

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

FLAVIA BIASSIO RIFERTE

**ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA O MILHO CULTIVADO EM
SISTEMA AGROFLORESTAL SOB PLANTIO DIRETO**

PONTA GROSSA - PR

2016

FLAVIA BIASSIO RIFERTE

**ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA O MILHO CULTIVADO EM
SISTEMA AGROFLORESTAL SOB PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Agricultura. Linha de pesquisa: Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Co-orientadora: Dra. Laíse da Silveira Pontes

PONTA GROSSA - PR

2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

R564 Riferte, Flavia Biassio
Antecipação da adubação potássica para
o milho cultivado em sistema agroflorestal
sob plantio direto/ Flavia Biassio
Riferte. Ponta Grossa, 2016.
57f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia -
Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira
da Fonseca.
Coorientadora: Prof^a Dr^a Laíse da
Silveira Pontes.

1.Avena sativa L. 2.Zea mays L.
3.Eucalyptus dunni Maiden. 4.Adubação de
sistema. 5.Sistema integrado de produção.
I.Fonseca, Adriel Ferreira da. II.
Pontes, Laíse da Silveira. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Agronomia. IV. T.

CDD: 633.15



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Antecipação da adubação potássica para o milho cultivado em sistema agroflorestal sob plantio direto”.**

Nome: Flavia Biassio

Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Dr. Renato Yagi

Profª Drª Silvana Ohse

Data da Realização: 29 de fevereiro de 2016.

A Deus.

Ao meu marido, amigo e fiel
companheiro *Jonathas*.

À minha mãe *Neuraci*, ao meu pai
Aristeu e aos meus irmãos *Angela e*
Bruno.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A autora expressa seus agradecimentos as seguintes pessoas e instituições, sem as quais não teria sido possível a realização do presente trabalho:

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), na qual tive a oportunidade de realizar a graduação e a pós-graduação em Agronomia e a execução deste trabalho.

Ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), pela concessão da área experimental.

Ao Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca, pelo estímulo, confiança, orientação, valiosas críticas e amizade.

À pesquisadora Dra. Laíse da Silveira Pontes, pelo apoio, sugestões e auxílio na condução do experimento.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela contribuição científica para realização deste trabalho e formação profissional.

À Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de iniciação científica (PIBIC/ Fund. Araucária) durante três anos.

À Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à Fundação Araucária pela concessão da bolsa de estudos e recursos financeiros, no mestrado.

Ao Laboratório de Nutrição de Plantas e Laboratório de Fertilidade do Solo da UEPG, e seus funcionários e técnicos: Verônica Dias Carneiro, Danilo Bachinski, Elias Luiz Meira e Dirce Aparecida Vaz pela realização das análises químicas de planta e solo.

Ao Laboratório Multiusuário da UEPG pela concessão do equipamento espectrofotômetro de absorção atômica por chama.

A todos estagiários e funcionários do IAPAR, especialmente ao Giliardi Stafin, pelos auxílios durante a condução do experimento.

Ao meu marido Jonathas Joel Riferte, pelo auxílio nas coletas a campo e, principalmente, pela paciência e companheirismo durante a execução deste trabalho.

Aos colegas e amigos (as) Jéssica Alves dos Santos, Silvano Harkatin, Rodrigo Martins de Oliveira, Valter Yassuo Asami, Hendrik Ivan Reifur, Bleine Bach, Eduardo Güntzel, Fabrício Siqueira Hennipman, Shively Los Galetto, Moisés Marcondes de Oliveira, Sara Ponte Carrera, Gabriel Gregório Soares, Luana Duda, Simone Miara, Jasmine Jurich Pilati, Bruna Simone

Siqueira, Julienne de Geus Moro, Elton Rech, André Vinícius Vam Beek, Adriano Xavier Maukoski, Thays Schneider, Emerson Homenchuk, Guilherme Moll, Gabriel Andrade Schleder, Juliano Garda, Sandoval Carpinelli, Pâmela Scortegagna, Kellen Mulhstedt, Jheferson Gabriel do Carmo e Diego Eloy Carneiro pelo companheirismo e auxílio nas amostragens de solo e planta e análises laboratoriais.

À minha família e aos meus amigos, pelo estímulo e companheirismo durante todo esse tempo.

E a todas as pessoas que de alguma forma tornaram possível a concretização deste trabalho.

RESUMO

RIFERTE, F. B. **Antecipação da adubação potássica para o milho cultivado em sistema agroflorestal sob plantio direto**. 2016. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa.

O sucesso do sistema agroflorestal (SAF) é resultante das combinações adequadas de culturas agrícolas, forrageiras e componente arbóreo e da fertilidade do solo. Modificações no microclima, em SAF, podem afetar a eficiência de uso de potássio (K) pelas culturas agrícolas. A elevada absorção de K pelas plantas de aveia branca, milho e eucalipto tornam a fertilização potássica uma prática essencial. Os objetivos deste trabalho foram quantificar (i) o rendimento de matéria seca (MS) e acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia branca (safra 2014); (ii) o rendimento de MS e de grãos, e o estado nutricional do milho (safra 2014/15); (iii) a eficiência de uso de K pelas culturas em sucessão (aveia branca – milho) e (iv) avaliar os principais atributos de fertilidade do solo, após o cultivo de aveia branca (safra 2014) e milho (safra 2014/2015), em SAF fertilizado com K. O experimento foi instalado na Fazenda Modelo do Instituto Agrônomo do Paraná, em Ponta Grossa (PR) em um Latossolo Vermelho Distrófico úmbrico. O delineamento experimental empregado foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas consistiram em quatro transectas – distâncias de cultivo em relação às árvores (transectas: 1 – 0-4 m de distância; 2 – 4-8 m de distância; 3 – 8-12 m de distância; e 4 – 12-16 m de distância). Nas subparcelas foram estudadas quatro doses anuais de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹), na forma de cloreto de potássio, aplicadas em superfície, em área total, sendo a metade de cada dose aplicada por ocasião da semeadura de cada cultura (aveia branca – inverno e milho – verão). Foram determinados os rendimentos de MS e acúmulos de macronutrientes na parte aérea da aveia branca por ocasião do manejo com herbicida. Com relação ao milho, foi avaliado o estado nutricional e mensurado os rendimentos de MS e grãos. Ainda, determinou-se os valores de pH; os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e K trocáveis; saturação por bases (V) e o percentual de K na CTC efetiva do solo, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm. O rendimento de MS e o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da aveia branca foi diminuído devido ao sombreamento proporcionado pelo eucalipto. Para essa cultura em SAF, as doses de K_2O aumentam o rendimento de MS e também, o acúmulo de enxofre (S) na parte aérea. Em situação de sombreamento com intensidade de 64,5%, a reciclagem de nutrientes pela aveia branca proporcionou, para a cultura de milho, melhor nutrição e, na média, maiores rendimentos de MS e de grãos. Nessa situação, a adição de K_2O (até 230 kg ha⁻¹ ano⁻¹) proporcionaria maior rendimento de grãos de milho. A diminuição na dose de K implica diretamente em maior eficiência de uso do potássio, menor custo de produção e possibilita viabilizar o cultivo de milho em SAF na região dos Campos Gerais. A aplicação de fertilizante potássico de alta solubilidade em água, na superfície do solo, diminuiu, em algumas situações, os teores de Ca e Mg na camada superficial, favoreceu a mobilidade do K e aumentou seu teor deste nutriente ao longo do perfil do solo e, conseqüentemente sua participação na CTCe. O componente arbóreo diminuiu as concentrações de nutrientes na transecta 1 (região de maior influência do eucalipto), resultando em menores valores de pH e V nas camadas subsuperficiais do solo (abaixo de 20 cm de profundidade).

Palavras-chave: *Avena sativa* L., *Zea mays* L., *Eucalyptus dunni* Maiden, adubação de sistema, sistema integrado de produção, eficiência de uso de potássio, solo com carga variável.

ABSTRACT

RIFERTE, F. B. **Anticipation of potassium fertilization for corn in agroforestry system under no till.** Dissertation of masters degree in Agronomy - University State of Ponta Grossa.

The success of agroforestry system (AFS) is the result of appropriate combinations of crops, forage and tree component and soil fertility. Changes in the microclimate in AFS, can affect the potassium use efficiency by crops. The high absorption of potassium (K) by the plants of white oat, corn and eucalyptus make potassium fertilization an essential practice in AFS. The objectives of this study were to quantify (i) the dry matter yield (DM) and nutrient accumulation in shoots of white oat (season 2014); (ii) the DM and grain yield, and the nutritional status of maize (season 2014/15); (iii) potassium use efficiency by crops in succession (white oat - maize); and (iv) assess the main soil fertility attributes after the white oat crop (season 2014) and maize (season 2014/2015) in AFS fertilized with K. The experiment was installed in Model Farm of Agronomic Institute of Paraná (IAPAR), in the city of Ponta Grossa (PR) in an Oxisol úmbrico. The experimental design was a randomized complete block with split plots and three replications. The plots consist of four transects - growing distances from trees (transects: 1 - 0-4 m away; 2 - 4-8 m away; 3 - 8-12 m distance and 4 - 12-16 m away). In the subplots were studied four annual K_2O levels (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ year⁻¹), as potassium chloride (600 g kg⁻¹ K_2O), applied to the surface, and half of each levels applied at sowing of each crop (white oat - winter and maize - summer). The DM yields and nutrients accumulation in the shoots of white oat were determined on management with herbicide. In maize, was evaluated the nutritional status and measured DM and grain yields. Also, values of pH, contents of calcium (Ca), magnesium (Mg) and K exchangeable, base saturation (V) and the percentage of K in the effective CECe were determined in the layers of 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 and 40-60 cm. The DM yield and the accumulation of nutrients in the shoots of white oat decreased due to the shade provided by the eucalyptus. To this culture in AFS, the levels of K_2O increased the yield of DM and the accumulation of sulfur (S) in the shoot. In situation of shading of 64.5%, recycling of nutrients by white oat provided for the subsequent corn crop, better nutrition and, on average, higher DM and grain yields. In this situation, the addition of K_2O (up to 230 kg ha⁻¹ year⁻¹) would provide higher yield of corn grain. This decrease in K level directly implies greater potassium use efficiency, lower production cost and could make possible the cultivation of corn in AFS in the Campos Gerais region. The application of potassium fertilizer high water solubility, in the surface of the soil, reduced, in some situations, Ca and Mg content in the surface layer, it favored the mobility of K and increased its content of this nutrient throughout the soil profile and thus their participation in CECe. The tree component reduced nutrient concentrations in transecta 1 (most influential eucalyptus region), resulting in lower pH values and V in subsurface soil layers (below 20 cm deep).

Keywords: *Avena sativa* L., *Zea mays* L., *Eucalyptus dunnii* Maiden, fertilization system, integrated production system, potassium use efficiency, variable charge soil.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Rendimento de matéria seca (MS) (A) e grãos (B) de milho afetados por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹), em sistema agroflorestal. (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 29
- Figura 2 - Concentração de nitrogênio – N (A); fósforo – P (B); potássio – K (C); cálcio – Ca (D); magnésio – Mg (E) e enxofre – S (F) na diagnose foliar do milho, afetadas por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 31
- Figura 3 - Valores de pH nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. 40
- Figura 4 - Teor de cálcio (Ca) trocável nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 41
- Figura 5 - Teor de magnésio (Mg) trocável nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 43
- Figura 6 - Teor de potássio (K) trocável nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 44
- Figura 7 - Saturação por bases (V) nas camadas de solo avaliadas, afetada por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 46
- Figura 8 - Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo (%K na CTCe) nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$ 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização das transectas pertencentes ao experimento, de acordo com a distância de cultivo das culturas agrícolas em relação ao componente arbóreo.....	23
Tabela 2 - Temperaturas máxima, mínima e média (°C) e precipitação pluvial (mm) no decorrer do período experimental (maio/2014 a maio/2015).	24
Tabela 3 - Efeito das transectas sobre o rendimento de matéria seca (MS), acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plantas de aveia branca, safra 2014.	26
Tabela 4 - Efeito das doses de K ₂ O (0, 100, 200 e 300 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de K ₂ O aplicados na forma de cloreto de potássio) sobre o rendimento de matéria seca (MS) e acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plantas de aveia branca, safra 2014.	28
Tabela 5 - Eficiência do uso de potássio (EUK) pelas culturas de aveia branca (kg de K ₂ O por kg de matéria seca – MS) e milho (kg de K ₂ O por kg de MS e kg de K ₂ O por kg de grãos) submetidas às doses de anuais de cloreto de potássio (600 g kg ⁻¹ de K ₂ O), em sistema agroflorestal.	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1. Caracterização dos sistemas agroflorestais e sustentabilidade	12
3.2. Potássio: definição, função, formas no solo e mecanismos de absorção	14
3.3. Utilização de K pelas culturas de aveia branca, milho e eucalipto	17
4. NUTRIÇÃO E RENDIMENTO DE AVEIA BRANCA E MILHO EM SISTEMA AGROFLORESTAL FERTILIZADO COM POTÁSSIO	19
4.1. Resumo	19
4.2. Abstract	20
4.3. Introdução	21
4.4. Material e métodos	22
4.4.1. Caracterização da área experimental, tratamentos e delineamento	22
4.4.2. Condução do experimento	23
4.4.3. Amostragens em campo, determinações laboratoriais e análise estatística	24
4.5. Resultados e discussão	26
4.5.1. Rendimento e nutrição da aveia branca	26
4.5.2. Rendimento e nutrição do milho.....	28
4.5.4. Eficiência do uso de potássio (EUK) pelas culturas de aveia branca e milho	32
4.6. Conclusões	33
5. ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL SUBMETIDO À FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA EM ÁREA TOTAL	35
5.1. Resumo	35
5.2. Abstract	36
5.3. Introdução	37
5.4. Material e métodos	38
5.4.1. Caracterização da área experimental, tratamentos e delineamento	38
5.4.2. Amostragens em campo, determinações laboratoriais e análise estatística	39
5.5. Resultados e discussão	39
5.5.1. Apresentação dos resultados.....	39
5.5.2. Discussão	48
5.6. Conclusões	49
REFERÊNCIAS	50
ANEXO.....	57

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional exige o incremento cada vez maior da produção de alimentos, tornando a prática da agricultura mais intensiva. No entanto, tal prática pode trazer consideráveis riscos ecológicos, econômicos e ambientais (MACEDO et al., 2010), prejudicando a sustentabilidade da produção agrícola. Dentro desse contexto, surge uma nova lógica de produção, baseada na “intensificação sustentável” (FREIDRICH, 2010), na qual busca-se maior eficiência na utilização dos recursos naturais, porém fundamentada nos pilares da sustentabilidade. Uma alternativa de produção que se enquadra nessa nova lógica, são os sistemas agroflorestais (SAFs), nos quais há a otimização do uso dos recursos naturais e obtenção de diversos produtos (alimentos, forragem, madeira), em um mesmo espaço físico (DANIEL et al., 1999). Ainda, a adoção de práticas conservacionistas de uso do solo, como o sistema plantio direto, nos SAFs, resulta em maiores benefícios ao sistema, devido ao adequado planejamento de rotação de culturas, melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e melhoria na eficiência do uso de água e fertilizantes (TRIPLETT & DICK, 2008).

Em SAFs, a presença do componente arbóreo promove diferenças na quantidade e na qualidade de radiação solar que atinge as culturas agrícolas (VIEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2011). Dessa forma, essas modificações podem condicionar diferentes respostas fisiológicas às plantas (ALMEIDA et al., 2005, ATROCH et al., 2001), afetando seu crescimento e desenvolvimento (BECKMANN et al., 2006).

Um dos cereais de inverno, com potencial forrageiro e de cobertura do solo, interessante para SAF, na região dos Campos Gerais do Paraná (Brasil), é a aveia branca (*Avena sativa* L.), pois se desenvolve bem em zonas com baixas quantidades de radiação solar (MUNDSTOK, 1983). Como planta sucessora da aveia branca, o milho (*Zea mays* L.) pode ser interessante em SAF, devido à simplicidade de sua condução e ao seu comportamento diante das adversidades climáticas (SCHREINER & BAGGIO, 1984). Como componente arbóreo, o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) tem sido um dos mais indicados, devido ao seu rápido crescimento, potencial de adaptação e características agroflorestais desejáveis (MACEDO et al., 2008).

Adequadas combinações de culturas agrícolas, forrageiras e componente arbóreo, juntamente com a fertilidade do solo, são fatores primordiais para o sucesso do SAF. Entretanto, os solos da região dos Campos Gerais, apresentam, em condições naturais, alta acidez, baixas concentrações de fósforo (P) disponível e de bases trocáveis (cálcio – Ca, magnésio – Mg e

potássio - K) (MAACK, 1948). Ainda, devido ao material de origem, grande parte desses solos possuem textura arenosa e, conseqüentemente, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o que facilita a lixiviação de nutrientes, principalmente de K (ROSOLEM & NAKAGAWA, 2001).

A elevada absorção de K pelas plantas de milho, aveia branca e eucalipto torna a fertilização potássica uma prática essencial em SAF. Entretanto, são raros os trabalhos que avaliam a eficiência de uso de K pelas culturas de aveia branca e milho em SAF. Ainda, a ciclagem biogeoquímica promovida pelo componente arbóreo e pelas culturas agrícolas (aveia branca e milho), a adição de fertilizante potássico de alta solubilidade em água e as modificações do microclima proporcionadas pelo eucalipto, podem alterar os principais atributos de fertilidade do solo em SAF.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho consistiram em quantificar (i) o rendimento de matéria seca (MS) e o acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia branca (safra 2014); (ii) o rendimento de MS e de grãos, bem como o estado nutricional do milho (safra 2014/15); (iii) a eficiência de uso de potássio pelas culturas em sucessão (aveia branca – milho) e (iv) as alterações nos atributos acidez ativa (pH), teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) trocáveis, saturação por bases (V) e o percentual de K na capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), nas camadas 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm, em sistema agroflorestal (SAF) submetido à fertilização potássica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização dos sistemas agroflorestais e sustentabilidade

Pode-se definir os Sistemas Agroflorestais (SAFs) como um conjunto de técnicas alternativas para utilização dos recursos naturais, no qual as espécies florestais são utilizadas em associação a cultivos agrícolas e/ou animais em uma mesma área (MACEDO et al., 2010). Essas combinações/associações/consorciações podem ser instaladas e manejadas de maneira simultânea/escalonada/sequencial no tempo e no espaço, apresentando caráter temporário ou permanente. Isso proporciona a classificação dos SAFs de acordo com os componentes incluídos, estrutura espacial e arranjo temporal (MACEDO et al., 2000).

De acordo com a classificação baseada nos aspectos funcionais e estruturais, os SAFs são classificados em: (i) sistemas silviagrícolas ou agrossilvícolas ou agrossilviculturais – compreendem os sistemas para produção simultânea de culturas agrícolas e florestais, tendo esta como função principal a produção e/ou a proteção das culturas agrícolas; (ii) sistemas silvipastoris – correspondem à associação de árvores dentro da atividade pecuária ou a criação de animais dentro de povoamentos florestais; e (iii) sistemas agrossilvipastoris – preconizam a associação de árvores ou arbustos com cultivos agrícolas e pecuária (MACEDO et al., 2010).

O arranjo temporal classifica os sistemas agroflorestais em sequenciais, simultâneos e complementares. Nos SAFs denominados sequenciais, há uma relação cronológica entre os componentes (MACEDO et al., 2010), onde os cultivos agrícolas anuais, os animais e as espécies arbóreas se sucedem no tempo (MAGALHÃES et al., 2014). Os SAFs classificados como simultâneos, integram, ao mesmo tempo, os cultivos anuais e perenes, com espécies madeireiras ou de uso múltiplo e/ou pecuária. Os chamados sistemas complementares, como as cercas vivas e cortinas quebra-vento, podem estar associados aos sistemas sequenciais ou simultâneos (MAGALHÃES et al., 2014).

Por apresentarem diferentes organismos compartilhando o mesmo espaço, os SAFs possuem uma natureza heterogênea, sendo considerados mais complexos que os sistemas de monocultura. Existe uma interação complexa entre o ambiente físico e os componentes do sistema, afetando (i) o ciclo de vida dos elementos, com reflexos no crescimento (das árvores, culturas agrícolas e animais), (ii) o manejo (microclima, água, solo, plantas e animais) e (iii) as interações entre seus componentes (árvore/cultura, árvore/pastagem, árvore/animal e suas combinações) (MACEDO et al., 2010).

Ao combinar os benefícios provenientes da produção (alimentos, forragem, madeira) e de serviços (conservação do solo, manutenção da fertilidade, ciclagem de nutrientes, restabelecimento de microclima) (DANIEL et al., 1999) e buscar a otimização da agregação de valores socioeconômico-culturais e ambientais (ASSIS JÚNIOR et al., 2003), os SAFs caracterizam-se como sistemas sustentáveis de uso da terra. A presença de componentes florestais arbóreos, adicionados a uma grande biodiversidade de espécies, propicia a deposição contínua de resíduos vegetais, proporcionando maior cobertura do solo, o que facilita a manutenção e o aumento da matéria orgânica do solo (GUIMARÃES et al., 2014), promovem a ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos e favorecem a preservação da fauna e da flora. Ou seja, afetam diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Possibilitam, ainda, maior diversidade de produtos a serem explorados, o que alivia a sazonalidade, fenômeno comum no setor agropecuário (IZAC & SANCHEZ, 2001).

Os SAFs não restauram por completo a estrutura e a biodiversidade de comunidades florestais, mas podem auxiliar a recuperação das funções essenciais para a sustentabilidade do agroecossistema (SILVA et al., 2012). Por essa razão, os SAFs têm sido adotados como alternativa para recuperação de áreas degradadas, pois proporcionam a reconstituição das características diretamente relacionadas ao solo, além da recuperação da paisagem de uma forma geral, a qual envolve todos os fatores responsáveis pela produção em harmonia com o ecossistema: o solo, a água, o ar, o microclima, a flora e a fauna (DANIEL et al., 1999). Além da recuperação de funções ecológicas que garantem a sustentabilidade do agroecossistema, os SAFs apresentam grande potencial para o sequestro de carbono atmosférico em tecido vegetal ou matéria orgânica no solo (ALBRECHT & KANDJI, 2003).

Conforme mencionado, os sistemas agroflorestais englobam práticas muito heterogêneas. Tão ampla variedade permite maximizar os benefícios dos conjuntos de interdependência ecológica e flexibilizar os sistemas de acordo com o local, com as características ambientais e com as necessidades, os objetivos e as restrições dos produtores e do mercado (GLIESSMAN, 2009).

3.2. Potássio: definição, função, formas no solo e mecanismos de absorção

O potássio (K) é um elemento essencial para as plantas, sendo considerado um macronutriente. É o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, ficando atrás apenas do nitrogênio. O requerimento de K para o ótimo crescimento das plantas está entre 2 a 5% na matéria seca, variando em função da espécie e do órgão analisado (FAQUIN, 2005).

Diferente dos outros nutrientes, o K não é um constituinte de biomoléculas, não sendo metabolizado pela planta. Forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade, além de ser o íon mais abundante nas células vegetais (MARSCHNER, 1995). Possui alta mobilidade dentro das plantas (WINKLER & ZOTZ, 2010), devido a sua grande permeabilidade nas membranas, o que o torna facilmente absorvido e transportado à longa distância pelo floema e pelo xilema. Desta forma, sob condições de baixo suprimento de K pelo meio, o elemento é redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas e para regiões em crescimento. Assim, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais velhas (FAQUIN, 2005).

Entre as várias funções que o K exerce nas plantas, citam-se: (i) ajuste osmótico; (ii) melhor eficiência de uso da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos; (iii) maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta; (iv) ativador enzimático (MALAVOLTA et al., 1997) e (v) síntese de proteínas. Quando deficientes, as plantas apresentam menor síntese de proteínas e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos, amidas e nitrato (FAQUIN, 1994). Assim, o adequado aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados depende, também, de um eficiente suprimento de potássio às plantas (LOPES & GUILHERME, 1992).

O K presente no solo encontra-se das seguintes formas: (i) K da solução, o qual está prontamente disponível para a absorção pelas plantas; (ii) K trocável, adsorvido aos coloides do solo, passando facilmente para a solução do solo; (iii) K não-trocável, fixado ou retido entre as lâminas das argilas 2:1; e (iv) K estrutural, componente da estrutura dos minerais constituintes do solo (SPARKS, 1980). O K absorvido pelas plantas advém da solução e dos sítios de troca dos coloides do solo, que estão em equilíbrio com o K não-trocável e com o K estrutural dos minerais (SPARKS & HUANG, 1985).

Todos os solos, em maior ou menor grau, apresentam K em formas não-trocáveis, ou não extraídas convencionalmente para avaliar a disponibilidade de K (WERLE et al., 2008). Estas formas de K no solo podem suprir a necessidade deste nutriente pelas plantas, de modo

indireto, através da reposição do K trocável (MEURER & ANGHINONI, 1993). Dessa forma, o K trocável é tido como reserva prontamente disponível às plantas ou aquela absorvida pelas plantas no período de cultivo, enquanto o K não-trocável constitui uma reserva que pode ser utilizada à medida que os teores do K trocável diminuem (OLIVEIRA et al., 1971). Assim, as formas não-trocáveis dão uma ideia da fração de K que poderá estar disponível às plantas e sua relação no sistema solo-planta (VASCONCELOS et al., 1982).

As raízes das plantas absorvem o K na forma iônica, K^+ , a qual está presente na solução do solo. Concentrações elevadas de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) na solução do solo reduzem a absorção do K por inibição competitiva (FAQUIN, 2005). Fatores importantes da planta, relacionados com a absorção de nutrientes, são a geometria da raiz (raio e a presença de pelos radiculares) e as características fisiológicas relacionadas com a capacidade de absorção do nutriente (WIETHÖLTER, 2007). Os fatores do solo que mais influenciam os mecanismos de absorção de K são o teor de água e/ou de oxigênio, a concentração do nutriente na solução do solo e a habilidade da fase sólida do solo em realimentar a solução do solo (poder-tampão) (WIETHÖLTER, 2007). Solos com poder-tampão de K maior, necessitam adição de maior quantidade desse elemento para satisfazer a demanda da planta.

Diferentes mecanismos, como fluxo de massa, difusão e interceptação radicular, são responsáveis pelo contato íon-raiz (ROSOLEM et al., 2003). Dependendo das características morfofisiológicas das plantas (velocidade de transpiração, extensão radicular, taxa de absorção de nutrientes, intensidade respiratória), espera-se que distintas espécies vegetais possam ser supridas com intensidades diferentes pelos mecanismos de difusão, fluxo de massa e interceptação radicular (SHEA et al. 1967).

Geralmente, a difusão é o mecanismo dominante de suprimento de K até às raízes das plantas (MARSCHNER, 1995). Entretanto, há relatos que o K também pode ser suprido pela interceptação radicular e fluxo de massa. Fatores como, demanda da planta por potássio, idade da planta, atividade das raízes e condições ambientais, podem implicar em uma maior ou menor contribuição de um determinado mecanismo de suprimento (VARGAS et al., 1983).

Costa et al. (1988), trabalhando com diversas culturas, observaram que o mecanismo de interceptação radicular supriu, em mais de 11%, a necessidade de K pelas plantas de milho e soja. Olsen & Kemper (1968) e Nye & Tinker (1977) consideraram a interceptação radicular um mecanismo de absorção improvável, uma vez que, ao invés de serem absorvidos pelas

raízes, os nutrientes são primeiramente deslocados por elas, para, então, moverem-se de volta em sua direção, o que ocorreria por fluxo de massa ou difusão.

A contribuição do fluxo de massa no suprimento de K é da ordem de 10% (VARGAS et al., 1983). Ruiz et al. (1999), no entanto, ao corrigirem a acidez do solo com K_2CO_3 , verificaram que o fluxo de massa supriu as exigências de K das plantas de arroz, devido à alta concentração de K na solução do solo. Rosolem et al. (2001) observaram aumento do fluxo de massa no suprimento de K às raízes de algodão em alta dose de K (60 mg dm^{-3}), decorrente do maior número de raízes finas e da competição entre as raízes, reduzindo a contribuição da difusão. Resultado contrário foi obtido por Rosolem et al. (2003), para a cultura do milheto, onde, com a menor dose de K, foi observada maior contribuição relativa do fluxo de massa, que chegou a 12 % do K absorvido pelas plantas, contra 4 % na maior dose do nutriente. A aplicação de 120 mg dm^{-3} de K (dose alta) proporcionou a concentração média de $14,9 \text{ mg L}^{-1}$ na solução do solo, teor considerado baixo, segundo Vargas et al. (1983), e responsável, em parte, pela baixa contribuição do fluxo de massa.

Oliver & Barber (1966) obtiveram uma contribuição do mecanismo de difusão no suprimento de K para as plantas de até 96%. No Brasil, trabalhando com diferentes solos do Rio Grande do Sul, Vargas (1982) verificou que o mecanismo de difusão contribuiu com 72 a 95% do provimento de potássio para a cultura do milho. Ruiz et al. (1999), Rosolém et al. (2003) e Fernandes (2006) também constataram que a difusão foi o principal mecanismo de suprimento de K às raízes de plantas. Costa et al. (1988), trabalhando com diferentes espécies de culturas, observou que independentemente das espécies, o mecanismo de difusão proporcionou a maior contribuição percentual de potássio, sendo as culturas de milho e milheto as espécies que mais absorveram K por esse mecanismo (aproximadamente 80%).

Para recomendações de adubação potássica às culturas, principalmente no sistema plantio direto, é importante definir a disponibilidade das diferentes formas de K no solo às plantas (ELKHATIB & HERN, 1988) e suas influências na dinâmica do K no perfil do solo. Isso porque a aplicação insuficiente de adubo pode levar ao esgotamento das reservas do solo, e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas, mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (ERNANI et al., 2007).

3.3. Utilização de K pelas culturas de aveia branca, milho e eucalipto

Dentre os vários cereais de inverno, o cultivo da aveia branca vem se firmando como uma importante alternativa de exploração agrícola (CASTRO et al., 2012), principalmente na região Centro-Sul do Brasil (HARTWING et al., 2006). Apresenta finalidades diversas, como (i) pastejo direto, (ii) produção de forragem, (iii) produção de grãos, tanto para consumo animal quanto humano, (iv) elaboração de feno e silagem e (v) cobertura do solo para o sistema plantio direto (TAFERNABERRI JÚNIOR et al., 2012). Sua produtividade varia de 10.000 a 30.000 kg ha⁻¹ de massa verde, com 2.000 a 6.000 kg ha⁻¹ de matéria seca (KICHEL & MIRANDA, 2000).

O resíduo vegetal deixado pela palhada da aveia branca promove, a curto e médio prazo, a reciclagem de nutrientes, favorecendo, principalmente, o aumento dos teores de fósforo e potássio do solo conduzido sob plantio direto (FLOSS, 2000). Assim como a maioria das poáceas, a aveia branca absorve grande quantidade de K. Como o K permanece livre dentro do tecido vegetal, sua liberação ao solo, no momento da decomposição da palhada, se dá de forma rápida e imediata, tornando o K disponível no solo para as culturas subsequentes.

O milho é uma cultura de elevada importância no cenário mundial e brasileiro, sendo que, no Brasil, vem apresentando crescimento expressivo de produtividade (COELHO, 2005). O estado do Paraná apresenta a maior produtividade de milho, seguido pelo estado do Mato Grosso, que juntos são líderes na produção brasileira (CONAB, 2016).

A exigência de K pelas plantas de milho é maior durante o período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento (COELHO & ALVES, 2004). Ao atingir o acúmulo de 50 % de matéria seca, a planta já absorveu 90% da sua necessidade total de K (COELHO, 2005). Entretanto, a exportação de K pelos grãos de milho é relativamente baixa, variando de 26% a 43% do total de K absorvido pela planta (FERNANDES et al., 1998). O restante do K absorvido permanece nos restos culturais. Isso caracteriza o milho como uma “bomba” recicladora de K (COELHO, 2005).

Devido à exigência de K pelo milho ser maior nos estádios iniciais do seu desenvolvimento, torna-se interessante a antecipação da adubação potássica, visando suprir a elevada demanda inicial de K pela cultura do milho (FOLONI & ROSOLÉM, 2008). Ainda, a liberação de K proveniente da decomposição dos restos vegetais da cultura anterior, pode favorecer o aumento da absorção de K pelas plantas de milho.

De maneira similar à aveia branca e ao milho, o eucalipto absorve grandes quantidades de K, sendo este nutriente o segundo ou terceiro nutriente mais acumulado pelas árvores de eucalipto (SILVEIRA et al., 2005). Para atingir a produção de 30 a 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira, a quantidade total de K acumulado pelo eucalipto, aos 7 anos de idade, está entre 190 e 400 kg ha⁻¹ de K (SILVEIRA et al., 2005), tornando fundamental a prática da adubação potássica nas áreas de cultivo de eucalipto.

Em sistemas agroflorestais, a absorção de K pelo eucalipto, pode ser favorecida pela adubação realizada nas culturas agrícolas e pela reciclagem de K proveniente da decomposição dos restos culturais. Portanto, torna-se interessante o estudo da dinâmica do potássio nesses sistemas.

4. NUTRIÇÃO E RENDIMENTO DE AVEIA BRANCA E MILHO EM SISTEMA AGROFLORESTAL FERTILIZADO COM POTÁSSIO

4.1. Resumo

As interações entre intensidade de sombreamento, absorção e utilização de potássio (K) em sistema agroflorestal (SAF), sob solo com carga variável, têm sido pouco estudadas. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar: (i) rendimento de matéria seca (MS) e acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia branca (safra 2014); (ii) rendimento de MS e de grãos, e o estado nutricional do milho (safra 2014/15); e (iii) eficiência de uso de potássio pelas culturas em sucessão (aveia branca – milho). O delineamento experimental empregado foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas consistiram em quatro transectas – distâncias de cultivo em relação às árvores (transectas: 1 – 0-4 m de distância; 2 – 4-8 m de distância; 3 – 8-12 m de distância; e 4 – 12-16 m de distância). Nas subparcelas foram estudadas quatro doses anuais de K_2O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹), na forma de cloreto de potássio (600 g kg⁻¹ de K_2O), aplicadas em superfície, sendo a metade de cada dose aplicada por ocasião da semeadura de cada cultura (aveia branca – inverno e milho – verão). Foram determinados os rendimentos de MS e acúmulos de macronutrientes na parte aérea da aveia branca por ocasião do manejo com herbicida. Com relação ao milho, foi avaliado o estado nutricional e mensurado os rendimentos de MS e grãos. O rendimento de MS e o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da aveia branca foi diminuído devido ao sombreamento proporcionado pelo eucalipto. Para essa cultura em SAF, as doses de K_2O aumentaram o rendimento de MS e, também, o acúmulo de enxofre (S) na parte aérea. Em situação de sombreamento, com intensidade de 64,5%, a reciclagem de nutrientes pela aveia branca proporcionou, para a cultura de milho, melhor nutrição e, na média, maiores rendimentos de MS e de grãos. Nessa situação, a adição de K_2O (até 230 kg ha⁻¹ ano⁻¹) proporcionaria maior rendimento de grãos de milho. Como a dose de K para obtenção de máximo rendimento foi dependente da intensidade de radiação disponível, poderia ser possível reduzir a dose deste nutriente em SAF, devido aos menores rendimentos (de MS e grãos) esperados. Essa diminuição na dose de K implicaria diretamente em maior eficiência de uso do K, menor custo de produção e possibilitaria viabilizar o cultivo de milho em SAF na região dos Campos Gerais.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., *Zea mays* L., *Eucalyptus dunni* Maiden, adubação de sistema, sistema integrado de produção, eficiência de uso de potássio.

Nutrition and yield of white oats and maize in agroforestry system fertilized with potassium

4.2. Abstract

The interactions between shading intensity, absorption and utilization of potassium (K) in an agroforestry system (AFS) in a variable charge soils have been little studied. The objective of this study was to evaluate: (i) dry matter yield (DM) and nutrient accumulation in shoots of white oat (season 2014); (ii) DM and grain yield, and the nutritional status of maize (season 2014/15); (iii) potassium use efficiency by crops in succession (white oat - maize). The experimental design was a randomized complete block with split plots and three replications. The plots consist of four transects - growing distances from trees (transects: 1 - 0-4 m away; 2 - 4-8 m away; 3 - 8-12 m distance and 4 - 12-16 m away). In the subplots were studied four annual K_2O levels (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ year⁻¹), as potassium chloride (600 g kg⁻¹ K_2O), applied to the surface, and half of each levels applied at sowing of each crop (white oat - winter and maize - summer). The DM yields and nutrients accumulation in the shoots of white oat were determined on management with herbicide. In maize, was evaluated the nutritional status and measured DM and grain yields. The DM yield and the accumulation of nutrients in the shoots of white oat decreased due to the shade provided by the eucalyptus. To this culture in AFS, the levels of K_2O increased the yield of DM and the accumulation of sulfur (S) in the shoot. In situation of shading of 64.5%, recycling of nutrients by white oat provided for the subsequent corn crop, better nutrition and, on average, higher DM and grain yields. In this situation, the addition of K_2O (up to 230 kg ha⁻¹ year⁻¹) would provide higher yield of corn grain. As the amount of K to obtain the maximum yield was dependent on the available radiation intensity, it is possible to reduce the level of this nutrient in AFS, due to lower yields (DM and grains) expected. This decrease in K level directly implies greater potassium use efficiency, lower production cost and could make possible the cultivation of corn in AFS in the Campos Gerais region.

Keywords: *Avena sativa* L., *Zea mays* L., *Eucalyptus dunni* Maiden, fertilization system, integrated production system, potassium use efficiency.

4.3. Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAFs) caracterizam-se como “sistemas sustentáveis” de uso da terra pelo fato de combinar benefícios provenientes da produção (alimentos, forragem, madeira) e de serviços (conservação do solo, manutenção da fertilidade, ciclagem de nutrientes, restabelecimento de microclima) (DANIEL et al., 1999), além de otimizar agregação de valores socioeconômico-culturais e ambientais (ASSIS JÚNIOR et al., 2003). No Brasil, os principais SAFs incluem os sistemas silviagrícolas, silvipastoris e agrossilvipastoris (MACEDO et al., 2010).

Nos SAFs, as combinações/associações/consorciações entre as espécies florestais e agrícolas influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (BECKMANN et al., 2006) devido às diferenças na quantidade e na qualidade de radiação solar que atinge as culturas agrícolas nas entrelinhas das árvores (VIEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2011). Dessa forma, modificações nas quantidades de luminosidade podem condicionar diferentes respostas fisiológicas às plantas (ALMEIDA et al., 2005, ATROCH et al., 2001). No entanto, há carência de informações quanto aos diversos aspectos ecofisiológicos da interação entre árvores e poáceas, especialmente aqueles relativos aos efeitos do sombreamento sobre o crescimento de plantas forrageiras (PACIULLO et al., 2008) e produtoras de grãos.

Uma das gramíneas com potencial forrageiro e de cobertura do solo que pode ser interessante para SAFs, particularmente no Sul do Brasil, é a aveia branca (*Avena sativa* L.). Tal espécie constitui em um dos cereais de inverno que melhor se desenvolve em zonas com baixas quantidades de radiação (MUNDSTOK, 1983). Como planta sucessora da aveia branca, o milho (*Zea mays* L.) pode ser interessante em SAF, devido à simplicidade de sua condução e ao seu comportamento diante das adversidades climáticas (SCHREINER & BAGGIO, 1984). Nessas condições de SAF, o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) tem sido um dos componentes arbóreos mais indicados, devido ao grande número de espécies, potencial de adaptação, rápido crescimento e características agroflorestais desejáveis (MACEDO et al., 2008).

O sucesso do SAF não demanda apenas de combinações adequadas de culturas agrícolas, forrageiras e componente arbóreo, mas, também, da fertilidade do solo. Os sistemas de produção nos Campos Gerais normalmente se encontram sob Cambissolos, Latossolos e Argissolos. Esses solos apresentam (em condições naturais) alta acidez, baixas concentrações de fósforo (P) disponível e de bases trocáveis, como o potássio (K) (MAACK, 1948). Este macronutriente é requerido em grandes quantidades, tanto pelas poáceas, quanto pelo eucalipto. Neste sentido, as baixas concentrações de K disponível refletem a ocorrência de sintomas de

deficiência nutricional e baixa produtividade. Além disso, a pequena reserva mineral e a textura média à arenosa do solo determinam a baixa capacidade de troca catiônica (CTC), intensificando as perdas de K por lixiviação.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar os seguintes atributos, em um SAF submetido à fertilização potássica: (i) rendimento de matéria seca (MS) e acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia branca (safra 2014); (ii) rendimento de MS e de grãos, bem como o estado nutricional do milho (safra 2014/15) e (iii) eficiência de uso de K pelas culturas em sucessão (aveia branca – milho).

4.4. Material e métodos

4.4.1. Caracterização da área experimental, tratamentos e delineamento

O experimento foi instalado em outubro de 2012, na Estação Experimental da Fazenda Modelo (latitude: 25°05' S; longitude: 50° 10' O e altitude média: 900 m, segundo CRUZ (2007) do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), município de Ponta Grossa, Paraná. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Distrófico úmbrico (EMBRAPA, 2008), manejado em sistema plantio direto (SPD).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfb-subtropical úmido mesotérmico com verões frescos. A precipitação média anual é de aproximadamente de 1550 mm, com uma temperatura média anual máxima de 22°C e mínima de 18°C, com formação de geadas durante os meses mais frios (CRUZ, 2007).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. O croqui da área experimental está presente em Anexo. As parcelas (96 m²) consistiram em quatro transectas – faixas de cultivo paralelas às árvores. Em cada transecta foi avaliada a intensidade de sombreamento durante o período de aproximadamente 9 horas (um dia) nas estações de inverno e verão. Para essa avaliação, utilizou-se dois ceptômetros lineares AccuPAR, modelo LP-80, para medir a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). Um ceptômetro foi colocado em área a pleno sol, próxima ao local do experimento, para medição da RFA sem interferência do componente arbóreo. O outro ceptômetro foi utilizado para medição da RFA em cada transecta do experimento, sendo a leitura da RFA realizada de minuto a minuto. Para o cálculo da intensidade de sombreamento, considerou-se a RFA da área a pleno sol como 100%. As características de cada transecta estão

descritas na Tabela 1. As subparcelas (24 m^2) consistiram de quatro doses de K_2O (0, 100, 200 e $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na forma de cloreto de potássio (KCl), aplicadas a lanço, em área total, sendo metade da dose aplicada por ocasião da semeadura da cultura de inverno e a outra metade aplicada por ocasião da semeadura da cultura de verão.

Por ocasião da instalação do experimento (outubro/2012), o solo apresentava os seguintes atributos (determinado conforme: Pavan et al. (1992) e EMBRAPA (1997)), na camada de 0-20 cm: 4,9 de pH (CaCl_2); 65,7; 1,3; 36,9; 32,2; 2,1; e $136,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de H^+ Al, Al, Ca, Mg, K e CTC, respectivamente; $10,47 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1); $22,5 \text{ g dm}^{-3}$ de C orgânico (método Walkey-Black); e 52 % de saturação por bases (V); 314,4; 110,1 e $575,5 \text{ g kg}^{-1}$ de argila, silte e areia, respectivamente.

Tabela 1 - Caracterização das transectas pertencentes ao experimento, de acordo com a distância de cultivo das culturas agrícolas em relação ao componente arbóreo.

Transecta	Distância em relação ao eucalipto	% Sombreamento Inverno (2014)	% Sombreamento Verão (2014/2015)
1	0 a 4 m	79,41	70,87
2	4 a 8 m	77,41	69,09
3	8 a 12 m	70,48	64,45
4	12 a 16 m	60,52	56,97

4.4.2. Condução do experimento

Com relação às culturas da área experimental, as mudas de eucaliptos (*Eucalyptus dunnii* Maiden) foram plantadas em 2007, formando renques com duas linhas, com distâncias de plantio de 4 m entre as linhas e 3 m entre plantas. A distância entre os renques foi de 20 m. Portanto, por ocasião da implantação do experimento (outubro/2012), o eucalipto encontrava-se com 5 anos. As culturas agrícolas e forrageiras empregadas no estudo foram: (i) milho 30F53YH, nas safras 2012/2013 e 2014/15; (ii) aveia branca IPR 126, nas safras 2013 e 2014; (iii) soja (*Glycine max* L. Merrill) P95Y21, safra 2013/2014. Portanto, o presente trabalho compreende o estudo da aveia branca 2014 e milho 2014/15, semeados aos 19 e 24 meses após a implantação do experimento, cujos valores de temperaturas máxima, mínima e média e precipitação pluvial do período experimental (12 meses) são apresentados na Tabela 2.

O espaçamento entrelinhas e a densidade de sementes na cultura da aveia branca foram de 0,17 m e $40,0 \text{ kg de sementes ha}^{-1}$, respectivamente. Com relação à cultura do milho, foram utilizados espaçamento entrelinhas e densidade de 0,65 m e $5,0 \text{ sementes m}^{-1}$, respectivamente.

O aporte de nutrientes, via fertilizantes, aplicado nas culturas da aveia branca e milho (exceto o K_2O , o qual foi aplicado de acordo com cada tratamento secundário) foram: (i) adubação de base – 72 kg ha⁻¹ de N e 92 kg ha⁻¹ de P_2O_5 para a aveia branca; 60 kg ha⁻¹ de N e 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 para o milho; (ii) adubação de cobertura (aplicação 30 dias após a semeadura) – 120 kg ha⁻¹ de N para a aveia branca; 120 kg ha⁻¹ de N para o milho, ambos na forma de ureia.

Tabela 2 - Temperaturas máxima, mínima e média (°C) e precipitação pluvial (mm) no decorrer do período experimental (maio/2014 a maio/2015).

Mês/ano	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)
	Máxima	Mínima	Média	
Maio/2014	27,2	8,3	16,0	118,4
Junho/2014	25,0	1,0	15,5	185,2
Julho/2014	26,5	1,0	14,2	53,2
Agosto/2014	28,6	1,6	15,3	95,0
Setembro/2014	29,9	6,7	17,9	167,0
Outubro/2014	35,5	10,4	20,2	35,6
Novembro/2014	32,4	10,7	20,3	170,8
Dezembro/2014	31,1	11,5	21,2	261,2
Janeiro/2015	33,0	16,3	22,5	115,6
Fevereiro/2015	30,8	14,5	21,3	161,6
Março/2015	29,7	12,9	20,6	179,6
Abril/2015	29,3	10,9	19,1	74,0
Maio/2015	26,0	6,1	16,4	145,0

Fonte: SIMEPAR (2015).

4.4.3. Amostragens em campo, determinações laboratoriais e análise estatística

A coleta da poácea forrageira foi realizada em agosto/2014, quando as plantas atingiram o estágio de emborrachamento, visando a determinação de rendimento de matéria seca. Para a coleta foi utilizado um quadrado de dimensões 0,5 m x 0,5 m com três repetições para cada subparcela. A massa de forragem foi cortada acima dos 10 cm do nível do solo para determinação de acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas.

Para a cultura do milho (2014/15), visando proceder à diagnose foliar, coletou-se, por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina do milho (R1), o terço médio da folha (30 folhas por parcela) imediatamente abaixo e oposta à espiga. No período de maturação fisiológica (R6), foram coletadas seis plantas por parcelas, visando a determinação do rendimento de matéria seca do milho. No ponto de colheita dos grãos, coletou-se todas as espigas das plantas presentes em 4 linhas de 3 m, visando a determinação do rendimento de grãos.

As amostras de aveia branca e milho foram levadas para o laboratório, onde foram pesadas em balança de precisão, lavadas com água deionizada, armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante. Para as amostras de aveia branca e planta inteira de milho, foi realizado a mensuração (com balança de precisão) da matéria seca. Todas as plantas foram moídas em moinho do tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em sacos plásticos. Para a avaliação do rendimento de grãos de milho, depois de trilhadas as espigas, a umidade foi corrigida para 130 g kg⁻¹.

As concentrações de N foram determinadas mediante digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As determinações das concentrações de P, K, Ca, Mg e S foram realizadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção molecular (EAM) para P; espectrofotometria de emissão de chama (EEC) para K; espectrofotometria de absorção atômica (EAA)-chama para Ca e Mg; e turbidimetria para S. Todas as análises químicas de plantas foram realizadas mediante o emprego dos métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997).

Calculou-se ainda, para os atributos rendimento de MS de aveia branca e milho e rendimento de grãos de milho, a eficiência de uso de potássio (EUK), conforme Fageria et al. (2009), empregando-se a equação:

$$EUK = (At_{cf} - At_{sf}) / (QK_a)$$

onde:

EUK = eficiência do uso de potássio;

AT_{cf} = atributo avaliado com a aplicação do fertilizante potássico;

AT_{sf} = atributo avaliado sem a aplicação do fertilizante potássico;

QK_a = quantidade do fertilizante potássico aplicado.

Todos os atributos avaliados foram submetidos à análise estatística univariada de acordo com o modelo do delineamento experimental. Portanto, no modelo estatístico foram considerados os fatores: quatro tratamentos principais (transectas: 1, 2, 3 e 4) e quatro tratamentos secundários (doses de K₂O: 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). No caso de F significativo (P < 0,05), foi aplicado o teste de Tukey (α = 0,05) para comparação entre as transectas. Os atributos estudados foram ajustados, mediante análise de regressão por polinômios ortogonais, às doses de K₂O. Na ausência de interação significativa (P < 0,05), as

transectas foram consideradas como repetições junto às doses de K_2O ; e as doses de K_2O foram consideradas como repetições junto às transectas. Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o emprego do programa de computador SAS Versão 9.2 (SAS, 2004).

4.5. Resultados e discussão

4.5.1. Rendimento e nutrição da aveia branca

Não houve interação entre as transectas e as doses de K_2O para os atributos avaliados. Todavia, as transectas alteraram todos os atributos estudados e, no caso das doses de K_2O , apenas foram influenciados o rendimento de MS ($F = 6,76$; $P = 0,0018$) e o acúmulo de enxofre (S) na parte aérea ($F = 5,60$; $P = 0,0047$).

Maiores valores de MS e acúmulos de macronutrientes na parte aérea foram obtidos nas plantas de aveia branca pertencentes à transecta 3 (Tabela 3). Apesar de ter ocorrido restrição hídrica (Tabela 2) durante o período de cultivo da aveia branca (maio/2014 a agosto/2014), houve mitigação desses efeitos adversos nas plantas que se encontram parcialmente sombreadas – transecta 3 (70,5% de sombreamento). Tem sido observado que, em SAF, o microclima é modificado, apresentando diminuição da temperatura e maior umidade do ar e do solo (CAMPOS et al., 1999), resultando em benefícios às culturas agrícolas (MARIN et al., 2006) e/ou forrageiras (KIRCHNER et al., 2010). Resultados semelhantes foram obtidos por Sartor et al. (2006), em condições de restrições hídricas acentuadas. De maneira similar, Paciullo et al. (2011) observaram que a máxima taxa de acúmulo de forragem pelas plantas de *Urochloa decumbens* foi de 30,1 kg ha⁻¹ por dia, a uma distância de cultivo de 8,8 m e ainda concluíram que a região entre 7 e 10 m de distância do renque proporcionou maior benefício da sombra moderada sobre as características avaliadas do pasto.

Tabela 3 - Efeito das transectas sobre o rendimento de matéria seca (MS), acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plantas de aveia branca, safra 2014.

Transectas ⁽¹⁾	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹						
1	986 C ⁽²⁾	27,57 C	8,60 C	35,26 C	1,87 B	1,49 B	2,02 C
2	1480 BC	40,85 BC	13,05 BC	57,19 B	2,91 AB	2,21 AB	3,01 BC
3	2219 A	60,60 A	20,36 A	86,56 A	3,97 A	3,46 A	4,70 A
4	2077 A	57,06 AB	18,50 AB	81,85 A	4,09 A	3,41 A	4,22 AB

⁽¹⁾ Transectas: 1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas colunas, não diferem pelo Teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Menores valores dos atributos estudados foram observados na transecta 1. Resultados similares foram obtidos por Barro et al. (2008), os quais, trabalhando com três diferentes densidades arbóreas e três gramíneas forrageiras anuais, observaram redução no rendimento de MS das forrageiras devido ao aumento da intensidade de sombreamento. O componente arbóreo, além de proporcionar maior sombreamento na transecta 1 (Tabela 1), depositou maior quantidade de serapilheira (dados não quantificados). A serapilheira de eucalipto apresenta alta relação C/N, de 30 a 100, de acordo com a parte da planta, e, também, alta relação C/P e C/S, as quais contribuem para a lenta decomposição do resíduo (PULROLNIK et al., 2009). Portanto, tanto a deposição de resíduos do componente arbóreo quanto a sua degradação pelos microrganismos desfavoreceu o crescimento e o desenvolvimento da forrageira, devido, possivelmente, aos seguintes fatores: (i) galhos, ramos e outros resíduos maiores do componente arbóreo persistiram por mais tempo no sistema (KIRCHNER et al., 2010) e, portanto, ficaram sobre a aveia branca, limitando ainda mais a intensidade de radiação que poderia atingir as plantas; (ii) imobilização microbiana, particularmente, de N (KIRCHNER et al., 2010), resultando em menor acúmulo de N na parte aérea da aveia branca (Tabela 3).

Na grande maioria das situações, foram observados valores intermediários na transecta 2 ou na 4 (Tabela 3), provavelmente, governado pelos fatores intensidade de radiação e disponibilidade de água. Na transecta 2, devido ao fato de haver menor intensidade de radiação quando comparada à transecta 4 (Tabela 1), o fator umidade no solo provavelmente não foi o mais limitante. Kirchner et al. (2010) observaram que houve maior potencial hídrico nas plantas e maior umidade no solo nos ambientes sombreados, mesmo assim, a produção de forragem reduziu significativamente em condições de sombreamento mais intenso (81%). Na transecta 4, a limitação de radiação não foi tão expressiva quanto na transecta 2 (Tabela 1); por outro lado, o menor sombreamento pode ter facilitado a perda de água do sistema.

Com exceção dos valores de MS e K, todos os demais atributos estudados nas transectas 2 e 4 não foram diferentes (Tabela 3). Dentre os nutrientes, o potássio é acumulado em maiores concentrações na parte aérea das plantas de aveia (CRUSCIOL et al., 2008; MELO et al., 2011), tendo contribuição importante na composição da matéria seca. A restrição hídrica e o aumento da intensidade da radiação solar na transecta 4, não foram suficientes para diminuir, tanto a absorção de K, quanto o rendimento de MS. Entretanto, o aumento do sombreamento reduziu o acúmulo de K e MS da aveia branca na transecta 2.

Com exceção do S, todos os demais macronutrientes não foram influenciados pela aplicação de K_2O (Tabela 4). A aveia branca, caracteriza-se por ser planta recicladora não apenas de K, mas também, dos demais nutrientes (CRUSCIOL et al., 2008). Trata-se de uma cultura com potencial forrageiro e também utilizada como adubo verde (MACHADO, 2000), devido ao extenso sistema radicular e potencial de reciclagem de nutrientes. Além do mais, o solo estudado apresentava alta acidez, entretanto, as concentrações de Ca ($36,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Mg ($32,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) eram altas, conforme Pauletti (2004).

A aplicação de doses crescentes de K_2O proporcionou aumento linear de S (Tabela 4), provavelmente, devido ao efeito íon acompanhante K^+ . Malavolta (2006) mencionou que a absorção de sulfato ($S-SO_4^{2-}$) – principal forma de S disponível no solo – é favorecida pela presença de cátions monovalentes (como no caso, do K^+) no sistema.

Com relação à MS, foram observados aumentos lineares devido à aplicação de K_2O (Tabela 4). Apesar de o componente arbóreo desempenhar importante função quanto à ciclagem de K no sistema (ZAIA & GAMA-RODRIGUES, 2004), a adubação mineral de K proporcionou melhoria na nutrição e aumento no rendimento da aveia, conforme observaram Carvalho et al. (2014).

Tabela 4 - Efeito das doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O aplicados na forma de cloreto de potássio) sobre o rendimento de matéria seca (MS) e acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de plantas de aveia branca, safra 2014.

Atributos	Equação	R ²
MS	$\hat{Y} = 1425,3 + 176,87x$	0,50**
N	$\hat{Y} = \bar{Y} = 27,54$	-
P	$\hat{Y} = \bar{Y} = 15,13$	-
K	$\hat{Y} = \bar{Y} = 65,22$	-
Ca	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,21$	-
Mg	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,64$	-
S	$\hat{Y} = 2,8879 + 0,4008x$	0,63**

**P<0,01.

4.5.2. Rendimento e nutrição do milho

Houve interação entre as transectas e as doses de K_2O para os atributos avaliados no milho, exceto para a concentração de S na diagnose foliar. Foram observados, nas transectas 1 e 4, incrementos lineares nos rendimentos de MS devido à adição de K_2O (Figura 1A). A influência do componente arbóreo sobre as plantas de milho na transecta 1 pode ser atribuído ao maior sombreamento (Tabela 1) e competição por água e nutrientes. Todavia, na transecta 1

o maior sombreamento proporcionou menor potencial de resposta do milho à adubação potássica. Kang et al. (2008) observaram diminuição no rendimento de MS e grãos de milho quando cultivado mais próximo às árvores (mimosa – *Albizia julibrissin* Durazz), devido à redução na radiação fotossinteticamente ativa.

O máximo rendimento de MS de milho na transecta 2 seria de 21.870 kg ha⁻¹ por meio da aplicação de 195,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O. Acima dessa dose, o rendimento de MS diminuiu (Figura 1A). O sombreamento das plantas na transecta 1 e 2 foram similares (Tabela 1), no entanto, houve aumento linear e quadrático do rendimento de MS de milho devido à aplicação de K nas transectas 1 e 2, respectivamente. Provavelmente, o eucalipto utilizou parte do K aplicado na transecta 1, resultando em maior necessidade de aplicação deste nutriente no sistema. Macedo et al. (2006), trabalhando com diferentes clones de eucalipto consorciados nas entrelinhas com a cultura do milho, observaram que houve menor produção de grãos de milho nos sistemas consorciados do que em monocultivo, devido à maior pressão competitiva, pelos fatores de produção (principalmente por nutrientes e água), exercida pelo eucalipto sobre o milho. Por outro lado, na transecta 2, o efeito de competição por K entre o milho e o eucalipto foi menor e, portanto, foi possível obtenção da dose de máxima eficiência técnica deste nutriente. Dose excessiva de K pode diminuir a absorção de outros nutrientes pelas plantas, reduzindo a MS.

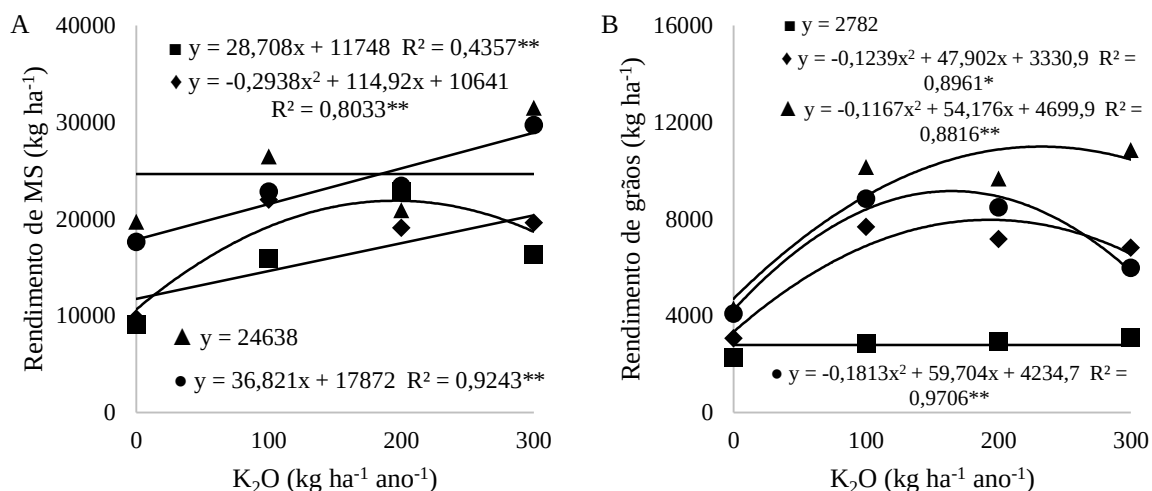


Figura 1 - Rendimento de matéria seca (MS) (A) e grãos (B) de milho afetados por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹), em sistema agroflorestal. (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * P<0,05. **P<0,01.

Na transecta 3, o rendimento de MS de milho não foi influenciado pela adubação potássica (Figura 1A). A intensidade de sombreamento moderada e a reciclagem de nutrientes pelos restos vegetais da aveia branca podem ter proporcionado condições para adequado rendimento. Nota-se que, por ocasião da dessecação da aveia branca, a quantidade média de K acumulado na parte aérea foi de $86,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 3), correspondendo à $103,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , plausível de ser liberado ao longo do desenvolvimento da cultura sucessora (milho). Tem sido verificado que, após a dessecação da aveia (preta) há liberação de até $88,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de K (98% do K acumulado) ao longo de 53 dias após o manejo da fitomassa, valor suficiente para atender a demanda do milho em situação de não restrição de disponibilidade de água e luz (CRUSCIOL et al., 2008).

Não foi observado alteração no rendimento de grãos de milho na transecta 1 com as doses de K_2O . No entanto, para as demais transectas, foram observados aumentos quadráticos (Figura 1B). A aplicação de $193 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O resultaria em 4.961 kg ha^{-1} de grãos, na transecta 2. Na transecta 3, o maior rendimento de grãos ($10.987 \text{ kg ha}^{-1}$) seria obtido com a aplicação de $232 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O . Para a transecta 4, o maior rendimento de grãos (9.150 kg ha^{-1}) seria obtido com a aplicação de $165 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O .

Com relação aos aspectos nutricionais do milho, foi verificado que, na transecta 1, a concentração de N na folha diagnóstica aumentou linearmente com a aplicação de doses de K_2O (Figura 2A). A manutenção da umidade do solo proporcionada pelo componente arbóreo pode ter sido o fator condicionante da maior absorção de N pelas plantas de milho presente na transecta 1. Marcelino et al. (2003) verificaram maior eficiência no aproveitamento do N pelas poáceas (por exemplo, *Cynodon* spp. cv. Tifton 85) em condições de maior umidade no solo.

Não foram observadas, nas transectas 1, 2 e 3, alterações nas concentrações de P na folha diagnóstica do milho (Figura 2B). Apesar de a adubação balanceada de P e K favorecer o crescimento das plantas, não necessariamente consiste em interação entre os dois nutrientes (ROSOLEM, 2005). Para a transecta 4, a concentração de P na folha diagnóstica foi diminuída mediante aplicação de K_2O (Figura 2B), consistindo-se em efeito de diluição. Entretanto, as concentrações observadas de P foliar encontram-se na faixa considerada adequada ($1,9$ a $4,0 \text{ g kg}^{-1}$) ou ligeiramente superior à esta, para a cultura do milho (MALAVOLTA et al., 1997).

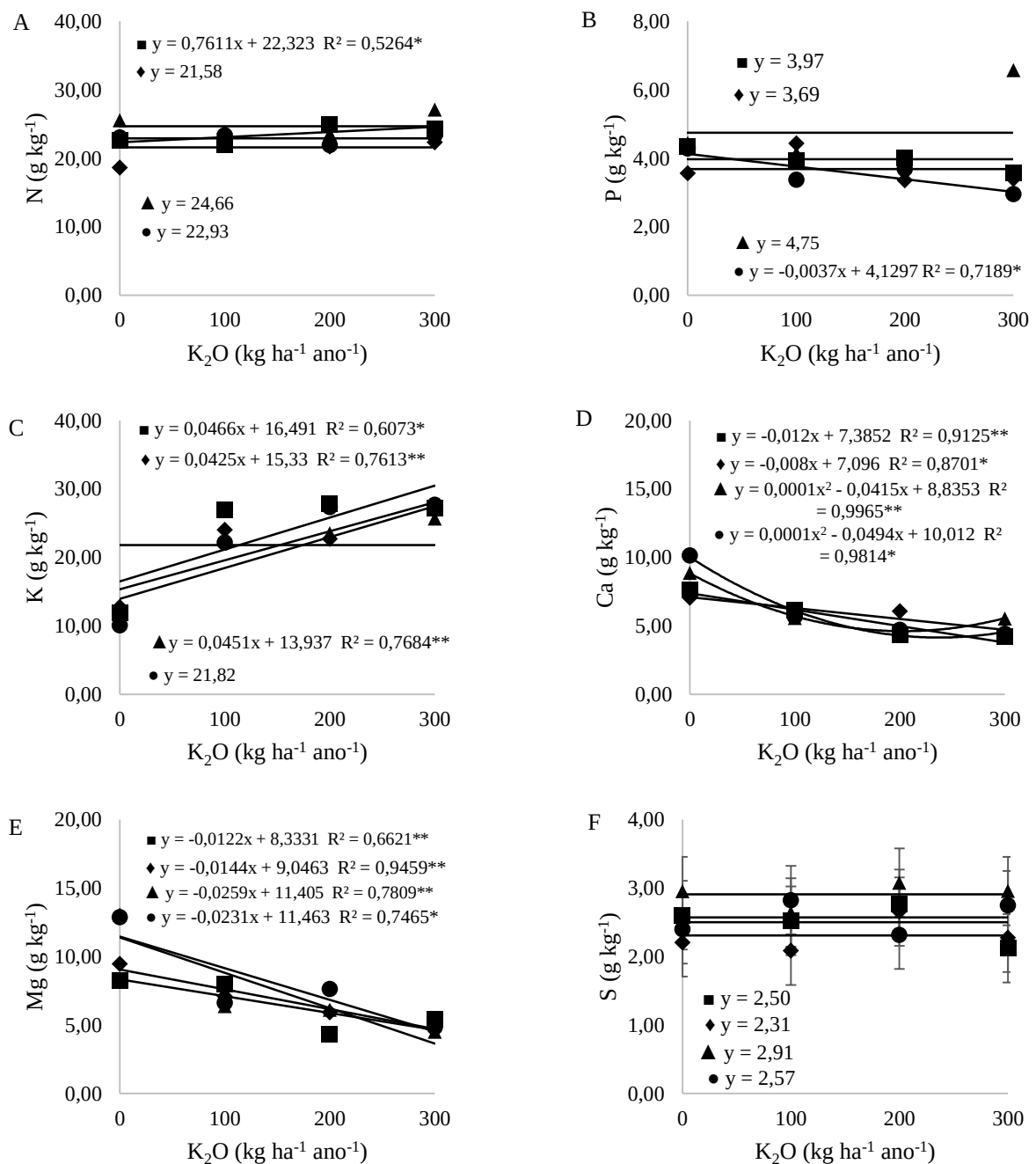


Figura 2 - Concentração de nitrogênio – N (A); fósforo – P (B); potássio – K (C); cálcio – Ca (D); magnésio – Mg (E) e enxofre – S (F) na diagnose foliar do milho, afetadas por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (◆) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * P<0,05. **P<0,01.

Houveram incrementos lineares nas concentrações de K na folha diagnóstica do milho, nas transectas 1, 2 e 3 (Figura 2C) em função do aumento de fornecimento de K. Tem sido amplamente observado, em situação de solo com concentração inferior a 1,5 mmol_c dm⁻³ de K disponível, alterações na nutrição potássica devido à aplicação deste nutriente (PALHANO et al., 1983; BORKERT et al., 1997a; BORKERT et al., 1997b). No entanto, na transecta 4, a

concentração de K na folha diagnóstica não foi alterada pela aplicação deste nutriente (Figura 2C).

As concentrações de Ca na folha diagnóstica foram diminuídas linearmente, nas transectas 1 e 2, e quadraticamente, nas transectas 3 (até a dose de $207,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 4 (até a dose de $247,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) mediante aplicação de K. Diminuição nas concentrações foliares de Ca devido ao aumento do fornecimento de K tem sido relatado na literatura, devido à inibição competitiva existentes entre esses nutrientes (MALAVOLTA, 1980).

As concentrações de Mg também foram diminuídas linearmente, em todas as transectas, por meio da aplicação de K (Figura 2E), devido à inibição competitiva entre esses dois nutrientes (MALAVOLTA, 1980). Salienta-se que essa diminuição foi mais expressiva nas transectas 3 e 4. No entanto, as variações nas concentrações foliares de Mg observadas neste trabalho estão acima da faixa considerada adequada à cultura ($1,5$ a 5 g kg^{-1} , conforme Pauletti (2004)), devido ao alto teor de Mg no solo ($32,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

As concentrações foliares de S não foram alteradas pela aplicação de K, porém foram superiores na transecta 3 (Figura 2F). Vianna (2007) observou que o fornecimento de doses de N e K, aumentou a produção de MS do milho, incrementando as concentrações de S no tecido foliar. Maiores concentrações de S nas folhas de milho da transecta 3 podem ter resultado de melhores condições para absorção de água e nutrientes e com isso, maior rendimento de grãos (Figura 1B).

4.5.4. Eficiência do uso de potássio (EUK) pelas culturas de aveia branca e milho

Independente da transecta, a dose de $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cultivo}^{-1}$ de K_2O foi a que proporcionou maior eficiência do uso de potássio (EUK) pelas plantas de aveia branca e milho (Tabela 5). Com o aumento das doses, houve redução da eficiência de utilização de K, corroborando com os resultados observados por Silva et al. (1996). A dose de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cultivo}^{-1}$, apresentou os menores valores de EUK, exceto para o rendimento de MS de aveia branca na transecta 3, e rendimento de MS de milho nas transectas 3 e 4 (Tabela 5). As melhores condições ambientais presentes nas transectas 3 e 4 (radiação solar e disponibilidade de água) favoreceu o desenvolvimento, a nutrição mineral (Figura 2) e, consequentemente, o rendimento de MS das culturas (Figura 1A), aumentando a EUK com a maior dose de K_2O aplicada. Entretanto, isso não refletiu em maior EUK quando correlacionado ao rendimento de grãos de milho. Desse

modo, em SAF com aveia branca, para cobertura do solo e milho, para produção de grãos, a dose de K_2O que proporcionaria maior EUK seria $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cultivo}^{-1}$ ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Tabela 5 - Eficiência do uso de potássio (EUK) pelas culturas de aveia branca (kg de K_2O por kg de matéria seca – MS) e milho (kg de K_2O por kg de MS e kg de K_2O por kg de grãos) submetidas às doses de anuais de cloreto de potássio (600 g kg^{-1} de K_2O), em sistema agroflorestal.

Transecta	Dose de K_2O (kg ha^{-1}) por cultivo ⁽¹⁾	Cultura		
		Aveia branca-MS	Milho-MS	Milho-grãos
1 ⁽²⁾	50	11,3	137,2	11,5
	100	6,4	135,4	6,4
	150	5,1	48,3	5,3
2	50	11,4	245,3	92,0
	100	4,6	93,7	41,0
	150	0,5	65,9	25,0
3	50	18,3	135,0	117,0
	100	5,9	62,1	53,7
	150	8,3	78,6	43,7
4	50	15,8	103,8	95,0
	100	4,8	57,9	43,9
	150	3,3	80,5	12,6

⁽¹⁾ Os tratamentos consistiram em fornecer 100, 200 e 300 kg ha^{-1} de K_2O , divididos igualmente em duas épocas: cultura de inverno (aveia branca) e cultura de verão (milho).

⁽²⁾ Transecta 1: 0-4m de distância do eucalipto; Transecta 2: 4-8m de distância do eucalipto; Transecta 3: 8-12m de distância do eucalipto; Transecta 4: 12-16m de distância do eucalipto.

4.6. Conclusões

O rendimento de MS e o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da aveia branca foram diminuídos devido ao sombreamento proporcionado pelo componente arbóreo. Para essa cultura em sistema agroflorestal (SAF), as doses de K_2O aumentaram o rendimento de MS e, também, o acúmulo de S na parte aérea.

Em situação de sombreamento com intensidade de 64,5%, a reciclagem de nutrientes pela aveia branca proporcionou, para a cultura subsequente de milho, melhor nutrição e, na média, maiores rendimentos de MS e de grãos. Nessa situação, a adição de K_2O (até $230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) proporcionaria maior rendimento de grãos de milho.

Como a dose de K para a obtenção de máximo rendimento foi dependente da intensidade de radiação disponível, é possível reduzir a dose deste nutriente em SAF, devido aos menores rendimentos (de MS e grãos) esperados. Essa diminuição na dose de K implicaria diretamente em maior eficiência de uso do potássio, menor custo de produção e possibilitaria

viabilizar o cultivo de milho em SAF na região dos Campos Gerais, utilizando de forma mais eficiente o fertilizante potássico mineral (cloreto de potássio).

5. ATRIBUTOS DE FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL SUBMETIDO À FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA EM ÁREA TOTAL

5.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em SAF, os principais atributos de fertilidade do solo devido ao sombreamento proporcionado pelas árvores de eucalipto (*Eucalyptus dunni* Maiden) e à aplicação de doses anuais de K_2O , aos 31 meses após a implantação do experimento. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas consistiram em quatro transectas – distâncias de cultivo em relação às árvores (transectas: 1 – 0-4 m de distância; 2 – 4-8 m de distância; 3 – 8-12 m de distância; e 4 – 12-16 m de distância). Nas subparcelas foram estudadas quatro (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹) doses anuais de K_2O (na forma de cloreto de potássio – 600 g kg⁻¹ de K_2O), aplicadas em superfície, sendo a metade de cada dose aplicada por ocasião da semeadura de cada cultura (aveia branca – inverno e milho – verão). Em maio/2015, 31 meses após o início do experimento, amostras de solo das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm foram coletadas. Determinaram-se os seguintes atributos nas amostras de solo: pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) trocáveis, saturação por bases (V) e o percentual de K na capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) do solo. A aplicação de fertilizante potássico de alta solubilidade em água, na superfície do solo, diminuiu, em algumas situações, os teores de Ca e Mg na camada superficial, favoreceu a mobilidade do K e aumentou seu o teor deste nutriente ao longo do perfil do solo e, conseqüentemente sua participação na CTCe. O componente arbóreo diminuiu as concentrações de nutrientes na transecta 1 (região de maior influência do eucalipto), resultando em menores valores de pH e V nas camadas subsuperficiais do solo (abaixo de 20 cm de profundidade).

Palavras-chave: adubação de sistema, sistema integrado de produção, solo com carga variável.

Attributes of soil fertility in agroforestry system after broadcast potassium application

5.2. Abstract

In this study we aiming to evaluate the main soil fertility attributes due to shading, provided by the eucalyptus trees (*Eucalyptus dunni* Maiden), and the application of annual doses of K_2O , 31 months after the beginning of the trial study. The experimental design was a randomized complete block with split plots and three replications. The plots consist of four transects - growing distances from trees (transects: 1 – 0-4 m away; 2 – 4-8 m away; 3 – 8-12 m distance and 4 – 12-16 m away). In the subplots were studied four annual K_2O doses (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ year⁻¹ of K_2O), as potassium chloride (600 g kg⁻¹ K_2O), applied to the surface, and half of each levels applied at sowing of each crop (white oat - winter and maize - summer). In May/2015, 31 months after the beginning of the experiment, the soil samples from 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 and 40-60 cm were collected. Them theses samples were performed to measure values of pH, contents of calcium (Ca), magnesium (Mg) and potassium (K) exchangeable, base saturation (V) and the percentage of K in the effective cation exchange capacity (CECe). The application of potassium fertilizer high water solubility, in the surface of the soil, in some situations, reduced Ca and Mg content in the surface layer, it favors the mobility of K and increased its content of this nutrient throughout the soil profile and thus their participation in CECe. The tree component reduced nutrient concentrations in transecta 1 (most influential eucalyptus region), resulting in lower pH values and V in subsurface soil layers (below 20 cm deep).

Keywords: fertilization system, integrated production system, soil with variable charge.

5.3. Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAFs) caracterizam-se como forma de uso potencialmente mais sustentável da terra (MENDES et al., 2013) em razão, principalmente, da diversificação da exploração agrícola e florestal (BALBINO et al., 2011), visando a obtenção de benefícios provenientes das interações biológicas entre os componentes (PACIULLO et al., 2011; MENDES et al., 2013). Essas interações também são influenciadas pelas condições ambientais do local, como clima e solo (ANDRADE et al., 2001).

Os solos brasileiros, mais especificamente da região dos Campos Gerais (PR), apresentam, em condições naturais, alta acidez, baixas concentrações de fósforo (P) disponível e de bases trocáveis (cálcio – Ca, magnésio – Mg e potássio - K) (MAACK, 1948). Ainda, devido ao material de origem, grande parte desses solos possuem textura arenosa e, consequentemente, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o que facilita a lixiviação de nutrientes, principalmente, de K (ROSOLEM & NAKAGAWA, 2001).

Nos SAFs, o componente arbóreo promove modificação no microclima, com alterações principalmente na incidência da radiação solar e temperatura do ambiente. Diante do exposto, o microclima criado no SAF pode exercer forte influência sobre as taxas de ciclagem de nutrientes, velocidade de decomposição, mineralização e, por conseguinte, sobre a disponibilidade de nutrientes às plantas (CAMPOS et al., 1999). Outro aspecto importante do componente arbóreo no sistema consiste no fato de ter sistema radicular agressivo e profundo, possibilitando absorção de água e nutrientes (como o K e amônio – NH_4^+) lixiviados da camada superficial (0-20 cm) – principal zona de exploração das raízes das culturas agrícolas (JACKSON et al., 1995).

Espera-se que a alteração na ciclagem biogeoquímica devido ao componente arbóreo e as culturas de cobertura (aveia branca) e produtora de grãos (milho) em sucessão, alterem os principais atributos de fertilidade do solo e, que essas alterações, possam ser potencializadas pela adição de fertilizante potássico de alta solubilidade em água (cloreto de potássio). Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos do solo, após o cultivo de aveia branca (safra 2014) e milho (safra 2014/2015), afetados pelo sombreamento proporcionado pelas árvores de eucalipto (*Eucalyptus dunni* Maiden) e à aplicação de doses anuais de K_2O .

5.4. Material e métodos

5.4.1. Caracterização da área experimental, tratamentos e delineamento

O experimento foi instalado em outubro de 2012, na Estação Experimental da Fazenda Modelo (latitude: 25°05' S; longitude: 50° 10' O e altitude média: 900 m, segundo CRUZ (2007) do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), município de Ponta Grossa, Paraná. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Distrófico úmbrico (EMBRAPA, 2008), manejado em sistema plantio direto (SPD).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfb-subtropical úmido mesotérmico com verões frescos. A precipitação média anual é de aproximadamente de 1550 mm, com uma temperatura média anual máxima de 22°C e mínima de 18°C, com formação de geadas durante os meses mais frios (CRUZ, 2007).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. O croqui da área experimental está presente em Anexo. As parcelas (96 m²) consistiram em quatro transectas – faixas de cultivo paralelas às árvores. Em cada transecta foi avaliada a intensidade de sombreamento durante o período de aproximadamente 9 horas (um dia) nas estações de inverno e verão. Para essa avaliação, utilizou-se dois ceptômetros lineares AccuPAR, modelo LP-80, para medir a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). Um ceptômetro foi colocado em área a pleno sol, próxima ao local do experimento, para medição da RFA sem interferência do componente arbóreo. O outro ceptômetro foi utilizado para medição da RFA em cada transecta do experimento, sendo a leitura da RFA realizada de minuto a minuto. Para o cálculo da intensidade de sombreamento, considerou-se a RFA da área a pleno sol como 100%. As características de cada transecta estão descritas na Tabela 1. As subparcelas (24 m²) consistiram de quatro doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹) na forma de cloreto de potássio (KCl), aplicadas a lanço, em área total, sendo metade da dose aplicada por ocasião da semeadura da cultura de inverno e a outra metade aplicada por ocasião da semeadura da cultura de verão.

Por ocasião da instalação do experimento (outubro/2012), o solo apresentava os seguintes atributos (determinado conforme: Pavan et al. (1992) e EMBRAPA (1997)), na camada de 0-20 cm: 4,9 de pH (CaCl₂); 65,7; 1,3; 36,9; 32,2; 2,1; e 136,3 mmol_c dm⁻³ de H⁺+Al, Al, Ca, Mg, K e CTC, respectivamente; 10,47 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 22,5 g dm⁻³ de C orgânico (método Walkey-Black); e 52 % de saturação por bases (V); 314,4; 110,1 e 575,5 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

5.4.2. Amostragens em campo, determinações laboratoriais e análise estatística

Aos 31 meses depois de implantado o experimento, imediatamente após a colheita do milho (2014/15), amostras de solo foram retiradas das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm. As amostras foram coletadas com os trados calador (até 20 cm de profundidade) e holandês (de 20 a 60 cm de profundidade). Com o trado calador, foram coletadas 12 amostras simples para compor uma amostra composta por camada e por parcela. Já para o holandês, foram coletadas 6 amostras simples para compor uma amostra composta. Essas amostras foram levadas ao laboratório, secas em estufa a 40°C com circulação forçada de ar, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm. Na sequência foram determinados os atributos: acidez ativa (pH em CaCl_2), fósforo (P) disponível (Mehlich-1) e os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) trocáveis para a obtenção dos valores de V, empregando os métodos sugeridos por Pavan et al. (1992). Ainda, calculou-se o percentual de K na capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) do solo.

Todos os atributos avaliados foram submetidos à análise estatística univariada de acordo com o modelo do delineamento experimental. Portanto, no modelo estatístico foram considerados os fatores: quatro tratamentos principais (transectas: 1, 2, 3 e 4) e quatro tratamentos secundários (doses de K_2O : 0, 100, 200 e 300 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). No caso de F significativo ($P < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para comparação entre as transectas. Os atributos estudados foram ajustados, mediante análise de regressão por polinômios ortogonais, às doses de K_2O . Na ausência de interação significativa ($P < 0,05$), as transectas foram consideradas como repetições junto às doses de K_2O ; e as doses de K_2O foram consideradas como repetições junto às transectas. Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o emprego do programa de computador SAS Versão 9.2 (SAS, 2004).

5.5. Resultados e discussão

5.5.1. Apresentação dos resultados

Não houve interação entre os tratamentos principais e secundários quanto aos valores de pH, para todas as camadas avaliadas. Apenas foram observadas variações no pH das camadas de 15-20, 20-40 e 40-60 cm, nas transectas (Figura 3). Na camada de 15-20 e 40-60 cm foram observados valores mais elevados de pH, na transecta 3, e menores valores, na transecta 1; no entanto, os valores de pH dessas transectas não diferiram das demais (Figura 3). Na camada de 20-40 cm, maiores valores de pH foram observados nas transectas 3 e 4, quando comparados à

transecta 1; no entanto, esses valores de pH não foram diferentes daqueles observados na transecta 2 (Figura 3).

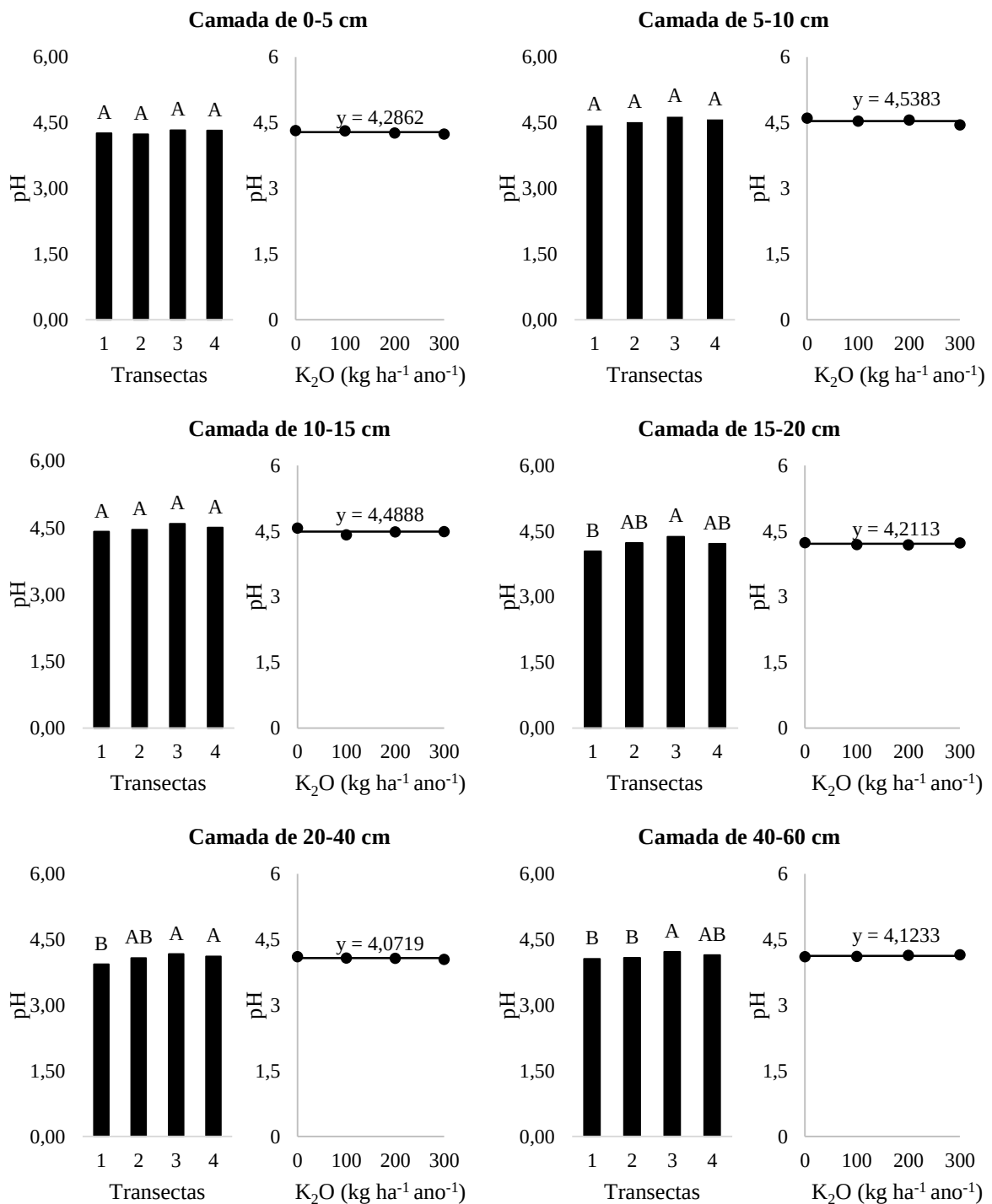


Figura 3 - Valores de pH nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (♦) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4.

Com relação aos teores de Ca, houve interação entre as transectas e as doses de K₂O, em todas as camadas, exceto na camada de 10-15 cm (Figura 4). Na transecta 1, o uso de doses

acima de 142,5; 242,5 e 133,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O aumentou os teores de Ca nas camadas de 5-10, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente (Figura 4). Já na camada de 15-20 cm da transecta 1, as doses de K₂O reduziram os teores de Ca. Na transecta 2, doses acima de 138,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, aumentaram os teores de Ca, na camada de 5-10 cm (Figura 4).

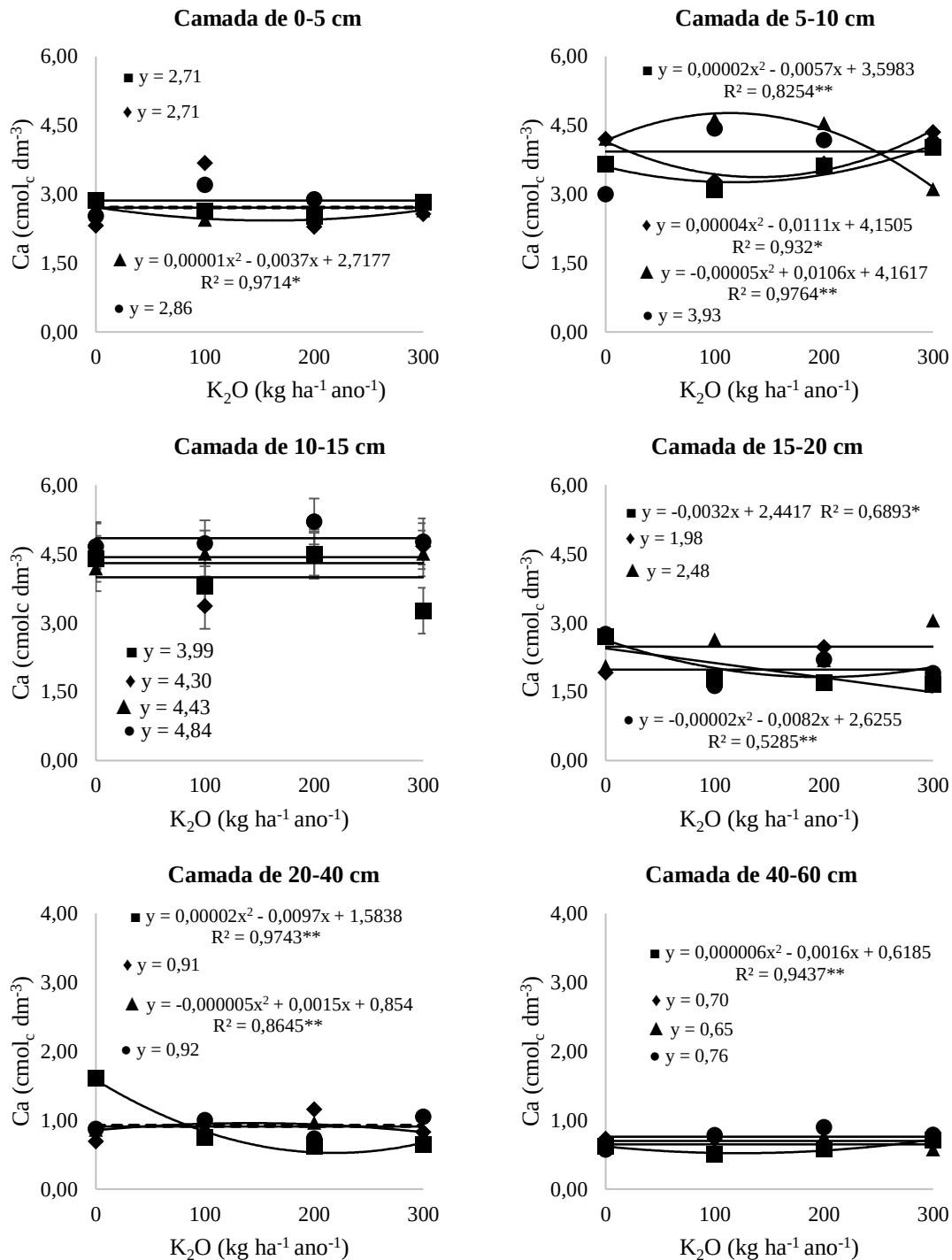


Figura 4 - Teor de cálcio (Ca) trocável nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (◆) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. *P<0,05. **P<0,01.

Ainda em relação aos teores de Ca, na transecta 3, doses acima de $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O promoveram aumento de Ca na camada de 0-5 cm (Figura 4). Já nas camadas de 5-10 e 20-40 cm desta mesma transecta, os máximos teores de Ca seriam obtidos com as doses de 106 e $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O , respectivamente (Figura 4). Acima destas doses, os teores de Ca foram diminuídos. Já na transecta 4, apenas a camada de 15-20 cm apresentou variações nos teores de Ca, sendo que doses acima de $205 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O promoveram o aumento deste nutriente no solo (Figura 4).

Os teores de Mg no solo não apresentaram interação entre os tratamentos principais e secundários somente na camada de 20-40 cm do solo; porém a transecta 1, apresentou o menor teor deste nutriente em relação às demais transectas (Figura 5). Nas demais camadas do solo, o teor de Mg foi afetado pela interação entre as transectas e as doses de K_2O . De maneira geral, a transecta 1 foi a que apresentou as maiores variações nos teores de Mg, sendo que na camada de 0-5 cm, a aplicação de K_2O acima da dose de $165 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O diminuiu os teores de Mg (Figura 5). Nas camadas de 5-10 e 10-15 cm, nesta mesma transecta, doses acima de 209 e $127 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O , respectivamente, aumentaram o teor de Mg (Figura 5). Já nas camadas de 15-20 e 40-60 cm, doses acima de 147 e $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O diminuíram o teor de Mg, na transecta 1. Na transecta 2, doses acima de 146, $7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O diminuíram os teores de Mg na camada de 10-15 cm. No entanto, as doses de K_2O promoveram aumento linear de Mg na camada de 15-20 cm dessa mesma transecta (Figura 5). Na transecta 3, doses acima de $106 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O reduziram o teor de Mg na camada de 5-10 cm. Na transecta 4, as doses de K_2O diminuíram o teor de Mg na camada de 10-15 cm. Nessa mesma transecta, na camada de 40-60 cm, doses acima de $103,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O diminuíram o teor de Mg (Figura 5).

Os teores de K não foram afetados pelos tratamentos na camada de 0-5 cm (Figura 6). Nas demais camadas do solo, a interação entre transectas e doses de K_2O foi significativa. A aplicação de doses de fertilizante potássico resultou no aumento linear dos teores de K nas camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm, na transecta 1 (Figura 6). Já na camada de 20-40 cm desta mesma transecta, doses acima de $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O promoveram aumento nos teores deste nutriente (Figura 6). Na transecta 2, os teores de K foram aumentados, nas camadas de 15-20 e 20-40 cm, com a aplicação do fertilizante potássico (Figura 6). Na transecta 3, as doses de K_2O promoveram o aumento de K na camada de 10-15 e 15-20 cm (Figura 6). Na camada de 40-60 cm da transecta 3, acima da dose de $166,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O , houve aumento de K no solo

(Figura 6). Já na transecta 4, as doses crescentes do fertilizante potássico resultaram no aumento linear de K nas camadas de 15-20 e 20-40 cm (Figura 6).

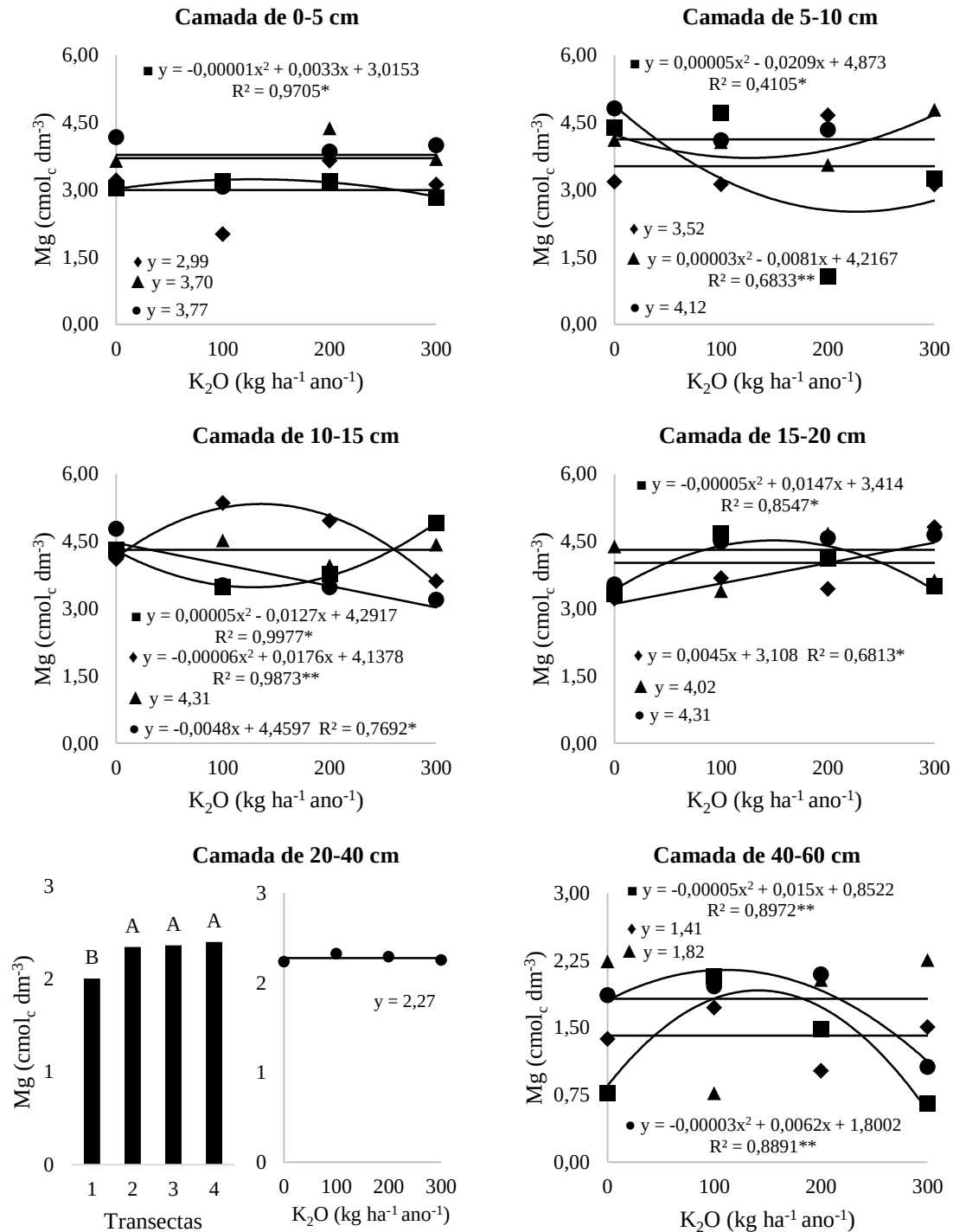


Figura 5 - Teor de magnésio (Mg) trocável nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (◆) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. *P<0,05. **P<0,01.

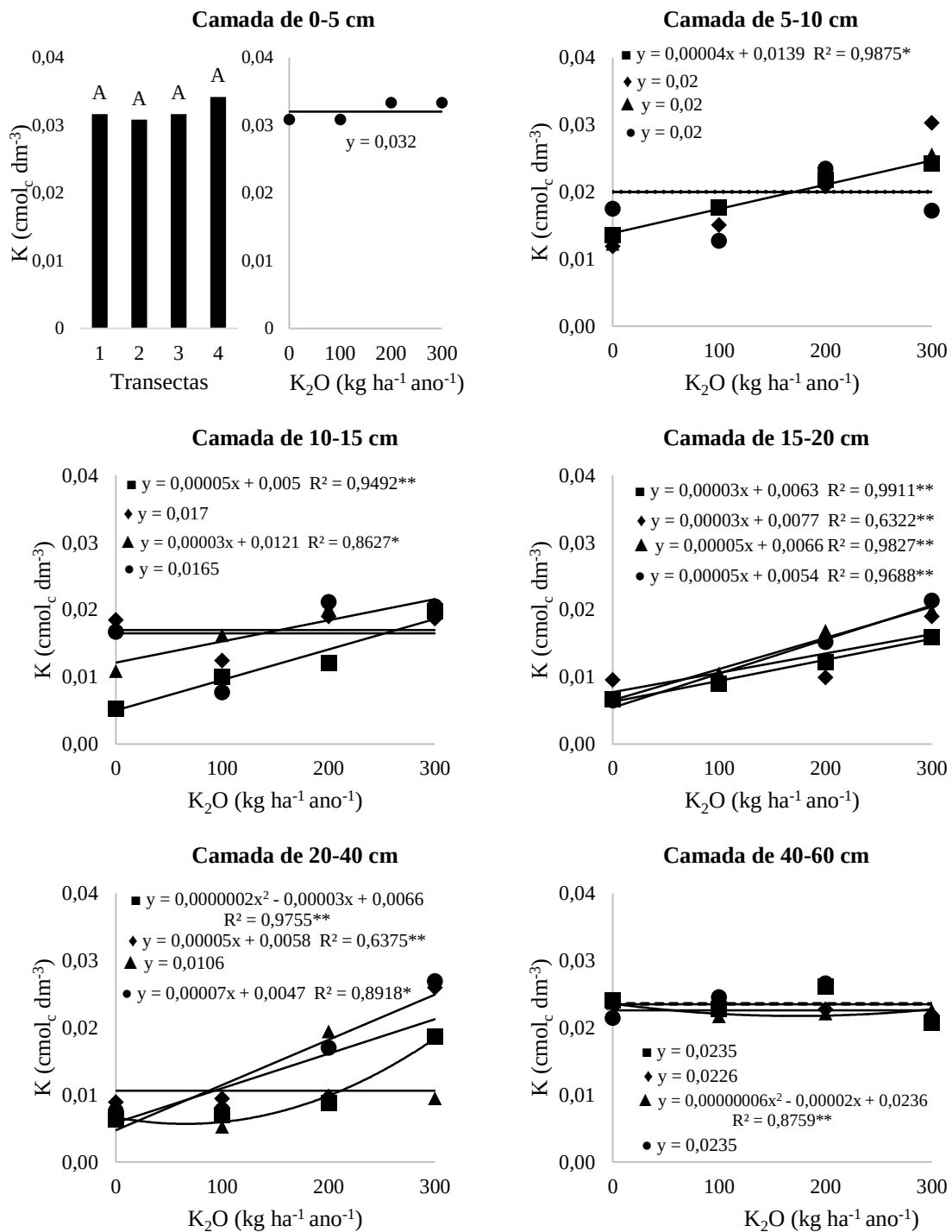


Figura 6 - Teor de potássio (K) trocável nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (◆) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. *P<0,05. **P<0,01.

O atributo saturação por bases (V) não foi afetado pelos tratamentos principais e secundários na camada de 0-5 cm (Figura 7). Houve interação entre as transectas e doses de K_2O nas demais camadas. De maneira geral, houve diminuição nos valores de V para a maioria das transectas, com valores mais baixos em camadas mais profundas do solo (Figura 7). Na camada de 40-60 cm da transecta 1, doses acima de $149,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O reduziram V. Na transecta 2, as doses de K_2O promoveram o aumento linear de V nas camadas de 5-10 e 15-20 cm (Figura 7). Na transecta 3, doses acima de $132,9$ e $149,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O reduziram V nas camadas de 5-10 e 40-60 cm, respectivamente (Figura 7). Já na transecta 4, doses acima de $107,8$; $147,0$ e $108,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O diminuíram V nas camadas 5-10, 20-40 e 40-60 cm. Na camada 15-20 cm dessa mesma transecta, as doses de K_2O diminuíram linearmente os valores de V (Figura 7).

O percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo (% K na CTCe) foi influenciado pela interação entre os tratamentos em todas as camadas de solo avaliadas. De maneira geral, a aplicação de doses de fertilizante potássico resultou no aumento do %K na CTCe do solo, na maioria das transectas, principalmente até 20 cm de profundidade (Figura 8). Na transecta 1, as doses de K_2O aumentaram o % K na CTCe em todas as camadas, exceto na camada de 40-60 cm, onde doses acima de $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O aumentaram %K na CTCe (Figura 8). As doses de K_2O reduziram %K na CTCe na camada de 0-5 cm da transecta 2. De modo contrário, nessa mesma transecta, as doses de K aumentaram o %K na CTCe na camada 5-10 cm. Já na camada 10-15 cm, na transecta 2, doses acima de $125 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O aumentaram %K na CTCe (Figura 8). Para a transecta 3, doses acima de $133 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O diminuíram %K na CTCe na camada de 0-5 cm. Nessa mesma transecta, as doses de K_2O aumentaram %K na CTCe nas camadas 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm (Figura 8). Já na transecta 4, doses acima de $166,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O reduziram %K na CTCe na camada de 0-5 cm. Nessa mesma transecta, as doses de K_2O aumentaram %K na CTCe nas camadas de 15-20 e 20-40 cm (Figura 8).

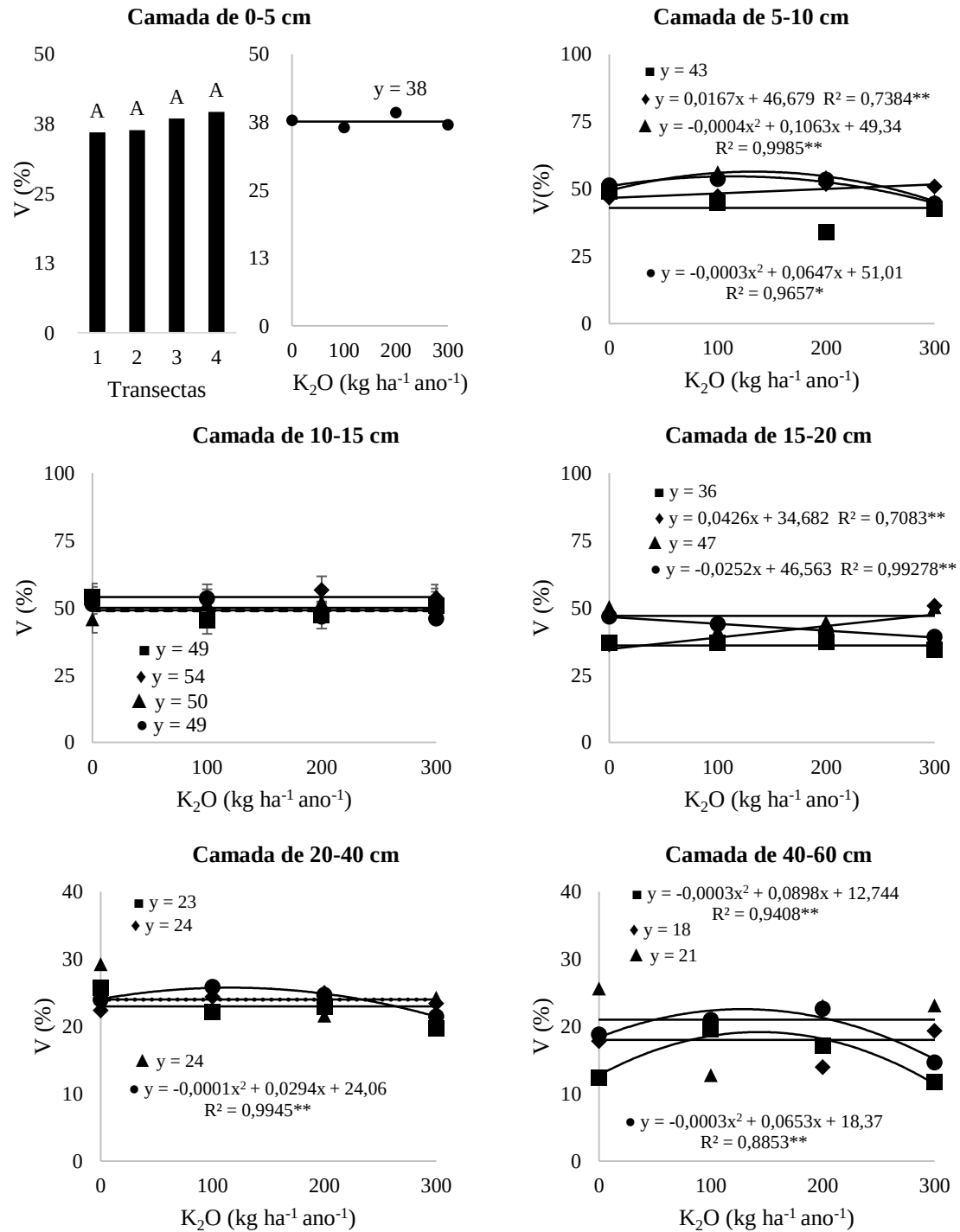


Figura 7 - Saturação por bases (V) nas camadas de solo avaliadas, afetada por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K₂O (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹). (■) Transecta 1. (◆) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. *P<0,05. **P<0,01.

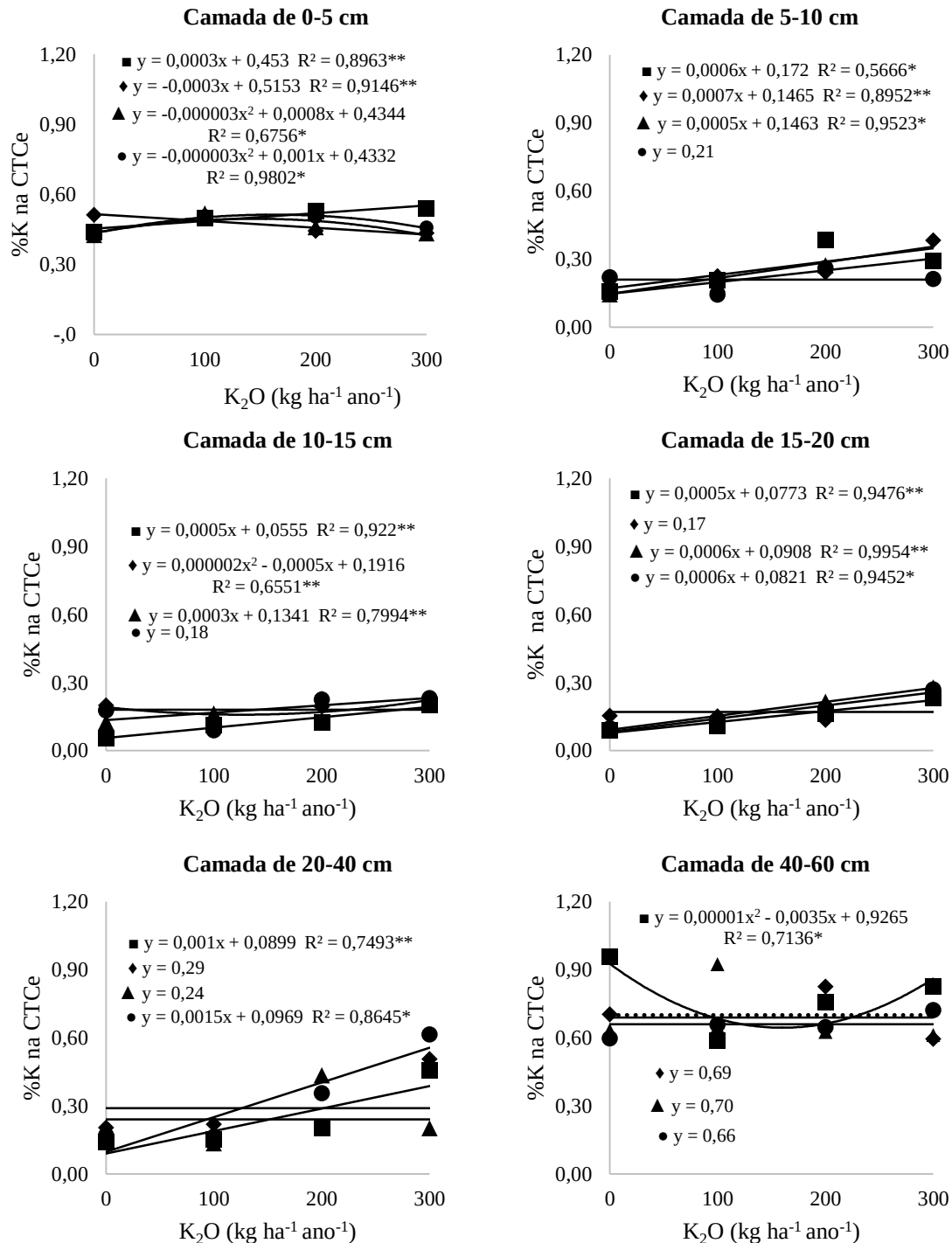


Figura 8 - Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo (%K na CTCe) nas camadas de solo avaliadas, afetado por diferentes transectas (1: 0-4m de distância do eucalipto; 2: 4-8m de distância do eucalipto; 3: 8-12m de distância do eucalipto; 4: 12-16m de distância do eucalipto) e aplicação, em superfície, de doses de K_2O (0, 100, 200 e 300 $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$). (■) Transecta 1. (◆) Transecta 2. (▲) Transecta 3. (●) Transecta 4. * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$.

5.5.2. Discussão

De maneira geral, os teores de Ca e Mg foram menores na camada de 0-5 cm, em relação às camadas de 5-10 e 10-15 cm (Figuras 4 e 5), sendo a redução de Mg estatisticamente significativa na transecta 1, com a aplicação de doses de K_2O (Figura 5). A adição de KCl pode aumentar a lixiviação de Ca e Mg (ERNANI et al., 2007). Na medida que a solução mais concentrada em K vai se deslocando de forma descendente no perfil do solo, estabelecem-se novos equilíbrios entre os cátions, e parte do K na solução percolante passa a ocupar algumas das cargas elétricas negativas dos coloides, deslocando delas os cátions que as estavam neutralizando (ERNANI & BARBER, 1993). No entanto, os maiores teores de Ca e Mg limitaram-se até a camada de 10-15 cm, onde os valores de pH eram maiores (Figura 3). Já nas camadas de 15-20, 20-40 e 40-60 cm, os menores valores de pH (Figura 3) proporcionaram a menor retenção eletrostática destes nutrientes, refletindo em menores valores de V em profundidade (Figura 7).

Os maiores teores de K foram observados na camada de 0-5 cm do solo, enquanto que na camada de 40-60 cm, houve ligeiro aumento nos teores de K, em comparação às camadas entre 5 e 40 cm de profundidade (Figura 6). Solos com baixa capacidade de troca catiônica e em condições de elevada precipitação pluvial, o K pode ser carregado para profundidades além daquelas ocupadas pelas raízes, perdendo-se por lixiviação (SANZONOWICZ & MIELNICZUK, 1985). Entretanto, a aveia branca – cultura de inverno inserida na rotação, neste estudo – atuou como planta recicladora deste nutriente, por possuir sistema radicular profundo, permitindo trazer para a camada superficial do solo o K lixiviado de camadas subsuperficiais (abaixo de 20 cm) (BORKERT et al., 2003). O componente arbóreo atuou de maneira similar, devido ao seu sistema radicular agressivo e profundo, recuperando o do K lixiviado (SILVEIRA et al., 2005). Ainda, a cultura do milho desempenha importante papel como “bomba” recicladora de K (COELHO, 2005), devido à exportação relativamente baixa de K pelos grãos de milho, que varia de 26% a 43% do total de K absorvido pela planta (FERNANDES et al., 1998). Desse modo, os resíduos culturais da aveia branca e milho, e a serapilheira proveniente do componente arbóreo aumentaram os teores de K no solo, na camada de 0-5 cm, independente das transectas e da aplicação de K_2O .

Nas camadas de 5-10, 10-15, 15-20 e 20-40, os teores de K apresentaram maiores variações em função da aplicação das doses de K_2O . O K possui boa mobilidade vertical nos solos de carga variável, principalmente quando aplicado em superfície (ERNANI et al., 2007). Essa boa mobilidade, aliada ao aumento da concentração de K na solução do solo decorrente

da adição do fertilizante potássico, favorecem o aumento dos teores de K trocável ao longo do perfil do solo (ERNANI et al., 2007).

Para V, maiores valores foram observados nas camadas superficiais do solo (até 20 cm de profundidade) (Figura 7). Essas camadas apresentaram maiores valores de pH (Figura 3), o que favoreceu a adsorção eletrostática de Ca, Mg e K aos coloides do solo.

Em relação ao percentual de K na CTCe, nas camadas onde foram obtidos os maiores teores de K (0-5 e 40-60 cm), maiores foram os valores do percentual de K na CTCe. Ainda, com o aumento das doses de K₂O, maior foi a participação deste nutriente na CTCe.

Com relação à influência direta do componente arbóreo sobre os atributos de fertilidade do solo avaliados, pode-se observar que a transecta 1, de maneira geral, apresentou os menores valores em todas as camadas de solo. A maior exigência de nutrientes pelo eucalipto devido ao seu grande porte, e ao seu sistema radicular profundo e com maior área de abrangência, compete com as culturas agrícolas (CASPER & JACKSON, 1997), reduzindo os teores de nutrientes no solo. Brendolan et al, (2000), avaliando o efeito da nutrição mineral sobre a competição entre *Eucalyptus grandis* e *Brachiaria decumbens*, observaram que quando a nutrição não foi um fator limitante ao crescimento das plantas, a competição intraespecífica reduziu, em média, 23% o comprimento das raízes, a área foliar e a matéria seca do caule e da raiz do eucalipto e a competição interespecífica reduziu, em média, 75% da matéria seca da braquiária. Quando a nutrição passou a ser um fator não limitante, não foi mais constatado efeito da competição.

5.6. Conclusões

A aplicação de fertilizante potássico de alta solubilidade em água, na superfície do solo, diminuiu, em algumas situações, os teores de Ca e Mg na camada superficial, favoreceu a mobilidade do K e aumentou seu teor deste nutriente ao longo do perfil do solo e, conseqüentemente sua participação na CTCe.

O componente arbóreo diminuiu as concentrações de nutrientes na transecta 1 (região de maior influência do eucalipto), resultando em menores valores de pH e V nas camadas subsuperficiais do solo (abaixo de 20 cm de profundidade).

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.99, p.15-27, 2003.
- ALMEIDA, S. M. Z.; SOARES, A. M.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; GAJEGO, E. B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.62-68, 2005.
- ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G. Fatores limitantes ao crescimento do Capim-Tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 30, n.4, p.1178-1185, 2001.
- ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p.35-41, 2003.
- ATROCH, E. M. A. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata* Link submetidas à diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2001.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.i-xii, 2011.
- BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C.; MEDEIROS, R. B.; SILVA, L. S.; VARELLA, A. C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.10, p.1721-1727, 2008.
- BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 36, n.1, p.86-92, 2006.
- BORKERT, C. M.; FARIAS, J. R. B.; SFREDO, G. J.; TUTIDA, F.; SPOLADOR, C. L. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo álico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p. 1119-1129, 1997a.
- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.
- BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; FARIAS, J. R. B.; TUTIDA, F.; SPOLADORI, C. L. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo eutrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.10, p.1009-1022, 1997b.
- BRENDOLAN, R. A.; PELEGRINI, T. M.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da nutrição mineral na competição inter e intraespecífica de *Eucalyptus grandis* e *Brachiaria decumbens*: 1 – crescimento. **Scientia Florestalis**. n. 5, p. 49-57, 2000.

- CAMPOS, M. L.; MARCHI, G.; LIMA, D. M.; SILVA, C. A. Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens. **Boletim Agropecuário**, Lavras, n.65, p.1-61, 1999.
- CARVALHO, J. J.; COSTA, C. D. O.; PACHECO, A.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B. Cultivo de aveia preta irrigada submetida a adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.502-513, 2014.
- CASPER, B. B.; JACKSON, B. R. Plant competition underground. **Annual reviews Ecology Systemic**. v. 28, p. 545-570, 1997.
- CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**. v.11, n.3, p.1-15, 2012.
- COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, p.243-283, 2004.
- COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fósforo, p.612-658, 2005.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 6- Safra 2015/16 - Sexto levantamento, Brasília, p. 1-140, 2016.
- COSTA, N. L.; SILVA FILHO, G. N.; SENA, J. O. A.; RODRIGUES, A. N. A.; ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento e eficiência de absorção de potássio em soja, milho, milheto, colza e lab-lab. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.463-468, 1988.
- CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, São Paulo, v. 67, n. 2, p. 261-266, 2008.
- CRUZ, G.C.S. **Clima**. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (Eds). Patrimônio natural dos Campos Gerais. Ponta Grossa: UEPG, p.59-72, 2007.
- DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.3, p.367-370, 1999.
- ELKHATIB, E.A. & HERN, J.L. Kinetics of phosphorus desorption from Appalachian soils. **Soil Science**, v.145, p.222-229, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: Legenda Atualizada. Rio de Janeiro, 2008. 74p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA-Solos, Rio de Janeiro, 1997.
- ERNANI, P. R.; BARBER S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.41-46, 1993.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C. & ALMEIDA, J. A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.393-402, 2007.

- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; BARBOSA FILHO, M. P.; MOREIRA, A. Eficiência de uso de potássio por genótipos de arroz de terras altas. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 32., 2009, Fortaleza, CE. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL-FAEPE, 1994. 227p.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005.
- FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p. 1691-1698, 1998.
- FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 57, p. 25-29, 2000.
- FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n. 4, p. 1549-1561, 2008.
- FREIDRICH, T. Sustainable crop production intensification and the global development of conservation agriculture: The FAO's view. In: CROP WORLD CONGRESS & EXHIBITION, Londres, 2010. **Proceedings...** Londres, FAO, 2010.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2009.
- GUIMARÃES, G. P.; MENDONÇA, E. S.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Soil aggregation and organic carbon of Oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 278-287, 2014.
- HARTWNIG, I. CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. A. G.; LORENCETTI, C.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; BERTAN, I.; SILVA, G. O.; VALÉRIO, I. P.; SCHMIDT, D. A. M. Correlações fenotípicas entre caracteres agronômicos de interesse em cruzamentos dialélicos de Aveia Branca. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 273-278, 2006.
- IZAC, A. M. N.; SANCHEZ, P. A. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. **Agricultural Systems**, v. 69, p. 5-25, 2001.
- JACKSON, P. C.; CAVELIER, J.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; HOLBROOK, N. M. Partitioning of water resources among plants of a lowland tropical forest. **Oecologia**, v.101, p.197-203, 1995.
- KANG, H.; SHANNON, D. A.; PRIOR, S. A.; ARRIAGA, F. J.; Hedgerow pruning effects on light interception, water relations and yield in alley-cropped maize. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.31, p. 115-137, 2008.
- KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. **Uso do milheto como planta forrageira**. Campo Grande, 2000.

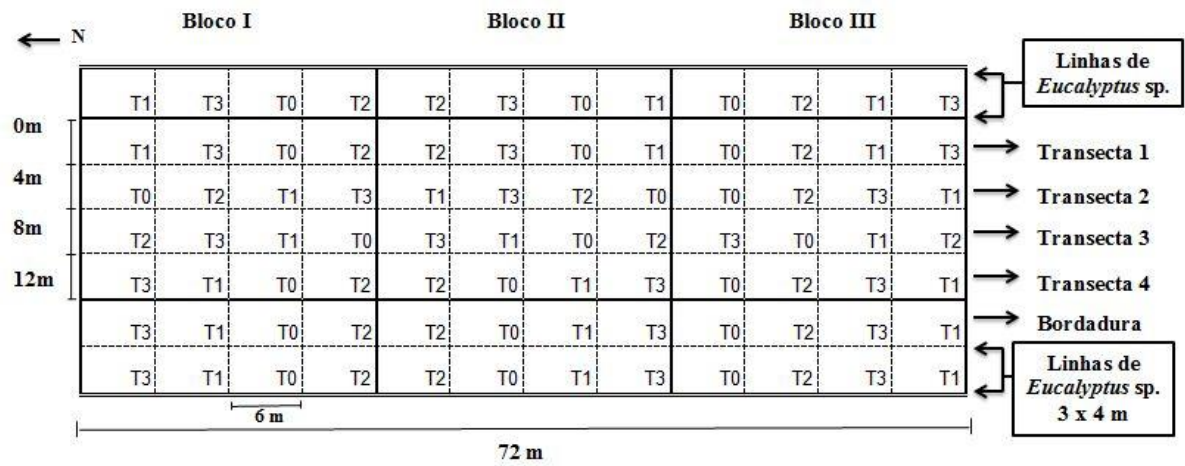
- KIRCHNER, R.; SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; MIGLIORINI, F.; FONSECA, L. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.11, p.2371-2379, 2010.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas:** aspectos agronômicos. 2.ed. rev.e atual. São Paulo: ANDA, 1992. 64p. (ANDA. Boletim Técnico, 4).
- MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba, **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 2, p. 102-200, 1948.
- MACEDO, R. L. G., BEZERRA, R. G., VENTURIN, N., VALE, R. S. do, OLIVEIRA, T. K. de. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agronômicas de milho cultivado em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p.701-709, 2006.
- MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIM, N.; Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 2008.
- MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIM, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras, 2010. 331p.
- MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.202, p.93-98, 2000.
- MACHADO, L. A. Z. **Aveia: forragem e cobertura do solo**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2000. (Embrapa-CPAO. Coleção Sistema Plantio Direto, 3). 16p.
- MAGALHÃES, J. G. S.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T.; REGO, L. J. S. Análise econômica de sistemas agroflorestais via uso de equações diferenciais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, p.73-79, 2014.
- MALAVOLTA, E. A avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, p.219-251, 1980.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARCELINO, K. R. A.; VILELA, L.; LEITE, G. G.; GUERRA, A. F.; DIOGO, J. M. S. Manejo da adubação nitrogenada e de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.268-275, 2003.
- MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:555-564, 2006.
- MARSCHNER, H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients**. In: MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press, p.231-255, 1995.
- MELO, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUN, H.; SANTOS, M. M.; COIMBRA, R. R.; SILVA, R. R.; REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada

- em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.
- MENDES, M. M. S.; LACERDA, C. F.; CAVALCANTE, A. C. R.; FERNANDES, F. E. P.; OLIVEIRA, T. S. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau-branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.10, p.1342-1350, 2013.
- MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.375-382, 1993.
- MUNDSTOK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale**. Porto Alegre: Editora NBS, 1983. 265p.
- NYE, P. H.; TINKER, P. B. **Solute movement in the soil-route system**. Oxford, Blackwell Scientific Publications. Cap. 6, p. 127-186, 1977.
- OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATY, M.T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v. 35, p.763-767, 1971.
- OLIVER, S. & BARBER, S.A. An evaluation of the mechanisms governing the supply of Ca, Mg, K and Na to soybean roots (*Glycine max*). **Soil Science Society of America, Proceedings**, v.30, n.1, p.82-86, 1966.
- OLSEN, S.R. & KEMPER, W.D. Movement of nutrients to plant roots. **Advances in Agronomy**, v.20, p.91-151, 1968.
- PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; TAVELA, R. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.917-923, 2008.
- PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; FERNANDES, P. B.; MÜLLER, M. D.; PIRES, M. F. A.; FERNANDES, E. N.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1176-1183, 2011.
- PALHANO, J.B.; MUZZILI, O.; IGUE, IC; GAROA, A.; SFREDO, G.J. Adubação fosfatada e potássica em cultura de soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n.4, p.357-362, 1983.
- PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Castro -PR. 2ed. 2004, 86p.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, (Circular, 76), 1992. 38p.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.
- ROSOLEM, C.A.; ESTEVES, J.A.F. & SILVA, R.H. **Significance of mass flow and diffusion in supplying K to cotton roots as affected by limiting and K rates**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 5.,

- 2001, Abstracts. South Africa, KwaZulu-Natal, Department of Agriculture and Environmental Affairs, 2001. p.48.
- ROSOLEM, C. A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fósforo, Instituto Internacional da Potassa, p.239-256, 2005.
- ROSOLEM, C. A.; MATEUS, G. P.; GODOY, L. J. G.; FELTRAN, J. C.; BRANCALÃO, S. R. Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.875-884, 2003.
- ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. Residual and annual potassic fertilization for soybeans. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p.143-149, 2001.
- RUIZ, H.A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.1015-1018, 1999.
- SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.45-50, 1985.
- SARTOR, L. R.; SOARES, A. B.; ADAMI, P.; MIGLIORINI, F.; FONSECA, L.; PITTA, C. S. R. Produção de forragem de espécies de inverno em ambiente sombreado. **Revista Synergismus Scientifica**, v.1, n.1, p.13-21, 2006.
- SAS System. **SAS Institute Inc.** SAS OnlineDoc® 9.1.2. Cary, NC: SAS Institute, 2004.
- SCHREINER, H. G.; BAGGIO, A. J. Culturas intercalares de milho (*Zea mays* L.) em reflorestamento de *Pinus taeda* L. no sul do Paraná. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, v.8, n.9, p.26-49, 1984.
- SHEA, P.F.; GOBELMAN, W.H.; GERLOFE, C.G. The inheritance of efficiency in potassium utilization in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v.91, p.268-293, 1967.
- SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; CURI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.257-264, 1996.
- SILVA, M. S. C.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, 2012.
- SILVEIRA, R. L. V.; GAVA, J. L.; MALAVOLTA, E. O potássio na cultura do eucalipto. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fósforo, Instituto Internacional da Potassa, p.523-590, 2005.
- SPARKS, D. L. Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain Soils: A Review. **Communications Soil Science Plant Analysis**, New York, v. 11, p. 435-449, 1980.
- SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R. D. (Ed.). Potassium in agriculture. Madison: **American Society of Agronomy**, p.201-276, 1985.

- TAFERNABERRI JÚNIOR, V.; AGNOL, M. D.; MONTARDO, D. P.; PEREIRA, E. A.; PERES, E. R.; LEÃO, M. L. Avaliação agrônômica de linhagens de aveia-branca em duas regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, n.1, p.41-51, 2012.
- TRIPLETT, G. B.; DICK, W. A. No tillage crop production: a revolution in agriculture. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 03, p. 153-165, 2008.
- VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L. & FRANÇA, G.E. O potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. **Anais**. Piracicaba, Ibrafos, p.437-448, 1982.
- VARGAS, R. M. B. **Mecanismos de suprimento de K, Ca, Mg e P às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1982. 93p.
- VARGAS, R. M. B.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.143-148, 1983.
- VIANNA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, teor de clorofila, e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. Piracicaba, 2007. Dissertação de mestrado. 95p.
- VIEIRA, T. A.; ROSA, L. S.; VASCONCELOS, P. C. S.; SANTOS, M. M.; MODESTO, R. S. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazônica**. v. 9, p. 549 – 558, 2007.
- WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.2207-2305, 2008.
- WIETHÖLTER, S. Bases teóricas e experimentais de fatores relacionados com a disponibilidade de potássio do solo às plantas usando trigo como referência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1011-1021, 2007.
- WINKLER, U.; ZOTZ, G. ‘And then there were three’: highly efficient uptake of potassium by foliar trichomes of epiphytic bromeliads. **Annals of Botany**, v.106, p.421–427, 2010.
- ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 n.5 Viçosa, 2004.

ANEXO



Anexo – Croqui da área experimental localizada na Fazenda Modelo do Instituto Agronômico do Paraná, Ponta Grossa-PR.