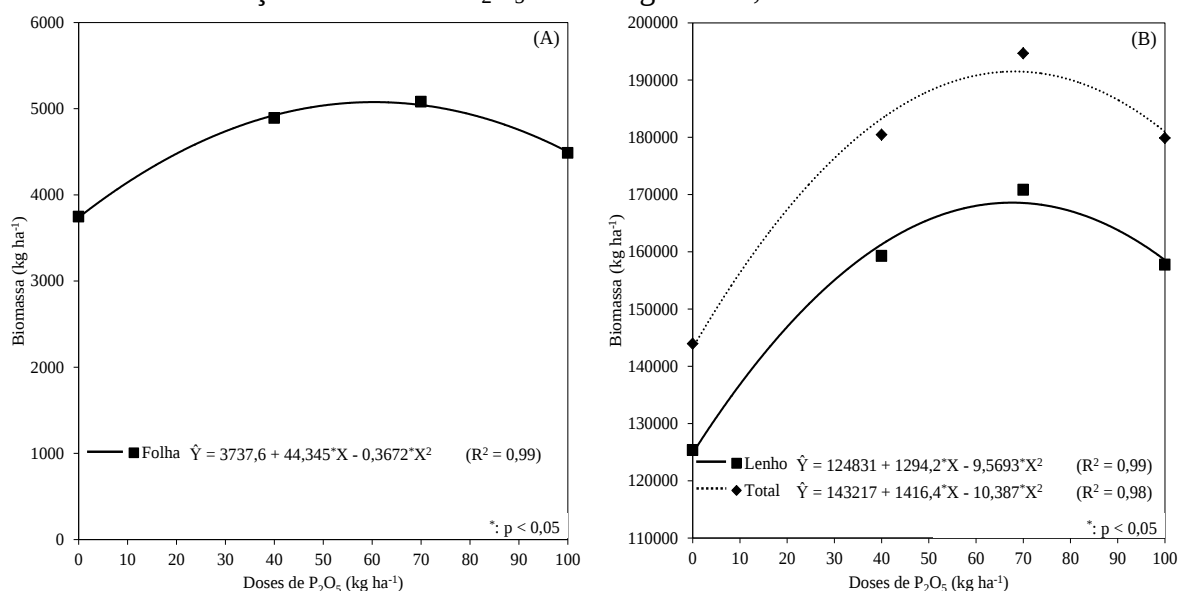
ns; * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Houve ajuste quadrático da produção da biomassa desses compartimentos e total da parte aérea das plantas com o incremento das doses de P_2O_5 , sendo a máxima de 5076, 168586 e 191493 kg ha⁻¹ obtido com a aplicação de 60,4; 68,2 e 67,2 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (folhas, lenho e total, respectivamente) (Figuras 19 A e B). Portanto, a produção de biomassa teve o mesmo comportamento do crescimento em volume de madeira (Figura 11). Silva (2011) avaliou o impacto das doses (NPK) e do parcelamento da fertilização (NK) em plantações de eucalipto na fase inicial de crescimento em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e, constatou que a produção de biomassa foi maior com o aumento da dose de fertilizante em todos os

compartimentos (folhas, galhos, tronco e total da parte aérea) e em todas as idades avaliadas (aos 3, 6, 12 e 24 meses de idade), sendo que aos 24 meses, os tratamentos que receberam a maior dose de fertilizante (NPK) propiciaram 50% a mais de biomassa em relação aos que não receberam. Silva, Poggiani e Laclau (2011) constataram que a aplicação de lodo de esgoto aumentou a produção de biomassa da madeira do *E. grandis* em comparação com o tratamento controle (testemunha). Enquanto que Oliveira Neto et al. (2003) verificaram que adubação de NPK influenciou a produção de biomassa de *Eucalyptus camaldulensis*, aos 32 meses de idade.

Figura 19 - Biomassa de folhas, lenho e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em média, a produção de biomassa dos compartimentos folhas, galhos, lenho, casca e total da parte aérea da planta do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio foi de 4551, 4695, 153302, 12183 e 174731 kg ha⁻¹, respectivamente. Benatti (2013) avaliou a compartimentalização de biomassa de clones de eucalipto (I-144) e constatou que a produção de biomassa dos compartimentos folhas, galhos vivos, lenho, casca e total da parte aérea aos 6,5 anos de idade foram de 4250, 4120, 103310, 10200 e 128140 kg ha⁻¹, respectivamente. Faria et al. (2008) constataram que os híbridos de *Eucalyptus urophylla* foram os que apresentaram maior produção de biomassa de tronco (150300 kg ha⁻¹) aos 57 meses de idade em relação aos híbridos provenientes do cruzamento *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus grandis* (102500 kg ha⁻¹).

A distribuição da biomassa nos diferentes componentes da parte aérea do eucalipto aos 5,5 anos (66 meses) apresentou a seguinte magnitude: lenho (87,7%) > casca (7,0%) > folha > galhos vivos (2,7%) > folhas (2,6%). Santana et al. (2008b) avaliaram a alocação dos nutrientes em diversas espécies de eucalipto aos 4,5 anos, e constataram que 90% da biomassa estão distribuídos nos componentes lenho + casca. Faria et al. (2008) verificaram que os híbridos de *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade, tenderam alocar maior porcentagem, em termos médios, de biomassa de tronco (92,3%) em relação à copa (7,7%). Gonsaga (2017) constatou que aos 6 anos, os cinco clones resultantes do cruzamento entre *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram médias de alocação da biomassa diferentes das encontradas aos 2,25 anos, sendo que a madeira continuou sendo a maior parte e aumentou sua participação na biomassa total da parte aérea, chegando a 84,54%, seguida pela casca (7,81%), galhos (4,68%) e, por último, folhas (2,97%).

4.2.6.2 Concentrações dos nutrientes nos compartimentos

A adubação fosfatada não influenciou nas concentrações dos nutrientes nos compartimentos folhas, galhos, lenho e casca das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 35). Silva (2011) avaliou o efeito das doses de NPK e do parcelamento da fertilização de NK em plantações de eucalipto em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e, constatou que aos 24 meses a adubação propiciou maiores concentração de N no lenho e na casca e maiores de K em todos os compartimentos (folhas, galhos, lenho e casca).

As menores concentrações dos nutrientes foram verificadas no compartimento lenho, as maiores de N, P, K e S nas folhas e as de Ca e Mg na casca (Tabela 35). De acordo com Florence (2004), as concentrações dos nutrientes no tronco do eucalipto diminuem em idades mais avançadas, pois na fase inicial de crescimento utiliza esse compartimento como dreno de armazenamento. Segundo Vieira (2012), o componente com maiores concentrações de nutrientes é a fração folhas e o com menor é a madeira, devido à tendência que a maioria dos nutrientes tem de concentrar-se nas estruturas mais novas da planta, de maior atividade metabólica.

Tabela 35 - Concentrações dos nutrientes nos componentes das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
	Folhas					
0	15,8 ^{ns}	1,1 ^{ns}	8,4 ^{ns}	5,8 ^{ns}	2,5 ^{ns}	1,3 ^{ns}
40	15,7	1,1	7,9	5,8	3,0	1,3
70	15,8	1,2	8,9	5,5	2,7	1,3
100	15,5	1,2	8,1	5,4	2,5	1,1
Média	15,7	1,2	8,3	5,6	2,7	1,3
C.V. (%)	7,82	7,54	6,63	7,42	5,69	9,05
	Galhos					
0	3,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	3,9 ^{ns}	6,1 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}
40	2,4	0,4	3,6	7,0	1,8	0,3
70	2,6	0,4	4,4	7,0	1,9	0,4
100	2,2	0,3	4,6	6,3	1,6	0,4
Média	2,6	0,4	4,1	6,6	1,8	0,4
C.V. (%)	16,07	34,14	14,26	16,21	27,36	30,69
	Lenho					
0	0,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}
40	0,9	0,1	1,6	0,5	0,4	0,2
70	0,7	0,1	1,3	0,5	0,4	0,2
100	0,8	0,1	1,4	0,5	0,4	0,1
Média	0,8	0,1	1,4	0,5	0,4	0,2
C.V. (%)	16,74	30,68	27,61	8,30	6,82	18,02
	Casca					
0	3,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	4,6 ^{ns}	19,2 ^{ns}	3,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}
40	3,0	0,5	3,9	21,4	3,4	0,7
70	3,4	0,7	5,3	23,0	3,9	0,7
100	3,2	0,7	4,6	21,9	3,4	0,6
Média	3,2	0,6	4,6	21,4	3,5	0,7
C.V. (%)	7,09	22,39	21,98	22,34	17,32	8,91

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.6.3 Nutrientes acumulados na biomassa

A adubação fosfatada influenciou no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S no compartimento folhas, de N e Ca no lenho, de Ca na casca e de N, P, Ca, Mg e S no total da parte aérea da planta (Tabela 36). Silva (2011) constatou aos 12 e 24 meses de idade para *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que as doses mais elevadas de fertilizantes tiveram efeito

positivo na produção da mineralomassa (nutrientes acumulados na biomassa). Tal resultado corrobora com os obtidos na presente pesquisa.

Tabela 36 - Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.

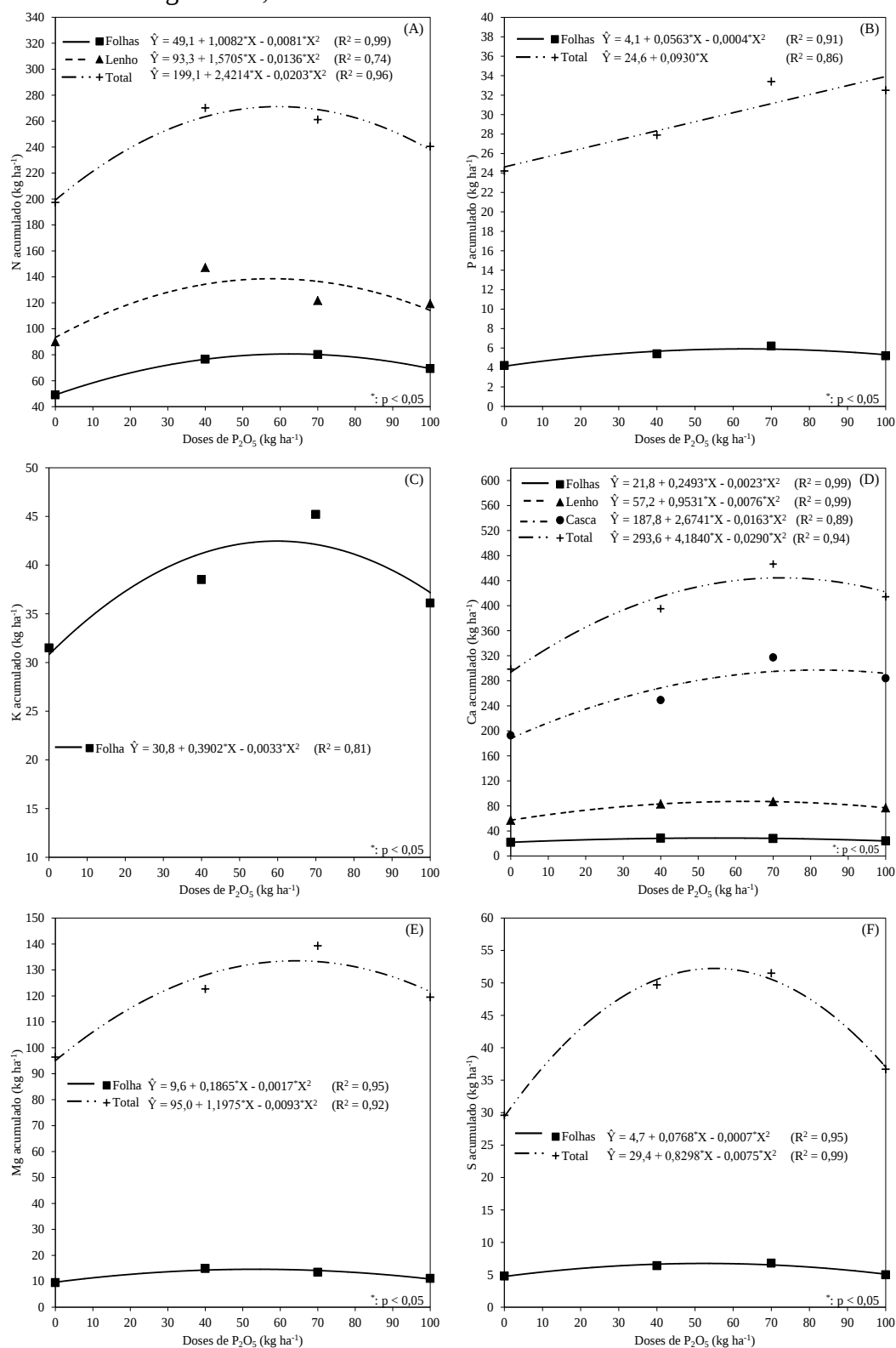
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
	Folhas					
0	49,1 ^{**}	4,2 [*]	31,5 ^{**}	21,8 [*]	9,5 ^{**}	4,8 [*]
40	76,5	5,4	38,5	28,4	14,9	6,4
70	80,2	6,2	45,2	27,9	13,5	6,8
100	69,3	5,2	36,1	24,1	11,1	5,0
C.V. (%)	14,98	16,0	12,01	15,83	15,25	17,86
	Galhos					
0	13,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	17,7 ^{ns}	26,8 ^{ns}	7,7 ^{ns}	1,9 ^{ns}
40	11,7	1,7	18,0	34,5	9,2	1,3
70	12,9	1,8	22,0	34,5	9,6	1,9
100	10,3	1,4	21,1	29,2	7,5	1,6
C.V. (%)	27,13	34,26	32,87	16,12	19,80	14,06
	Lenho					
0	90,0 [*]	12,7 ^{ns}	184,3 ^{ns}	57,2 [*]	43,8 ^{ns}	15,7 ^{ns}
40	147,2	14,7	267,8	83,1	59,4	33,9
70	121,8	16,3	239,0	87,0	62,2	33,1
100	119,3	17,2	233,0	76,9	56,7	21,7
C.V. (%)	21,28	18,96	20,63	17,94	16,58	23,58
	Casca					
0	34,9 ^{ns}	6,1 ^{ns}	47,0 ^{ns}	192,8 [*]	35,3 ^{ns}	7,1 ^{ns}
40	34,8	6,1	44,9	249,1	39,2	8,0
70	46,3	9,1	72,9	317,2	53,9	9,7
100	41,6	8,7	59,1	284,0	44,3	8,4
C.V. (%)	14,13	27,95	21,17	21,64	21,20	16,33
	Total					
0	197,4 [*]	24,2 [*]	262,0 ^{ns}	298,6 [*]	96,4 [*]	29,6 ^{**}
40	270,2	27,9	342,4	395,2	122,7	49,7
70	261,2	33,4	355,2	466,5	139,3	51,5
100	240,5	32,5	326,1	414,2	119,5	36,7
C.V. (%)	16,06	17,80	15,71	17,43	16,62	19,26

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os acúmulos desses nutrientes aumentaram nos diferentes compartimentos das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) e total da parte aérea do eucalipto, com incremento das doses de P_2O_5 (Figura 20).

Figura 20 - Acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S (A, B, C, D, E e F, respectivamente) nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O conteúdo de N aumentou com as doses de P_2O_5 , sendo o máximo de 80,5; 138,6 e 271,3 kg ha^{-1} de N (folhas, lenho e total, respectivamente) obtido com a aplicação de 62,2; 57,7 e 59,6 kg ha^{-1} de P_2O_5 , propiciando com as respectivas doses, incrementos de 64, 49 e 36%, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 20A). Os maiores estoques de P com as doses de 70,4 e 100,0 kg ha^{-1} de P_2O_5 foram obtidos nas folhas e total (6,1 e 33,9 kg ha^{-1} de P, respectivamente), sendo que o aumento com essas doses foram de 48 e 38% em relação à testemunha (Figura 20B). O K no compartimento folhas foi de 42,3 kg ha^{-1} com a dose de 59,1 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 20C). Para os de Ca, os máximos de 28,5; 87,1; 297,5 e 444,5 kg ha^{-1} de Ca (folhas, lenho, casca e total, respectivamente) foram obtidos com as doses de 54,2; 62,7; 82,0 e 72,1 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que com essas doses, os aumentos foram de 31, 52, 58 e 51% em relação à testemunha (Figura 20D). Os maiores estoques de Mg com as doses de 54,8 e 64,4 kg ha^{-1} de P_2O_5 foram obtidos nas folhas e total (14,7 e 133,5 kg ha^{-1} de Mg, respectivamente), sendo que o aumento com essas doses foram de 53 e 41% em relação à testemunha (Figura 20E). Para o S, os máximos acúmulos de 6,8 e 52,3 kg ha^{-1} de S (folhas e total, respectivamente) foram obtidos com as doses de 54,9 e 55,3 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que com essas doses os aumentos foram de 45 e 78% em relação à testemunha (Figura 20F). Verifica-se com esses resultados que a adubação fosfatada propiciou aumentos expressivos nos acúmulos de nutrientes nos diferentes compartimentos e na parte aérea total das plantas de eucalipto.

De acordo com Neves et al. (2011), o clone I144, por apresentar maiores valores de densidade básica da madeira, e considerado o mais indicado para produção de bioenergia. Nesse sentido, é evidente que aumento do acúmulo Ca na casca propiciado pela adubação fosfatada pode resultar em grande quantidade desse nutriente removida do solo pela operação da colheita do tronco (lenho + casca), o que pode comprometer a capacidade produtiva desse sítio florestal, caso não seja realizado o fornecimento adequado desse nutriente para os próximos ciclos.

Em relação aos compartimentos, no lenho os estoques dos nutrientes das plantas de eucalipto aos 5,5 anos pós-plantio ocorreu na seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > S > P$ e na parte aérea das plantas de eucalipto: $Ca > K > N > Mg > S > P$. Com base nessas constatações, verifica-se que, o P é o nutriente que apresentou menor estoque no lenho (15,2 kg ha^{-1} de P) e no tronco (lenho + casca = 22,7 kg ha^{-1} de P) (Tabela 36). Portanto, esse

nutriente é menos exportado pela colheita (lenho), sendo que a retirada da casca nessa operação mantém cerca de 33% do P na área florestal.

Faria et al. (2008) constataram que a exploração somente da parte comercializável da planta (lenho) é uma forma de reduzir a exportação de nutrientes do sítio florestal, mantendo assim a sua capacidade produtiva por maior período de tempo. De acordo com Souza (2015) depois do N, o Ca e o K são os que mais poderão limitar a produtividade das próximas rotações, considerando-se a colheita do tronco (lenho + casca). Esta limitação pode ser substancialmente reduzida, principalmente para o Ca, pela retirada da casca da madeira. Segundo Santana et al. (2008b) cerca de 75% de N, P, K, Ca e Mg estão em outros componentes da parte aérea da árvore, e não no lenho, evidenciando a importância do descascamento. Assim, o descascamento é uma prática que além de reduzir a exportação de Ca, minimiza também a exportação de outros nutrientes, dentre os quais o fósforo.

Faria et al. (2008) constataram que o acúmulo de nutrientes na parte aérea e no tronco, em termos médios, apresentaram a seguinte sequência: $N > Ca > K > Mg > P$ para diferentes genótipos de *Eucalyptus* aos 57 meses de idade, sendo o Ca e o K presentes em maior quantidade no tronco. Benatti (2013) verificou para diferentes clones de eucalipto aos seis anos e meio de idade a seguinte sequência: $Ca > N > K > Mg > P$, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumulada foi praticamente semelhante. Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) constataram em seu estudo com ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden aos 8 anos de idade que o acúmulo dos nutrientes no lenho, apresentou a mesma sequência de $Ca > N > K > Mg > P$.

Santana, Barros e Neves (2002) constataram que o K é o nutriente mais abundante no lenho e o Ca na casca, sendo o primeiro mais exportado pela retirada na colheita do tronco (lenho + casca). Segundo Silveira, Gava e Malavolta (2005), esse nutriente é o segundo ou o terceiro nutriente mais acumulado na cultura, ficando às vezes abaixo do N e do Ca. De acordo com Schumacher e Poggiani (1993), o acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto varia de nutriente para nutriente, sendo essa em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade da floresta. Tal afirmação esclarece a diferença dos valores acumulados de N obtidos neste estudo em relação aos encontrados na literatura.

4.2.7 Eficiência no uso dos nutrientes

A adubação fosfatada não influenciou na eficiência de utilização dos macronutrientes das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 37). A não eficiência no uso de P em função da adubação fosfatada deve-se, provavelmente, ao aumento da produção da biomassa do lenho (Figura 19B) e da tendência no aumento do acúmulo de P no lenho e na casca (Tabela 36), pois a eficiência no uso dos nutrientes é calculada pela relação entre a biomassa seca do tronco (lenho + casca) e a do nutriente acumulado no tronco. Portanto, o aumento da biomassa e do estoque de P no tronco em função do incremento das doses de P_2O_5 não alterou essa relação. Tal explicação pode ser aplicada à não eficiência no uso dos outros nutrientes, pois o aumento do acúmulo dos nutrientes (Figura 20) foi proporcional ao aumento da produção de biomassa (Figura 19).

Tabela 37 - Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre das árvores de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de P_2O_5 . Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg de biomassa/kg de nutriente					
0	927,7 ^{ns}	9056,5 ^{ns}	500,4 ^{ns}	546,8 ^{ns}	1706,7 ^{ns}	5953,4 ^{ns}
40	983,0	8808,7	604,9	534,3	1729,9	4134,1
70	1176,2	9523,1	613,6	455,5	1592,6	4381,0
100	1094,7	7720,3	643,6	493,2	1698,5	5753,3
C.V. (%)	20,05	33,99	20,51	20,60	7,80	15,83

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Galo (1993) verificou em seu estudo de resposta do eucalipto à adubação potássica em solo de cerrado, que a eficiência de utilização de K na produção de tronco e de copa diminuiu com a elevação da dose desse nutriente. Essa menor eficiência deve-se, segundo Silva et al. (2002), à maior absorção desse nutriente pelas plantas devido ao aumento da sua concentração na solução do solo, no entanto, se a taxa de crescimento das plantas for menor que a da absorção, reduz a eficiência de utilização do nutriente em questão.

Silva (2011) avaliou o efeito das doses (NPK) e do parcelamento da fertilização (NK) em plantações de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* na fase inicial de crescimento e, constatou que as plantas de eucalipto que não foram adubadas foram mais eficientes no uso do N e do K

aos 24 meses de idade, mesmo essas com menor produção de biomassa. Faria et al. (2008) constataram que o clone de eucalipto mais produtivo não apresentou maior eficiência de utilização para todos os nutrientes. Barros et al. (1986) verificaram que a eficiência no uso dos nutrientes pelas plantas de eucalipto aumenta com a redução de sua disponibilidade no solo. Nesse estudo, a menor e a maior produção de biomassa propiciada pela testemunha e a dose de $68,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente, não diferiram quanto à eficiência no uso de P, assim, não se constatou relação direta entre produção de biomassa e eficiência no uso de nutrientes.

Estudos mostram variações entre espécies e clones de eucalipto quanto à eficiência nutricional. Faria et al. (2008) avaliaram a eficiência de utilização de nutrientes em diferentes espécies de *Eucalyptus* e, constataram que o clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) aos 57 meses de idade apresentou maior eficiência de utilização de N. Pinto et al. (2011) estudaram a eficiência nutricional de seis clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva e, verificaram que clone I144 foi mais eficiente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e na utilização desses nutrientes na produção de biomassa. Além das características genéticas outros fatores podem influenciar na eficiência no uso dos nutrientes pela cultura do eucalipto, como a idade das plantas, disponibilidade de nutrientes no solo, as condições ambientais e os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica (FLORENCE, 2004, FARIA et al., 2008, SILVA, 2011, ROSIM, 2013, GONSAGA, 2017).

Em relação à eficiência no uso dos nutrientes no tronco (lenho + casca) das plantas de eucalipto aos 5,5 anos pós-plantio ocorreu na seguinte ordem: $\text{P} > \text{S} > \text{Mg} > \text{N} > \text{K} > \text{Ca}$. Gonsaga (2017) constatou que a eficiência de utilização dos nutrientes na madeira (lenho) de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos apresentou a seguinte ordem decrescente quanto aos nutrientes: $\text{P} > \text{Mg} > \text{N} > \text{Ca} > \text{K}$. Santana, Barros e Comeford (2000) verificaram para plantações de eucalipto em diferentes locais no Brasil a seguinte ordem: $\text{P} > \text{Mg} > \text{K} > \text{N} \approx \text{Ca}$. Faria et al. (2008) verificaram que depois do Ca, o N é que apresenta a menor eficiência de utilização entre os híbridos de eucalipto avaliados. Nesse sentido, os nutrientes N, K e Ca apresentam menor eficiência no uso desses nutrientes pela cultura do eucalipto, portanto, são necessárias maiores quantidades desses nutrientes para produção de biomassa da cultura.

O fósforo denota maior eficiência no uso dos nutrientes pelo eucalipto, tal fato deve-se ao mecanismo de absorção desse nutriente pela cultura em função do crescimento do sistema radicular com a idade da cultura. Barros et al. (1981) mencionaram em seu estudo com adubação de NPK, na produção do eucalipto em solo de cerrado, que o P foi o principal fator limitante ao crescimento, e que à medida que o eucalipto se desenvolve, sua capacidade de absorver esse nutriente aumenta, em função do desenvolvimento de seu sistema radicular que explora maior volume de solo. Segundo Silva (2017), a menor eficiência de utilização de P nas progênies de *Eucalyptus grandis*, cultivadas no solo com restrição desse nutriente, foi encontrada nas 4 progênies das 11 estudadas. Essa menor eficiência no uso foi em razão do menor crescimento tanto da parte aérea como do sistema radicular, resultando em menor biomassa total. De acordo com Gonçalves et al. (2008), em solos com teores de P acima de 4 mg dm⁻³, as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada. Portanto, deve-se garantir certa quantidade de P no início do desenvolvimento da cultura, principalmente, em solos com baixa disponibilidade desse nutriente, como nos do Bioma Cerrado.

4.3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

4.3.1 Avaliação do crescimento: Volume total de madeira com casca

O volume total de madeira aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto foi influenciado pelas doses de K₂O (Tabela 38). A produtividade de madeira aumentou linearmente com incremento das doses de K₂O, sendo a máxima obtida com 180 kg ha⁻¹ de K₂O de 117,3; 168,9; 217,5 e 238,5 m³ ha⁻¹, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto, respectivamente (Figura 21). O aumento das doses de K₂O propiciou incremento de 11,3; 33,8; 36,8 e 34,0%, comparando a maior dose em relação à testemunha.

A resposta da cultura à adubação potássica era esperada, uma vez que o solo apresentava baixo teor de K. Nas condições de teores mais elevados no solo, as respostas do *Eucalyptus* à aplicação desse nutriente não têm sido tão consistentes, tendo respondido apenas em solos cujos teores que não ultrapassam 1,0 mmol_c dm⁻³ (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). Com base na recomendação dos autores, a quantidade a ser aplicada conforme o teor de K trocável no solo seria de 120 a 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Outra recomendação propõe para a mesma condição de baixo de teor de K no solo com textura arenosa, a aplicação de 50 kg ha⁻¹

de K_2O (GONÇALVES; RAIJ; GONÇALVES, 1997). Nesse sentido, a recomendação de Silveira e Malavolta (2000) está mais condizente com resultados obtidos nesta pesquisa.

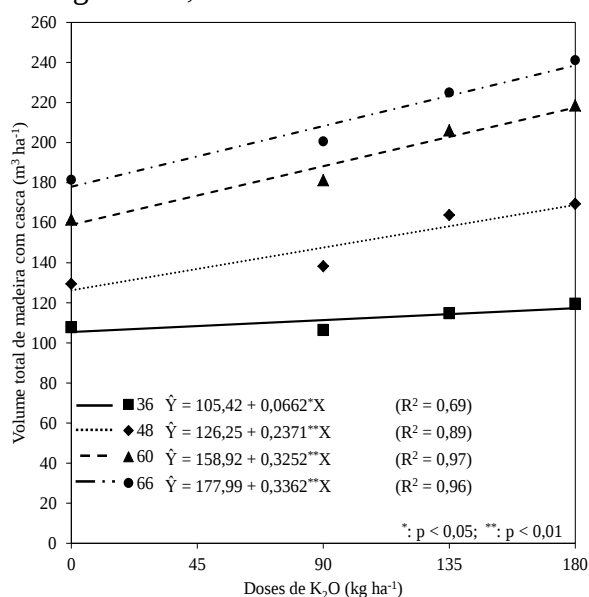
Tabela 38 - Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.

Doses de K_2O (kg ha ⁻¹)	Vt (m ³ ha ⁻¹) nas idades avaliadas			
	36 meses	48 meses	60 meses	66 meses
0	107,8*	129,5**	161,6**	181,4**
90	106,4	138,3	181,2	200,6
135	114,8	163,8	206,1	225,0
180	119,5	169,4	218,5	241,1
C.V. (%)	9,94	7,57	3,98	2,53

*, ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 21 - Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em estudo realizado em solo de Cerrado, Almeida (2009) concluiu que o *Eucalyptus grandis* responde expressivamente à adubação potássica em índice de área foliar, DAP e altura, podendo dobrar a produtividade em volume de madeira aos 36 meses pós-plantio, e que o fornecimento de 100 kg ha⁻¹ de K_2O foi suficiente para atingir 90% da máxima produtividade nessa idade. Galo (1993) verificou resposta à adubação potássica para o *Eucalyptus grandis*, aos 6,5 anos de idade, em solos do cerrado, cujo teor original de K também era muito baixo (0,59 mmol_c dm⁻³), sendo que para obter 90% da produção máxima de madeira foi necessária a aplicação de 108 kg ha⁻¹ de K_2O . Os resultados obtidos neste

trabalho corroboram com dos autores citados, pois para obtenção da máxima produtividade de madeira do *Eucalyptus urophylla* aos 36 e 66 meses de idade, em solo de Cerrado com baixo teor de potássio ($0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), foram necessários 140 kg ha^{-1} de K_2O .

Melo (2014) avaliou no município de Ribas do Rio Pardo/MS em NEOSSOLO QUATZARÊNICO ($0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3} \text{ K}$) a aplicação de doses de K_2O (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de K_2O) em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, e verificou que a resposta às doses desse nutriente aumentou entre 24 e 60 meses de idade, sendo que aos 24 meses a dose que propiciou máxima produção de madeira foi de 148 kg ha^{-1} de K_2O , e a partir dos 36 meses, superior a 150 kg ha^{-1} de K_2O . No município de Mogi-Guaçu/SP em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ($0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3} \text{ K}$), as respostas à adubação potássica foram verificadas a partir dos 36 meses, sendo que nessa idade a dose de $221,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O e aos 48 meses de 184 kg ha^{-1} de K_2O propiciaram a produtividade máxima do eucalipto. Dentre esses dos sítios, Ribas do Rio Pardo apresentou as menores precipitações médias anuais e maiores evapotranspirações, o que explica a manutenção das respostas com a idade. Tal fato deve-se, segundo Siddiqui, Shah e Tariq (2008), às funções realizadas por esse nutriente na planta, dentre as quais, o controle osmótico que confere a planta maior eficiência no uso da água.

Laclau et al. (2009) avaliaram a influência da adubação nitrogenada e potássica em *Eucalyptus grandis* e verificaram alta resposta à adubação potássica com incremento na altura da árvore de 3,7 m aos 36 meses em relação à testemunha. Gonçalves et al. (2008) relataram que a aplicação de K_2O pode proporcionar aumentos nas respostas com a idade da cultura, ao contrário da aplicações de N e P, em que de maneira geral as respostas diminuem com a idade. Gazola et al. (2015) constataram que a adubação potássica foi mais pronunciada em relação ao N e ao P, influenciando a produção de madeira do eucalipto, com a máxima produtividade de volume de madeira obtida aos 18 e 21 meses de idade com a dose de 94 e 125 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente, e que a maior dose dessa avaliação em relação à anterior está associado a maior requisição de K durante o ciclo da cultura. Tais constatações devem-se ao aumento do nível crítico de K no solo com a idade da cultura (BARROS; NOVAIS; NEVES, 1990). Portanto, a manutenção das respostas verificadas nesse estudo está associada à baixa disponibilidade de K no solo e as condições climáticas da região que apresenta baixa precipitação (Figura 1) com longo período de estiagem e elevados índices de evapotranspiração.

4.3.2 Concentrações dos nutrientes nas folhas

As concentrações foliares foram influenciadas pela adubação potássica, de N aos 36 meses, as de K e Ca aos 30 e 36 meses e as de Mg aos 30, 36 e 66 meses após o plantio de eucalipto (Tabela 39).

Tabela 39 - Concentrações de macronutrientes aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Idade	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
30 meses	0	15,6 ^{ns}	1,0 ^{ns}	3,3 ^{**}	9,3 [*]	3,2 ^{**}	1,3 ^{ns}
	90	15,4	1,1	4,0	8,1	2,7	1,5
	135	13,2	1,0	5,3	7,5	1,9	1,3
	180	15,6	1,1	6,7	7,6	1,8	1,3
	C.V. (%)	8,98	16,42	19,51	8,14	12,14	10,07
36 meses	0	17,4 [*]	1,1 ^{ns}	4,0 ^{**}	10,1 [*]	3,9 ^{**}	1,1 ^{ns}
	90	17,2	1,1	6,0	8,9	3,3	1,3
	135	15,0	1,0	8,0	8,4	2,2	1,1
	180	15,6	1,2	8,7	8,4	2,1	1,2
	C.V. (%)	8,24	17,90	8,66	7,79	18,89	11,66
42 meses	0	15,1 ^{ns}	1,1 ^{ns}	4,5 ^{ns}	8,3 ^{ns}	2,3 ^{ns}	1,5 ^{ns}
	90	15,1	1,1	5,3	8,0	2,2	1,5
	135	14,8	1,0	5,7	7,1	2,0	1,5
	180	16,2	1,0	6,1	7,7	2,0	1,3
	C.V. (%)	12,82	4,75	5,79	22,35	25,39	15,64
66 meses	0	16,5 ^{ns}	1,1 ^{ns}	6,5 ^{ns}	6,8 ^{ns}	2,8 [*]	1,4 ^{ns}
	90	15,5	1,1	7,2	6,8	2,6	1,3
	135	15,3	1,1	7,4	6,3	2,3	1,4
	180	14,5	0,9	5,6	5,8	2,1	1,2
	C.V. (%)	14,71	13,46	13,67	15,04	19,03	14,58

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De maneira geral, as concentrações P e S nas folhas do eucalipto ficaram dentro das faixas consideradas adequadas por Gonçalves (2011). Esse autor propõe as seguintes faixas consideradas adequadas para concentrações foliares das espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil: N de 21 a 30 g kg⁻¹; P de 1 a 3 g kg⁻¹; K de 5,5 a 8,5 g kg⁻¹; Ca de 3,5 a 6,0 g kg⁻¹; Mg de 2 a 3 g kg⁻¹ e S de 0,5 a 1,5 g kg⁻¹. No entanto, as concentrações N aos 30, 36, 42 e 66 meses ficaram abaixo da faixa adequada, sendo que, em média os valores das concentrações aos 30, 42 e 66 meses, que compreende o período de estiagem da região (inverno) foram menores que do que aos 36 meses (período chuvoso - verão). Nesse sentido, Assis, Ferreira e Cargnelutti Filho (2006) constataram que as concentrações dos nutrientes nas

folhas de *Eucalyptus urophylla* variam com a época de amostragem, sendo os menores teores obtidos no período seco, para N, K e P.

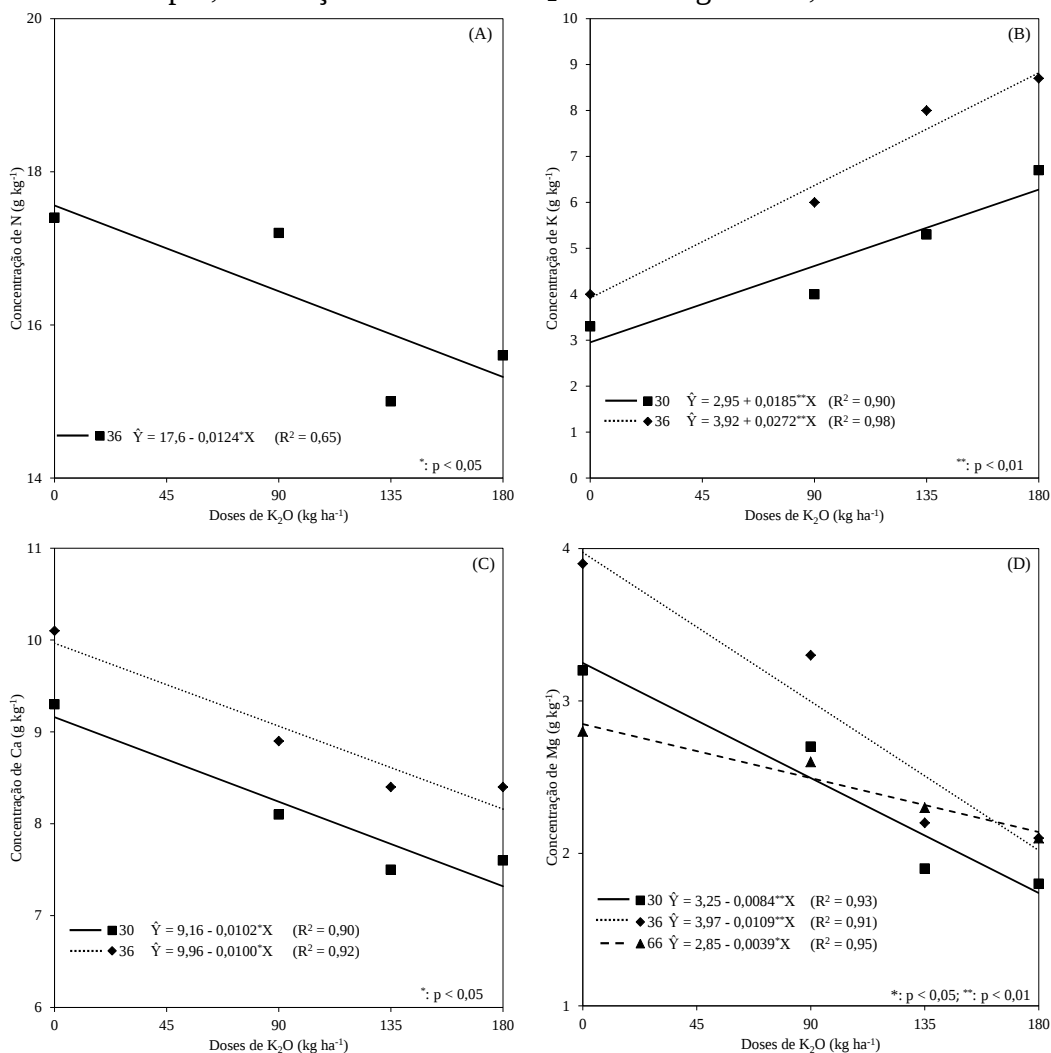
Para o K houve aumento linear das concentrações foliares em função das doses de K_2O (Figura 22 B), enquanto que as de N, Ca e Mg decresceram linearmente (Figuras 22 A, C e D). No tratamento sem a fertilização potássica as concentrações de K ficaram abaixo da faixa adequada ($< 5,5 \text{ g kg}^{-1}$ de K). Melo (2014) constatou em seus experimentos com adubação potássica, que as concentrações de K nas folhas do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *globulus* localizado em Mogi-Guaçu/SP teve relação direta com as doses de K_2O . Para o *Eucalyptus grandis* x *urophylla* aos 12 e 36 meses, em Ribas do Rio Pardo/MS, as maiores concentrações foram verificadas no tratamento que recebeu a maior dose (150 kg ha^{-1} de K_2O).

As menores concentrações de K foram verificadas no período de ocorrência de estiagem da região (30, 42 e 66 meses), pois o principal processo de contato íon/raiz de K pelas raízes é por difusão, que de acordo com Malavolta (1980) é o movimento do íon em uma fase aquosa estacionária, a distâncias curtas. Assim, a absorção desse nutriente é reduzida nesse período por falta de água. Silva (2011) relatou que a fertilização deve suprir a demanda da cultura, principalmente de potássio, pois esse irá ampliar a tolerância da planta devido ao papel desse nutriente na regulação osmótica.

A provável causa da diminuição das concentrações de N deve-se ao “efeito diluição” desse nutriente na folha, uma vez que, com aumento das doses K_2O , houve maior crescimento das plantas (Figura 21), resultando em menor concentração deste. Segundo Valeri et al. (2001), a aplicação de K favoreceu o desenvolvimento das árvores, o que levou à diminuição do teor de N na madeira e nos ramos.

O decréscimo nas concentrações foliares de Ca e Mg em função do aumento de doses de K também foi verificado por Silveira (2000), que avaliou o efeito do K no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solução nutritiva e, constatou em todas as progênies, que a concentração de Ca e Mg nos tecidos vegetais, principalmente nas folhas, foi afetada negativamente com o aumento da dose de K_2O .

Figura 22 - Concentrações de N, K, Ca e Mg (A, B, C e D) aos 30, 36 e 66 meses de idade do eucalipto, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Essa redução está relacionada à fatores externos que influenciam na absorção iônica entre K, Ca e Mg no solo. Neste caso, a elevada concentração de um dos nutrientes no solo leva a menor absorção do outro, o que evidencia o efeito de inibição competitiva. Exemplo tradicional da inibição competitiva é dado por altas concentrações de K no meio e seu efeito na absorção do Ca e Mg. Esse tipo de inibição pode ser vencida quando a concentração externa do elemento é aumentada, pois assim, tem maior probabilidade de ocupar os sítios do carregador, como também é capaz de deslocar o competidor (MALAVOLTA, 2006).

Marschner (1995) relatou que o K pode atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, deprimindo a absorção de cátions “mais lentos” como Ca e Mg. Essa absorção

preferencial de K^+ está associada a sua valência, que é monovalente com menor grau de hidratação comparado aos bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) (PRADO, 2008).

No entanto, a menor absorção desses nutrientes não acarretou em prejuízos para cultura, posto que suas concentrações foliares, mesmo nas condições da aplicação da maior dose de K_2O , a concentração de Ca foi de 7,6 e 8,4 g kg^{-1} (30 e 36 meses, respectivamente) sendo esses valores superiores a faixa adequada descrita por Gonçalves (2011), e a de Mg foi de 1,8; 2,1 e 2,1 g kg^{-1} (30, 36 e 66 meses, respectivamente), valores próximo a faixa adequada.

4.3.3 Folheto

4.3.3.1 Produtividade do folheto

A produtividade total de folheto não foi influenciada pela adubação potássica nos três períodos de avaliação, sendo a produtividade média entre os 30 e 66 meses após o plantio do eucalipto de 13220 kg ha^{-1} (Tabela 40). No entanto, Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses foram produzidas pelo clone do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis* mais de 3500 kg ha^{-1} de folheto sem a aplicação de fertilizantes (NPK) e 7100 kg ha^{-1} com a maior dose de fertilizante, o que demonstra que a produção de folheto foi maior com as doses maiores de fertilizantes. Segundo o autor essa maior produção deve-se ao menor tempo de permanência das folhas fixadas aos galhos do eucalipto em decorrência da adição de fertilizantes que acelera o crescimento das árvores, antecipando a competição intra-específica por luz e água, e devido ao sombreamento mútuo das copas, o que acelera o processo de senescência das folhas, que perderam à sua eficiência fotossintética. No presente estudo, a adubação potássica influenciou no crescimento das plantas de eucalipto, propiciando maior produtividade de madeira (Figura 21), no entanto não interferiu na produção de folheto entre o período de 30 a 66 meses. Laclau et al. (2009) avaliaram a influência da adubação potássica em *Eucalyptus grandis*, e constataram que não houve efeito na produção de folheto entre o período de 9 a 36 meses de idade.

Tabela 40 - Produtividade de folheto entre os períodos de 30 a 42, 42 a 54, 54 a 66 e 30 a 66 meses (total) após o plantio do eucalipto, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Produtividade de folheto nos períodos avaliados (meses)			
	30 a 42	42 a 54	54 a 66	Total
	kg ha ⁻¹			
0	4437 ^{ns}	3825 ^{ns}	4895 ^{ns}	13157 ^{ns}
90	4693	3682	4617	12992
135	4779	3723	4566	13068
180	4692	4298	4671	13661
Média	4650 a	3882 b	4687 a	13220
D.M.S. (5%)		331		
C.V. (%)	4,92	10,38	5,09	5,36

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

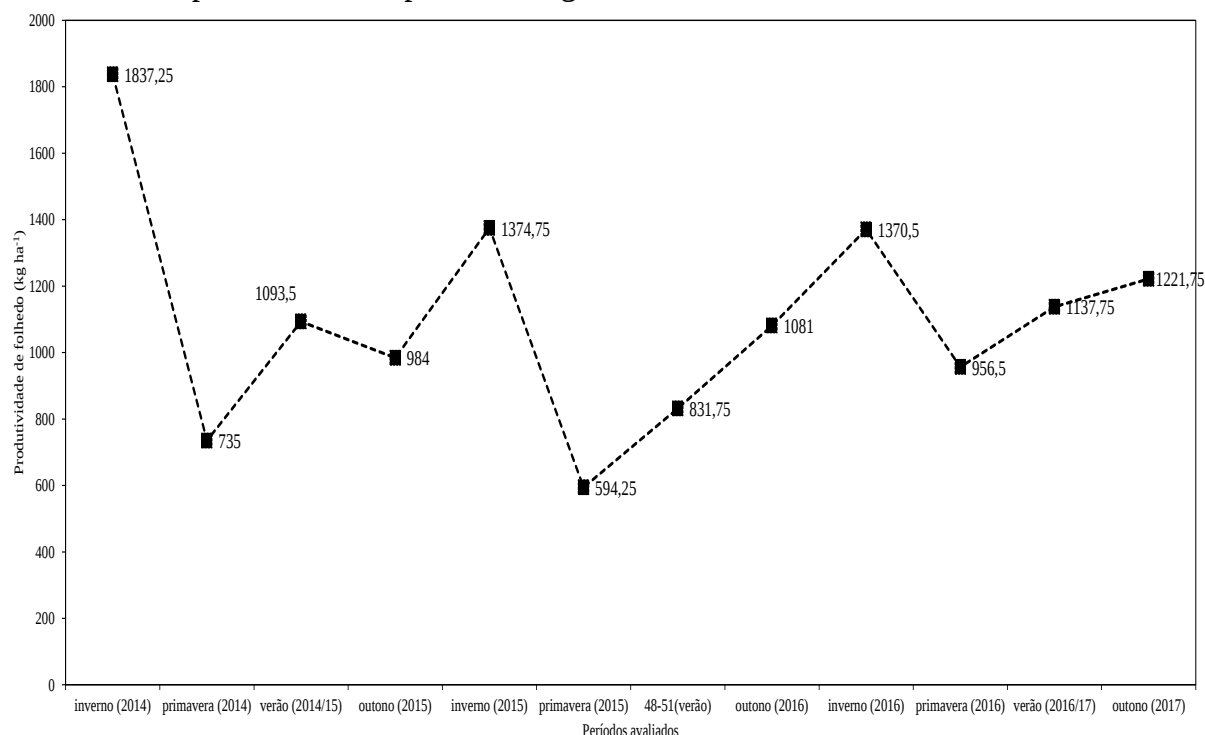
Fonte: Elaboração do próprio autor.

A maior produtividade média de folheto ocorreu na época do inverno (Figura 23). Essa estação é caracterizada por baixa precipitação pluvial por longo período de tempo (estiagem), típico das regiões de Cerrado que apresenta duas estações climáticas bem definidas, com inverno seco e verão chuvoso. Tal fato evidencia que a senescência de folhas pela cultura nesse período é de grande importância para a economia de água. De acordo com Florence (2004), mesmo o eucalipto não sendo uma espécie caducifólia, apresenta como estratégica para reduzir o consumo de água nas épocas de secas do ano, com abscisão de suas folhas. Segundo Taiz e Zeiger (2013), umas das primeiras mudanças na planta para tolerar o estresse causado pela seca é a elevação da sua síntese de etileno, o que resulta na abscisão foliar.

Silva (2011) constatou em seu estudo de impactos das doses de NPK e do parcelamento de NK da fertilização na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que a maior taxa de deposição de folheto ocorreu no início da estiagem. Conti Junior, Silva e Couto (2017) verificaram que a maior deposição de folheto teve início em agosto, período de menor precipitação. De acordo com Silva, Poggiani e Laclau (2011), há interação entre o período de ocorrência de estresse hídrico (seca) com a produção de folheto, sendo verificado maiores taxas de produção no início da estiagem. Barbosa et al. (2017) avaliaram os estoques de biomassa da serrapilheira acumulada em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana e dois plantios florestais puros (*Pterogyne nitens* e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), no sudoeste da Bahia, e constataram que os maiores estoques de biomassa da

serrapilheira ocorreram na estação seca, para o povoamento de eucalipto. De acordo com Silva et al. (2014), as condições climáticas exercem um papel importante na produção de folheto, sendo observado uma alta produção durante a estação seca para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*.

Figura 23 - Produtividade média de folheto de plantas de eucalipto nas quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto. Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

No entanto, outros estudos constataram maior deposição de serrapilheira nos períodos mais quentes e com maiores índices pluviométricos. Vieira et al. (2009) verificaram em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* dos 7 aos 8 anos de idade maior produção mensal de serrapilheira nos meses mais quentes e com maiores pluviosidades. Salvador, Consensa e Araújo (2014) constataram em povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 4,4 anos de idade, em São Gabriel/RS que a deposição de serrapilheira foi alta, principalmente no mês de janeiro e baixa no mês de maio, sendo que a fração folhas foi predominante na sua composição total. Souza (2015) em povoamento de *Eucalyptus grandis* entre 7 e 8 anos de idade, localizada no município de Itatinga/SP, verificou que a deposição de serrapilheira de folhas apresentou variação sazonal, sendo que as maiores ocorreram nos períodos de maior precipitação pluvial,

temperatura e crescimento das árvores. Giácomo et al. (2017) constataram em plantio de *Eucalyptus urograndis* que a maior quantidade de folheto foi depositada durante a estação chuvosa até o início da estação seca, no entanto, não apresentou correlação entre a deposição de folheto com a precipitação.

Variações na deposição folhas senescentes são decorrentes de aspectos fenológicos das plantas ou motivadas por fatores de ordem climática (SOUZA; DAVIDE, 2001, SILVA et al., 2014), da temperatura e umidade relativa do ar (SALVADOR; CONSENSA; ARAÚJO, 2014), da precipitação pluvial (VIEIRA et al., 2009, SOUZA, 2015, GIÁCOMO et al., 2017), de fatores climáticos extremos, como ventos fortes (SCHUMACHER et al., 2008), do espaçamento entre as plantas (FLORES, 2016), do crescimento das plantas (SOUZA, 2015), da idade do povoamento (VIEIRA et al., 2014), da disponibilidade de nutrientes e seca (LARCHER, 2000). De acordo com Selle (2007), o acúmulo da serrapilheira está sujeito a variações que depende da espécie, da idade, do sítio florestal e da disponibilidade de nutrientes no solo. Nesse sentido, a dinâmica da deposição de folheto e do acúmulo da serrapilheira é um processo complexo, pois pode ser influenciado por diversos fatores.

Em relação aos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto), a menor produção de 3882 kg ha⁻¹ de folheto ocorreu entre 42 a 54 meses (Tabela 40). Nesse período, foi verificado maior precipitação acumulada por estação do ano (verão, outono, inverno e primavera) de 1655 mm, enquanto que entre 30 a 42 e 54 e 66 meses de 1062 e 1030 mm, respectivamente (produção de 4650 e 4687 kg ha⁻¹ de folheto, respectivamente), e entre esses períodos constataram-se maiores produções de folheto em relação ao segundo período. Nesse sentido, a maior deposição de folheto em períodos de menor precipitação representa uma estratégia para reduzir o consumo de água pela cultura, pois minimiza as perdas por evapotranspiração. Segundo Silva, Poggiani e Laclau (2011), a maior abscisão de folhas que ocorre em momentos de déficit hídrico pode ser resultado da "estratégia" dos eucaliptos para reduzir o consumo de água.

A produtividade média de folheto entre o período de 30 a 66 meses após o plantio do eucalipto foi de 4407 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Conti Junior, Silva e Couto (2017) constataram para clones de *E. urophylla* x *E. grandis* aos 48 meses de idade que, em média, a produtividade de folheto foi de 2500 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo esse valor inferior aos encontrados na literatura para eucaliptos no Brasil. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *E. grandis* nos primeiros 36 meses após o seu plantio, e verificaram que a deposição foi de 5200

a 5400 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Enquanto que Vieira et al. (2014) constatarem em seu estudo de deposição de serrapilheira do *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* aos 5,5 anos de idade, que a deposição de folhas ao longo do período de quatro anos foi de 5045 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A diferença na produção de folheto é atribuída ao efeito de fatores como a idade do plantio, intensidade de competição entre as plantas, condições ambientais e genótipos avaliado (CONTI JUNIOR; SILVA; COUTO, 2017).

4.3.3.2 Concentrações dos nutrientes no folheto

As doses de K₂O influenciaram as concentrações K e Mg em todos os períodos e as de Ca no período de 42 a 54 meses após o plantio do eucalipto (Tabela 41).

Tabela 41 - Concentrações de macronutrientes nos folhedos de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Períodos (meses)	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹							
30 a 42	0	9,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	2,5 ^{**}	8,6 ^{ns}	2,8 [*]	1,4 ^{ns}
	90	8,7	0,7	2,4	8,9	2,2	1,3
	135	9,1	0,8	3,3	7,8	1,8	1,3
	180	8,7	0,7	4,1	8,4	1,7	1,4
C.V. (%)		6,67	9,26	14,21	5,80	19,01	13,28
42 a 54	0	9,0 ^{ns}	0,7 ^{ns}	2,7 ^{**}	9,3 [*]	2,7 ^{**}	1,4 ^{ns}
	90	8,1	0,6	3,8	9,1	2,5	1,2
	135	8,3	0,7	4,2	8,7	2,2	1,2
	180	8,5	0,7	4,7	8,6	2,0	1,4
C.V. (%)		6,98	9,17	10,52	3,06	7,11	7,25
54 a 66	0	6,8 ^{ns}	0,6 ^{ns}	3,2 ^{**}	8,6 ^{ns}	2,0 [*]	1,2 ^{ns}
	90	6,4	0,6	4,2	8,4	1,8	1,3
	135	6,6	0,7	4,5	7,9	1,7	1,4
	180	6,7	0,7	4,4	8,5	1,7	1,4
C.V. (%)		4,51	13,25	5,27	3,72	7,04	8,33
Média							
30 a 42		9,1 a	0,7 a	3,1 a	8,4 a	2,1 a	1,3 a
42 a 54		8,5 b	0,7 a	3,8 a	8,9 a	2,3 a	1,3 a
54 a 66		6,6 c	0,7 a	4,1 a	8,3 a	1,8 a	1,3 a
D.M.S. (5%)		0,5	0,1	1,1	0,6	0,5	0,1
C.V. (%)		6,82	12,25	20,68	5,55	18,26	10,28

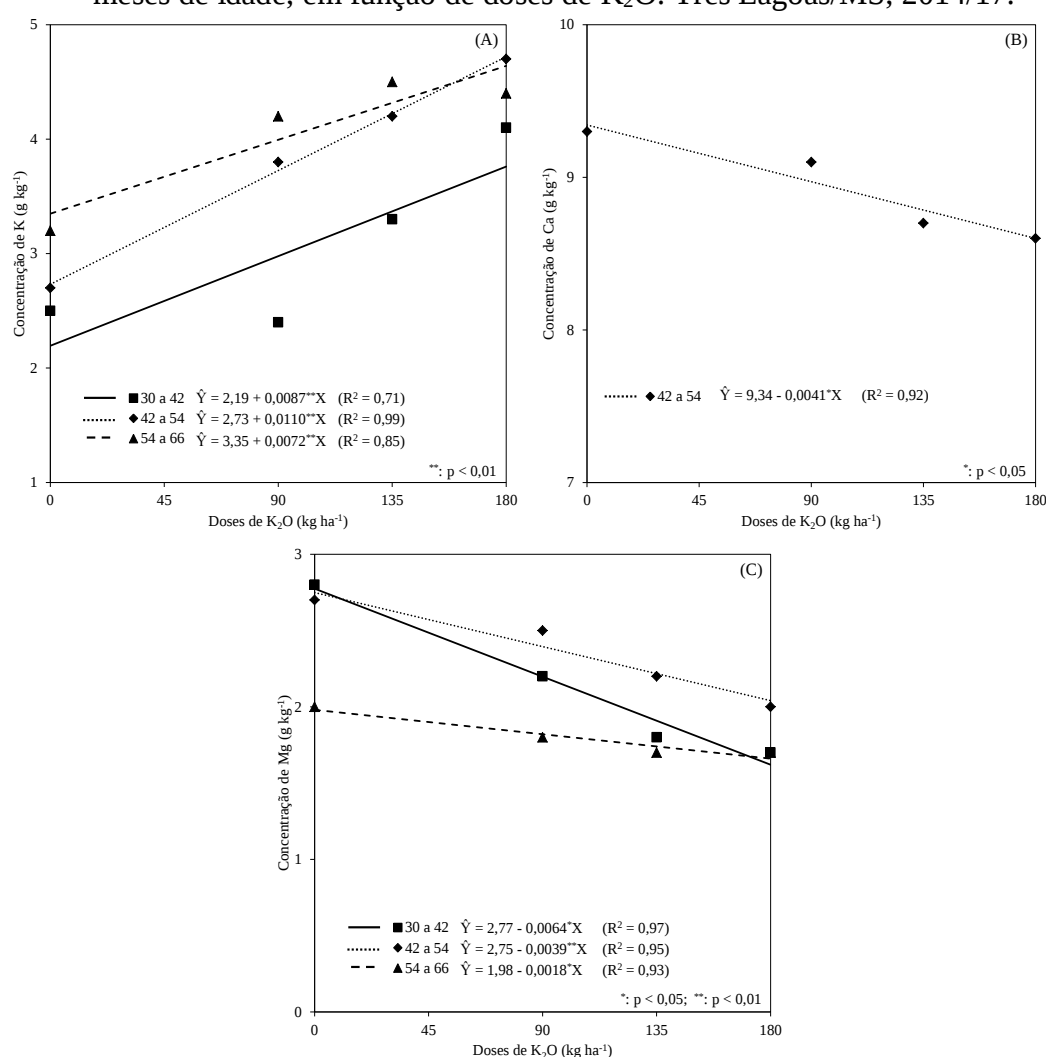
ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O incremento das doses de K₂O propiciou o aumento da concentração de K e a diminuição de Ca e Mg no folheto (Figuras 24 A, B e C), sendo que tal comportamento foi

verificado também para as concentrações desses nutrientes nas folhas (Figuras 22 B, C e D). Para o K no folheto houve aumento linear em função das doses de K_2O , com incrementos de 71, 72 e 39% (30 a 42; 42 a 54 e 54 a 66 meses, respectivamente), da maior dose de K_2O em relação à testemunha. Os Ca e Mg diminuíram linearmente em função das doses de K_2O , sendo que a maior dose propiciou o decréscimo de 8% de Ca no folheto no segundo período de avaliação e para as de Mg de 42, 26 e 16% (30 a 42; 42 a 54 e 54 a 66 meses, respectivamente), em relação à testemunha.

Figura 24 - Concentrações de K, Ca e Mg no folheto do eucalipto entre o período de 30 a 66 meses de idade, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A provável causa da redução da concentração de Ca e Mg no folheto deve-se a relação de antagonismo na absorção de K, Ca e Mg. Exemplo tradicional da inibição competitiva é

dado por altas concentrações de K no solo e no seu efeito na absorção do Ca e Mg. Esse tipo de inibição pode ser superada quando a concentração externa do nutriente é aumentada, pois assim, tem maior probabilidade de ocupar os sítios do carregador, como também é capaz de deslocar o competidor (MALAVOLTA, 2006). Marschner (1995) relatou que o K pode atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, deprimindo a absorção de cátions “mais lentos” como Ca e Mg. Essa absorção preferencial de K^+ está associada a sua valência, que é monovalente com menor grau de hidratação comparado aos bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) (PRADO, 2008).

As concentrações de K no folheto nos três períodos de avaliação não diferiram, apresentando em média $3,7 \text{ g kg}^{-1}$ de K (Tabela 41). Considerando que as concentrações de K foliar nas quatro épocas (30, 36, 42 e 66 meses) foram próxima a de $5,9 \text{ g kg}^{-1}$ de K (Tabela 39), pode-se inferir que 37% desse nutriente teve “ciclagem interna dos nutrientes” (ciclo bioquímico) que é a retranslocação de K das folhas senescentes nos eucaliptos para os tecidos mais novos da planta. No entanto, valores superiores a esse foram verificados em alguns trabalhos da literatura, como de Silva et al. (2013) em que a ciclagem interna (retranslocação) de potássio foi em média de 62% (coletas mensais de folhas e folheto de 12 aos 24 meses) para plantas de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que receberam adubação. Silva, Poggiani e Laclau (2011) verificaram para o *Eucalyptus grandis* ciclagem média de 73% (coletas mensais de folhas e folheto de 12 aos 36 meses). Os maiores valores, obtidos por esses autores deve-se a metodologia adotada, com coletas mensais, diferindo deste estudo, que foi utilizada coletas a cada três meses, por estações (verão, outono, inverno e primavera).

Em relação aos três períodos de avaliação (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto), houve redução das concentrações de N no folheto com a idade da cultura do eucalipto (Tabela 41). Melo (2014) constatou que as concentrações foliares de N, P, Ca, Mg e S do eucalipto diminuíram com a idade, indicando o efeito diluição com o crescimento da floresta. Além, dessa constatação, essa diminuição pode ser atribuída à menor disponibilidade de N no solo com o aumento da idade do povoamento (aumento da absorção desses nutrientes), e conseqüentemente, nas suas concentrações na folha. Outro fator de remoção desses nutrientes deve-se ao elevado potencial de perda pelo processo de lixiviação, pois os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS são constituídos principalmente pela fração areia ao longo do perfil (Tabela 1), o que propicia a intensa lixiviação de nitratos devido a grande macroporosidade e permeabilidade dos solos de textura arenosa.

As concentrações dos macronutrientes no folheto nesses 36 meses (30 a 66 meses) ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ (Tabela 41). Vieira et al. (2014) constataram em seu estudo de deposição de serrapilheira do *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* que a ordem relativa da concentração de macronutrientes nas frações folhas, galhos finos e galhos grossos foi a mesma de $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Também Salvador, Consensa e Araújo (2014) avaliaram a produção de serrapilheira em povoamento de *Eucalyptus saligna* em São Gabriel/RS entre o período de 53 a 65 meses de idade, e verificaram a mesma ordem de concentração dos nutrientes nas folhas senescentes: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

O cálcio apresenta a maior concentração na fração folhas da serrapilheira, pela baixa taxa de redistribuição na planta, fato atribuído a sua baixa solubilidade e concentração no floema, sendo que, a maior parte desse nutriente no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis, como o pectato da lamela média da parede celular (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006).

Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a redistribuição dos nutrientes em *E. grandis* nos primeiros 36 meses após o seu plantio, e constataram valores negativos para a retranslocação de Ca, atribuindo esse fato à acumulação desse nutriente nas folhas senescentes. De acordo com Silva (2011), o Ca é imóvel na planta e uma das suas principais funções está relacionada à estrutura da planta, como parte integrante da parede celular o que gera acúmulo do nutriente no folheto. Nesse sentido, esse nutriente apresenta baixa redistribuição na planta, e consequentemente baixa “ciclagem interna” (ciclo bioquímico). Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) constataram em seu estudo com ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense, que o Ca apresentou as menores intensidades de ciclagem bioquímica e o K as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica.

4.3.3.3 Transferências dos nutrientes para o solo via folheto

As quantidades de N, Ca e S transferida ao solo via deposição de folheto não foram influenciadas pelas doses de K_2O em todos os períodos (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto), sendo o seu efeito verificado somente para P, K e Mg (Tabela 42). As doses de K_2O propiciaram aumentos lineares da transferência de P (total) e de K (30 a 42, 42

a 54, 54 a 66 meses e total) e a diminuição linear de Mg (30 a 42, 54 a 66 meses e total) (Figura 25).

Tabela 42 - Quantidades de macronutrientes transferidas ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Períodos (meses)	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
		kg ha ⁻¹					
30 a 42	0	44,0 ^{ns}	3,0 ^{ns}	10,5 ^{**}	38,4 ^{ns}	11,8 [*]	6,4 ^{ns}
	90	42,4	3,2	10,9	42,6	10,2	6,3
	135	44,3	3,8	14,8	37,7	8,7	6,3
	180	41,8	3,4	17,9	39,8	8,4	6,5
C.V. (%)		7,75	10,24	11,23	3,62	15,68	19,37
42 a 54	0	34,8 ^{ns}	2,8 ^{ns}	10,5 ^{**}	35,6 ^{ns}	10,1 ^{ns}	5,4 ^{ns}
	90	30,3	2,4	13,4	33,4	9,0	4,8
	135	31,1	2,7	14,9	32,8	8,0	4,5
	180	36,7	3,3	20,2	37,1	8,7	5,7
C.V. (%)		13,95	16,84	17,41	11,62	14,91	15,81
54 a 66	0	33,4 ^{ns}	2,8 ^{ns}	15,5 [*]	41,4 ^{ns}	9,9 ^{**}	5,5 ^{ns}
	90	29,7	2,7	19,1	38,6	8,6	5,8
	135	30,2	3,4	20,3	35,6	7,7	5,7
	180	31,3	3,3	20,5	38,9	8,1	5,4
C.V. (%)		5,44	16,68	9,84	3,16	7,33	10,32
Total	0	112,2 ^{ns}	8,6 [*]	36,5 ^{**}	115,4 ^{ns}	31,8 [*]	16,5 ^{ns}
	90	102,4	8,3	43,4	114,6	27,8	16,4
	135	105,6	9,8	50,0	106,1	24,4	16,7
	180	109,8	9,9	58,6	115,9	25,2	17,6
C.V. (%)		6,39	7,79	7,01	4,79	9,54	11,09
Média							
30 a 42		43,2 a	3,3 a	13,5 a	39,6 a	9,8 a	6,4 a
42 a 54		33,2 b	2,8 a	14,8 a	34,7 b	9,0 a	5,0 b
54 a 66		31,1 b	3,0 a	18,8 a	38,6 a	8,6 a	6,0 a
D.M.S. (5%)		3,5	0,5	5,5	3,2	1,6	0,8
C.V. (%)		9,60	15,55	22,47	8,47	17,66	14,20
Total		107,5	9,1	47,1	112,9	27,4	17,4

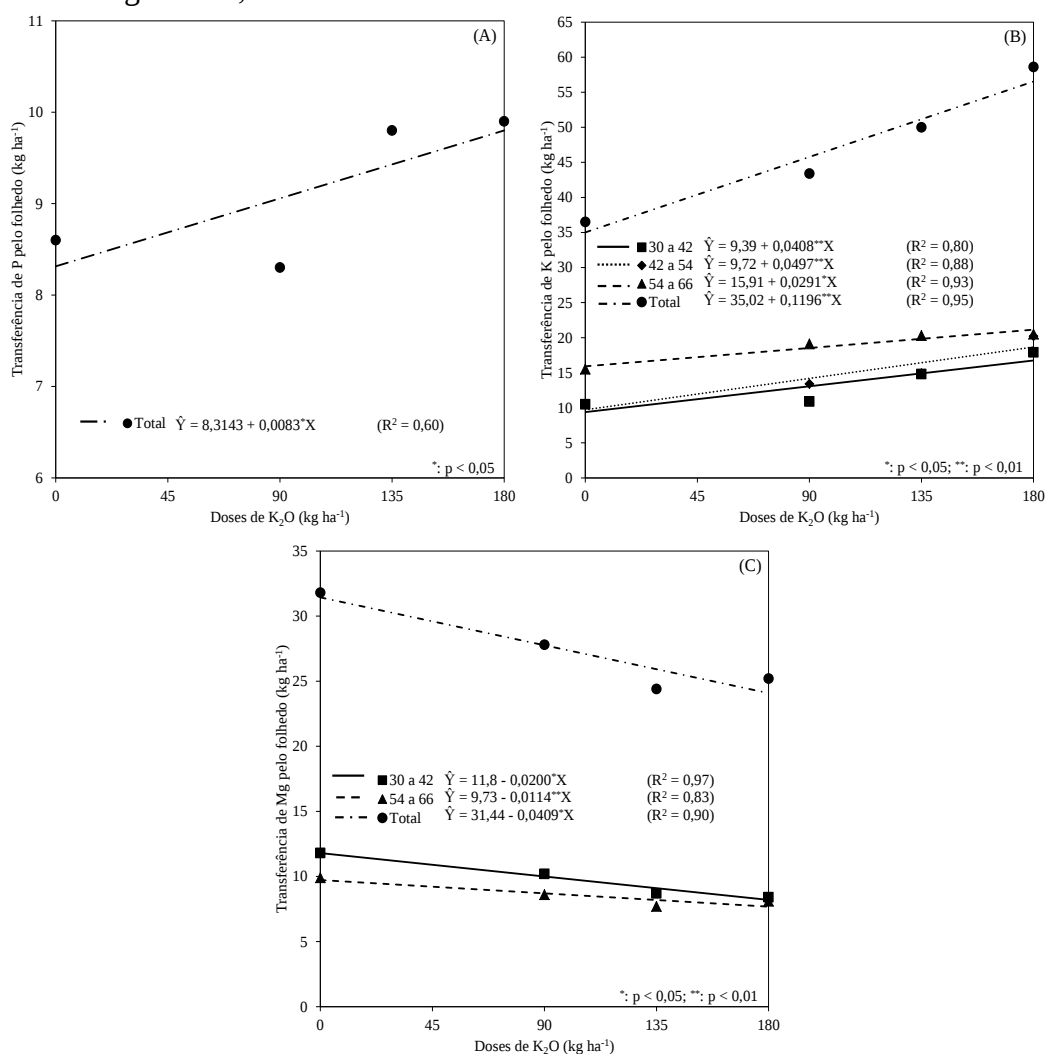
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Entre o período de 30 a 66 meses (total), as quantidades de P transferidas ao solo pela deposição de folheto aumentaram linearmente com as doses de K₂O (Figura 25A), sendo que a quantidade total obtida com a maior dose de K₂O (180 kg ha⁻¹) em 36 meses (30 a 66 meses) foi de 9,8 kg ha⁻¹ de P e com a testemunha de 8,3 kg ha⁻¹ de P, o que corresponde no aumento de 18,0% de P transferido para o solo.

Figura 25 - Quantidades de P, K e Mg transferidas ao solo pela deposição de folhede de plantas de eucalipto nos períodos avaliados, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2014/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Semelhante ao que ocorreu para as concentrações de K e Mg no folhede, as quantidades desses nutrientes transferidas para o solo aumentaram e diminuíram, respectivamente (Figuras 25 B e C). Com o incremento das doses de K_2O as quantidades de K transferida para o solo aumentaram em 61% ($56,5\ kg\ ha^{-1}$ de K) e as de Mg diminuíram em 23% (redução de $7,4\ kg\ ha^{-1}$ de Mg), comparando a maior dose com a testemunha. Tal fato está associado ao fornecimento crescente de potássio à planta que propiciou, como relatado, o aumento das concentrações de K nos tecidos foliares e a diminuição de Mg (Figuras 22 B e D), pois a produtividade do folhede não foi influenciada pelas doses de K_2O (Tabela 40). Nesse sentido, a adubação potássica teve efeito na ciclagem de P e K (ciclo biogeoquímico),

alterando positivamente o retorno desses nutrientes ao solo e negativamente a ciclagem de Mg. Além disso, fornecem às árvores, de forma contínua, os nutrientes para o sistema radicular, por meio da degradação do folheto depositado sobre o solo após sua mineralização.

Silva (2011) constatou que dos 12 aos 24 meses de idade as quantidades de N, K, Ca, Mg e S transferidas pela deposição do folheto no solo pelo *Eucalyptus urophylla* x *grandis* foram maiores nos tratamentos com a aplicação de fertilizantes, devido principalmente à maior produção de folheto nesses tratamentos. Silva, Poggiani e Laclau (2011) avaliaram a deposição de folheto do *E. grandis* e, constataram que a aplicação de lodo de esgoto propiciou maior reciclagem de nutrientes devido ao aumento na queda das folhas.

Nos três períodos avaliados (30 a 42, 42 a 54 e 54 a 66 meses após o plantio do eucalipto) houve diminuição da transferência de N para o solo pelo folheto (Tabela 42), tal fato, deve-se a menor concentração desse nutriente no folheto com a idade da cultura do eucalipto (Tabela 41). As transferências de Ca e S foram menores no período de 42 a 54 meses, devido a menor produção de folheto nesse período (Tabela 40).

Em relação ao total transferido dos macronutrientes pelas plantas de eucalipto entre o período de 30 e 66 meses, ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ com as seguintes quantidades (kg ha^{-1}): $\text{Ca} = 112,9$; $\text{N} = 107,5$; $\text{K} = 47,1$; $\text{Mg} = 27,4$; $\text{S} = 17,4$ e $\text{P} = 9,1$. O K é o terceiro nutriente mais transferido, no entanto, é o que se disponibiliza mais rapidamente para as plantas, pois de acordo com Meurer (2006) esse nutriente não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta, sendo encontrado como cátion livre. Portanto, o K é liberado rapidamente durante o processo de decomposição do folheto, apresentando assim as maiores intensidades de ciclagem biogeoquímica.

Salvador, Consensa e Araújo (2014) verificaram que da serrapilheira depositada no piso florestal, o potássio na fração folha é a mais importante. Segundo Caldeira et al. (2008), a ciclagem desse nutriente na relação solo/planta é mais rápida do que a de outros nutrientes, por se tratar de um cátion monovalente. De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005), as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica foram do K. Segundo Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), cerca de 50% do K foi rapidamente liberado da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* até os 116 dias. O que evidencia o seu rápido retorno para o solo via a decomposição do folheto.

Silva (2011) verificou que dos 12 aos 24 meses, o Ca e o N foram os nutrientes mais transferidos via deposição de folhedos do eucalipto. Salvador, Consensa e Araújo (2014) constataram em povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 4,4 anos de idade, que o material depositado (serrapilheira: folhas, galhos finos, galhos grossos e miscelânea) contribuiu significativamente para a manutenção do ciclo biogeoquímico através da elevada liberação dos macronutrientes para o sítio florestal, os quais apresentaram a seguinte ordem de contribuição: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. O mesmo padrão foi verificado por Vieira et al. (2014) que constataram transferência de macronutrientes ao solo do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* aos 5,5 anos de idade de $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

4.3.4 Fertilidade do Solo

A adubação potássica influenciou os teores de P na entrelinha da camada superficial do solo cultivado com eucalipto aos 36 meses após o seu plantio (Tabela 43). Esses teores diminuíram linearmente com incremento das doses de K_2O (Figura 26). Melo (2014) verificou em seu estudo com a adubação potássica em quatro povoamentos de eucaliptos em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de P (resina) não foram influenciados pelas doses de K_2O .

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes no solo proposto por Raij et al. (1997), os teores de P na linha aos 36 meses estão próximos do muito altos ($> 16 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, para espécies florestais), aos 48 meses estão altos (9 a 16 mg dm^{-3} de P, para espécies florestais) e aos 60 e 66 meses estão médios (6 a 8 mg dm^{-3} de P, para espécies florestais). Na entrelinha de plantio os teores estão baixos (3 a 5 mg dm^{-3} de P). Os maiores valores verificados na linha estão associados ao modo de aplicação do fertilizante fosfatado e a baixa mobilidade do nutriente no solo (aplicado no sulco de plantio).

Os teores de P na camada de 0 a 20 cm da entrelinha decresceram com o aumento das doses de K_2O (Figura 26). Na camada superficial os teores de P, na ausência da fertilização potássica, foi de $4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e com aplicação de 180 kg ha^{-1} de K_2O para $2,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, propiciando redução de 32,5% de P. Os teores de P se correlacionaram negativamente com a produtividade de madeira ($r = -0,70^*$), nesse sentido, a redução nos seus teores pode estar associado ao aumento da produtividade em função do incremento de doses de K_2O (Figura 21), o que levaria a maior absorção de P do solo pelas plantas de eucalipto.

Tabela 43 - Teores de fósforo no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015/17.

P_{resina} (mg dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K₂O (kg ha⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	15,30 ^{ns}	9,00 ^{ns}	7,60 ^{ns}	7,00 ^{ns}
	90	16,30	11,30	9,03	7,67
	135	19,33	12,00	8,87	6,66
	180	11,67	9,00	7,92	7,67
C.V. (%)		16,99	15,04	7,39	15,42
Média		15,67 a	10,33 b	8,35 c	7,25 c
D.M.S. (5%)			1,93		
C.V. (%)			16,72		
20-40	0	17,30 ^{ns}	13,67 ^{ns}	10,13 ^{ns}	7,66 ^{ns}
	90	19,00	15,00	11,10	8,33
	135	17,33	16,30	11,56	8,00
	180	13,00	8,30	8,55	9,67
C.V. (%)		16,82	16,66	25,07	22,14
Média		16,67 a	13,33 b	10,33 bc	8,41 c
D.M.S. (5%)			3,14		
C.V. (%)			23,19		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	4,00*	3,00 ^{ns}	2,85 ^{ns}	3,00 ^{ns}
	90	3,33	3,34	2,70	2,33
	135	3,00	3,00	2,38	2,00
	180	2,67	2,00	1,90	2,00
C.V. (%)		24,59	17,44	32,99	27,66
Média		3,25 a	2,83 a	2,46 a	2,33 a
D.M.S. (5%)			1,21		
C.V. (%)			16,46		
20-40	0	2,00 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,90 ^{ns}	2,00 ^{ns}
	90	2,00	1,68	1,74	2,00
	135	2,30	1,68	1,43	1,30
	180	2,00	1,70	1,58	1,67
C.V. (%)		11,18	16,50	13,49	21,30
Média		2,08 a	1,75 a	1,66 a	1,75 a
D.M.S. (5%)			0,48		
C.V. (%)			23,71		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

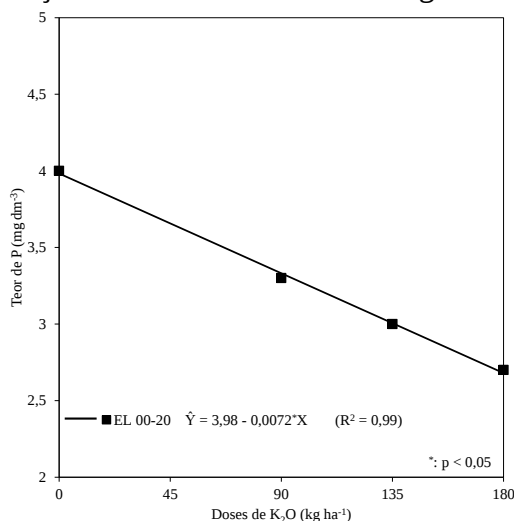
ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A disponibilidade de P na linha em ambas profundidades no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 43), sendo que os maiores teores desse nutriente foram aos 36 meses após o plantio do eucalipto e os menores nos meses subsequentes. A maior redução nos teores de P no solo ocorreu entre os 36 e 48 meses de idade. Entre o período de 36 e 66 meses após o plantio do eucalipto os teores de fósforo foi reduzidos em 54 e 50% (0 a 20 cm - L e 20 a 40 cm - L, respectivamente), essa redução pode estar associada ao maior crescimento da cultura com a idade e consequentemente, maior quantidade de P absorvida do solo. Melo

(2014) verificou para povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, que os teores de P diminuíram com a idade das plantas, sendo aos 0 meses de 3,0 mg dm⁻³ para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, enquanto que aos 48 meses os teores médios de P no solo foram de 1,3; 1,2 e 0,6 mg dm⁻³, respectivamente.

Figura 26 - Teores de P no solo na entrelinha de plantio do eucalipto (0-20 cm) aos 36 meses de idade, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Silveira e Gava (2004) relataram que o P disponível pelo método resina, considerando diversos tipos de solo, não seria suficiente para atender à demanda total média do nutriente pelo *Eucalyptus* com idade de 7 anos aproximadamente, sendo esse de 9,8 kg ha⁻¹ nos primeiros 20 cm. Considerando os teores de P disponível na linha de plantio e na camada arável do solo aos 66 meses de idade, o valor de P em kg ha⁻¹ seria de 14,5 e na entrelinha de plantio de 4,7. Portanto, em relação ao cultivo de segunda rotação (replantio ou condução de rebrota) é interessante destacar que os teores desse nutriente estão adequados, não sendo necessária a adubação fosfatada para o próximo ciclo, devido ao efeito residual deste nutriente, além disso, a decomposição da serrapilheira e dos resíduos deixados após a colheita podem transferir esse nutriente para o solo, sendo que entre o período de 30 a 36 meses foi transferido via deposição de folheto 9,1 kg ha⁻¹ de P. Assim sendo, não haveria respostas dos ciclos subsequentes da cultura a adubação fosfatada, pois de acordo com Gonçalves et al. (2008) solos com teores de P acima de 4 mg dm⁻³, as plantações de eucalipto apresentam pequenas respostas ou não respondem à adubação fosfatada.

A adubação potássica não influenciou os teores de enxofre no solo cultivado com eucalipto nos quatro períodos de avaliação (Tabela 44). De acordo com os limites de interpretação dos teores desse nutriente proposto por Raij et al. (1997), os seus teores são tidos como baixos (0 a 4 mg dm⁻³ de S), sendo que os maiores valores ocorreram na entrelinha na camada de 20 a 40 cm, mesmo com a aplicação de gesso (500 kg ha⁻¹) a lanço e em área total antes da implantação do experimento.

Tabela 44 - Teores de enxofre no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015/17.

S-SO ₄ (mg dm ⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	5,00 ^{ns}	2,66 ^{ns}	2,38 ^{ns}	2,30 ^{ns}
	90	4,70	3,00	2,53	2,33
	135	4,33	3,33	2,85	2,67
	180	4,33	3,00	2,69	2,67
C.V. (%)		18,52	26,64	20,81	26,67
Média		4,58 a	3,00 b	2,61 b	2,50 b
D.M.S. (5%)			1,15		
C.V. (%)			32,76		
20-40	0	4,67 ^{ns}	2,67 ^{ns}	2,54 ^{ns}	2,66 ^{ns}
	90	4,67	3,00	2,69	2,67
	135	4,70	3,00	3,17	3,66
	180	4,00	3,30	3,17	3,33
C.V. (%)		13,87	15,43	23,25	18,82
Média		4,50 a	3,00 b	2,89 b	3,08 b
D.M.S. (5%)			1,13		
C.V. (%)			30,20		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	4,00 ^{ns}	3,67 ^{ns}	3,17 ^{ns}	3,00 ^{ns}
	90	3,34	3,67	3,17	3,00
	135	4,00	4,00	3,00	2,30
	180	6,00	3,70	3,17	3,00
C.V. (%)		23,08	25,53	23,22	26,96
Média		4,33 a	3,75 ab	3,13 b	2,83 b
D.M.S. (5%)			1,03		
C.V. (%)			26,32		
20-40	0	3,00 ^{ns}	4,00 ^{ns}	3,80 ^{ns}	4,00 ^{ns}
	90	5,00	5,00	4,12	3,67
	135	5,00	4,67	4,12	4,00
	180	6,00	4,68	4,75	3,33
C.V. (%)		27,85	19,94	16,45	21,31
Média		4,75 ab	5,08 a	4,20 ab	3,75 b
D.M.S. (5%)			1,15		
C.V. (%)			23,25		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A disponibilidade de S no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 44), sendo que os maiores teores desse nutriente foram aos 36 meses após o plantio do eucalipto e os menores nos meses subsequentes. Entre o período de 36 a 66 meses após o plantio do eucalipto os teores de enxofre reduziram de 45; 32 e 47% (0 a 20 cm - L; 20 a 40 cm - L e 0 a 20 cm - EL, respectivamente). Essa redução pode estar associada ao maior crescimento da cultura com a idade e consequentemente, maior quantidade de S absorvida do solo pelas plantas.

Raij (2011) relatou que em muitos casos, o ânion SO_4^{2-} não fica retido no solo, sendo esse facilmente lixiviado, e em condições que predominam óxidos Fe e Al no solo, pode haver a adsorção deste ânion no subsolo. No presente trabalho, são propícias as condições para ocorrências desses efeitos, pois trata-se de um solo com textura arenosa, o que resulta em maior lixiviação desse nutriente, o que pode ser verificado pela sua maior disponibilidade, nos quatro períodos avaliados, na camada mais profunda (20 a 40 cm). Além, dessa constatação, essa redução pode ser atribuída à menor da disponibilidade de S no solo com o aumento da idade do povoamento (aumento da absorção desse nutriente).

Os teores de K no solo, na linha (camada superficial) aos 36 e 66 meses e na entrelinha na camada mais profunda em todas as épocas avaliadas, foram influenciados pelas doses de K_2O (Tabela 45). Os seus teores na camada superficial da linha e subsuperficial da entrelinha de plantio aumentaram linearmente com incremento das doses de K_2O (Figuras 27 A e B). A dose de 180 kg ha^{-1} de K_2O foi suficiente para atingir teores de K no solo classificados como muito baixos ($0,0$ a $0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K) na profundidade de 0 a 20 cm na linha de plantio, sendo esses de 0,33; 0,33; 0,35 e $0,40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, respectivamente, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto. Na entrelinha de plantio na camada subsuperficial, foram classificados também como muito baixos, sendo os teores de 0,34; 0,27; 0,24 e $0,23 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, respectivamente, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio do eucalipto. Esses valores são semelhantes ao encontrado na análise inicial do solo ($0,2$ e $0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente,) o que evidencia a elevada extração e lixiviação desse nutriente pela cultura ao longo do 5,5 anos de cultivo.

Melo (2014) constatou em seu estudo de adubação potássica em diferentes sítios florestais que a aplicação de doses de K (0 , 50 , 100 e 150 kg ha^{-1} de K_2O) não resultou em diferenças nos teores de K no solo aos 24 e 48 meses pós-plantio. Esse fato, segundo o autor,

pode ser atribuído ao seu parcelamento e à rápida absorção desse nutriente pela cultura, e ainda verificou em outro sítio florestal (município de Paulistânia/SP em NEOSSOLO QUATZARÊNICO) que a adubação potássica influenciou diretamente nos teores de K no solo, sendo que aos 60 meses houve o seu aumento com as doses de K_2O .

Tabela 45 - Teores de potássio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2015/17.

K (mmol_c dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K_2O (kg ha⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	0,10*	0,30 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,26*
	90	0,20	0,26	0,29	0,33
	135	0,17	0,30	0,33	0,40
	180	0,33	0,33	0,35	0,40
	C.V. (%)	7,47	12,42	16,59	5,06
	Média	0,20 b	0,30 a	0,31 a	0,35 a
	D.M.S. (5%)		0,09		
	C.V. (%)		27,83		
20-40	0	0,10 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,20 ^{ns}
	90	0,13	0,23	0,26	0,30
	135	0,13	0,20	0,21	0,23
	180	0,20	0,23	0,22	0,23
	C.V. (%)	4,56	20,35	21,51	4,68
	Média	0,14 b	0,22 a	0,22 a	0,24 a
	D.M.S. (5%)		0,07		
	C.V. (%)		30,18		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	0,17 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,20 ^{ns}
	90	0,17	0,30	0,27	0,27
	135	0,20	0,30	0,27	0,27
	180	0,17	0,26	0,22	0,20
	C.V. (%)	4,78	10,83	10,44	14,29
	Média	0,17 b	0,27 a	0,24 a	0,23 a
	D.M.S. (5%)		0,05		
	C.V. (%)		18,34		
20-40	0	0,10*	0,17*	0,15**	0,15*
	90	0,10	0,20	0,14	0,10
	135	0,47	0,23	0,21	0,20
	180	0,34	0,27	0,24	0,23
	C.V. (%)	10,16	25,51	13,93	18,89
	Média	0,25 a	0,22 a	0,18 a	0,17 a
	D.M.S. (5%)		0,10		
	C.V. (%)		45,68		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

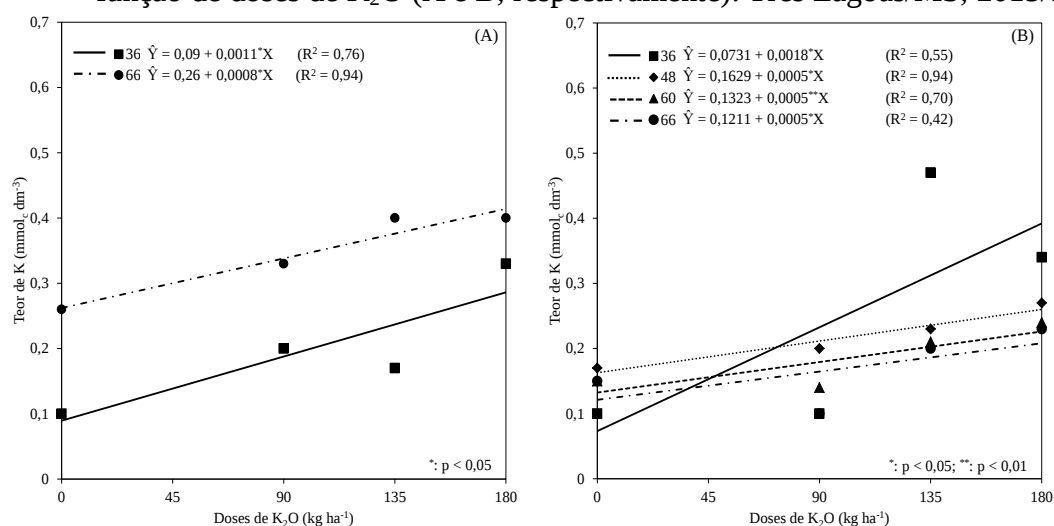
Fonte: Elaboração do próprio autor.

A disponibilidade de K no solo foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 45), sendo que os seus teores aumentaram em 75; 71 e 35% (0 a 20 cm - L; 20 a 40

cm - L e 0 a 20 cm - EL, respectivamente), entre o período de 36 a 66 meses. Tal aumento pode ser explicado pelo processo da ciclagem biogeoquímica, pois o potássio foi o terceiro nutriente mais transferido para o solo via deposição de folheto (Tabela 42). Melo (2014) constatou em um dos sítios florestais avaliados, que os teores de K aumentaram entre 24 e 48 meses, atribuindo a esse efeito ao processo de ciclagem de nutrientes, oriundos da deposição de galhos e folhas. Segundo Gonçalves et al. (2008), esse processo tem início a partir do segundo ano do ciclo da cultura do eucalipto, sendo responsável pela mineralização dos nutrientes contidos na serrapilheira.

De acordo com Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) as maiores intensidades de ciclagem bioquímica e biogeoquímica em florestas de eucalipto foram do K. Segundo Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), cerca de 50% do K foi rapidamente liberado da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* até os 116 dias. O que evidencia o seu rápido retorno para o solo via a decomposição do folheto. No entanto, os teores desse nutriente no solo são ainda classificados como muito baixos, sendo necessária a adubação potássica para os próximos ciclos.

Figura 27 - Teores de K no solo na linha de plantio do eucalipto (0-20 cm) aos 36 e 66 meses de idade após o plantio e na entrelinha (20-40 cm) aos 36, 48, 60 e 66 meses, em função de doses de K₂O (A e B, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2015/17.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com a finalidade de avaliar o processo de lixiviação de K para camadas mais profundas do solo foi realizado aos 66 meses após o plantio do eucalipto amostragens de solo nas profundidades de 40 a 60 e de 60 a 80 cm. Os teores de K no solo na camada superficial

da última avaliação foram superiores às camadas de 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm (Tabela 46), demonstrando que o processo de lixiviação de K foi reduzido, provavelmente, pelo parcelamento da adubação potássica em três aplicações, aos 2, 9 e 14 meses (Tabela 3).

Silva et al. (2013) constataram em, NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, que a redução do parcelamento da aplicação de K, propiciou maior quantidade desse nutriente lixiviado a 90 cm durante o primeiro ano, e com o seu parcelamento (três aplicações) a maior quantidade de K lixiviado a 20 cm, ocorreu durante o segundo ano, após terceira aplicação da fertilização, não sendo verificado o aumento da concentração na maior profundidade. Tal fato explica que o principal mecanismo de remoção desse nutriente nas camadas mais superficiais do solo foi a sua extração pela cultura do eucalipto, pois nesse estudo as doses de K_2O foram, assim como no desses autores, parceladas em três aplicações, logo, as perdas pelo processo de lixiviação foram reduzidas. Melo (2014) constatou que a adubação potássica não resultou em diferenças nos teores de K no solo aos 24 e 48 meses pós-plantio. Esse fato, segundo o autor, pode ser atribuído ao seu parcelamento e à rápida absorção desse nutriente pela cultura.

Tabela 46 - Teores de K no solo na entrelinha das plantas do híbrido *E. urophylla*, nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, avaliados aos 66 meses após o plantio, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2017.

Profundidades	Doses de K ($kg\ ha^{-1}$)				Média
	0	90	135	180	
cm					
0-20	0,20 a	0,27 a	0,27 a	0,20 ab	0,23 a
20-40	0,15 a	0,10 b	0,20 a	0,23 a	0,17 b
40-60	0,10 a	0,13 b	0,17 a	0,13 ab	0,13 b
60-80	0,10 a	0,10 b	0,17 a	0,10 b	0,12 b
D.M.S. doses x prof.	0,11				
D.M.S. prof.	0,05				
C.V. (%)	29,34				

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os teores de cálcio não foram influenciados pela adubação potássica (Tabela 47). De forma geral, os teores de Ca, de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1997) estão baixos ($< 3\ mmol_c\ dm^{-3}$ de Ca), mesmo com aplicação à lanço e em área total de $1500\ kg\ ha^{-1}$ de calcário (PRNT de 80%) e mais $500\ kg\ ha^{-1}$ de gesso antes da implantação do experimento. Melo (2014) constatou em seu estudo com a adubação potássica em quatro povoamentos de espécies de eucaliptos, em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de Ca não foram influenciados pelas doses de K_2O nas diferentes idades da cultura.

A disponibilidade de Ca no solo não foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 47). Entretanto, Melo (2014) constatou pequenas variações nos teores de Ca no solo entre os 48 e 60 meses de idade do povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e, que de modo geral, foram próximos aos encontrados no início do experimento.

Tabela 47 - Teores de cálcio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015/17.

Ca (mmol _c dm ⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	4,67 ^{ns}	2,33 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,00 ^{ns}
	90	1,70	2,67	2,96	3,50
	135	1,00	2,00	2,16	2,50
	180	2,00	2,30	2,56	3,00
C.V. (%)		21,19	17,21	18,33	27,27
Média		2,33 a	2,33 a	2,44 a	2,75 a
D.M.S. (5%)			1,06		
C.V. (%)			15,35		
20-40	0	2,00 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	90	1,00	1,00	1,28	1,67
	135	1,00	1,33	1,28	1,33
	180	1,33	1,33	1,28	1,33
C.V. (%)		22,12	23,53	20,99	12,50
Média		1,33 a	1,42 a	1,32 a	1,33 a
D.M.S. (5%)			0,65		
C.V. (%)			14,12		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	1,30 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,76 ^{ns}	2,00 ^{ns}
	90	1,30	1,33	2,10	3,00
	135	1,00	1,00	1,12	1,33
	180	4,30	1,30	1,12	1,00
C.V. (%)		13,92	17,22	13,37	12,67
Média		2,00 a	1,33 a	1,52 a	1,83 a
D.M.S. (5%)			0,73		
C.V. (%)			13,91		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	90	1,30	1,00	1,12	1,33
	135	1,00	1,00	1,00	1,00
	180	1,00	1,00	1,00	1,00
C.V. (%)		26,65	14,49	30,54	26,65
Média		1,08 a	1,17 a	1,08 a	1,08 a
D.M.S. (5%)			0,44		
C.V. (%)			35,63		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O Ca foi o macronutriente mais transferido pelas plantas de eucalipto para o solo via deposição de folheto entre o período de 30 e 66 meses ($112,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca) (Tabela 42). No entanto, não influenciou na disponibilidade desse nutriente no solo. Tal fato pode ser atribuído à baixa mobilidade do nutriente na planta, sendo que, a maior parte do Ca no tecido vegetal encontra-se em formas insolúveis, como o pectato da lamela média da parede celular (FAQUIM, 2005; MALAVOLTA, 2006). Portanto, o Ca apresenta baixa liberação para o solo pela decomposição de folheto, que de acordo com Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), a liberação líquida de Ca da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no período de 1 ano foi de 18 a 20%.

Os teores de Mg também não foram influenciados pela adubação potássica (Tabela 48). De forma geral, os teores de Mg de acordo com a classificação proposta por Raij et al. (1997) estão baixos ($< 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg), mesmo com aplicação à lanço e em área total de 1500 kg ha^{-1} de calcário (PRNT de 80%), antes da implantação do experimento. Melo (2014) constatou em quatro povoamentos de espécies de eucaliptos em diferentes condições edafoclimáticas, que os teores de Mg do solo não foram influenciados pela adubação potássica nas diferentes idades da cultura.

A disponibilidade de Mg no solo não foi influenciada nas quatro épocas de avaliação (Tabela 48). Sendo que a quantidade de $27,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg transferida ao solo pela deposição de folheto no período de 30 a 66 meses (Tabela 42), não resultou na alteração dos teores desse nutriente no solo. Melo (2014) constatou que os teores de Mg na camada de 0 a 10 cm aumentaram aos 48 e 60 meses de idade do povoamento de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* quando comparados aos teores encontrados na fase inicial, no entanto, não explicou a causa para tal efeito.

Tabela 48 - Teores de magnésio no solo na linha e entrelinha das plantas de eucalipto nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015/17.

Mg (mmol_c dm⁻³) nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K₂O (kg ha⁻¹)	Linha (L)			
		36	48	60	66
0-20	0	3,00 ^{ns}	2,30 ^{ns}	1,92 ^{ns}	1,66 ^{ns}
	90	1,70	2,67	2,24	2,00
	135	1,00	2,30	2,10	2,00
	180	1,00	1,33	1,76	2,33
C.V. (%)		24,53	15,47	22,63	27,64
Média		1,67 a	2,17 a	2,00 a	2,00 a
D.M.S. (5%)			0,98		
C.V. (%)			15,89		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	90	1,30	1,00	1,12	1,33
	135	1,00	1,30	1,12	1,00
	180	1,00	1,00	1,00	1,00
C.V. (%)		26,65	29,81	23,69	26,65
Média		1,08 a	1,25 a	1,12 a	1,08 a
D.M.S. (5%)			0,35		
C.V. (%)			28,14		
Entrelinha (Projeção da Copa) (EL)					
0-20	0	1,30 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,30 ^{ns}
	90	1,30	2,00	1,92	2,00
	135	1,00	1,00	1,12	1,33
	180	3,00	1,00	1,00	1,00
C.V. (%)		12,92	19,92	12,60	11,44
Média		1,67 a	1,25 a	1,28 a	1,42 a
D.M.S. (5%)			0,71		
C.V. (%)			14,69		
20-40	0	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
	90	1,30	1,00	1,12	1,33
	135	1,00	1,03	1,00	1,00
	180	1,00	1,00	1,00	1,00
C.V. (%)		26,65	2,86	13,39	26,65
Média		1,08 a	1,01 a	1,00 a	1,08 a
D.M.S. (5%)			0,24		
C.V. (%)			20,76		

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.5 Balanço dos nutrientes

4.3.5.1 Balanço dos nutrientes nas folhas (relação log isométrica - ilr)

Os balanços de [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg] nas folhas do eucalipto aos 30 e 36 meses foram influenciados pela adubação potássica (Tabela 49). Nas duas primeiras avaliações os valores desses balanços aumentaram linearmente com as doses de K₂O (Figuras 28 A e B).

Tabela 49 - Balanço dos macronutrientes (relação log isométrica) nas folhas de eucalipto aos 30, 36, 42 e 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2014/17.

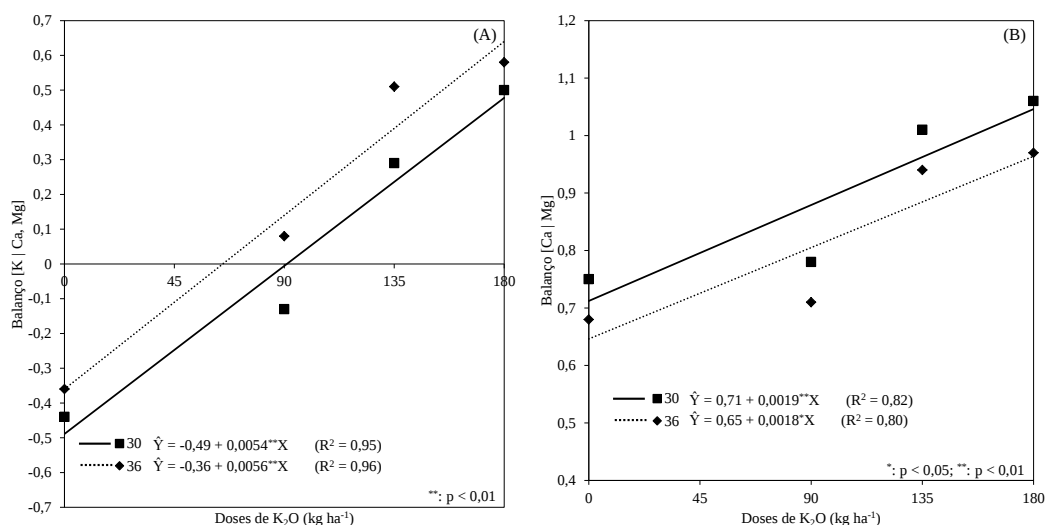
Idade	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	ilr1	ilr2	ilr3	ilr4	ilr5
		adim.				
30 meses	0	-0,62 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,94 ^{ns}	-0,44 ^{**}	0,75 ^{**}
	90	-0,50	0,81	1,87	-0,13	0,78
	135	-0,56	0,82	1,80	0,29	1,01
	180	-0,55	0,93	1,89	0,50	1,06
	C.V. (%)	22,35	13,07	6,92	9,12	10,06
36 meses	0	-0,82 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,94 ^{ns}	-0,36 ^{**}	0,68 [*]
	90	-0,82	1,02	1,94	0,08	0,71
	135	-0,92	1,03	1,93	0,51	0,94
	180	-0,79	1,02	1,84	0,58	0,97
	C.V. (%)	20,27	9,75	8,32	7,18	15,15
42 meses	0	-0,52 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,90 ^{ns}
	90	-0,56	0,81	1,84	0,35	0,91
	135	-0,55	0,78	1,90	0,38	0,92
	180	-0,59	0,91	1,98	0,32	0,96
	C.V. (%)	22,64	14,47	4,13	34,95	35,38
66 meses	0	-0,62 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,63 ^{ns}
	90	-0,71	0,94	1,87	0,44	0,66
	135	-0,62	0,87	1,86	0,54	0,71
	180	-0,60	0,94	1,94	0,37	0,74
	C.V. (%)	9,63	7,01	2,89	10,27	23,71

Obs.: Relações log isométricas (ilr): ilr1, ilr2, ilr3, ilr4 e ilr5, respectivamente, [N, P, S | K, Ca, Mg], [N, P | S], [N | P], [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg]

ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 28 - Balanço [K | Ca, Mg] e [Ca | Mg] nas folhas de eucalipto aos 30 e 36 meses de idade, em função de doses de K₂O (A e B, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2014/15.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O aumento no balanço [K | Ca, Mg] deve-se, provavelmente, ao aumento das concentrações de K no tecido foliar do eucalipto e a diminuição de Ca e Mg, em função da menor absorção desses pela planta (Figuras 22 B, C e D). Montes (2013) constatou esse efeito para adubação potássica, que resultou no aumento da relação [K | Ca, Mg], devido a maior concentração de K no tecido vegetal da goiabeira, em razão da maior disponibilidade desse nutriente no solo, podendo também ser resultado da inibição competitiva. Exemplo tradicional da inibição competitiva é dado por altas concentrações de K no meio e no seu efeito na absorção do Ca e Mg (MALAVOLTA, 2006).

O balanço de [Ca | Mg] nas folhas do eucalipto também aumentaram com o incremento das doses de K_2O . As concentrações de Ca e Mg nas folhas diminuíram com as doses de K_2O , sendo que as reduções de Ca foram de 20 e 18% (30 e 36 meses, respectivamente) e de Mg foram de 47 e 48% (30 e 36 meses, respectivamente), com a dose de 180 kg ha^{-1} de K_2O em relação à testemunha (Figuras 22 C e D). Portanto, o efeito foi mais pronunciado nas concentrações de Mg nas folhas do eucalipto, o que resultou no aumento da relação Ca/Mg com as doses de K_2O . Montes (2013) verificou também o aumento na relação [Ca | Mg] em resposta à adubação potássica na cultura da goiabeira, devido a menor absorção de Mg do que de Ca, em função da quantidade de Ca no solo ser superior à de Mg. Entretanto, nesse estudo, os teores desses nutrientes no solo foram classificados como baixos, no entanto, numericamente os de Ca são superiores aos de Mg.

Com base nos limites inferiores e superiores estabelecidos a partir dos teores-padrão de nutrientes nas folhas indicados por Gonçalves (2011) (Tabela 17), os balanços de [N, P, S | K, Ca, Mg] e [N, P | S] estão dentro da faixa e os de [N | P] estão próximos do limite inferior. A maior dose de 180 kg ha^{-1} de K_2O propiciou os maiores balanços de [K | Ca, Mg], de 0,48 e 0,65 (30 e 36 meses, respectivamente) e a testemunha os menores, de -0,49 e -0,36 (30 e 36 meses, respectivamente), estando esses valores abaixo do limite inferior de 0,21, o que é indicativo de baixa suplementação de K para cultura. Para o balanço de [Ca | Mg] a maior dose de K_2O resultou nos maiores balanços de 1,05 e 0,97 (30 e 36 meses, respectivamente), estando esses valores acima do limite superior de 0,78, o que é indicativo de baixa suplementação de Mg para cultura. Nesse sentido, verifica-se que a omissão da adubação potássica resultou em baixos valores do balanço [K | Ca, Mg] apresentando relação com a baixa produção de madeira (Figura 21), enquanto que altas doses de K_2O resultaram em altos

valores do balanço [Ca | Mg], podendo o Mg ser o nutriente limitante ao crescimento da cultura.

4.3.5.2 Balanço catiônico no solo (relação log isométrica - ilr)

A adubação potássica influenciou no balanço [K | Ca, Mg] nas duas profundidades da linha aos 36 meses e na maior profundidade da entrelinha aos 36 e 48 meses (Tabela 50) e não influenciou no balanço [Ca | Mg] (Tabela 51). O primeiro balanço aumentou linearmente com o incremento das doses de K₂O, sendo que a maior dose de 180 kg ha⁻¹ de K₂O propiciou as maiores relações K/(Ca+Mg) (Figuras 29 A e B).

Tabela 50 - Balanço catiônico no solo [K | Ca, Mg] em plantação de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015/17.

[K Ca, Mg] nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Linha			
		36	48	60	66
0-20	0	-2,80*	-1,66 ^{ns}	-1,62 ^{ns}	-1,49 ^{ns}
	90	-1,77	-1,85	-1,79	-1,69
	135	-1,58	-1,57	-1,51	-1,11
	180	-1,18	-1,34	-1,47	-1,54
C.V. (%)		24,25	16,16	6,72	18,61
20-40	0	-2,07*	-1,79 ^{ns}	-1,59 ^{ns}	-1,31 ^{ns}
	90	-1,79	-1,20	-1,25	-1,27
	135	-1,69	-1,50	-1,45	-1,41
	180	-1,49	-1,30	-1,32	-1,30
C.V. (%)		18,12	16,41	17,34	22,75
Entrelinha (Projeção da Copa)					
0-20	0	-1,69 ^{ns}	-1,46 ^{ns}	-1,57 ^{ns}	-1,65 ^{ns}
	90	-1,69	-1,26	-1,61	-1,82
	135	-1,39	-0,98	-1,15	-1,28
	180	-2,52	-1,19	-1,25	-1,31
C.V. (%)		17,55	23,70	19,35	20,77
20-40	0	-1,88*	-1,65*	-1,21 ^{ns}	-1,58 ^{ns}
	90	-2,07	-1,31	-1,37	-2,07
	135	-0,86	-1,21	-1,36	-1,31
	180	-0,95	-1,09	-1,14	-1,20
C.V. (%)		19,22	26,67	20,22	11,09

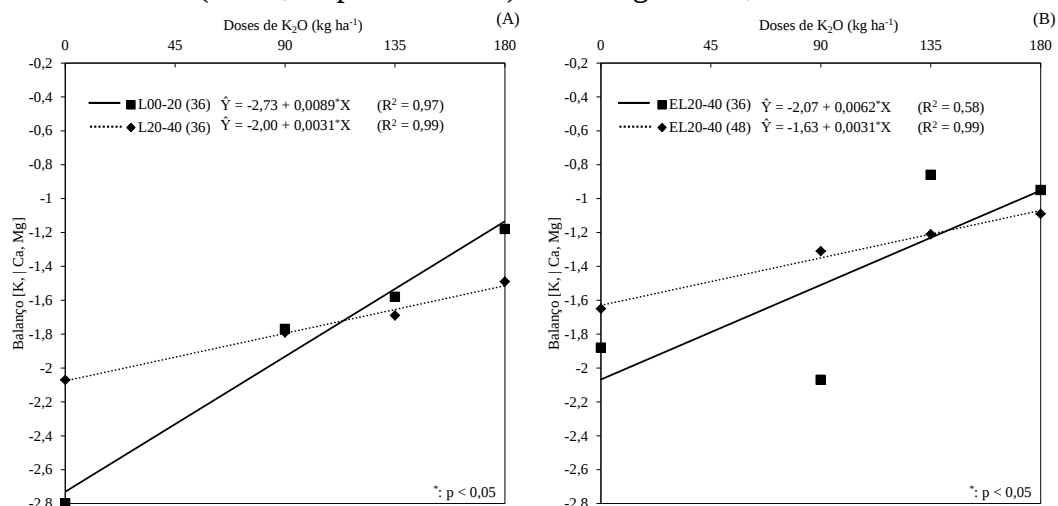
ns; * - não significativo; significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Montes (2013) constatou que o balanço [K | Ca, Mg] variou em função da adubação potássica nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm, na linha da cultura. A adição do fertilizante potássico aumentou a concentração de K no solo e diminuiu as concentrações de Ca e Mg, principalmente na camada mais profunda, sendo que esse balanço apresentou alta correlação

com a concentração de K no solo, indicando que o aumento do balanço em resposta à adubação potássica, também corresponde ao aumento da concentração de K no solo.

Figura 29 - Balanço [K | Ca, Mg] na linha de plantio (0,0-20,0 e 20,0-40,0 cm) aos 36 meses de idade e na entrelinha (20,0-40,0 cm) aos 36 e 48 meses, em função de doses de K₂O (A e B, respectivamente). Três Lagoas/MS, 2015/16.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 51 - Balanço catiônico no solo [Ca | Mg] em plantação de eucalipto aos 36, 48, 60 e 66 meses após o plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2015/17.

[Ca Mg] nos meses avaliados					
Prof. (cm)	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Linha			
		36	48	60	66
0-20	0	0,42 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,16 ^{ns}
	90	0,00	0,00	0,20	0,39
	135	0,00	-0,16	0,02	0,15
	180	0,42	0,42	0,27	0,16
C.V. (%)		23,79	25,41	7,19	10,22
20-40	0	0,33 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}
	90	-0,16	0,00	0,10	0,16
	135	0,00	0,00	0,10	0,16
	180	0,16	0,16	0,19	0,16
C.V. (%)		35,11	32,57	14,98	18,48
Entrelinha (Projeção da Copa)					
0-20	0	0,00 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}
	90	0,00	-0,16	0,09	0,29
	135	0,00	0,00	0,00	0,00
	180	0,26	0,16	0,10	0,00
C.V. (%)		29,35	25,69	10,23	9,19
20-40	0	0,00 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
	90	0,00	0,00	0,00	0,00
	135	0,00	-0,02	0,15	0,00
	180	0,00	0,00	0,00	0,00
C.V. (%)		0,00	16,38	21,68	0,00

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O balanço catiônico [K | Ca, Mg] no solo aos 36 meses após o plantio do eucalipto apresentou correlação positiva com o balanço de [K | Ca, Mg] nas folhas ($r = 0,84^*$), demonstrando que a relação na disponibilidade dos nutrientes no solo refletem na relação desses na planta.

A adubação potássica na cultura do eucalipto não influenciou o balanço entre os dois cátions divalentes (Ca e Mg) (Tabela 51). Montes (2013) constatou que a adubação potássica (0; 0,55; 1,1 e 2,2 kg de K_2O planta⁻¹ ciclo⁻¹), utilizando como fonte o cloreto de potássio, influenciou nos valores do balanço [Ca | Mg] no solo, durante cinco ciclos produtivos consecutivos da goiabeira ‘Paluma’.

4.3.6 Avaliação da biomassa de eucalipto

4.3.6.1 Produção de biomassa

A adubação potássica influenciou na produção de biomassa das folhas, do lenho e total da parte aérea das plantas de eucalipto (Tabela 52 e Figuras 30 A e B). A dose de 180 kg ha⁻¹ de K_2O propiciou os maiores valores de biomassa desses compartimentos e total, com incremento de 31,5; 17,8 e 18,2% em relação à testemunha (0 kg ha⁻¹ de K_2O). Silva (2011) avaliou o efeito das doses de NPK e do parcelamento da fertilização de NK em plantações de eucalipto na fase inicial de crescimento em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, e constatou que a produção de biomassa foi maior com o aumento da dose de fertilizante em todas as idades avaliadas. Sendo que aos 24 meses, os tratamentos que receberam a maior dose de fertilizante propiciaram 50% a mais de biomassa em relação aos que não receberam.

Em estudo realizado em solo de cerrado, Almeida (2009) concluiu que o *Eucalyptus grandis* responde expressivamente à adubação potássica em índice de área foliar. Christina et al. (2015) avaliaram o efeito da deficiência de K e do déficit hídrico sobre a produtividade e a eficiência do uso da luz em plantações de *Eucalyptus grandis*, e constataram que as plantas que não receberam a aplicação de K apresentaram índice de área foliar 64% menor do que as plantas supridas por esse nutriente. Laclau et al. (2009) constataram que aumento da produção de biomassa lenhosa do *Eucalyptus grandis* foi resultante da adubação potássica, sendo principalmente explicado pelo aumento do índice de área foliar. Nesse sentido, a adubação potássica proporciona aumento da área foliar, o que resulta na maior intensidade da

intercepção da luz solar incidente, consequentemente, nos processos fotossintéticos realizados pela planta, o que resulta no seu maior crescimento (produção da biomassa).

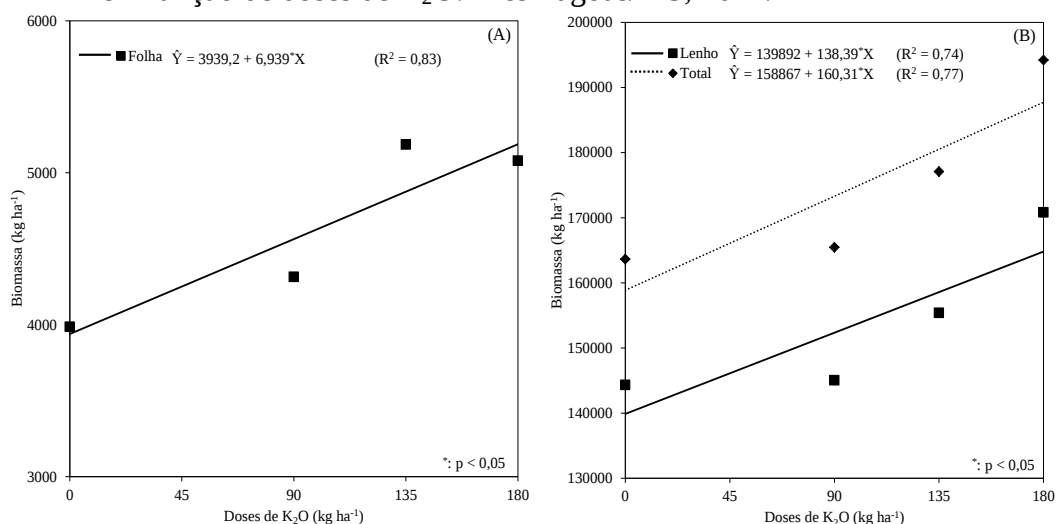
Tabela 52 - Biomassa dos compartimentos do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de K_2O (kg ha ⁻¹)	Folhas	Galhos	Lenho kg ha ⁻¹	Casca	Total aéreo
0	3986*	4409 ^{ns}	144334*	10909 ^{ns}	163637*
90	4315	4503	145051	11594	165464
135	5186	4986	155397	11519	177089
180	5080	4502	170833	13786	194202
Média	4642	4600	153904	11952	175098
C.V. (%)	14,53	27,60	13,85	18,35	12,28

ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 30 - Biomassa de folhas, lenho e total do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Esse crescimento do eucalipto deve-se também às funções realizadas pelo K na planta, dentre as quais, a regulação do potencial osmótico das células vegetais, controlando assim, a abertura e o fechamento dos estômatos, o que confere a planta maior eficiência no uso da água (SIDDIQUI; SHAH; TARIQ, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013). Portanto, as plantas gastariam menor quantidade de energia nos períodos de déficit hídrico (comum da região de estudo), sendo essa melhor utilizada para o crescimento.

De acordo com Florence (2004), mesmo o eucalipto não sendo uma espécie caducifólia, apresenta como estratégica para reduzir o consumo de água nas épocas de seca do

ano, promovendo a abscisão de folhas, pois segundo Taiz e Zeiger (2013) umas das primeiras mudanças na planta para tolerar o estresse causado pela seca é a elevação da sua síntese de etileno, o que resulta na abscisão foliar. Assim, plantas bem supridas em K apresentam maior eficiência no uso da água, devido ao seu papel no controle de abertura e fechamento dos estômatos, o que resultaria no maior tempo de permanência das folhas. Segundo Laclau et al. (2009), o fornecimento do potássio, pode aumentar a vida útil das folhas dos *E. grandis* em 35%. Isso explica o fato de a adubação potássica ter aumentado a produção da biomassa de folhas e não ter influenciado na produtividade de folheto.

Em média, a produção de biomassa dos compartimentos folhas, galhos, lenho, casca e total da parte aérea da planta do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio foi de 4642, 4600, 153904, 11952 e 175098 kg ha⁻¹, respectivamente. Benatti (2013) avaliou a compartimentalização de biomassa de clones de eucalipto (I-144) e constatou que a produção de biomassa dos compartimentos folhas, galhos vivo, lenho, casca e total da parte aérea aos 6,5 anos de idade foi de 4250, 4120, 103310, 10200 e 128140 kg ha⁻¹, respectivamente. Faria et al. (2008) constataram que os híbridos de *Eucalyptus urophylla* foram os que apresentaram maior produção de biomassa de tronco (150300 kg ha⁻¹) aos 57 meses de idade em relação aos híbridos provenientes do cruzamento *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (102500 kg ha⁻¹).

A distribuição da biomassa nos diferentes componentes da parte aérea do eucalipto aos 5,5 anos (66 meses) apresentou a seguinte magnitude: lenho (87,9%) > casca (6,8%) > folha (2,7%) > galhos vivos (2,6%). Santana et al. (2008b) avaliaram a alocação dos nutrientes em diversas espécies de eucalipto aos 4,5 anos, e constataram que 90% da biomassa estão distribuídos nos componentes lenho + casca. Faria et al. (2008) verificaram que os híbridos de *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses de idade, tenderam a alocar maior porcentagem, em termos médios, de biomassa de tronco (92,3%) em relação à copa (7,7%). Gonsaga (2017) constatou que aos 6 anos, os cinco clones resultantes do cruzamento entre *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram médias de alocação da biomassa diferentes das encontradas aos 2,25 anos, sendo que a madeira continuou sendo a maior parte e aumentou sua participação na biomassa total da parte aérea, chegando a 84,54%, seguida pela casca (7,81%), galhos (4,68%) e, por último, folhas (2,97%).

4.3.6.2 Concentrações dos nutrientes nos compartimentos

A adubação potássica influenciou nas concentrações K e Mg no compartimento folhas, das plantas de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio (Tabela 53). Silva (2011) avaliou o efeito das doses de NPK e do parcelamento da fertilização de NK em plantações de eucalipto em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e, constatou que aos 24 meses a adubação propiciou maiores concentrações de K em todos os compartimentos (folhas, galhos, lenho e casca).

Tabela 53 - Concentrações dos nutrientes nos componentes das árvores (folhas, galhos, lenho e casca) aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
	Folhas					
0	17,5 ^{ns}	1,3 ^{ns}	7,5*	5,5 ^{ns}	3,3*	1,4 ^{ns}
90	17,8	1,2	8,5	5,4	3,3	1,4
135	15,8	1,1	8,4	5,7	3,1	1,1
180	15,8	1,2	8,9	5,5	2,7	1,3
C.V. (%)	8,01	8,97	8,55	9,98	13,40	11,17
	Galhos					
0	3,1 ^{ns}	0,4 ^{ns}	4,5 ^{ns}	6,5 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,3 ^{ns}
90	2,9	0,6	4,5	6,7	1,7	0,4
135	3,0	0,8	4,2	6,1	1,7	0,5
180	2,6	0,4	4,4	7,0	1,9	0,4
C.V. (%)	11,23	11,71	16,22	10,24	13,03	16,69
	Lenho					
0	1,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,2 ^{ns}
90	0,8	0,1	1,5	0,5	0,4	0,2
135	1,0	0,1	1,4	0,5	0,4	0,2
180	0,7	0,1	1,3	0,5	0,4	0,2
C.V. (%)	16,12	21,28	16,62	8,64	10,06	19,99
	Casca					
0	3,4 ^{ns}	0,8 ^{ns}	4,7 ^{ns}	14,8 ^{ns}	3,8 ^{ns}	0,7 ^{ns}
90	3,1	0,7	5,5	18,0	4,0	0,6
135	3,2	1,0	5,5	15,1	4,5	0,6
180	3,4	0,7	5,3	23,0	3,9	0,7
C.V. (%)	11,66	25,92	8,44	8,54	22,14	9,13

ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

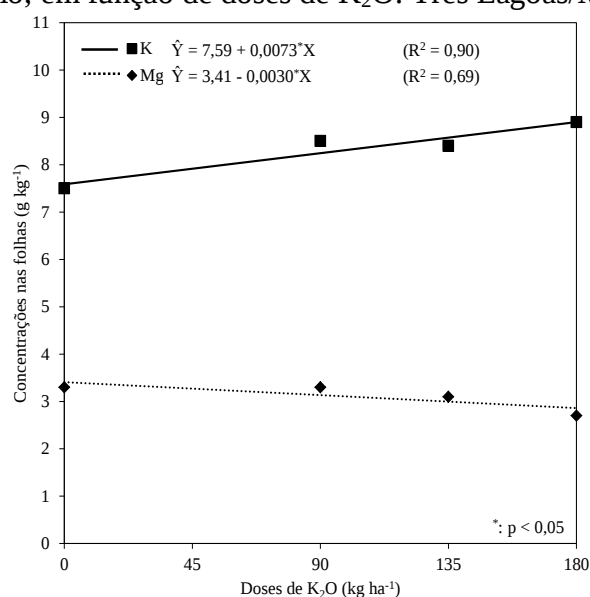
Fonte: Elaboração do próprio autor.

As menores concentrações dos nutrientes foram verificadas no compartimento lenho, as maiores de N, P, K e S nas folhas e as de Ca e Mg na casca (Tabela 53). De acordo com Florence (2004), as concentrações dos nutrientes no tronco do eucalipto diminuem em idades

mais avançadas, pois na fase inicial de crescimento utiliza esse compartimento como dreno de armazenamento. Segundo Vieira (2012), o componente com maiores concentrações de nutrientes é a fração folhas e o com menor é a madeira, devido ao fato de que a maioria dos nutrientes concentra-se nas estruturas mais novas da planta, de maior atividade metabólica.

O incremento das doses de K_2O propiciou o aumento da concentração de K e a diminuição de Mg no compartimento folha (Figura 31), sendo que tal comportamento foi verificado também para as concentrações de K e Mg nas folhas (Figuras 22 B e D) e no folheto (Figuras 24 A e C). O decréscimo nas concentrações foliares de Mg em função do aumento de doses de K também foi verificado por Silveira (2000), que avaliou o efeito do K no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solução nutritiva, e constatou, em todas as progênies, que a concentração de Mg nos tecidos vegetais, principalmente nas folhas, foi negativamente alterada com o aumento da dose de K.

Figura 31 - Concentrações de potássio e magnésio nas folhas do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.6.3 Nutrientes acumulados na biomassa

A adubação potássica influenciou no acúmulo de K no compartimento folhas, de Ca no lenho, K e Ca na casca, e K, Ca, Mg e S no total da parte aérea da planta (Tabela 54). Silva (2011) constatou aos 12 e 24 meses de idade para *Eucalyptus urophylla* x *grandis* que as

doses mais elevadas de fertilizantes tiveram efeito positivo na produção da mineralomassa (nutrientes acumulados na biomassa). Tal resultado corrobora com os obtidos na presente pesquisa.

Tabela 54 - Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, galhos, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
	Folhas					
0	69,9 ^{ns}	5,1 ^{ns}	29,8*	22,2 ^{ns}	13,2 ^{ns}	5,6 ^{ns}
90	76,8	5,2	36,5	23,2	14,3	5,9
135	82,2	5,8	44,1	29,6	16,1	5,7
180	80,1	6,2	45,2	27,9	13,5	6,8
C.V. (%)	17,20	21,05	20,10	20,58	23,82	18,56
	Galhos					
0	13,4 ^{ns}	1,7 ^{ns}	20,6 ^{ns}	29,4 ^{ns}	7,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}
90	12,9	2,7	20,1	30,3	7,6	1,7
135	15,2	3,8	20,8	30,2	8,6	2,3
180	11,7	1,5	20,0	31,1	8,7	1,8
C.V. (%)	29,19	19,03	16,40	15,32	18,59	28,16
	Lenho					
0	150,1 ^{ns}	13,8 ^{ns}	237,2 ^{ns}	68,2*	52,1 ^{ns}	27,1 ^{ns}
90	121,1	11,2	238,1	72,2	58,3	33,4
135	151,8	14,2	241,2	74,9	63,1	33,8
180	121,8	16,3	239,0	87,0	62,2	33,1
C.V. (%)	21,67	24,00	17,66	15,82	16,95	15,37
	Casca					
0	37,2 ^{ns}	9,3 ^{ns}	50,9*	161,3**	43,0 ^{ns}	7,2 ^{ns}
90	36,1	8,2	64,1	209,9	46,5	7,4
135	36,4	11,4	63,4	177,5	52,0	7,3
180	46,3	9,1	72,9	317,2	53,9	9,7
C.V. (%)	23,64	34,84	20,70	19,41	17,55	21,65
	Total					
0	270,6 ^{ns}	29,9 ^{ns}	314,9*	281,1**	116,2*	41,3*
90	246,8	27,3	334,9	335,6	126,7	48,4
135	285,7	35,2	345,5	312,2	139,7	49,1
180	260,0	33,1	353,2	463,2	138,4	51,4
C.V. (%)	13,56	19,32	13,48	11,54	15,86	10,82

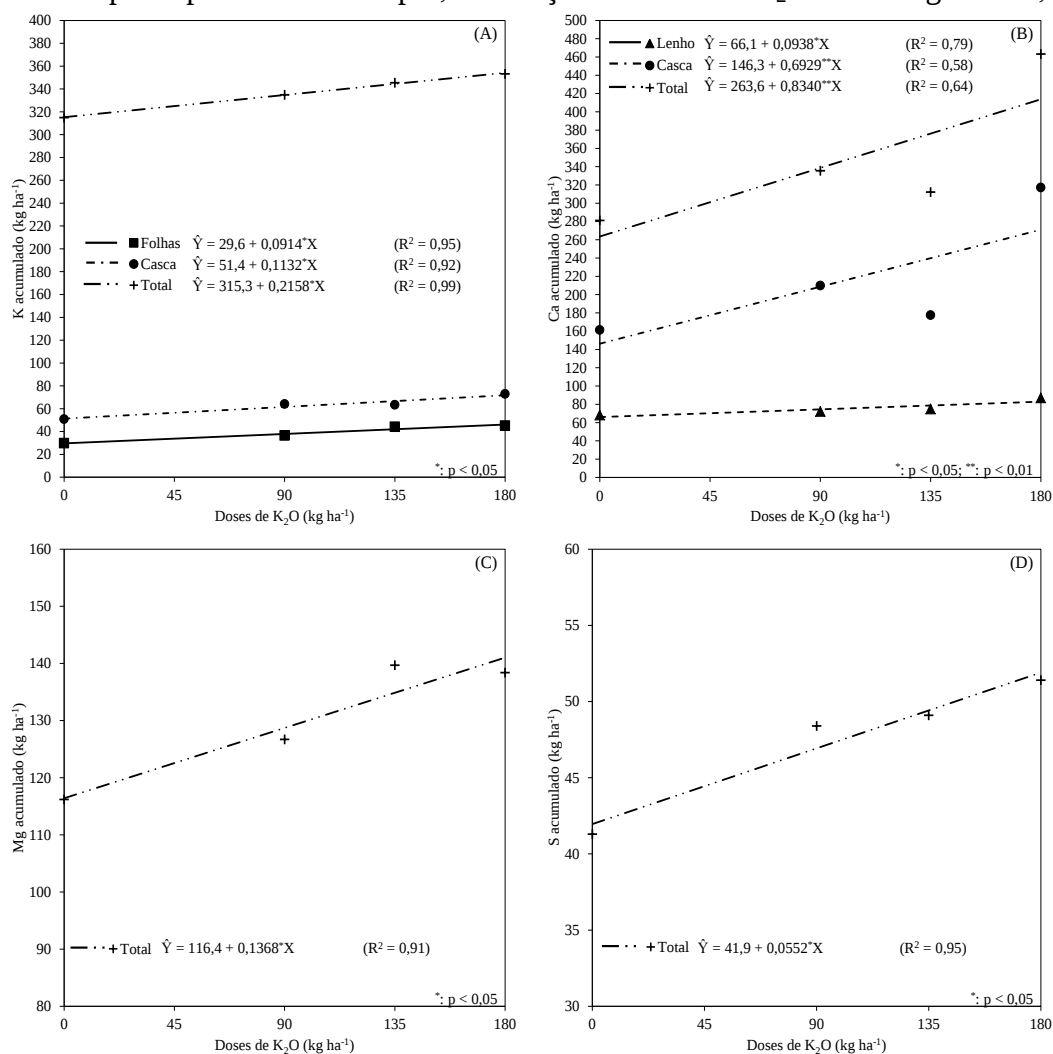
ns; *, ** - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O conteúdo de K aumentou com o incremento das doses de K₂O nas folhas, casca e total, sendo que com 180 kg ha⁻¹ os aumentos foram de 55,5; 39,7 e 12,3%, respectivamente, em relação à testemunha. Houve aumento também para o estoque de cálcio nos compartimentos lenho e casca, e total da parte aérea, sendo que os aumentos com a maior dose de K₂O foram de 25,5; 85,2 e 57,0%, respectivamente, em relação à testemunha. Para o

Mg e S o aumento do seus conteúdos na parte aérea foram de 21,2 e 23,4%, respectivamente (maior dose de K_2O em relação à testemunha) (Figuras 32 A, B, C e D).

Figura 32 - Acúmulos de K, Ca, Mg e S (A, B, C e D, respectivamente) nos diferentes compartimentos das árvores de eucalipto (folhas, lenho e casca), aos 66 meses após o plantio do eucalipto, em função de doses de K_2O . Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com Neves et al. (2011), o clone I144, por apresentar maiores valores de densidade básica da madeira é considerado o mais indicado para produção de bioenergia. Nesse sentido, é evidente que aumento no acúmulo de K e Ca na casca propiciado pela maior dose de potássio (180 kg ha^{-1} de K_2O) poderão resultar na remoção de $20,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de K e $124,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca do solo pela operação da colheita do tronco (lenho + casca), o que pode

comprometer a capacidade produtiva desse sítio florestal, caso não seja realizado o fornecimento adequado desses nutrientes para os ciclos futuros.

De acordo com Santana, Barros e Neves (2002), o Ca é o nutriente mais abundante na casca, enquanto que no lenho é o K, sendo esses os nutrientes mais exportados pela retirada na colheita do tronco (lenho + casca). Segundo Faria et al. (2008), uma forma de reduzir a exportação dos nutrientes do sítio florestal, mantendo assim a sua qualidade e a capacidade produtiva por maior período de tempo é pela exploração somente da parte comercializável da planta (lenho). Portanto, o descascamento do tronco é uma prática que reduz a exportação dos nutrientes, principalmente de Ca, além de minimizar também a exportação de outros nutrientes contidos nesse compartimento.

Em relação aos compartimentos, no lenho, os estoques dos nutrientes das plantas de eucalipto aos 5,5 anos pós-plantio ocorreu na seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > S > P$ e na parte aérea das plantas de eucalipto: $Ca > K > N > Mg > S > P$. Com base nessas constatações, verifica-se que, o K é o nutriente que apresentou maior estoque no lenho ($238,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de K) e o segundo no tronco (lenho + casca = $301,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de K) (Tabela 54). Assim, esse nutriente é o menos exportado pela colheita apenas do compartimento lenho, sendo que a retirada da casca nessa operação mantém cerca de 21% do K na área florestal.

De acordo com Souza (2015), depois do N, o Ca e o K são os nutrientes que mais poderão limitar a produtividade das próximas rotações, considerando-se a colheita do tronco (lenho + casca). Esta limitação pode ser substancialmente reduzida, principalmente para o Ca, pela retirada da casca da madeira. Segundo Santana et al. (2008b), cerca de 75% de N, P, K, Ca e Mg estão em outros componentes da parte aérea da árvore, e não no lenho, evidenciando a importância do descascamento na colheita.

Faria et al. (2008) constataram que o acúmulo de nutrientes na parte aérea e no tronco, em termos médios, apresentaram a seguinte sequência: $N > Ca > K > Mg > P$ para diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* aos 57 meses de idade, sendo o Ca e o K presentes em maior quantidade no tronco. Entretanto, Benatti (2013) verificou para diferentes clones de eucalipto aos seis anos e meio de idade a seguinte sequência: $Ca > N > K > Mg > P$, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumuladas foi praticamente semelhante. Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) constataram em seu estudo com ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden aos 8 anos de idade, a mesma ordem de acúmulo dos nutrientes no lenho ($Ca > N > K > Mg > P$).

Santana, Barros e Neves (2002) constataram que o K é o nutriente mais abundante no lenho e o Ca na casca, sendo o primeiro mais exportado pela retirada na colheita do tronco (lenho + casca). Segundo Silveira, Gava e Malavolta (2005), esse nutriente é o segundo ou o terceiro nutriente mais acumulado na cultura, ficando às vezes abaixo apenas do N e do Ca. De acordo com Schumacher e Poggiani (1993), o acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto varia de nutriente para nutriente, sendo essa em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade da floresta. Tal afirmação esclarece a diferença dos valores do acúmulo de K obtidos neste estudo em relação aos encontrados na literatura.

4.3.7 Eficiência no uso dos nutrientes

A adubação potássica influenciou na eficiência de utilização de nitrogênio do clone I144 (Tabela 55 e Figura 33). A não eficiência do uso de K em função da adubação potássica deve-se, provavelmente, ao aumento da produção da biomassa do lenho (Figura 30B) e do acúmulo de K na casca (Figura 32A), pois a eficiência de uso dos nutrientes é calculada pela relação entre a biomassa seca do tronco (lenho+casca) e a do nutriente acumulado no tronco. O aumento da biomassa e do acúmulo de K no tronco em função do incremento das doses de K_2O não alterou essa razão, portanto, não alterou a relação entre a taxa de crescimento e o acúmulo desse nutriente no eucalipto.

Galo (1993) verificou em seu estudo de resposta do eucalipto à adubação potássica em solo de cerrado, que a eficiência de utilização de K na produção de tronco e da copa diminuiu com a elevação da dose do nutriente. Essa menor eficiência deve-se, segundo Silva et al. (2002), à maior absorção de K pelas plantas devido ao aumento da sua concentração na solução do solo, no entanto, se a taxa de crescimento das plantas for menor que a da absorção, há redução da eficiência de utilização.

Silva (2011) avaliou o impacto das doses (NPK) e do parcelamento da fertilização (NK) em plantações de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* na fase inicial de crescimento e, constatou que as plantas de eucalipto que não foram adubadas foram mais eficientes no uso do N e do K aos 24 meses de idade. Barros et al. (1986) verificaram que a eficiência no uso dos nutrientes pelas plantas de eucalipto aumenta com a redução de sua disponibilidade no solo. Santana, Barros e Neves (2002) constataram que as maiores produtividades não foram seguidas de maiores valores de eficiência de utilização dos nutrientes para o *Eucalyptus*

saligna e *Eucalyptus grandis*. Nesse estudo, a menor e a maior produção de biomassa propiciada pela testemunha e a dose de 180 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, não diferiram quanto à eficiência no uso de K, assim, não houve relação direta entre produção de biomassa e eficiência no uso de nutrientes.

Estudos mostram variações entre espécies e clones de eucalipto quanto à eficiência nutricional. Faria et al. (2008) avaliaram a eficiência de utilização de nutrientes em diferentes espécies de *Eucalyptus*, e constataram que híbridos de *Eucalyptus urophylla* provenientes de descendentes do cruzamento de *Eucalyptus camaldulensis* com *Eucalyptus grandis* são menos produtivos e menos eficientes na absorção e utilização de N, P, K, Ca e Mg. Pinto et al. (2011) estudaram a eficiência nutricional de seis clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva, e verificaram que clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) foi mais eficiente, principalmente para N, P, K, Mg e S, com maior eficiência na absorção e na utilização desses nutrientes na produção de biomassa. Além das características genéticas outros fatores podem influenciar na eficiência no uso dos nutrientes pela cultura do eucalipto, como a idade das plantas, disponibilidade de nutrientes no solo, as condições ambientais e os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica (FLORENCE, 2004, FARIA et al., 2008, SILVA, 2011, ROSIM, 2013, GONSAGA, 2017).

A adubação potássica influenciou na eficiência de utilização de nitrogênio pelas plantas de eucalipto (Figura 33). Essa eficiência aumentou linearmente com as doses de K₂O, sendo que com a maior dose o incremento foi de 24%, em relação à testemunha. Faria et al. (2008) avaliaram a eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. e constataram que o clone I144 (*Eucalyptus urophylla*), aos 57 meses de cultivo, apresentou maior eficiência de utilização de N. No presente estudo, avaliando a adubação potássica, verificou-se aumento da eficiência da utilização do N, com o incremento de doses de K₂O. Tal eficiência no aumento da produção de biomassa por quilo de N estocado pode ser explicada pela importância que o K exerce no controle de abertura e fechamento dos estômatos. Às funções realizadas por esse nutriente na planta, dentre as quais, a regulação do potencial osmótico das células vegetais, controlam assim, a abertura e o fechamento dos estômatos, o que confere a planta maior eficiência no uso da água (SIDDIQUI; SHAH; TARIQ, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013). Nesse sentido, as plantas gastariam menor quantidade de energia nos períodos de déficit hídrico (condição típica da região de estudo), sendo essa melhor utilizada para o crescimento da planta.

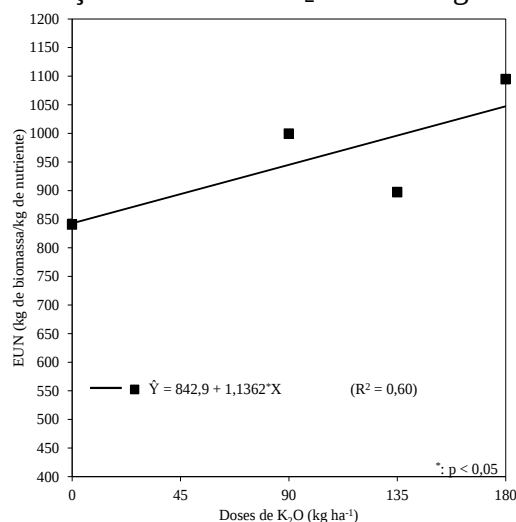
Tabela 55 - Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre das árvores de eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2017.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
kg de biomassa/kg de nutriente						
0	840,6*	6986,5 ^{ns}	603,1 ^{ns}	685,6 ^{ns}	1676,0 ^{ns}	4525,8 ^{ns}
90	999,3	8406,1	575,1	565,3	1510,2	3936,4
135	897,1	6629,8	595,0	696,4	1461,7	4071,8
180	1094,7	7720,3	643,6	455,5	1592,6	4381,0
C.V. (%)	20,05	22,69	15,94	23,56	15,76	19,95

ns e * - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 33 - Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) do eucalipto aos 66 meses após o seu plantio, em função de doses de K₂O. Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O K não desempenha função estrutural na planta, sendo o seu principal papel nos vegetais o de atuar na ativação enzimática (MALAVOLTA, 2006). Segundo Marschner (1995), o potássio atua na ativação de aproximadamente 50 enzimas, destacando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolase. Esse nutriente está ainda envolvido na síntese de proteínas, assim plantas com baixas concentrações de K apresentam redução na síntese, com acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas e nitratos (SILVEIRA, 2000). Além disso, quantidades apropriadas desse nutriente no citoplasma é requisito básico para o metabolismo e aproveitamento de N nas plantas (XU; WOLF; S; KAFKAFI, 2002).

De acordo com Abreu-Junior et al. (2013), o N e o K devem ser manejados de modo que a interação entre esses nutrientes seja a mais positiva possível em termos de qualidade e

de produtividade das culturas. Grzebisz et al. (2017) demonstraram a importância dos efeitos interativos da aplicação de N e K sobre a aparente eficiência de uso de ambos os nutrientes e, constataram que a aplicação K aumentou a eficiência de uso de N na cultura da batata. Lavres Junior, Santos Junior e Monteiro (2010) verificaram que o estado nutricional de K do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) influencia positivamente na eficiência de uso do N.

Em relação eficiência no uso dos nutrientes no tronco (lenho + casca) das plantas de eucalipto, aos 5,5 anos pós-plantio, ocorreu a seguinte ordem: $P > S > Mg > N > K > Ca$. Gonsaga (2017) constatou que a eficiência de utilização dos nutrientes na madeira (lenho) de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos apresentou a seguinte ordem decrescente quanto aos nutrientes: $P > Mg > N > Ca > K$. Enquanto que Santana, Barros e Comeford (2000) verificaram para plantações de eucalipto em diferentes locais no Brasil a seguinte ordem: $P > Mg > K > N \approx Ca$. Faria et al. (2008) verificaram que depois do Ca, o N é que apresenta a menor eficiência de utilização entre os híbridos de eucalipto avaliados. Assim, o N, K e Ca apresentam menor eficiência no uso desses nutrientes pela cultura do eucalipto, portanto, são necessárias maiores quantidades para produção de biomassa da cultura.

5 CONCLUSÕES

A dose de 140 kg ha^{-1} de N parcelada em três aplicações propiciou aumento na produção de madeira, de biomassa, no estoque de nutrientes na biomassa e na transferência de K ao solo pela deposição de folheto do eucalipto.

A adubação com 78 kg ha^{-1} de P_2O_5 proporcionou maior volume de madeira de eucalipto e maior produção de biomassa do lenho aos 66 meses de idade. Aumentou também a disponibilidade de P no solo na linha de plantio, a concentração de P no folheto e a reciclagem de P e K via deposição de folheto.

A adubação com 180 kg ha^{-1} de K_2O aumentou a disponibilidade de K no solo, a produção de madeira e biomassa total da parte aérea, o estoque de K na biomassa, a concentração K nas folhas e no folheto, a transferência de K ao solo e a eficiência no uso de N pelo eucalipto. No entanto, reduziu as concentrações de Mg nas folhas e nos folhetos e, consequentemente, a sua transferência ao solo pela deposição de folheto.

A maior deposição de folhetos do eucalipto I144 ocorreu na estação do inverno (período seco). No processo da transferência dos macronutrientes (ciclo biogeoquímico) para solo nos 36 meses avaliados (30 a 66 meses) ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Enquanto que o maior estoque de N, P, K, Mg e S encontra-se no lenho, o de Ca na casca. O acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas de eucalipto aos 5,5 anos ocorreu na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

REFERÊNCIAS

- ABREU-JUNIOR, C. H; BOARETTO, A. E.; LAVRES JUNIOR, J.; JORDAN-MEILLE, L.; LACLAU, J. P. **Interação N e K na nutrição de plantas**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <<https://www.ipipotash.org/udocs/interacao-n-e-k-na-nutricao-de-plantas-cassio-hamilton-abreu-junior.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2017.
- ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; MOREIRA, R. M.; ROJAS, J. S. D. Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: UNITAU, 2007. p. 1-7.
- ALVES, F. F. **Seca de ponteiros e crescimento de clones de eucalipto em diferentes doses de adubação**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.
- ANDRADE, G. C.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; RIZZI, N. E.; GAVA, J. L. Acúmulo de nutrientes na biomassa e na serapilheira de *Eucalyptus grandis* em função da aplicação de lixo urbano e de nutrientes minerais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 109-136, 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/313789/acumulo-de-nutrientes-na-biomassa-e-na-serapilheira-de-eucalyptus-grandis-em-funcao-da-aplicacao-de-lixo-urbano-e-de-nutrientes-minerais>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- ARAÚJO, E. F.; GAVA, J. L.; SOUZA, A. J.; SILVEIRA, R. L. V. A. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta à aplicação de nitrogênio em espodossolo no sul da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 1-4.
- ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 151-157, 2006. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2036>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-9, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e20150243.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BARROS, N. F.; BRAGA, J. M.; BRANDI, R. M.; DEFELIPO, B. V. Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 5, n. 1, p. 90-103, 1981.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 76-79, 2005. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-florestas-plantadas06.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2017.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais - descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.

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. (Ed.). **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1682/958>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

BERTI, C. L. F. **Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento e forma, em teste de progênie de polinização aberta de *Eucalyptus cloeziana*, aos 24 anos de idade em Luiz Antônio-SP**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

BINKLEY, A. D.; RYAN, M. G. Net primary production and nutrient cycling in replicated stands of *Eucalyptus saligna* and *Albizia facaltaria*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 112, n. 1/2, p. 79-85, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112798003314>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

BOGNOLA, I. A.; CLASEN, L. A.; FRANCISCON, L.; GAVA, J. L.; DEDECEK, R. A. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 83-92, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37181/1/PFB.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

- CALDEIRA, M. V. W; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/proppg/portal/pages/arquivos/pesquisa/semina/pdf/semina_29_1_19_6.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa,, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-850.
- CASTRO, M. M. **Custo com adubação de plantio de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) utilizando programação linear: estudo de caso de uma propriedade rural do Distrito Federal - BR**. 2011. 21 f. Dissertação Parcial (Mestrado em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; BATTIE-LACLAU, P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.P.; JOURDAN, C.; GONÇALVES, J. L. M.; LACLAU, J. P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Global Change Biology**, Illinois, v. 21, n. 5, p. 2022-2039, 2015. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12817/pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- CONTI JUNIOR, J. L. F.; SILVA, P. H. M.; COUTO, H. T. Z. Deposição de folheto e fluxo de nutrientes em eucalipto geneticamente modificado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 89, p. 89-92, 2017. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/985/561>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n4/a08v29n4.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; SCHWENGBER, J. A. M.; CANTARELLA, H. Crescimento inicial do *Eucalyptus camaldulensis* em função da adubação NPK. In: FERTBIO, 2008, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.
- CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 353-363, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a02v29n3.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DIAS, S. C. M.; BARROS FILHO, N. F.; BARROS, N. F. Teores críticos de nutrientes em minijardim clonal de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 37, n. 7, p. 795-828, 2005. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11004-005-7381-9>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Análisis composicional de datos en Ciencias Geoambientales. **Boletín Instituto Geológico y Minero**, Madrid, v. 122, n. 4, p. 439-452, 2011.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUEIRAS, G.; BARCELO-VIDAL, C. Isometric logratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 35, n. 3, p. 279-300, 2003. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1023818214614>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 8, p. 1269 -1290, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/PLN-100106981>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 183 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v18n3/1980-5098-cflo-18-03-00363.pdf> >. Acesso em: 20 jun. 2017.

FERNANDEZ, J. Q. P.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; MORAES, E. J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, n. 1/3, p. 93-102, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112799001218>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, E. V. O. **Indicadores fisiológicos do status de nitrogênio em plantas de eucalipto**. 2013. 81 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

FERREIRA, L. N. **Estudo de tempos e movimentos na operação de adubação de plantio na empresa Eucatex S.A., Botucatu, São Paulo**. 2011. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

FLORENCE, R. G. **Ecology and silviculture of eucalypt forest**. Collingwood: CSIRO, 2004. 413p.

FLORES, K. S. C. **Estudo das respostas ecofisiológicas no crescimento de clones *Eucalyptus* spp. submetidos a variações de níveis de restrições hídricas em distintas condições edáficas**. 2016. 230 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* no Brasil - Zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 447p.

GALO, M. V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado**. 1993. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

GAMA-RODRIGUES, E. F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n6/28958.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 89-94, 1997. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr30/cap8.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

GAVA, J. L.; ARAÚJO, E. F.; SILVEIRA, R. L. V. A. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta aplicação de nitrogênio em solos com alto teor de matéria orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. p. 1-3.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; SHIBATA, F. Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 497-504, 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v21n3/20.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

GAZOLA, R. N.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DINALLI, R. P.; MORAES M. L. T.; CELESTRINO, T. S.; SILVA, P. H. M.; DUPAS, E. Doses of N, P and K in the cultivation of eucalyptus in soil originally under Cerrado vegetation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. supl1, p. 1895-1912, 2015. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/4457/445744149010/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

GAZOLA, R. P. D. **Adubação nitrogenada e doses do herbicida glyphosate como regulador de crescimento em grama esmeralda**. 2017. 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2017.

GIÁCOMO, R. G.; ALVES, M. C. A.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; ARRUDA, O. G.; SOUTO, S. N. MORAES, M. L. T. Litterfall and nutrient Input in a degraded area. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-9, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e20160028.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de Plantações de Eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; SILVA, L. D. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 2, 2011, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2011. p. 85-114.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. van.; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 247-260.

GONÇALVES, J. L. M; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-55.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalyptus plantations the Brazilian experience. **Southern Forests**, Grahamstown, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.6.534>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

GONSAGA, R. F. **Produção de madeira e eficiência de utilização de nutrientes em clones de eucaliptos em diferentes idades**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2017.

GRZEBISZ, W.; ČERMÁK, P.; RROCO, E.; SZCZEPANIAK, W.; POTARZYCKI, J.; FŮLEKY, G. Potassium impact on nitrogen use efficiency in potato - a case study from the Central-East Europe. **Plant Soil Environ**, Slezská, v. 63, n. 9, p. 422-427, 2017. Disponível em: <<http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/226285.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

HERNANDES, A.; PARENT, S. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Balancing guava nutrition with liming and fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1224-1234, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v34n4/32.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório 2017**. 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2017.

JESUS, G. L. **Nutrição e produção do eucalipto e frações da matéria orgânica do solo influenciadas por fontes e doses de nitrogênio**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERNANDES, L. V.; SOARES, E. M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 201-214, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n1/v36n1a21.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, Dordrecht, v. 29, n. 1, p. 111-124, 2009. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19203937>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LACLAU, J. P.; DELEPORTE, P.; RANGER, J.; BOUILLET, J. P.; KAZOTTI, G. Nutrient Dynamics throughout the Rotation of *Eucalyptus* Clonal Stands in Congo. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, n. 7, p. 879-892, 2003. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12770845>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUERÉ, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU A. T.; NOUVELLON, Y.; SINAT-ANDRÉ, L.; BOULLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709004009>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LAVRES JUNIOR, J.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; MONTEIRO, F. A. Nitrate reductase activity and SPAD readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 801-809, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n3/22.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LEITE, P. B.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; GUARÇONI M, A.; ZANÃO JÚNIOR. L. A. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 1311-1322, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n5/v33n5a24.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Influência do desbaste e da fertilização nos índices de rachamento após desdobro e secagem em madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 175-184, 2008. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/revista_if/RIF20-2/p.175-184.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LOPES, A. S.; BASTOS, A. R. R.; DAHER, E. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e sulfatados na agricultura brasileira: Uma visão do futuro. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 161-187.

MAEDA, S. **Cultivo do eucalipto**: recomendações de adubação mineral. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 401-407, 2012. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/305/284>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 317 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. Germany: University of Hohenheim, 1995. 889 p.

MATOS, G. S. B.; SILVA, G. R.; GAMA, M. A. P.; VALE, R. S.; ROCHA, J. E. C. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de eucalipto no nordeste do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 4, p. 491-500, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v42n4/a06v42n4.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

MEGDA, M. M.; MONTEIRO, A. F. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 8, p. 1666-1675, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v39n8/v39n8a07.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

MELO, E. A. S. C. **Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas**. 2014. 187 f. Tese (Doutorado em Ciências/Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **IPEF**, Piracicaba, n.48/49, p. 8-17, 1995. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap02.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

MEURER, E. J. Potássio. In: MANLIO, S. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 282-298.

MONTES, R. M. **Efeito da adubação nitrogenada e potássica em pomar de goiabeiras**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/275/231>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp: níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.

NOVAIS, R. F.; RÊGO, A. K.; GOMES, J. M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 6, n. 1, p. 29-37, 1982.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 755-762, 2010. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/20327/13485>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n1/15917.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; PACHECO, A. R.; DITTMAR, H.; CORDEIRO, C. A. **Estratégias para o melhoramento de eucaliptos tropicais na Embrapa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 29 p.

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 321-334, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v33n1/41.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

PARENT, L. E.; ALMEIDA, C. X.; HERNANDES, A.; EGOZCUE, J. J.; GÜLSER, C.; BOLINDER, M. A.; KÄTTERER, T.; ANDRÉN, O.; PARENT, S. E.; ANCTIL, F.; CENTURION, J. F.; NATALE, W. Compositional analysis for an unbiased measure of soil aggregation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 179-180, p. 123-131, 2012a. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112001000>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

PARENT, L. E.; PARENT, S. E.; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; HERNANDES, A.; NATALE, W. Unbiased approach to diagnose the nutrient status of red guava (*Psidium guajava*). **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 959, p. 145-160, 2012b. Disponível em: <https://www.actahort.org/members/showpdf?booknr=959_18>. Acesso em: 22 mar. 2017.

PAULA, T. A.; LOPES, G. A. Crescimento do eucalipto sob diferentes doses e fontes de fósforo em áreas de cultivo mínimo. **ADDUBARE**, Piracicaba, v. 2, n. 9, p. 7-8, 2003. Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/addubare/nr009.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

PEÑALOZA, E. R. P. **Efecto de la fertilización sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* (Labill.) y *Eucalyptus nitens* (Maiden) de siete años de edad en la comuna de Máfil, provincia de Valdivia**. 2005. 115 f. Dissertação (Profesional de Ingeniero Forestal) - Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 2005.

PINTO, S. I. C. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto**. 2009. 117 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n2/v35n2a21.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

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

PREVEDELLO, J.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cflo/v23n1/1980-5098-cflo-23-01-00129.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

ROCHA, J. H. T.; PRIETO, M. R.; BORELLI, K.; BACKES, C. Índice de sobrevivência e desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus urograndis* no campo em função de doses de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

ROSIM, C. C. **Eficiência de utilização de nutrientes em híbridos interespecíficos de eucalipto**. 2013. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E.; MONTES, R. M. Balanço nutricional e coordenadas ilr para a interpretação da diagnose foliar da goiabeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: 2012. p. 6085-6089.

SALVADOR, S. M.; CONSENSA, C. B.; ARAÚJO, E. F. Produção de serapilheira e devolução de macronutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* (F. Muell). **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 52-62, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/enflo/article/view/15426>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Aboveground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. **New Zealand Journal of Forest Science**, Rotorua, v. 30, n. 1, p. 225-236, 2000. Disponível em: <https://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0018/59400/NZJFS301-and-22000_225_236SANTANA.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n4/a11v32n4.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; 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**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n4/a07v26n4>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. especial, p. 2723-2733, 2008b. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32nspe/16.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SANTOS, J. C. P. O cultivo de eucalipto como alternativa de renda aos produtores da Região Sul de Mato Grosso do Sul. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE ADMINISTRAÇÃO, ECONOMIA E CONTABILIDADE, 1, 2011, Ponta Porã. **Anais...** Dourados: UEMS, 2011. p. 1-12.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SAUR, E.; NAMBIAR, E. K. S.; FIFE, D. N. Foliar nutriente retranslocation in *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, Victoria, v. 20, n. 16, p. 1105-1112, 2000. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11269962>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SCATOLINI, F. M.; FIRME, D. J.; GARCIA, C. H.; GOMES, F. P.; CAMARGO, F. R. A. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim celulose e papel S.A. In: SOLO-SUELO, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SBSCS, 1996. 1 CD-ROM.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/283/pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SCHUMACHER, M.V.; VIEIRA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 471-480, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/431/311>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/6912/4577>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SIDDIQI, M. Y; SHAH, A. H.; TARIQ, M. A. Effects of fertilization and water stress on *Eucalyptus camaldulenses* seedlings. **Journal of Tropical Forest science**, Kepong, v. 20, n. 3, p. 205-210, 2008.

SILVA, A. C. **Manejo da fertilização NK em plantio de *Eucalyptus urophylla* em solo de cerrado**. 2015. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

SILVA, N. F. **Eficiência nutricional e seus biomarcadores em eucalipto para nitrogênio, fósforo e potássio**. 2017. 124 f. Tese (Doutora em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SILVA, P. H. M. **Impactos das doses e do parcelamento da fertilização na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto**. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Ciências/Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1001-1010, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n4/18.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. Applying Sewage sludge to *Eucalyptus grandis* Plantations: effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. **Applied and Environmental Soil Science**, New York, v. 2011, p. 1 - 11, 2011. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/aess/2011/710614/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-78, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112712006305>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIMA, W. P.; LIBARDI, P. L. Soil water dynamics and litter production in eucalypt and native vegetation in southeastern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 5, p. 345-355, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v71n5/05.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SILVEIRA, J. A. G.; CROMOCO, O. J. Efeitos de nitrogênio e potássio na utilização de nitrato e distribuição de carboidratos em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 26, n. 2, p. 247-257, 1991. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3335>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

- SILVEIRA, R. L. V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em eucalipto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 495-536.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L.; MALAVOLTA, E. O potássio na cultura do eucalipto. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 523-590.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 23 p.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus***. Informações Agrônômicas n. 91, Piracicaba: POTAFOS, 2000. 12p.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Produção e características químicas da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* em função de doses de potássio na solução nutritiva. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 115-135, 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr63/cap10.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- SMETHURST, P. J.; HERBERT, A. M.; BALLARD, L. M. Fertilization Effects on Soil Solution Chemistry in Three Eucalypt Plantations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 3, p. 795-804, 2001. . Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/65/3/795?access=0&view=pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Fatos e números do Brasil florestal**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 13 de fev. 2012.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. p. 147-168.
- SOUZA, A. H. B. **Ciclagem de nutrientes e produtividade de madeira em povoamento de *Eucalyptus grandis* sob diferentes manejos de resíduos florestais e fertilização mineral**. 2015. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências/Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113, 2001. Disponível em: <<http://www.cerne.ufra.br/site/index.php/CERNE/article/view/369>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

STAHL, J. **Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. à adubação fosfatada e potássica no planalto sul catarinense**. 2009. 70 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3/4, p. 920-930, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707007694>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo - Essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 1-12.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAKAHASHI, E. N.; FRANCISCATE, W.; SILVA, A. C.; SILVEIRA, R. L. V. A.; SILVEIRA, R. I. Estudos realizados com a adubação nitrogenada na Votorantim Celulose e Papel mostram ganhos de produtividade em eucalipto. **ADDUBARE**, Piracicaba, v. 3, n. 11, p. 9-12, 2004. Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/addubare/nr011.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

TEIXEIRA, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 310, p. 662-671, 2006. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3196>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 684-689, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v23n3/8051.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

VALERI, S. V.; FERREIRA, M. E.; MARTINS, M. I. E. G.; BANZATTO, D. A. ALVARENGA, S. F.; CORRADINI, L. VALLE, C. F. Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 53-71, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/66717/2-s2.0-0035782863.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n4/v69n4a24.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

VIEIRA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VIEIRA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, supl.1, p. 2481-2490, 2012. Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/8005/11748>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/floram/v21n3/aop_floram_053913.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

VIEIRA, A. A. G.; TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo pela espécie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 40-43, 2009. Disponível em:

<<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/8159/5807>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, Nova York, v. 25, n. 4, p. 719-734, 2002. Disponível em:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/PLN-120002954>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E.

Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 10, p. 1797-1803, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n10/7179.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.