

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

THAYS SCHNEIDER

ATRIBUTOS DE PLANTAS E DE FERTILIDADE DO SOLO SOB ADUBAÇÃO
POTÁSSICA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

PONTA GROSSA
2016

THAYS SCHNEIDER

ATRIBUTOS DE PLANTAS E DE FERTILIDADE DO SOLO SOB ADUBAÇÃO
POTÁSSICA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Tese apresentada para obtenção do título de doutor em agronomia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, com Área de Concentração em Agricultura e ênfase em Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Co-orientadora: Dra. Laíse da Silveira Pontes

PONTA GROSSA
2016

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

S359 Schneider, Thays
 Atributos de plantas e de fertilidade
 do solo sob adubação potássica em sistema
 integrado de produção agropecuária/ Thays
 Schneider. Ponta Grossa, 2016.
 150f.

 Tese (Doutorado em Agronomia - Área de
 Concentração: Agricultura), Universidade
 Estadual de Ponta Grossa.
 Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira
 da Fonseca.
 Coorientadora: Profª Drª Laise da
 Silveira Pontes.

 1.Zea mays L. 2.Avena sativa L.
 3.Glycine max L. Merr. 4.Eucalyptus dunnii
 Maiden. 5.Manejo de nutriente em sistema
 de produção. I.Fonseca, Adriel Ferreira
 da. II. Pontes, Laise da Silveira. III.
 Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Doutorado em Agronomia. IV. T.

CDD: 631.5



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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Tese: “Atributos de plantas e de fertilidade do solo sob adubação potássica em sistema integrado de produção agropecuária”.

Nome: Thays Schneider

Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Dr.ª Lutécia Beatriz Canalli

Dr. Vanderley Polfírio da Silva

Prof. Dr. Helio Antonio Wood Joris

Prof. Dr. Fabricio Tondello Barbosa

Data da Realização: 31 de maio de 2016.

Ao meu pai Ingo Juarês Schneider (*in memoriam*) e
minha mãe Sibeles Schneider responsáveis pela
minha construção como pessoa.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde e vida!

Agradeço à toda minha família em especial, Sibele e Marcelo Schneider, pelo apoio ininterrupto e amor incondicional.

Agradeço ao Professor Dr. Adriel Ferreira da Fonseca pela orientação e ensinamentos acadêmicos e profissional e a Dra. Laíse da Silveira Pontes pela co-orientação, parceria e amizade. Ao Dr. Alan Franzluebbbers pela orientação, paciência e amizade enquanto estive na Universidade Estadual da Carolina do Norte.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e aos Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DESOLO) e de Fitotecnia e Fitossanidade (DEFITO), pela concessão das facilidades do Laboratório Nutrição de Plantas, Fertilidade do Solo, Física do solo, Matéria Orgânica do solo e Sementes. Agradeço a todos os funcionários da Fazenda Escola Capão da Onça, em especial ao Eloir Moresco (Galo), Sergio Bonamigo (Bona) e ao Professor Dr. Marcos Vinícius Ribas Milléo por toda ajuda prestada nos experimentos de campo. Aos professores do Programa de Pós Graduação em Agronomia, pela ótima convivência, respeito adquirido e por permitir abrir uma nova visão do sistema.

Ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) pela concessão da área experimental e apoio financeiro para execução do trabalho experimental a campo. Agradeço aos funcionários, técnicos e estagiários do IAPAR, em especial, Giliardi Stafin, André Luiz de Francisco, Pedro Paulo Pomkerner, Bruno Silveira e Raphael Arthur Dugas, os quais foram sempre prestativos e que muito me auxiliaram a conduzir o experimento a campo.

Aos servidores do DESOLO e DEFITO, bem como às bolsistas do Complexo de Laboratórios Multiusuários pelo constante apoio nas determinações analíticas, em especial a Verônica Dias Carneiro, Danilo Bachinski, Elias Luiz Meira, Dirce Aparecida Vaz e Jaqueline Aparecida Gonçalves.

Às minhas amigas de jornada, Luana Duda, Simone Miara, Betina Raquel Cunha dos Santos, Jucimare Romaniw, Lorena Duda, Talita Correa, Kelli Coutinho dos Santos, Keila Coutinho

dos Santos, e os meus amigos, André Carlos Auler, Silvano Harkatin, Sandoval Carpinelli, José Alfredo Baptista dos Santos que com um sorriso ou uma palavra de conforto sempre me transmitiram uma segurança.

Aos colegas e amigos de curso que muito auxiliaram para realização deste trabalho: Alisson Fornari, Lucas Nataniel Wish, Daniel Potma, Clever Briedis, Shivelly Los Galletto, Fabrício Siqueira Hennipman, Eduardo Daniel Guntzel, Jéssica Alves dos Santos, Julienne De Geus Moro, Elton Rech, Gabriel Gregório Soares, Gabriel Andrade Schleder, Sara Ponte Carrera, Moisés Marcondes de Oliveira, Jasmine Jurich Pillati, Bruna Simone Siqueira, em especial Adriano Xavier Maukoski, André Vinícius Vam Beek e Sandro Felema que participaram efetivamente nas coletas e análises. Agradeço a Flavia Biassio Riferte, por conduzir o experimento a campo e em laboratório enquanto estive ausente.

A parceria e amizade que construí com Tangriani e Alceu Assmann, Leonardo Deiss, Jayme Ferrari, Wedisson Santos, Carolina Benjamimn, Sheila Santos, Valéria Juste Gomes, Jéssica Kaseker, Juliana Silva, Cristhiane Martins, Mariana Mesquita, Paula Cerezini, Cintia Lima Luna, Aelton Biasi Giroldo, Elton Alves, Ashtyn Mizelle e família, Molly Pershing, Ellen Leonard, Erin Silva, Smiriti Limbu, Katie Pritchett durante o período de sanduíche.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas (Brasil e Estados Unidos).

Aos amigos Professor Dr. Gerson dos Santos Lisboa e Professora Dra. Fabiane Retslaff que me auxiliaram a sanar dúvidas e pela amizade. Agradeço o apoio da Família Simonatto, que com carinho sempre me incentivaram. Agradeço às irmãs Missionárias Servas do Espírito Santo pela bondade e amizade acolhendo-me em momentos difíceis assim como ao Pe. Sergio Bertotti, e amigo, exemplo de fé e perseverança!

E a todos os meus colegas e amigos que de certa forma contribuíram para realização deste trabalho.

Até aqui nos ajudou o Senhor.

1 Samuel 7:12B

RESUMO GERAL

O sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) consiste em uma das formas de produção integrada, o qual busca maior sustentabilidade ambiental, econômica e social. Em razão da eficiente ciclagem de nutrientes e biodiversidade de culturas, o sistema alia a produção de alimentos com a conservação do meio ambiente. A ausência de pesquisa no âmbito da dinâmica do potássio (K) em solos subtropicais sob SIPA e como a restrição de radiação proporcionado pelo componente arbóreo altera a produção, determinou o foco desta pesquisa. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da restrição de radiação (proporcionado pelo eucalipto) sobre os atributos de plantas e de fertilidade do solo, em condições de doses de K (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O) aplicadas na superfície do solo, em área total. Dois experimentos paralelos foram implantados (em setembro/2012) em um Latossolo Vermelho na Fazenda Modelo, município de Ponta Grossa (PR). O primeiro experimento empregou delineamento experimental em blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas (4 x 24 m) consistem das plantas anuais (milho, aveia branca e soja) e as distâncias consideradas em relação ao eucalipto (efeito da restrição de radiação) foram: 0-4, 4-8, 8-12 e 12-16 m. As subparcelas (4 x 6 m) recebem as doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O) de K (na forma de cloreto de potássio), na superfície do solo, por ocasião da semeadura da cultura de inverno (aveia branca, para produção de forragem) e na semeadura da cultura de verão (milho e soja, para produção de grãos). O segundo experimento também foi em blocos completos casualizados com parcela subdividida e três repetições. As parcelas foram caracterizadas por renques de eucalipto e as subparcelas as doses de K (similarmente ao primeiro experimento). Nas culturas de milho (2012/13 e 2014/15) e soja (2013/14) foram avaliados o estado nutricional (para os macronutrientes) e o rendimento de grãos (RGM e RGS). Durante o cultivo da aveia branca (2013 e 2014), foram avaliados o rendimento de massa seca (RMS), altura e acúmulo de macronutrientes. A avaliação do estado nutricional do eucalipto foi realizada no verão (2013/14), bem como os nutrientes na serapilheira sob a copa. Coletas de solo das camadas 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm foram realizadas em ambos os experimentos aos 6, 12 e 30 meses após o início do experimento (Set/2012), visando determinar as concentrações de pH, H⁺Al, C, Ca, Mg, K, Al, CTC potencial (CTC) e efetiva (CTCe), saturação de bases (V%) e de alumínio (m%) e a porcentagem de K, Ca e Mg na CTC efetiva. Maior influência da restrição de radiação em relação às doses de K foi observado para o experimento 1. Redução do K trocável foi observado aos 30 meses, o que reduziu a 1% a saturação de K na CTCe. Em geral, maiores concentrações de cátions foram observadas em transectos menos sombreados, o que favoreceu o maior RMS para aveia/2014 (2218,83 kg ha⁻¹) e RGM (10470,1 kg ha⁻¹ em 2012/13 e 8742,5 kg ha⁻¹ em 2014/15) e RGS (1989,0 kg ha⁻¹). Por outro lado, concentrações altas de Ca e Mg foram verificadas em todo perfil, favorecendo a saturação destes na CTCe no segundo experimento. Lixiviação não foi observada no perfil no segundo experimento. As concentrações de N, P e K na parte aérea do eucalipto esteve dentro da faixa adequada, contudo concentrações baixas foram observados para Ca, Mg e S. A redução da concentração de N, P, K, Mg e S na serapilheira, pode indicar decomposição bioquímica. Todavia, aumento da concentração de Ca na serapilheira sugere a influência da ciclagem biogeoquímica. Doses de K não afetaram a produção do eucalipto aos 8 anos.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Avena sativa* L., *Glycine max* L. Merr., *Eucalyptus dunnii* Maiden, manejo de nutriente em sistema de produção, agricultura de baixo carbono.

GENERAL ABSTRACT

The Integrated Crop-Livestock System (ICLS) is in a form of integrated production, which achieve a higher environmental, economic and social sustainability. Because of the efficient nutrient cycling and biodiversity of crops, the system combines food production with environmental conservation. The lack of research in the context of the potassium (K) dynamic in subtropical soils under ICLS and how the shading provided by the arboreal component alters the production, determined the focus of this research. The main objective of this project consists in evaluating the effects of shade (provided by eucalyptus) on the attributes of plants and soil fertility under conditions of K rates (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ yr⁻¹ K₂O) applied on the soil surface in the entire area. Two experiments are being conducted simultaneously in an Typic Hapludox on a model farm of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR), Ponta Grossa (PR). The experiment employs an experimental design in randomized complete block with split plots and three replications. The plots (4 x 24 m) consists of annual plants (corn, oat and soybean) and the distances considered in relation to eucalyptus (shading effect) were: 0-4, 4-8, 8-12 and 12-16 m. The subplots (4 x 6 m) receive doses (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of K₂O) K (as potassium chloride), at the soil surface at the time of seeding culture of autumn-winter (oat) and at seeding of the summer crop (corn and soybeans). The second experiment was also a randomized complete block design with split plot and three replications. The plots were characterized by rows of eucalyptus and subplots doses of K (similar to the first experiment). In the maize crop (2012/13 and 2014/15) and soybean (2013/14) were evaluated nutritional status (for macronutrients) and grain maize yield (GYM and GYS). During oat growing (2013 and 2014) were evaluated the dry matter yield (DMY), height and macronutrient accumulation. The evaluation of nutritional status of eucalyptus was conducted in the summer (2013/14), and the nutrients in the leaf litter under the canopy. Soil samples of layers 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 and 40-60 cm were performed in both experiments at 6, 12 and 30 months after the start of the experiment (Sep / 2012). After that, was determined pH concentration, H + Al, C, Ca, Mg, K, Al, CEC and effective CEC (ECEC), base saturation (%) and aluminum (m%) and the percentage of K, Ca and Mg in the effective CEC. In general, higher concentrations of cations was observed in less shaded transects, which favored the largest DMY for oats/2014 (2218.83 kg ha⁻¹) and GYM (10,470.1 kg ha⁻¹ in 2012/13 and 8742, 5 kg ha⁻¹ in 2014/15) and GYS (1989.0 kg ha⁻¹). Moreover, high concentrations of Ca and Mg were detected in the whole profile favoring saturation in these ECEC in second experiment. Leaching was not observed in profile in the second experiment. The concentration of N, P and K in shoots of eucalypt was within the proper range, but the opposite was observed for Ca, Mg and S. The reduction of the concentration of N, P, K, Mg and S in the litter, may indicate a biochemical decomposition. However, the concentration of Ca in the litter, suggests the influence of biogeochemical cycling. K doses did not affect the production of eucalyptus at 8 years.

Keywords: *Zea mays* L., *Avena sativa* L., *Glycine max* L. Merr., *Eucalyptus dunnii* Maiden, nutrient management in production system, low carbon agriculture.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Temperatura (°C) e precipitação (mm) nos anos de 2012 à 2015 nas quatro estações do ano. Dados disponibilizados pelo SIMEPAR – Estação 25135001 – para a região de Ponta Grossa, PR	34
Tabela 2: Histórico de eventos das culturas na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas, densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo de cobertura (forragens) ou colheita (grãos).....	35
Tabela 3: Sequência de eventos das culturas no período do experimento: época de semeadura, espaçamento entre linhas, densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo de cobertura (forragens) ou colheita (grãos)	37
Tabela 4: Principais atributos do solo da área experimental, em diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento (Set/2012).....	38
Tabela 5: Sequência de eventos do manejo das culturas no período do experimento: coleta de solos, amostragem para fins de diagnose foliar e acúmulo de nutrientes e colheita (forragem e grãos).....	38
Tabela 6: Médias e coeficiente de variação para porcentagem de sombra em quatro transectos em um SIPA, segundo as estações.....	40
Tabela 7: Concentrações médias dos atributos químicos do solo em camadas distintas, 6 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total.....	43
Tabela 8: Concentrações médias dos atributos químicos do solo em camadas distintas, 12 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total.....	47
Tabela 9: Concentrações médias dos atributos químicos do solo em camadas distintas, 30 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total.....	53
Tabela 10: Equações de regressão e nível de significância da interação do fator principal (transectos, isto é, distância das árvores) e secundário (doses de K) para os atributos da aveia branca no período de 2013 e 2014 após aplicação das doses de K ₂ O	57
Tabela 11: Concentração e acúmulo dos macronutrientes avaliados para a aveia durante os 30 meses de experimentação, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total.....	58
Tabela 12: Equações de regressão e nível de significância dos atributos da aveia branca para as doses de K nos períodos de 2013 e 2014 após aplicação das doses de K ₂ O	59
Tabela 13: Média da concentração, acúmulo dos macronutrientes e componentes de rendimentos avaliados para a soja, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total.....	66

Tabela 14: Equações de regressão e nível de significância dos atributos da soja para doses de K no período de 2013/14 após aplicação das doses de K ₂ O	67
Tabela 15: Concentração foliar e acúmulo dos macronutrientes avaliados para o milho 2012/13, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total	75
Tabela 16: Concentração foliar e acúmulo dos macronutrientes avaliados para o milho 2014/15, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total	78
Tabela 17: Principais atributos do solo da área experimental, em diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento nos renques (Set/2012).....	98
Tabela 18: Concentrações médias dos atributos químicos do solo dos renques em camadas distintas, 6 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total.....	102
Tabela 19: Concentrações médias dos atributos químicos do solo nos renques, 12 meses após o início da experimentação submetidos aos tratamentos de doses de K.....	106
Tabela 20: Concentrações médias dos atributos químicos do solo nos renques, 30 meses após o início da experimentação submetidos aos tratamentos de doses de K.....	110
Tabela 21: Concentrações médias dos teores na serapilheira e na copa de <i>Eucalyptus dunnii</i>	113
Tabela 22: Variáveis dendrométricas avaliadas no verão de 2013/14 e 2014/15 em <i>Eucalyptus dunnii</i>	118
Tabela 23: Matriz correlação de Pearson e p-valores para os macronutrientes na serapilheira (Ser), copa (Co), DAP (diâmetro acima do peito), Ht (altura total), G (área basal), Vs/c (volume sem casa), Vc/c (volume com casca) e IMA (incremento médio anual) para o ano de 2015 de <i>Eucalyptus dunnii</i> após 30 meses de aplicação dos tratamentos.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem da área experimental	35
Figura 2: Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas de solo avaliadas aos 6 meses após aplicação das doses de K ₂ O	45
Figura 3: Concentração de potássio nas camadas de solo avaliadas aos 12 meses após aplicação das doses de K ₂ O	50
Figura 4: Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas de solo avaliadas aos 12 meses após aplicação das doses de K ₂ O	50
Figura 5: Acúmulo de potássio na parte aérea do milho em 2012/13 e 2013/14 após aplicação das doses de K ₂ O	76
Figura 6: Concentração e acúmulo de potássio na parte aérea do milho em 2013/14 após aplicação das doses de K ₂ O e em diferentes transectos. (●) Transecto 1, (▲) Transecto 2, (■) Transecto 3, (◆) Transecto 4.	80
Figura 7: Concentração de potássio e cálcio nos grãos do milho em 2012/13 e 2014/15 após aplicação das doses de K ₂ O e em diferentes transectos. (●) Transecto 1, (▲) Transecto 2, (■) Transecto 3, (◆) Transecto 4.	85
Figura 8: Precipitação acumulada e temperatura mínima, máxima e média no período de Janeiro/12 a dezembro/13. Dados disponibilizados pelo SIIMEPAR - Estação 25135001- para a região de Ponta Grossa, PR.....	89
Figura 9: Precipitação acumulada e temperatura mínima, máxima e média no período de Janeiro/14 a Junho/2015. Dados disponibilizados pelo SIIMEPAR - Estação 25135001- para a região de Ponta Grossa, PR.....	89
Figura 10: Croqui da distribuição de doses de potássio nos renques na área experimental	99
Figura 11: Concentração de potássio e percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas de solo dos renques avaliadas aos 6 meses após aplicação das doses de K ₂ O	103
Figura 12: Concentração de potássio nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm nos renques após aplicação das doses de K ₂ O aos 12 meses.	107
Figura 13: Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm nos renques após aplicação das doses de K ₂ O aos 12 meses.	108

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC	Agricultura de baixo carbono
Al	Alumínio
C	Carbono orgânico via Walkley-Black
Ca	Cálcio
CaCTCe	Saturação de Ca na capacidade de troca efetiva
CAP	Circunferência acima do peito em cm
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca catiônica
CTCe	Capacidade de troca efetiva
DAP	Diâmetro acima do peito em cm
G	Área basal
GEE	Gases de efeito estufa
Gr/Va	Número de grãos de soja por vagem
Ht	Altura total em metros
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
IC (%)	Índice de colheita
IMA	Incremento médio anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)
K	Potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
KCl	Cloreto de potássio
KCTCe	Saturação de K na capacidade de troca efetiva
m%	Saturação de alumínio
Mg	Magnésio
MgCTCe	Saturação de Mg na capacidade de troca efetiva
MGM	Massa de 1000 grãos de milho
MGS	Massa de grãos de soja
MOS	Matéria orgânica do solo
MS	Massa seca de folhas de eucalipto
N	Nitrogênio
NF	Número de fileiras de milho
NGM	Número de grãos de milho
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogênio iônico
Pl/m ²	Número de plantas de soja por metro quadrado
r	Coefficiente de correlação
RGM	Rendimento de grãos de milho
RGS	Rendimento de grãos de soja
RMS	Rendimento de massa seca
S	Enxofre
SB	Soma de bases
SIPA	Sistema integrado de produção agropecuária
SPD	Sistema de plantio direto
TFSE	Terra fina seca em estufa
V%	Saturação por bases
Vg/Pl	Número de vagens de soja por planta
Volc/c	Volume com casca
Vols/c	Volume sem casca

SUMÁRIO

1. Introdução geral	16
2 Revisão bibliográfica.....	17
2.1 Características e manejo de solos subtropicais	17
2.2 Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) e agricultura de baixo carbono (ABC).....	19
2.3 Efeitos da restrição de radiação pelas árvores e do potássio no crescimento e desenvolvimento de gramíneas forrageiras, cereais e leguminosas	21
2.4 Sucessão aveia branca/milho e aveia branca/soja, eucalipto e fertilização potássica	25
3.0 Capítulo 1: Interação entre a restrição de radiação e adubação potássica em sistema integrado de produção agropecuária	28
3.1 Introdução	32
3.2 Material e Métodos.....	34
3.2.1 Localização do experimento, características edafoclimáticas e histórico da área ..	34
3.2.2 Delineamento experimental e descrição do manejo.....	36
3.2.3 Caracterização da área de estudo	36
3.2.4 Avaliação dos atributos de planta e rendimento das culturas	37
3.2.5 Caracterização da restrição de radiação	39
3.2.6 Amostragem de solo e análise química.....	39
3.2.7 Amostragem das plantas e análise química foliar.....	40
3.2.8 Análise estatística	41
3.3 Resultados e discussão.....	41
3.3.1 Atributos da fertilidade do solo no SIPA.....	41
3.3.1.1 Aos 6 meses.....	41
3.3.1.2 Aos 12 meses.....	45
3.3.1.3 Aos 30 meses.....	51
3.3.2 Cultura de aveia branca	56
3.3.2.1 Concentrações e acúmulo dos nutrientes na aveia branca em 2013	56
3.3.2.3 Rendimento da aveia branca em 2013 e 2014.....	62

3.3.3 Cultura da soja.....	65
3.3.3.1 Concentrações de macronutrientes nos tecidos foliares da cultura da soja	65
3.3.3.2 Concentrações de macronutrientes nos grãos da cultura da soja.....	67
3.3.3.3 Acúmulo de nutrientes na cultura da soja	68
3.3.3.4 Rendimento de grãos de soja.....	70
3.3.4 Cultura do milho	74
3.3.4.1 Concentrações e acúmulo dos nutrientes no milho de 2012/13	74
3.3.4.2 Concentrações e acúmulo dos nutrientes no milho de 2014/15	77
3.3.4.3 Concentração de nutrientes nos grãos de milho em 2012/13 e 2014/15	84
3.3.4.4 Rendimento de grãos de milho em 2012/13.....	87
3.3.4.5 Rendimento de grãos de milho em 2014/15.....	88
3.4 Conclusões	93
4.0 Capítulo 2: Macronutrientes em renques de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden submetidos à adubação potássica em solos de carga variável	94
4.1 Introdução	96
4.2 Material e Métodos.....	97
4.2.1 Caracterização da área de estudo.....	97
4.2.2 Delineamento experimental	98
4.2.3 Amostragem das plantas e análise química de tecido vegetal.....	99
4.2.4 Amostragem das árvores e análise de incremento	100
4.2.5 Análise estatística	100
4.3 Resultados e Discussão	101
4.3.1 Atributos de fertilidade do solo	101
4.3.1.1 Aos 6 meses.....	101
4.3.1.2 Aos 12 meses.....	105
4.3.1.3 Aos 30 meses.....	108
4.3.2 Nutrição mineral das folhas da copa e da serapilheira	113
4.3.3 Produtividade do <i>Eucalyptus dunnii</i>	118
4.4 Conclusões	124

5.0 Considerações finais	125
6.0 Referências Bibliográficas	126

1. Introdução geral

O sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) constitui na integração intencional de culturas, gado e/ou árvores em uma ampla área, que reflete uma relação sinérgica entre os componentes resultando em melhorias nos aspectos sociais e econômicos e na sustentabilidade ambiental (CARVALHO et al., 2014). A presença de espécies florestais nos SIPAs propiciam a formação de duas áreas distintas: uma, próxima as árvores influenciada diretamente pela projeção da copa (área sombreada) como também pelo sistema radicular e outra mais distante que recebe maior incidência solar (SOUSA NETO, 2013). A radiação dentro do SIPA pode variar com a espécie florestal (copa de coníferas x angiospermas), com o espaçamento adotado (determinado com base no objetivo do uso da madeira), assim como pelo manejo e tratos culturais (podas e desbastes). Por outro lado, a resposta das culturas sob este sistema varia em função da tolerância à restrição da radiação. No interior e abaixo da cobertura da copa, onde a radiação difusa penetra melhor que a radiação direta dos raios solares, a intensidade do trabalho fotossintético diminui proporcionalmente ao decaimento da intensidade luminosa (LARCHER, 2000).

Com o aumento crescente da população, que em menos de 30 anos alcançará a casa dos 9 bilhões de habitantes, será necessário aumentar significativamente a produção de alimentos, fibras e energia, devendo ser, fundamentalmente, através da melhoria da produtividade dos solos agrícolas para que as atividades neles desenvolvidas, sejam efetivamente sustentáveis (MACHADO et al., 2011). Neste contexto, a agricultura moderna está relacionada à qualidade do solo e depende da utilização de fertilizantes minerais; os quais estes nutrientes mantêm a alta produtividade atual e, assim, garantem a segurança alimentar para a crescente população mundial (ROBERTS; RYAN, 2015).

A manutenção da fertilidade do solo, sobretudo em relação ao potássio (K), é apenas um entre os vários fatores que determinam a magnitude do rendimento da cultura, interferindo na produtividade agrícola (RONQUIM, 2010). Contudo, a elevada acidez, o baixo teor de bases trocáveis e a baixa fertilidade natural limitam a produção agrícola, especialmente em solos de textura média a arenosa, como na região dos Campos Gerais (BODZIAK JUNIOR; MAACK, 2001).

O K absorvido pelas plantas é somente oriundo das reservas existentes nos solos, reciclado de resíduos de culturas e advindo da aplicação de fertilizantes (COELHO, 2005). Devido ao fato de que a capacidade dos solos em suprir K é limitada, o aumento da produção

das culturas requer proporcional aumento do consumo de fertilizante potássico, de forma a atender não só as necessidades das culturas, mas também, o balanço do sistema de produção, evitando-se, com isso, o esgotamento gradual das reservas de K no solo (COELHO, 2005; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013). Além disso, a manutenção dos resíduos vegetais no solo em sistema de plantio direto (SPD) contribui para a redução de déficit nutricional (COELHO, 2005).

O conhecimento da dinâmica do K no SIPA é fundamental para o melhor planejamento das aplicações de K em solos de textura franco arenosa, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e baixa reserva de K. A influência do SIPA arborizado, com microclima específico de luz e umidade que condiciona o transporte de K até as raízes, e a alta demanda de K pelas culturas favoreceu a criação da problemática do presente estudo a fim de suprir a falta de pesquisas relacionadas ao K em ambiente subtropical. Além disso, há uma carência de informações a respeito da redução da radiação incidente em SIPA arborizado e do seu consequente efeito na produção primária e no crescimento e desenvolvimento das culturas (LIMA JUNIOR et al., 2005) produtoras de grãos e forragem.

Com isso, a fim de analisar a influência da restrição de radiação na produção de grãos de milho e soja e forragem de aveia branca, focando a fertilidade do solo e a nutrição de plantas, objetivou-se comparar o efeito da restrição de radiação e doses de K e suas interações no rendimento e nutrição de milho, soja, aveia branca e eucalipto.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Características e manejo de solos subtropicais

Os solos de regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos teores de alumínio trocável (Al) e baixos teores de carbono (C). A alternativa mais sustentável de manejo desses solos tem sido o SPD que contempla não só o preparo mínimo do solo, mas também a prática de rotação de culturas (MACEDO, 2009). O sucesso dessa estratégia decorre, especialmente, da estratificação de C, do acúmulo de palhada e de sistemas radiculares diferentes propiciado pela rotação de culturas com uso de culturas de cobertura, possibilitando a criação de ambiente favorável à recuperação e à manutenção da qualidade do solo (KLIEMANN et al., 2006, BALBINO et al., 2011, ALTMANN, 2012).

Depois de adotadas as estratégias de manejo que visam o aumento das concentrações de carbono orgânico total (COT), de controlar a acidez e manejar adequadamente os

nutrientes fósforo (P) e nitrogênio (N), o entendimento da dinâmica do K, particularmente em ambiente subtropical, é fator primordial. Esse último nutriente tem sido o segundo mais demandado pelas culturas (MARSCHNER, 2012). Contudo, existem poucos estudos concernentes à dinâmica do K em solos brasileiros (WERLE et al., 2008; COSTA et al., 2009), particularmente em SIPA.

Os sistemas de cultivo também influenciam o comportamento dos nutrientes no solo. No sistema de semeadura direta, normalmente, ocorre acúmulo de MOS nas camadas superficiais, ocasionando, conseqüentemente, aumento na disponibilidade de alguns nutrientes nessas camadas (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Além disso, resíduos vegetais depositados na superfície do solo em SPD podem proteger contra os efeitos climáticos e erosão (CALONEGO; ROSOLEM, 2013).

O SIPA pode contribuir significativamente para o estabelecimento de uma agricultura dentro dos preceitos da sustentabilidade, pois contorna e corrige os desequilíbrios impostos pelos sistemas simplificados de produção, cujo manejo de solos e culturas não prioriza adequadamente o conservacionismo (BALBINO et al., 2012). Portanto, a adequada construção da fertilidade do solo, as práticas de agricultura conservacionista, a adubação do sistema, a rotação de culturas e o planejamento forrageiro são estratégias que proporcionam, ao longo do tempo, um balanço positivo de matéria e energia no SIPA (FONSECA, 2014).

As culturas de aveia branca e de eucalipto são reconhecidas como importantes recicladoras de K (SANTI et al., 2003; CUNHA et al., 2005). Essas culturas têm capacidade de absorver K das camadas mais profundas e, posteriormente, liberá-lo na camada superficial, favorecendo as culturas agrícolas subsequentes (BORKERT et al., 2003, KORNDÖRFER et al., 2008).

O tema em questão é pertinente e demanda mais investigações, particularmente em SIPA. A presença do componente arbóreo (eucalipto) pode influenciar o rendimento das culturas (BERNARDINO et al., 2007), tanto produtoras de grãos (milho e soja) quanto forrageiras (no caso a aveia branca). Tais culturas são cultivadas nas entrelinhas de SIPA em solos predominantemente de baixa fertilidade (BERTALOT et al., 2010). Portanto, a capacidade produtiva dessas culturas será altamente dependente da reciclagem dos nutrientes (MACEDO et al., 2010). Além disso, o sistema integrado de produção de grãos, forragem e madeira proporciona condições para um microclima específico, afetando diretamente a incidência de radiação solar e umidade do solo (SANTANA et al., 2007). Esse último fator tem sido determinante na disponibilidade de K às plantas, devido a difusão ser o mecanismo dominante do transporte de K até as raízes, quando em baixas concentrações. Quando a

concentração de K na solução do solo é alta, o fluxo de massa é o mecanismo de contato predominante, principalmente quando existirem diferenças de transpiração e morfologia de raiz (OLIVEIRA et al., 2004; MARSCHNER, 2012).

2.2 Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) e agricultura de baixo carbono (ABC)

O conceito de SIPA, atualmente mais aceito com base nas normas da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), tem as premissas dos sistemas classificados como integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e dos sistemas agroflorestais (SAF), frequentemente utilizado pela comunidade científica (CARVALHO et al., 2014). Todavia, estes autores sugerem o uso do termo SIPA afim de padronização de definição e acrônimos, uma vez que o diferencial do SIPA envolve a exploração de sinergismos entre componentes.

O SIPA tem sido opção interessante e viável para a oferta simultânea de madeira, alimentos, forragem, sementes, óleos, gomas, fibras, entre outros bens. O sucesso desse sistema está relacionado à quantidade de nutrientes fornecida durante o processo de decomposição e como esses nutrientes, uma vez liberados, satisfazem as necessidades da planta (MENDONÇA; STOTT, 2003; BERTALOT, 2004; RADOMSKI; RIBASKI, 2012). O SIPA é, portanto, um sistema de produção ideal que promove vínculos entre os cultivos que se associam, de forma a haver benefícios recíprocos de uma cultura para a outra, reduzindo as perdas de nutrientes no perfil do solo e adequando a fitossanidade das lavouras (ALTMANN, 2012).

Quando os recursos não são limitantes, as plantações florestais com espaçamentos mais adensados têm sido mais eficientes na captura de recursos que cultivos em SIPA. Por outro lado, quando há um ou mais fator limitante, por exemplo, temperatura, a produtividade pode ser aumentada por meio do SIPA, uma vez que as árvores regulam a temperatura do ar, diminuindo a variação ao longo do dia (PACIULLO et al., 2009; MACEDO et al., 2010).

O componente arbóreo pode ser benéfico para o SIPA pelo fato de utilizar nutrientes que se encontram em camadas mais profundas do solo e disponibilizá-los na superfície do solo, através da ciclagem biogeoquímica (MENEZES et al., 2002). A dinâmica da serapilheira e de seus nutrientes, representada pela entrada via deposição e saída via decomposição e mineralização, tem sido essencial para a manutenção de florestas nativas ou plantações florestais (BERTALOT, 2004).

Segundo Andrade et al. (2001), do ponto de vista ecológico, o eucalipto não seria a melhor opção para compor um sistema de integração, por não contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e, ainda, por competir efetivamente com gramíneas associadas pelos fatores água e nutrientes. Entretanto, do ponto de vista econômico, segundo os mesmos autores, o eucalipto constitui-se em uma das melhores opções existentes, devido à sua elevada eficiência na absorção de nutrientes e capacidade de produção de biomassa, mesmo em solos pobres. As diferenças entre clones de eucalipto identificadas por Pinto et al. (2011) quanto à eficiência nutricional sugerem a possibilidade de seleção de genótipos de eucalipto para condições distintas de fertilidade do solo, aproveitando a baixa demanda de nutrientes e a maior produção de biomassa pelos materiais genéticos.

Incremento na produtividade de culturas sob SIPA arborizado incluem o uso de espécies herbáceas tolerante à sombra e à seca, espaçamento adequado entre renques e práticas culturais (como podas e desbastes) para reduzir estresse de água, competição por nutrientes ou irradiação solar (BURNER et al., 2009). Assim, arranjos que agregam maior área útil e espaçamentos mais amplos nas entrelinhas, de acordo com a finalidade da produção da madeira, apresentam a vantagem de permitir consórcio com culturas agrícolas por maior período, pois proporcionam menores limitações em termos de competição por espaço, luz, água e nutrientes (MACEDO et al., 2010). Assim, alternativas devem ser buscadas para minimizar as possíveis interações negativas que possam existir entre o eucalipto e o sub-bosque do SIPA.

O manejo adequado do solo não tem sido suficiente para manter ou incrementar os rendimentos em situações de solos com carga variável. Esses solos têm sido caracterizados por apresentar: (i) alta acidez, associada com elevadas concentrações de elementos tóxicos, como alumínio (Al) e manganês (Mn); (ii) baixos valores de COT e de capacidade de troca de cátions (CTC); (iii) alta capacidade de fixação de fósforo (P) e baixa concentração disponível deste nutriente; e (iv) baixas concentrações de cátions trocáveis, como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e K (FOX et al., 1991; ABREU JR. et al., 2003).

Nos sistemas mais sustentáveis de produção, como o SIPA, a ciclagem de nutrientes (particularmente a biogeoquímica) é fundamental para a manutenção/aumento dos rendimentos (SILVA et al., 2011). Um avanço no rendimento das culturas é necessário, em escala continental, para garantir segurança alimentar, pois a corrente associação entre declínio em produtividade e empobrecimento do estoque de C do solo exige o uso de tecnologias e estratégias para superar tal problema (LAL, 2004). Nesse contexto, o SIPA enquadra-se como uma das alternativas mais plausíveis de serem executadas. Além disso, os

fertilizantes também podem contribuir para melhorar a qualidade biológica e física dos solos e, assim, influenciar o ambiente por meio do sequestro de C, resultante do crescimento radicular reforçado (ROBERTS; RYAN, 2015).

A matéria orgânica do solo (MOS) tem sido bastante sensível às mudanças de manejo, governando o teor, a qualidade e a quantidade de C no solo (ZHONGKUI et al., 2010) e é certamente, de todos os componentes do solo, o compartimento central e mais importante, pois altera direta ou indiretamente todos os atributos físicos, químicos e biológicos que determinam as características e as propriedades do solo (ANGHINONI et al., 2013). No SPD, bem manejado, por exemplo, quanto maior o tempo de sua utilização, maior tem sido o incremento no estoque de C no solo (SALTON et al., 2008; SIQUEIRA NETO et al., 2009). Todavia, o sequestro de C no solo não é fato isolado e depende de quantidades disponíveis e balanceadas de outros minerais no sistema. Para o sequestro de 1,0 Gt de C, por exemplo, no mundo, seria necessário utilizar 80 milhões de toneladas (Mt) de N, 20 Mt de P e 15 Mt de K por várias fontes, incluindo a fixação biológica de N, a reciclagem do subsolo, deposição aérea, o uso do bio sólido e resíduos de culturas (LAL, 2004).

A importância das estratégias de manejo do solo e culturas na dinâmica do C tem sido fato bem comentado nos últimos anos, tanto no meio científico quanto na mídia. Recentemente, foi abordado na Rio+20 o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Programa ABC). Tal plano tem por objetivo minimizar a emissão de CO₂ e possibilitar balanço positivo para o ambiente, por exemplo, entre o que se consome para produzir e o que é produzido pelos SIPA. O Programa ABC incorporou ações que incentivam a produção de alimentos com conservação ambiental, incrementando o rendimento das culturas com iniciativas como SPD e SIPA. Tais ações têm efeito direto na redução das emissões de C e outros gases de efeito estufa (GEE) (LUCCHESI, CHANDOHA, 2012).

2.3 Efeitos da restrição de radiação pelas árvores e do potássio no crescimento e desenvolvimento de gramíneas forrageiras, cereais e leguminosas

A luz tem um papel relevante na regulação da produção primária, o que contribui de forma efetiva no crescimento das plantas (LIMA JUNIOR et al., 2005), pois é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos (MACEDO et al., 2010). A faixa espectral aproveitada na fotossíntese é a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), com comprimento de onda entre 380-710 nm do espectro visível (LARCHER, 2000).

Neste contexto, a sombra tem sido um importante cenário na performance das culturas sob copas densas (GREGERSEN et al., 2013). Cabe salientar que o eucalipto é uma espécie interessante para uso em SIPA, pois apresenta copas estreitas que deixam penetrar luz direta ou difusa até o nível do solo (LARCHER, 2000; MACEDO et al., 2010).

A restrição de radiação tem proporcionado aumento do rendimento e das concentrações foliares de K nas gramíneas localizadas sob as árvores (WILSON et al., 1990, CASTRO et al., 1999). No entanto, tal aumento está condicionado ao espaçamento adotado (por meio da densidade arbórea e arranjo de plantio), seleção de espécies com copa menos densa, desbaste e desrama das árvores e forrageiras tolerantes a restrição de radiação (VARELLA et al., 2008; RADOMSKI; RIBASKI, 2009, MACEDO et al., 2010). Além disso, é possível citar a densidade da folhagem, do arranjo das folhas no interior da vegetação e do ângulo existente entre a folha e a radiação incidente que revelam o grau de diminuição da luz dentro da cobertura vegetal (LARCHER, 2000).

Paciullo et al. (2007) observaram diminuição da produção de matéria seca (MS), índice de área foliar (IAF) e densidade de perfilhos de braquiária em condições de intensa restrição de radiação. Todavia, estes autores verificaram que, em restrição moderada, há pouca alteração destas variáveis em relação ao sol pleno. Em contrapartida, a melhor qualidade da forragem, constatada pelo maior teor de proteína bruta (PB) ou pelo maior conteúdo de N (PACIULLO et al., 2007; ALMEIDA et al., 2011), foi observada em plantas sombreadas. Contudo, há controvérsias quanto ao efeito da restrição de radiação no rendimento de forragem, pois reduções de rendimento têm sido observadas, uma vez que a capacidade fotossintética das folhas das gramíneas tropicais, com metabolismo C₄, aumenta com a elevação do nível de irradiação, ao passo que as leguminosas C₃ tornam-se saturadas ao redor de 50% de luz solar direta (LEONEL et al., 2009, MACEDO et al., 2010). A restrição de radiação causado pela cultura arbórea diminui a quantidade de radiação solar, causando o aumento da área foliar específica (área de folha/massa de folha), menor perfilhamento e ramificação, maior alongamento de caules, pecíolos e entrenós, redução do número de folhas, estiolamento de plantas, que tem influência direta na relação folha/colmo, e no ângulo de inclinação das folhas (LAMBERS et al., 1998; PARMEJIANI, 2012). Estes autores afirmam que estas alterações tem por objetivo aumentar a captação de luz incidente e aumentar a eficiência fotossintética.

O sucesso na adaptação de uma espécie em diferentes condições de radiação está relacionado com a eficácia e rapidez com que os padrões de alocação de biomassa e comportamento fisiológico são ajustados (LIMA JUNIOR et al., 2005). Aliado a isso,

constata-se que as espécies mais tolerantes à restrição de radiação nem sempre são as mais produtivas em um determinado nível de sombra, decorrente das diferenças no potencial de produção das espécies (MACEDO et al., 2010). As plantas de sol podem se adaptar à sombra, mas não na mesma intensidade que as plantas de sombra, que são geneticamente programadas para este fim, sendo que a situação inversa também é verdadeira (LARCHER, 2000).

Segundo Macedo et al. (2010), as plantas submetidas a condições de baixa luminosidade podem ter três opções de adaptação ao estresse de luz: (i) redução da taxa respiratória, de modo a baixar o ponto de compensação luminosa; (ii) aumento da área foliar, para promover uma grande superfície de interceptação e absorção de luz e (iii) aumento da taxa fotossintética por unidade de área foliar e por unidade de energia luminosa.

A menor intensidade de luz pode reduzir pela metade as vagens da soja formadas em uma planta, principal fator dentre os componentes de rendimento, segundo Carpentieri-Pípolo et al. (2005), com diminuição no rendimento final (EGLI; YU, 1991 *apud* MBAH et al., 2008). Da mesma forma, a deficiência de K gera a produção de grãos pequenos, enrugados e deformados, com maturidade da soja atrasada, podendo causar também haste verde, retenção foliar e vagens chochas, além de clorose internerval, seguida de necrose nas bordas e ápice das folhas mais velhas, devido à formação da putrescina (BORKERT et al., 1994; SFREDO, 2008).

A produtividade e o número de grãos do milho são determinados pela temperatura e pela radiação solar global incidente até o espigamento (DIDONET, et al., 2002). Do mesmo modo, plantas adaptadas a radiações fracas produzem internódios longos e folhas delgadas com grande superfície, assim elas podem sobreviver em lugares com pouca radiação disponível (LARCHER, 2000). Por outro lado, gramíneas com deficiência de K apresentam colmos finos e pouco resistentes ao tombamento, clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas seguida por secamento, necrose e dilaceração do tecido (WERNER, 1986; COELHO; FRANÇA, 1995).

É importante salientar que a alta concentração do K no citoplasma e nos cloroplastos torna-o responsável pela manutenção do pH das células, necessário para o processo fotossintético e a produção de ATP (MEURER, 2006). A abertura e o fechamento dos canais de K através da plasmalema nas células guarda é induzida pela luz nos fitocromos (MENGEL; KIRKBY, 2001) e, com o aumento da concentração de K nas células guarda, ocorre a absorção de água através das células adjacentes, que ocasiona o aumento do turgor das células guarda e, por conseguinte, a abertura dos estômatos (MARSCHNER, 2012).

Desse modo, a abertura estomática intermediária se ajusta continuamente às oscilações dos fatores ambientais, uma vez que a abertura por completo só acontece quando todas as condições favoráveis são encontradas ao mesmo tempo (LARCHER, 2000). Logo, além do aumento do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, temperatura e umidade do ar repercutindo na abertura dos estômatos, os fatores internos como os hormônios vegetais, K e cloro (Cl) têm grande significado (LARCHER, 2000; MARSCHNER, 2012).

A nutrição mineral afeta as trocas gasosas por meio dos efeitos sobre o crescimento e a morfogênese, ou seja, maiores taxas fotossintéticas são alcançadas por meio de adubação, mesmo que um determinado elemento não seja constituinte da molécula de clorofila (LARCHER, 2000). Do mesmo modo, Larcher (2000) afirma que, sob forte estresse hídrico, os estômatos permanecem fechados, não mais respondendo aos fatores externos. Aliado a isso, uma das razões para a redução da resistência ao estresse sob deficiências de K é o aumento na produção de espécies reativas de oxigênio, que resulta na indução de um estresse oxidativo (CAKMAK, 2005, MARSCHNER, 2012).

Em geral, o conteúdo de K na palha é maior que nos grãos (RITCHEY, 1982). Os resíduos da aveia preta têm liberado $18,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de K através da lavagem (69,8 mm) dos tecidos mortos, sendo atribuído à maior concentração ($36,4 \text{ g kg}^{-1}$) deste nutriente no tecido vegetal (ROSOLEM et al., 2003). Aliado a isso, Lambert & Linck (1964), estudando a eficiência das raízes de aveia na absorção de ^{42}K , verificaram que a gramínea (raiz e parte aérea) recuperou 91% do elemento marcado, o que mostra que a aveia branca é mais exigente em K.

Garcia et al. (2008) destacam a importância da aveia e a eficiência na extração e ciclagem de K, em sistemas de rotação de culturas, minimizando perdas e mantendo a fertilidade do solo. Ainda, a conservação de forragens na forma de feno para suprimento alimentar animal, tem se destacado como técnica capaz de possibilitar a exploração da elevada produtividade das forrageiras, através do rendimento de massa seca nas regiões de clima subtropical (PEREIRA et al., 2006, SILVA et al., 2014).

Do exposto acima, torna-se importante considerar no planejamento do SIPA com eucalipto as possíveis interações entre as culturas, como: (i) resposta das culturas anuais ao efeito combinado entre intensidade de radiação e fertilização potássica, particularmente, em ambiente caracterizado por uma provável maior umidade disponível no solo (ANDRADE et al., 2001), (ii) importância da inclusão de leguminosas (i.e. soja) pelos benefícios que tais espécies proporcionam ao sistema de produção, devido ao aporte de N oriundo da fixação biológica (ROSSATO, 2004).

2.4 Sucessão aveia branca/milho e aveia branca/soja, eucalipto e fertilização potássica

A soja tem sido mais produtiva quando em sucessão com o milho (SANTOS et al., 2006) e pode ser cultivada após a aveia branca, sem restrição (SANTOS, 1991; SANTOS et al., 1997) do mesmo modo que o milho pode ser cultivado em rotação com aveia branca sem prejuízos quanto ao rendimento de grãos na Região Sul do Brasil (SANTOS; LHAMBY, 2001a). Por outro lado, Santos & Roman (1991) verificaram que a soja cultivada após a aveia branca apresentou menor rendimento de grãos e menor estatura, possivelmente por diversos compostos com propriedades alelopáticas provenientes do resíduo cultural da aveia. Contudo, Kubo et al. (2007) observaram maior produtividade da soja em sucessão a aveia preta devido ao fornecimento de N e melhorias na sincronia entre a disponibilização de nutrientes pelos resíduos com a demanda da cultura em sucessão, obtendo reflexo positivo na produtividade de grãos de soja.

O milho cultivado em sucessão a gramíneas, geralmente, apresenta menor rendimento de grãos em relação ao semeado em sucessão a leguminosas (PAVINATO et al., 1994; PÖTTKER; ROMAN, 1994; DA ROS; AITA, 1996), devido à alta relação C:N dos resíduos da aveia, imobilizando o N do solo, reduzindo a disponibilidade de N no solo e, conseqüentemente, para o milho (SILVA et al., 2007; LÁZARO et al., 2013). Em contrapartida, uma maior produção de grãos de milho em sucessão a aveia branca pode estar associada ao menor acúmulo de matéria seca da aveia branca em relação à aveia preta promovendo, assim, menor efeito de imobilização de N no solo (CHERUBIN et al., 2014).

O sistema de rotação mais usado é soja-milho, sistema em que a soja fornece menor quantidade de resíduos e estes são de rápida decomposição, ao passo que, os restos culturais do milho, são em maior quantidade e de maior persistência como cobertura (VIEIRA, 2009). O emprego de gramíneas anuais de inverno, no caso a aveia branca, na formação de pastagens tem sido uma importante opção em sistema de rotação com culturas de verão, permitindo melhor uso do solo. Além disso, a aveia branca tem sido recomendada por ser tanto produtora de grãos como para formação de pastos e silagem (NORO et al., 2003).

Do ponto de vista agrônomo, as aveias são de fundamental importância para serem utilizadas como alternativas de inverno (SANTOS, 1991a), principalmente pela elevada adaptabilidade, pelo alto potencial produtivo como pastejo direto, produção de grãos e cobertura de solo, ou oferecida diretamente no cocho, como massa verde, silagem ou feno (TAFERNABERRI JUNIOR et al., 2012; FONTANELI et al., 2012).

As respostas do milho, soja e aveia branca à fertilização potássica devem ser estudadas regionalmente. A diversidade de situações de solos, culturas e hábitos de adubação influencia o K existente no solo, em cada caso, como um dos pré-requisitos para prescrição da adubação que necessita ser adaptada regionalmente e por cultura (NACHTIGALL; RAIJ, 2005). As razões do conhecimento das reservas de K (formas e tipos de minerais) nas frações granulométricas do solo fornecem subsídio para melhor compreensão dos fatores ligados ao suprimento de K (WITTER; JOHANSSON, 2001; FRAGA et al., 2009).

Dentre os macronutrientes, o K e o Ca têm sido os mais limitantes à produtividade da soja em solos arenosos, embora solos arenosos apresentam um potencial produtivo equivalente ou até mesmo superior ao dos solos argilosos (SANTOS et al., 2008), desde que tenha K e água suficientes. Declínios de K a curto e a longo prazo no solo e na planta reforça a atenção a fim de maximizar a sustentabilidade através do manejo com informações geoquímicas e mineralógicas (ANDRIST-RANGEL et al., 2007).

A partir da calibração de métodos de extração de K, o milho, comparado à soja em SPD, apresentou melhor resposta a adubação com K (SCHLINDWEIN et al., 2011) para doses de 40 a 60 kg ha⁻¹ no estado do PR (RAIJ et al., 1981), melhorando o seu desenvolvimento e produção até a adição de 60 mg kg⁻¹ de K no solo (ANDREOTTI et al., 2001). Em condições de restrição hídrica, a fertilização potássica não interfere nos parâmetros fisiológicos e de crescimento da soja, porém na ausência de restrição hídrica, a suplementação com K promove maior eficiência dos parâmetros fisiológicos (CATUCHI et al., 2012). É provável que a resposta ao K tenda a aumentar com o uso mais intensivo do solo e os maiores potenciais de produtividade em decorrência da melhoria das condições de cultivo, incluindo melhores práticas de manejo, como a adubação, devido à grande extração deste nutriente pelas culturas e suas baixas reservas nos solos tropicais intemperizados (OLIVEIRA et al., 2005), irrigação e novos híbridos (COELHO, 2005).

Diferenças em produtividade da soja em diferentes safras (2006/07 e 2007/08) têm sido observadas devido déficits hídricos e não ao balanço de K no solo em Latossolo Vermelho distroférico típico no RS (FERREIRA et al., 2011). Por outro lado, a adubação antecipada de K no milheto (*Pennisetum glaucum* L.) não implicou em efeitos negativos tanto na nutrição quanto no rendimento da soja (FOLONI; ROSOLEM; 2008).

Pela diagnose foliar da folha bandeira de aveia preta, a adubação potássica favoreceu os teores de K, contudo, os teores de nutrientes dos grãos não foram influenciados pelas doses de K (NAKAGAWA; ROSOLEM, 2005). Em contrapartida, a adubação potássica não

afetou o rendimento de sementes e da massa seca da parte aérea de aveia preta (kg ha^{-1}), mas proporcionou maior capacidade de emergência das plântulas (NAKAGAWA et al., 2001).

O eucalipto tem respondido à aplicação de K em solos cujos teores não ultrapassam $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, embora, em solos com teores mais elevados, as respostas não tem sido tão consistentes (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). Ainda, estes autores apontam que a dose adequada de K_2O em solos com baixo teor de potássio deve situar-se na faixa de 120 a 180 $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ até 18 meses após o plantio.

Por sua vez, a aplicação de altas doses de K, no sulco de semeadura, deve ser evitada, devido ao efeito salino e, em algumas situações, devido às perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos, com baixa capacidade de troca de cátions (BERNARDI et al., 2009). Com isso, a possibilidade de antecipação da fertilização potássica, total ou parcial aplicando-se, a lanço, antes da semeadura, é uma estratégia que distribui melhor os nutrientes na área favorecendo o desenvolvimento radicular. Ainda, pode possibilitar menor número de horas de trabalhos por maquinários necessários à semeadura, reduzindo problemas relacionados à compactação do solo, incrementando a receita líquida da cultura (MATOS et al., 2006, GUARESCHI et al., 2008). Lago (2014) verificou que as aplicações antecipadas de K apresentaram maior eficiência de uso do elemento proveniente do fertilizante, sem variação na produtividade de grãos de milho, embora a maior parte do nutriente tenha sido suprido pelo solo.

Portanto, a estratégia de adubação parcelada em solos arenosos, quando a dose é superior a 100 $\text{kg K}_2\text{O}$, necessita ser melhor estudada (SILVEIRA et al., 2005), sobretudo durante a cultura de outono-inverno e primavera-verão em SIPA, pois se for comprovada sua viabilidade, diminuirá problemas decorrentes da salinização junto às plântulas de soja e, principalmente, de milho. Além disso, tal prática aumentará a ciclagem e, certamente, a eficiência de uso de potássio (EUK) no sistema. Havendo aumento na EUK, a produção primária líquida do sistema integrado de produção aumentará e, portanto, proporcionará um aumento do sequestro de C, contribuindo para agricultura de baixo carbono (ABC).

3.0 Capítulo 1: Interação entre a restrição de radiação e adubação potássica em sistema integrado de produção agropecuária

Resumo

Nos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) há um efeito sinérgico entre as espécies produtoras de grãos e forragem com a cultura arbórea, resultando em maior sustentabilidade econômica, social e técnica para o agronegócio, devido uma maior ciclagem de nutrientes, biodiversidade do sistema e melhoria da fertilidade do solo. Baixos rendimentos em SIPA podem ocorrer, em razão da elevada acidez e da baixa disponibilidade de bases trocáveis (cálcio – Ca, magnésio – Mg, e potássio – K). Portanto, o uso eficiente de fertilizantes é fundamental para o aumento quali-quantitativo da produção do SIPA. A dinâmica do K em solos de carga variável sob SIPA tem sido pouco estudada e carece de mais informações técnico-científicas. Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar o estado nutricional e o rendimento de grãos de milho (RGM) e soja (RGS) devido à restrição de radiação proporcionado pelas árvores e à aplicação de diferentes doses de K; (ii) quantificar os rendimentos de massa seca (RMS) de aveia branca, bem como o acúmulo de macronutrientes na cultura devido à restrição de radiação e a aplicação de K; (iii) mensurar os principais atributos de fertilidade do solo ao longo de 30 meses de experimentação. O experimento foi instalado em setembro/12 na Estação Experimental Fazenda Modelo – Instituto Agronômico do Paraná, no município de Ponta Grossa (PR). O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas (4 x 24 m) consistiram das plantas anuais (milho, aveia branca e soja) e as distâncias consideradas em relação ao eucalipto (efeito de sombreamento), denominadas de transectos, foram: transectos 1: 0-4 m, 2: 4-8 m, 3: 8-12 m e 4: 12-16 m. As subparcelas (4 x 6 m) receberam as doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O) de K (na forma de cloreto de potássio), na superfície do solo, por ocasião da semeadura da cultura de outono-inverno (aveia branca) e na semeadura da cultura de verão (milho e soja). Aos 6, 12 e 30 meses de estudo, foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm, para determinação das concentrações de pH, H⁺Al, C, Ca, Mg, K, Al, CTC potencial (CTC) e efetiva (CTCe), saturação de bases (V%) e de alumínio (m%) e a porcentagem de K, Ca e Mg na CTC efetiva. Diagnose foliar e acúmulos dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg e S foram determinados no milho, soja e aveia branca. Maior influência dos transectos foi observada em relação à interação dos fatores e efeito de dose. O K trocável para os 6 e 12 meses estavam em níveis adequados, contudo aos 30 meses, houve a redução do K trocável que repercutiu na porcentagem de K na CTCe abaixo de 1%. Maior concentração de cátions nos transectos 3 e 4, em geral, com menor porcentagem de sombra, favoreceram à maior SB, CTC, CTCe, pH, C orgânico e V% e menor m%. Pouca influência da lixiviação dos cátions foi observada. Maior acúmulo dos macronutrientes foi observado no transecto 3 para aveia/2014, no qual a menor restrição de radiação favoreceu o maior RMS. Não houve diferença da restrição de radiação para a altura da forragem, em ambas coletas. Efeito diluição pode ser observado para o K no transecto 4 para a soja. Em razão de 70,87 % sombra verificado no transecto 1, o menor número de vagem por planta (Vg/Pl) e grãos por vagem (Gr/Va) contribuiu para o menor RGS no mesmo transecto. Os maiores números de Vg/Pl para os transectos 2, 3 e 4 resultaram em acréscimos no número de Gr/Va, que ocasionaram maiores RGS. Teores mais altos de K no milho 2014/15 foram observados no transecto 1, sob influência expressiva do componente arbóreo e da restrição de radiação. A menor influência da restrição de radiação sombreamento principalmente nos transectos 3 e 4, favoreceu o maior acúmulo dos nutrientes no milho. Maior RGM em 2012/13 foi observada no transecto 3 com 61% sombra, todavia, este rendimento não se enquadra com

as plantas mais bem nutridas em K. Rendimentos equivalentes nos transectos 2, 3 e 4 foi observado para o milho 2014/15. O espaçamento entre linhas modificado em 2014/15 (65 cm) pode ter influenciado os componentes de rendimento que favoreceu a redução do RGM em relação ao encontrado na safra anterior.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Avena sativa* L., *Glycine max* L. Merr., *Eucalyptus dunnii* Maiden, manejo de nutriente em sistema de produção, agricultura de baixo carbono

ABSTRACT

In Integrated Crop-Livestock System (ICLS), there is a synergistic effect between the species that produce grain and forage with the tree crop, resulting in greater economic, social and technical sustainability for agribusiness, due a higher nutrient cycling, system biodiversity and improving soil fertility. Low income in ICLS may occur, due to the high acidity and low availability of exchangeable bases (calcium - Ca, magnesium - Mg and potassium - K). Therefore, the efficient use of fertilizers is essential for the qualitative and quantitative increase in production of ICLS. The dynamics of K in variable charge soils under ICLS has been little studied and needs more technical and scientific information. The objectives of this study were: (i) assess the nutritional status and yield of corn grain (GYM) and soybeans (GYS) due to shade provided by the trees and the application of different doses of K; (ii) quantify the dry matter (DM) yields of oat, and the accumulation of nutrients in the culture due to shading and the application of K; (iii) measuring the major soil fertility attributes over 30 months of experimentation. The experiment was conducted in an Typic Hapludox in the Experimental Station of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR), Ponta Grossa (PR). The experiment employs an experimental design in randomized complete block with split plots and three replications. The plots (4 x 24 m) consists of annual plants (corn, oat and soybean) and the distances considered in relation to eucalyptus (shading effect) were: 0-4, 4-8, 8-12 and 12-16 m. The subplots (4 x 6 m) received doses (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of K₂O) of K (as potassium chloride), at the soil surface at the time of seeding culture of autumn-winter (oat) and at seeding of the summer crop (corn and soybeans). During oat growing (2013 and 2014) were evaluated the dry matter yield (DM), height and macronutrient accumulation. The evaluation of nutritional status of eucalyptus was conducted in the summer (2013/14), and the nutrients in the leaf litter under the canopy. Soil samples of layers 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 and 40-60 cm were performed at 6, 12 and 30 months after the start of the experiment (Sep / 2012). After that, was determined pH concentration, H + Al, C, Ca, Mg, K, Al, CEC and effective CEC (ECEC), base saturation (%) and aluminum (m%) and the percentage of K, Ca and Mg in the ECEC. Leaf analysis and accumulations of total N, P, K, Ca, Mg and S were determined in corn, soybean and oat. Greater influence of transects was observed in relation to the interaction of factors and dose effect. The exchangeable K for 6 and 12 months were at adequate levels, but at 30 months, there was a reduction in K exchangeable and percentage of K in ECEC, less than 1%. Higher concentration of cations in transects 3 and 4, in general, with a lower percentage of shade favored the largest sum of base, CEC, ECEC, pH, organic C and V% and lower m%. Little influence of cations leaching was observed. Increased accumulation of macronutrients was observed in transects less shaded which favored the largest DM of oat. There was no shading difference to the height of the fodder, in both sampling. Dilution effect can be observed for K in transect 4 for soybean. Because of 70.87% shadow verified on the transect 1, the lowest Pod/Plant and Grain/Pod contributed to the lowest yield of soybean in the same transect. Larger numbers Pod/Plant to transects 2, 3 and 4 resulted in increases in the number of Grain/Pod, which caused greater yield of soybean. Higher levels of K in corn 2014/15 were observed in transects, on significant influence of the tree component and shading. The lower shading effect in the transects 3 and 4, favored the greater accumulation of nutrients in maize.

Higher maize yield 2012/13 was observed in transect 3, with 61% shade, however, that yield does not correlates with the better nourished in K. Equivalent yields in transects 2, 3 and 4 was observed for maize 2014/15. The density of planting corn modified in 2014/15 (65 cm), may have influenced the yield components, that favored the reduction of maize yield, in relation to that found in the previous harvest.

Keywords: *Zea mays* L., *Avena sativa* L., *Glycine max* L. Merr., *Eucalyptus dunnii* Maiden, nutrient management in production system, low carbon agriculture

3.1 Introdução

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) são definidos como sistemas sustentáveis de uso da terra economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis, que incluem associações de cultivos agrícolas com espécies florestais perenes, cultivados sobre uma mesma unidade de terra. Essa forma de uso da terra tem dois objetivos principais: diversificação da produção e da geração de renda e aumento da sustentabilidade ambiental em função da biodiversidade no sistema de produção (HUXLEY, 1983, LAMÔNICA; BARROSO, 2008), devido à melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, e da ciclagem e eficiência de uso dos nutrientes (ALVARENGA et al., 2010; SILVA et al., 2011).

O SIPA, sob sistema de plantio direto (SPD), tem sido uma das estratégias recomendadas para mitigar os efeitos da mudança climática e emissão de gases de efeito estufa (GEE), incrementar a qualidade e o estoque de carbono (C) no solo, e aumentar a segurança alimentar (BRADY; WEIL, 2002; LAL, 2004). Portanto, o SIPA vem ao encontro das premissas básicas do Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que incentiva aliar a produção de alimentos de forma sustentável e bioenergia com redução ou neutralização dos GEE (LUCCHESI, CHANDOHA, 2012).

No SIPA arborizado, distinta quantidade/qualidade de radiação que atinge as culturas entre as linhas de árvores tem ocorrido (VIEIRA et al., 2007), principalmente no inverno e em altas altitudes (LARCHER, 2000). Fatores como a intensidade, qualidade e duração da radiação solar influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (BECKMANN et al., 2006). Dessa forma, modificações na radiação, aos quais uma espécie está adaptada, podem condicionar diferentes respostas fisiológicas em suas características bioquímicas, anatômicas e de crescimento (ATROCH et al., 2001; ALMEIDA et al., 2005, ALMEIDA et al., 2011). Isto é, o sucesso na adaptação de uma espécie em diferentes condições de radiação está relacionado com a eficácia e a rapidez com que os padrões de alocação de biomassa e comportamento fisiológico são ajustados (LIMA JUNIOR et al., 2005; ZANELLA et al., 2006).

No entanto, há uma carência de informações a respeito dos diversos aspectos ecofisiológicos da interação entre árvores e gramíneas (BALBINO et al., 2011), principalmente da interação de cultivos agrícolas com árvores em idade mais avançada (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2012). Desse modo, é preciso identificar as respostas apresentadas a diferentes estímulos externos, especialmente aqueles relativos aos efeitos da restrição de

radiação solar sobre o crescimento da planta forrageira, manejando adequadamente a fim de evitar riscos em épocas mais sensíveis ao desenvolvimento da planta (CASTRO et al., 1999; PACIULLO et al., 2008; CASTRO et al., 2012).

O constante incremento no rendimento de milho e soja, principalmente, dos novos híbridos e novas cultivares, respectivamente, tem demandado maiores doses de potássio (K) (BRUNETTO et al., 2005, SERAFIM et al., 2012, OLIVEIRA JUNIOR et al., 2013), uma vez que o K é o segundo nutriente mais exportado pelos grãos depois do N, como também pela maior exportação de K na forragem (COELHO, 2005).

No entanto, é comum observar efeitos deletérios de altas doses de K quando junto ao sulco de semeadura do milho, podendo reduzir a população de plantas e o rendimento (SANGOI et al., 2009). Fato similar também pode ser observado na cultura da soja. Uma das alternativas para resolver essa questão seria fertilizar o sistema de produção, procedendo-se a aplicação de K em área total, na superfície do solo, sendo a metade da dose aplicada na cultura de outono-inverno e a outra metade na cultura de primavera-verão. Apesar de ser interessante do ponto de vista prático, a antecipação da fertilização potássica tem sido pouco estudada, sobretudo, em SIPA. Mais especificamente, a dinâmica do K em SIPA sob solo com carga variável¹ é uma lacuna do conhecimento científico atual e necessita ser mais bem investigada.

Diante do exposto, o experimento foi elaborado partindo das hipóteses de que (i) nas áreas mais próximas do componente arbóreo, onde ocorre maior restrição de radiação e competição por nutrientes, haveria menor requerimento de K pelas plantas para obtenção do máximo rendimento, em razão da menor produtividade das culturas associadas; em outras palavras, tais áreas haveria menor absorção de K pelas plantas, em razão da absorção de K pelas raízes do componente arbóreo em distintas camadas; (ii) a alta capacidade de ciclagem de K pela aveia branca favoreceria a prática de fertilização antecipada deste nutriente, proporcionando benefícios à nutrição mineral e aos rendimentos de grãos de milho e de soja; (iii) a dinâmica do potássio no solo seria diferenciada em cada faixa de restrição de radiação devido às variações na umidade do solo proporcionada pela somatória de restrição de radiação e demanda das raízes pelo componente arbóreo.

¹ Solos de carga variável são aqueles que resultam da dissociação de grupos de OH nas arestas das argilas silicatadas, dos grupos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica originando cargas negativas, e dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, originando cargas positivas e negativas influenciados pelo pH do meio (NOVAIS; MELLO, 2007).

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar os efeitos da restrição da radiação (proporcionada pelo eucalipto) sobre os atributos de plantas e de fertilidade do solo, em condições de doses parceladas de K (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O) aplicado na superfície do solo, em área total.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Localização do experimento, características edafoclimáticas e histórico da área

O experimento foi instalado na Fazenda Modelo do Instituto Agrônomo do Paraná (latitude: 25°06'24'' S, longitude: 50°02'35'' W e altitude média: 1015 metros), município de Ponta Grossa (PR). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfb subtropical úmido mesotérmico. A temperatura mínima, média e máxima e a precipitação acumulada durante o período da condução do experimento se encontram descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Temperatura (°C) e precipitação (mm) nos anos de 2012 à 2015 nas quatro estações do ano. Dados disponibilizados pelo SIMEPAR – Estação 25135001 – para a região de Ponta Grossa, PR

Ano	Estação	Temperatura máxima ⁽¹⁾	Temperatura mínima ⁽²⁾	Temperatura média	Precipitação acumulada
		°C			mm
2012	Verão	32,43	12,00	20,90	518,40
	Outono	26,73	5,03	16,13	563,40
	Inverno	28,60	3,83	16,07	195
	Primavera	32,83	11,63	20,83	423,60
2013	Verão	31,33	12,57	20,33	550,20
	Outono	27,57	4,57	16,33	568,60
	Inverno	28,27	-0,73	14,70	310,20
	Primavera	32,27	9,93	19,93	277,20
2014	Verão	33,07	13,97	21,73	455,20
	Outono	27,33	7,03	16,83	376,40
	Inverno	28,33	3,10	15,80	315,20
	Primavera	33,00	10,87	20,57	467,60
2015	Verão	31,17	14,57	21,47	456,80
	Outono	26,97	5,80	16,77	291,60

⁽¹⁾Temperatura máxima = média da temperatura máxima nos três meses de cada estação.

⁽²⁾Temperatura mínima = média da temperatura mínima nos três meses de cada estação.

As mudas de eucalipto, dispostos em faixa dupla, foram plantadas em 2007, no sentido leste – oeste, transversalmente a declividade do terreno adotando-se espaçamento de 3 metros entre plantas e 4 metros entre linhas e distanciados entre si a cada 20 metros (BALDISERRA, 2014) (Figura 1). O plantio das mudas foram realizados sem a correção do

solo e sem adubação mineral, contudo, em 2009 foi aplicado em área total, calcário dolomítico (2000 kg ha^{-1}).

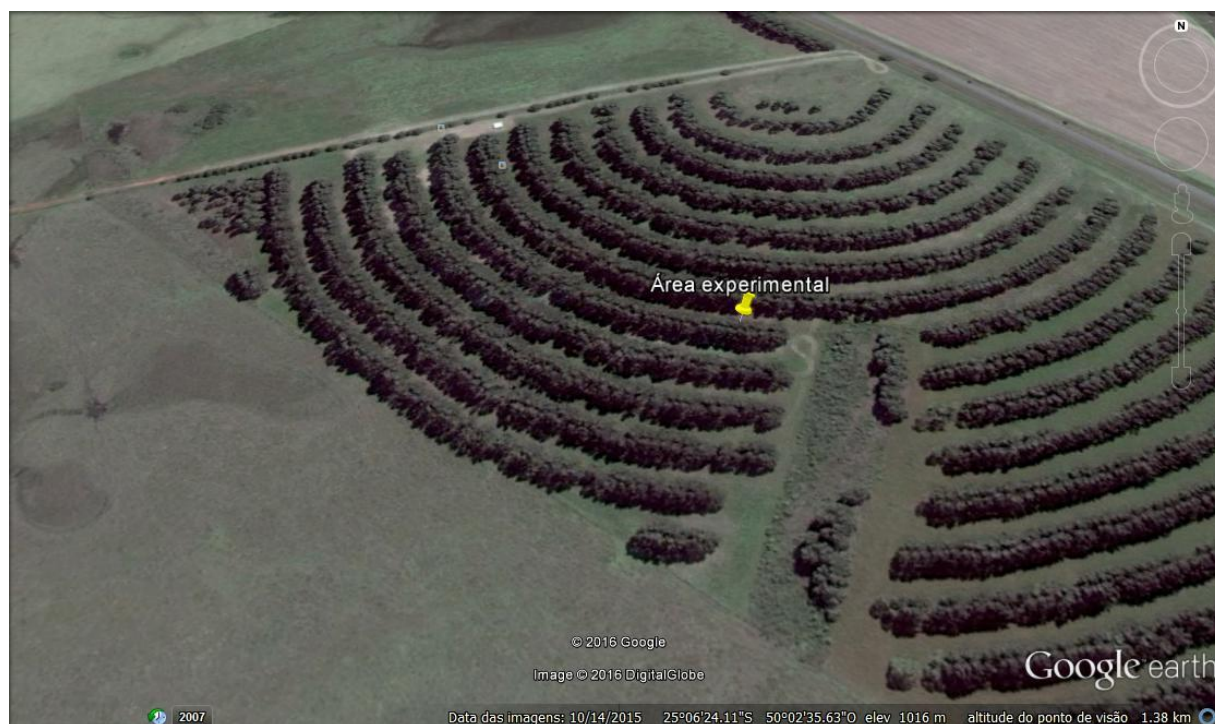


Figura 1: Imagem da área experimental

Na tabela 2 encontra-se o histórico do manejo das culturas implantadas na área de condução do experimento.

Tabela 2: Histórico de eventos das culturas na área experimental: época de semeadura, espaçamento entre linhas, densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo de cobertura (forragens) ou colheita (grãos)

Cultura	Época de semeadura	Espaçamento entre linhas e densidade de semeadura	Cultivar ou híbrido	Descrição geral das atividades	Manejo da forrageira ou colheita (grãos)
Milho 2010/11	26/10/2010	0,80 m e 5,2 sementes m^{-1}	IPR 114	10:30:10 250 kg ha^{-1} de N (uréia)	Colheita grão ⁽¹⁾
Aveia branca 2011	16-06-2011	0,17 m e 250 sementes m^{-2}	IPR 126	300 kg ha^{-1} (04:30:10), 150 kg ha^{-1} de N (uréia)	Dessecação ^(1,2)
Soja 2011/12	Outubro/2011	0,45 m e 11 sementes m^{-1}	BMX Potencia	Sem adubo	20/04/2012

⁽¹⁾ Dados não registrados. ⁽²⁾ Foi utilizado o herbicida *glyphosate* ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$).

3.2.2 Delineamento experimental e descrição do manejo

O experimento contemplou um delineamento experimental em blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas (4 x 24 m) consistem das plantas anuais (milho, aveia branca e soja) e consideraram a distância em relação ao eucalipto (efeito da restrição de radiação), que denominou-se de transectos, Transecto 1: 0-4 m, Transecto 2: 4-8 m, Transecto 3: 8-12 m e Transecto 4: 12-16 m. As subparcelas (4 x 6 m) receberam as doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O) de K (na forma de cloreto de potássio), na superfície do solo, aplicados antecipadamente à semeadura e parceladamente (metade das doses nas culturas anuais de verão – i.e. soja e milho, e a outra metade antes da semeadura da cultura de inverno - aveia branca) ao longo de 3 anos. A área total de cada bloco, parcela (restrição de radiação) e subparcela (doses de K) são 384 m², 96 m² e 24 m², respectivamente.

O experimento foi inicialmente conduzido com aveia branca em 2012 nas entre linhas de eucalipto, com intuito de exportação de K do solo. Essa cultura foi dessecada na primeira quinzena de setembro/2012 com glifosato (2,5 L ha⁻¹ de i.a), para realização da semeadura do milho. Neste trabalho foi estudado o milho durante o verão de 2012/13 e 2014/15, a soja no verão de 2013/14 visando a produção de grãos e a aveia branca nos invernos de 2013 e 2014, visando a produção de feno, sem a presença do componente animal no SIPA, cujas informações agrônômicas estão resumidas e apresentadas na Tabela 3.

A adubação de base foi realizada com 350 kg ha⁻¹ do formulado NPK 14-34-00. Como adubação de cobertura foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, aplicados em V4 para o milho e no início do perfilhamento para a aveia branca.

3.2.3 Caracterização da área de estudo

Os principais atributos químicos e físicos da área agrícola por ocasião da implantação do experimento no SIPA estão representados na Tabela 4.

Tabela 3: Sequência de eventos das culturas no período do experimento: época de semeadura, espaçamento entre linhas, densidade de semeadura, cultivar ou híbrido, descrição geral das atividades e manejo de cobertura (forragens) ou colheita (grãos)

Cultura	Época de semeadura	Espaçamento entre linhas e densidade de semeadura	Cultivar ou híbrido	Descrição geral das atividades	Manejo da forrageira ou colheita (grãos)
Aveia branca 2012	28/05/2012	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	IPR 126	160 kg ha ⁻¹ de N (ureia), 511 kg ha ⁻¹ de P (Super fosfato simples) no perfilhamento	Dessecação ⁽³⁾ 14/09/2012
Milho 2012/13	15/10/2012	0,80 m e 6 sementes m ⁻¹	30F53	350 kg ha ⁻¹ (14:34:00) 120 kg ha ⁻¹ de N (ureia)	03/05/2013
Aveia branca 2013	12/06/2013	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	IPR 126	350 kg ha ⁻¹ (14:34:00) 120 kg ha ⁻¹ de N (ureia)	Dessecação 30/10/2013
Soja 2013/14	05/11/2013	0,45 m e 12 sementes m ⁻¹	95Y72	350 kg ha ⁻¹ (14:34:00)	24/04/2014
Aveia branca 2014	02/05/2014	0,17 m e 250 sementes m ⁻²	IPR 126	350 kg ha ⁻¹ (14:34:00) 120 kg ha ⁻¹ de N (ureia)	Dessecação 03/10/2014
Milho 2014/15	15/10/2014	0,65 m e 5 sementes m ⁻¹	30F53	350 kg ha ⁻¹ (14:34:00) 120 kg ha ⁻¹ de N (ureia)	16/03/2015

⁽¹⁾ Dados não registrados. ⁽²⁾ Foi utilizado o herbicida *glyphosate* (2,5 L ha⁻¹). ⁽³⁾ Utilizado para extrair K do solo para iniciar o experimento

3.2.4 Avaliação dos atributos de planta e rendimento das culturas

As épocas de amostragens de plantas para fins de diagnose foliar, acúmulo de nutrientes e avaliação de rendimento estão descritos na Tabela 5.

Para diagnose foliar na cultura do milho foi retirado o terço médio da folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, em pleno florescimento (OLIVEIRA, 2002). Ainda, foram avaliados os acúmulos de nutrientes nessa cultura, retirando-se 1,0 m de plantas no estágio de grão leitoso no centro da subparcela e avaliado no estágio de maturação o rendimento de grãos (kg ha⁻¹), massa de 1000 grãos, número de fileiras, número de grãos e índice de colheita (%).

As avaliações da aveia branca ocorreram quando esta se encontrava no estágio de emborrachamento. A avaliação de massa da aveia branca fresca e da matéria seca por unidade de área (kg m⁻²) foi feita utilizando um quadrado de dimensões 0,5 m x 0,5 m, com duas repetições para cada subparcela.

Tabela 4: Principais atributos do solo da área experimental, em diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento (Set/2012)

Camada	pH ¹	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ²
cm	mmol _c dm ⁻³						
0-5	5,0	64,5	0,6	51,6	24,7	1,9	142,6
5-10	5,0	65,1	0,3	40,4	31,9	1,5	138,7
10-15	4,4	87,3	4,2	26,3	18,4	1,1	133,1
15-20	4,2	102,3	10,4	11,7	17,2	1,0	132,2
20-40	4,1	98,5	12,0	5,6	14,6	0,8	119,4
40-60	4,1	88,3	10,7	2,2	14,3	0,5	105,3
0-20	4,6	79,8	3,8	32,5	23,0	1,4	136,7

Camada	V ³	m ⁴	C ⁵	P ⁶	Areia	Silte	Argila
cm	%		g dm ⁻³	mg dm ³	g kg ⁻¹		
0-5	54,7	0,7	24,6	16,0	580,2	109,8	310
5-10	53,1	0,3	19,5	26,5	583,8	106,2	310
10-15	34,4	8,3	18,1	4,1	553,6	136,4	310
15-20	22,6	25,9	17,8	4,3	573,1	96,9	330
20-40	17,5	36,6	15,3	3,8	588,6	81,4	330
40-60	16,2	38,9	11,6	2,6	559,3	110,7	330
0-20	41,2	8,8	20,0	12,7	573	112	315

¹ pH em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹; ² T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ³ Índice de saturação por bases; ⁴ Índice de saturação de alumínio; ⁵ C: carbono orgânico extraído pelo método de Walkley-Black; ⁶ P disponível por solução Mehlich-1

Tabela 5: Sequência de eventos do manejo das culturas no período do experimento: coleta de solos, amostragem para fins de diagnose foliar e acúmulo de nutrientes e colheita (forragem e grãos)

Cultura	Diagnose foliar	Acúmulo de nutrientes	Colheita	Coleta de solo
Milho 2012/13	9/01/2013	26/03/13	03/05/2013	22/05/13
Aveia branca 2013	-	11/10/13	Dessecação 30/10/2013	25/10/13
Soja 2013/14	10/01/14	14/02/14	24/04/2014	-
Aveia branca 2014	-	23/09/14	Dessecação 03/10/2014	-
Milho 2014/15	06/01/15	23/02/15	16/03/2015	08/05/15

Em razão do ciclo tardio da aveia branca, foi possível apenas um corte nos dois anos de avaliação. Antes do corte da forragem, a altura do dossel forrageiro foi determinada dentro do quadrado, 10 leituras por parcela, com o auxílio de um bastão graduado (*sward stick*), o qual corre uma “régua” até tocar a primeira lâmina foliar, procedendo-se a leitura conforme Barthram (1985). Em seguida, a massa de forragem foi cortada acima dos 10 cm do nível do solo (AGUINAGA et al., 2008) para análise de acúmulo de macronutrientes.

Para a amostragem da soja em R1, para fins de diagnose utilizou-se 30 folhas por parcela, totalizando 30 trifólios; posteriormente ao final do seu ciclo, foi feita a coleta de planta inteira, retirando-se 1,0 m linear de plantas de soja no estágio R6 para análise do acúmulo de nutrientes na parte aérea e nos grãos. Por fim, procedeu-se a avaliação de rendimento de grãos após a maturação, determinando-se, então, o rendimento de grãos expresso em 130 g kg⁻¹ de umidade, número de plantas por metro quadrado, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de grãos.

3.2.5 Caracterização da restrição de radiação

Para caracterizar a restrição de radiação do sistema, foi utilizada em campo o Ceptômetro AccuPAR Lp-80, modelo que incorpora em 80 cm, 80 sensores sensíveis à quantidade de radiação PAR (*Photosynthetically active radiation*) ou RFA (radiação fotossinteticamente ativa). Foram realizadas quatro medições nas 4 faixas (transectos) de restrição de radiação (distância das árvores) por ano, ou seja, uma coleta a cada estação do ano, exceto para primavera de 2014, obtendo RFA ao longo do dia (das 8h00min às 17:30h). A partir das medições da radiação incidente e da transmitida através do dossel das plantas de *Eucalyptus dunnii* e a radiação a pleno sol, foi calculado por diferença a porcentagem de sombra representativa em cada faixa, conforme relação:

$$\% \text{ Restrição de radiação} = 100 - \left(\frac{\text{RFA}_{\text{SIPA}} * 100}{\text{RFA}_{\text{PS}}} \right)$$

em que a % de restrição de radiação é o nível de luz recebido pelas culturas, RFA_{SIPA} é a RFA das culturas abaixo do *E. dunnii* e RFA_{PS} é a RFA a pleno sol. Foi tomada uma medida de RFA no SIPA por repetição, e fora do SIPA a cada 15 minutos para caracterização da restrição de radiação. Com base nisso, as porcentagens da restrição da radiação durante o experimento, estão apresentadas na Tabela 6.

3.2.6 Amostragem de solo e análise química

Foram coletadas amostras compostas de solo das camadas 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40 e 40-60 cm, mediante uso de trado calador para as coletas superficiais, retirando-se 12 amostras simples para formar uma composta por subparcela, e holandês em profundidade (20-40 cm e 40-60 cm), retirando-se 3 amostras simples para formar uma amostra composta. Depois de secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C, as amostras de solo foram

destorroadas, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm, sendo então chamadas de terra fina seca em estufa (TFSE).

Tabela 6: Médias e coeficiente de variação para porcentagem de sombra em quatros transectos em um SIPA, segundo as estações

Estações avaliadas	Data	% de sombra				Média Trans	CV %
		Trans 1 ⁽¹⁾ 0-4 m	Trans 2 4-8 m	Trans 3 8-12 m	Trans 4 12-16 m		
Outono 2013	20/03/2013	76,05	75,54	61,02	57,25	67,47	14,41
Inverno 2013	12/08/2013	75,92	72,86	67,14	59,29	68,80	10,63
Primavera 2013	03/12/2013	60,02	36,18	29,36	33,77	39,83	35,22
Verão 2013/14	13/02/2014	78,97	75,94	66,53	58,65	70,02	13,21
Outono 2014	30/05/2014	90,79	91,61	88,75	84,12	88,82	3,78
Inverno 2014	12/09/2014	79,54	77,63	70,48	60,52	72,04	11,96
Verão 2014/15	03/03/2015	70,87	69,09	64,45	56,97	65,34	9,50
Média estação		75,02	71,26	63,96	58,65		
CV%		12,27	23,85	27,67	28,87		

⁽¹⁾ Transectos: distância em metros em relação às árvores.

As amostras de TFSE foram analisadas visando determinar os seguintes atributos: (i) acidez ativa (pH), por potenciometria em solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) 0,01 mol L⁻¹; (ii) acidez potencial (H + Al), por potenciometria em solução tampão SMP; (iii) acidez trocável (Al trocável), Ca e Mg trocáveis em extratos de terra obtidos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹, sendo as concentrações de Al trocável determinadas por titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) 0,025 mol L⁻¹ e as concentrações de Ca e Mg por complexometria do etileno diaminotetraacético (EDTA) 0,025 mol L⁻¹; (iv) K e P em extratos de terra obtidos com solução de Mehlich-1 e leitura por espectrofotometria de emissão em chama (EEC) para K e por espectrofotometria de absorção molecular (EAM) para P; (v) determinação de carbono orgânico (C), pelo método Walkley-Black. Todas as amostras foram realizadas conforme os procedimentos sugeridos por Pavan et al. (1992). As determinações de C foram realizadas conforme Cantarella et al. (2001).

3.2.7 Amostragem das plantas e análise química foliar

As amostras de plantas foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório para procedimentos de pesagem para determinação de massa verde (apenas para aveia branca) e procedimentos de lavagem, secagem, moagem e determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al. (1997). As amostras foram secas em estufa a 65°C com circulação forçada de ar até atingir massa constante,

moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em recipientes plásticos tampados para a realização das análises químicas.

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 EAM para P; EEC para K; EAA-chama para Ca e Mg; e turbidimetria para S.

3.2.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística univariada de acordo com o experimento em blocos completos casualizados em parcelas subdivididas. Foi realizado o teste de Bartlett para verificação de variâncias homogêneas, teste F para análise de variância dos atributos de solo e planta. Quando o F foi significativo ($P < 0,05$), aplicou o teste de Tukey para comparação das médias. Foram realizadas análises de regressão (lineares ou quadráticas) para cada uma das variáveis resposta (concentração de nutrientes no solo, na planta e componentes de rendimento) de acordo com as doses de K (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano de K₂O), adotando-se a magnitude do coeficiente de determinação como critério de escolha.

Na ausência de interação, foram consideradas como repetições: (i) para os transectos – os blocos (três) e a média das doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano de K₂O); (ii) para as doses – os blocos (três) e a média dos transectos (1, 2, 3 e 4). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o uso do *Software* Statgraphics® Centurion.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Atributos da fertilidade do solo no SIPA

3.3.1.1 Aos 6 meses

Apenas foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para o m% ($F = 2,80$, $P = 0,0299$) na camada 0-5 cm; m% ($F = 4,41$, $P = 0,0036$) na camada 5-10 cm, m% ($F = 2,99$, $P = 0,0231$) na camada 10-15 cm na coleta realizada aos 6 meses. A análise de regressão do desdobramento entre o efeito da restrição de radiação e da aplicação de K sobre o m% na camada 0-5 cm ($y = -0,0171x + 5,4867$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0051$) no transecto 1, m% na camada 5-10 cm ($y = -5E-05x^2 + 0,0153x + 0,4267$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0272$) no transecto 2 e m% na camada 10-15 cm ($y = -0,0311x + 11,393$, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0258$) no transecto 2 aos 6 meses. Logo, a aplicação de doses

crescentes de K diminui linearmente a saturação por Al nas camadas 0-5 e 10-15 cm e quadraticamente na camada 5-10 cm. Embora o K seja um monovalente, com menor preferencialidade na CTC em relação ao Al, que é trivalente, o fator intensidade, ou mais precisamente, a atividade do K na solução do solo, pode ter favorecido o fenômeno reversível de troca (NOVAIS; MELLO, 2007). Cabe salientar que os valores de m% só foram altos a partir da camada 15-20 cm aos 6 meses, o qual acima de 15% torna-se prejudicial e limita o desenvolvimento radicular (ZONTA et al., 2006, ROSSIELLO, JACOB NETTO, 2006).

Efeito dos transectos aos 6 meses para o C ($F = 6,65$, $P = 0,0245$) na camada 20-40 cm, foi observado (Tabela 7). O maior C em profundidade observado nos transectos 3 e 4 aos 6 meses, como também aos 12 meses, pode ter sido favorecido pelo sistema radicular mais agressivo do milho, que ultrapassa a profundidade de 100 cm (LANDAU et al., 2009) como também da aveia, contribuindo na incorporação de C, em comparação aos resíduos foliares (transecto 1). Os sistemas radiculares melhor desenvolvidos em condições menos sombreadas, acrescentam quantidades significativas de C ao solo, em suas mais diversas formas, independentemente da quantidade estocada nos seus tecidos e da disponibilizada após a colheita ou morte da planta (ZONTA et al., 2006). O gradiente decrescente de concentração de C com o aumento da profundidade do solo é característico do SPD, associado a manutenção dos resíduos e aplicação de fertilizantes e corretivos na superfície (ACQUA et al., 2013).

Observou-se efeito dos transectos aos 6 meses para o pH ($F = 27,14$, $P = 0,0007$) na camada 0-5 cm e pH ($F = 7,79$, $P = 0,0171$) na camada 10-15 cm, m% ($F = 10,64$, $P = 0,0081$) na camada 0-5 cm, m% ($F = 6,25$, $P = 0,0282$) na camada 10-15 m, m% ($F = 16,02$, $P = 0,0029$) na camada 15-20 cm (Tabela 7). O pH mais ácido observado nos transectos 1 e 2 pode ser atribuído à maior influência da exsudação radicular das árvores, acidificando o meio. As plantas raramente absorvem quantidades equivalentes de cátions e ânions e, para manter o equilíbrio eletroquímico entre as raízes, rizosfera e o pH intracelular, ocorre a extrusão H^+ , como medida compensatória (SOUSA et al., 2007).

O aumento da acidez proporcionou incremento dos teores de Al trocável, e consequentemente, elevação do m% no perfil no transecto 1 (Tabela 7). Desse modo, o decréscimo do C pouco expressivo no perfil, não reduziu os efeitos nocivos da acidez do solo, pela liberação de compostos orgânicos da MOS, que poderia formar complexos com Al (MIYAZAWA et al., 1993; DIEHL et al. 2008). Os valores de pH $CaCl_2$ observados para todos os períodos de avaliação, estão na faixa entre 4,4 – 5 e abaixo de 4,3, dentro da classificação de acidez alta e muito alta (TOMÉ JUNIOR, 1997). Em geral, no SPD, a

Tabela 7: Concentrações médias dos atributos químicos do solo em camadas distintas, 6 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total

Camada	Variação	C	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	CTCe	SB	KCTCe	CaCTCe	MgCTCe	V	m
cm		g dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³						%		
A: 0-5	Trans 1	22,89	4,61 a	30,5	13,7	2,2	125,5	47,8	46,4	4,7	63,8	28,6	37,1 c	2,9 a
	Trans 2	22,34	4,81 b	33,2	14,3	2,3	120,1	50,3	49,8	4,6	66,2	28,2	41,6 bc	0,9 b
	Trans 3	22,07	5,15 c	38,5	17,7	2,0	119,3	59,0	58,2	3,5	65,5	29,7	49,0 a	1,3 ab
	Trans 4	23,68	4,98 bc	38,6	14,2	2,3	122,7	55,3	55,1	4,3	70,0	25,5	45,2 ab	0,3 b
	CV%	10,01	6,31	16,91	28,44	21,55	8,31	14,96	15,37	26,71	9,42	22,59	17,17	139,29
B: 5-10	Trans 1	19,33	4,94	28,4 b	15,0 b	1,2	116,9	45,2 c	44,6 b	2,7	63,0	32,9	38,4 b	1,4
	Trans 2	19,29	5,26	32,1 ab	20,4 ab	1,4	115,7	54,3 b	53,8 a	2,6	59,8	36,8	47,0 ab	0,9
	Trans 3	19,14	5,50	36,9 a	23,8 a	1,1	112,2	62,7 a	61,8 a	1,8	59,0	37,9	55,5 a	1,4
	Trans 4	19,82	5,64	33,5 ab	23,6 a	1,2	115,1	58,5 ab	58,3 a	2,0	57,6	40,1	51,1 a	0,4
	CV%	14,06	15,65	15,28	30,73	33,17	9,26	15,79	15,75	37,04	13,09	21,95	19,09	141,07
C: 10-15	Trans 1	14,80	4,37 b	14,5 b	15,5	1,0	120,3	35,1 b	31,0	2,9 a	41,0	43,9	26,1	12,1 a
	Trans 2	14,75	4,63 ab	21,8 ab	16,3	1,1	113,8	42,2 ab	39,3	2,7 ab	52,2	38,3	35,1	6,7 ab
	Trans 3	14,47	4,99 a	28,9 a	20,0	0,8	110,8	52,5 a	49,7	1,6 b	55,5	37,9	45,4	5,0 ab
	Trans 4	14,72	4,92 a	26,5 a	17,2	0,9	113,2	45,6 ab	44,7	2,2 ab	57,4	38,5	40,0	1,9 b
	CV%	20,01	8,88	40,00	37,55	34,28	11,43	26,42	28,35	40,64	27,90	31,1	31,91	110,35
D: 15-20	Trans 1	14,93	4,16	9,7 b	14,7	0,8	130,6	36,4 b	25,1	2,3	25,9	40,0	19,4	31,8 a
	Trans 2	13,47	4,37	14,4 ab	14,8	1,0	115,9	38,1 ab	30,2	2,6	38,3	38,8	26,3	20,3 b
	Trans 3	14,24	4,60	17,5 a	24,2	0,9	126,8	49,2 a	42,5	1,9	36,6	48,4	34,4	13,1 b
	Trans 4	14,24	4,43	15,6 ab	17,1	0,8	121,9	38,4 ab	33,5	2,3	42,0	43,9	28,0	11,8 b
	CV%	16,00	6,29	38,58	46,98	28,36	12,59	26,44	32,17	34,26	32,49	28,47	35,50	63,39
E: 20-40	Trans 1	15,98 b	4,11	5,0	14,7	0,6	123,1	31,9	20,3	2,2	15,9	45,1	16,4	36,8
	Trans 2	15,89 b	4,28	8,6	15,3	0,6	121,7	35,9	24,6	1,9	24,2	41,8	20,2	32,1
	Trans 3	16,55 ab	4,31	11,0	17,1	0,6	126,9	37,3	28,7	1,6	31,8	43,4	22,8	23,2
	Trans 4	18,33 a	4,25	9,7	14,7	0,7	124,9	34,3	25,2	2,1	28,9	41,9	20,3	27,1
	CV%	14,88	3,24	47,34	50,93	34,97	9,77	22,86	31,51	44,15	50,92	36,43	29,80	36,75
F: 40-60	Trans 1	12,31	4,18	2,8 b	14,8	0,4	114,7	30,6	18,0	1,5	8,9	45,4	15,7	44,2
	Trans 2	13,25	4,25	4,2 ab	16,4	0,5	113,1	32,6	21,1	1,5	12,7	48,3	18,2	37,5
	Trans 3	13,28	4,31	5,3 a	19,7	0,4	119,8	35,6	25,4	1,2	15,1	52,7	20,8	31,1
	Trans 4	13,10	4,29	4,5 a	14,9	0,4	117,3	31,2	19,8	1,4	14,8	45,8	16,8	37,9
	CV%	21,77	2,17	45,68	47,35	33,57	13,43	26,10	41,26	40,70	39,14	23,82	35,27	30,05

Transformações realizadas: 1/C_D; 1/pH_A; 1/pH_B, DIFF(pH_D); DIFF(pH_F), COSR(Ca_C); COSR(Ca_E); COSR(Mg_C); COSR(Mg_D); COSR(Mg_E); COSR(Mg_F); 1/K_B; SINR(K_C); 1/K_D; ASINR(K_E); ASINR(K_F); COSR(SB_C); COSR(SB_D); COSR(SB_E); COSR(SB_F); COSR(CTC_D); COSR(CaCTCefe_E); COSR(MgCTCefe_E); COSR(MgCTCefe_F); COSR(V%_C); COSR(V%_D); COSR(V%_E). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Entre cada camada, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$

maioria das culturas de grãos desenvolve-se adequadamente em solos com pH 5,5, desde que a saturação da CTC por bases seja maior do que 65% (CQFSRS/SC, 2004), condições não observados no presente estudo. Todavia, o nível crítico de pH CaCl_2 para a soja é de 4,9, qualificando-a como a cultura mais sensível à acidez do solo (VIEIRA et al., 2013). Observou-se efeito dos transectos aos 6 meses para Ca ($F = 7,67$, $P = 0,0178$) na camada 5-10 cm, Ca ($F = 6,47$, $P = 0,0178$) na camada 15-20 cm, Ca ($F = 11,02$, $P = 0,0075$) na camada 40-60 cm, CTCe ($F = 19,53$, $P = 0,0017$) na camada 5-10 cm; CTCe ($F = 7,90$, $P = 0,0166$) na camada 10-15 cm; CTCe ($F = 6,32$, $P = 0,0166$) na camada 115-20 cm, SB ($F = 18,40$, $P = 0,0020$) na camada 40-60 cm, KCTCe ($F = 5,57$; $P = 0,0361$) na camada 10-15 cm; V% ($F = 11,42$, $P = 0,0068$) na camada 0-5 cm, V% ($F = 13,00$, $P = 0,0049$) na camada 5-10 cm (Tabela 7). Foi possível observar que os transectos 3 e 4, apresentaram os maiores teores de Ca e Mg, o que favoreceram os maiores SB, CTCe e V% nestes transectos aos 6 meses (Tabela 7). Do mesmo modo, aumentos no teor de K, Ca, Mg, P, SB e MOS foram encontrados em pastagens de braquiária sombreadas (XAVIER et al., 2003). Por outro lado, maior KCTCe na camada 10-15 cm foi observado no transecto 1, ainda que diferenças no K trocável e a CTC não foram observadas.

As doses empregadas ocasionaram diferenças aos 6 meses no C ($F = 4,75$, $P = 0,0131$) na camada 20-40 cm, K ($F = 21,99$, $P < 0,001$) na camada 0-5 cm, K ($F = 22,63$, $P < 0,001$) na camada 5-10 cm, K ($F = 6,99$, $P = 0,0026$) na camada 15-20 cm, SB ($F = 3,77$, $P = 0,0291$) na camada 40-60 cm, KCTCe ($F = 17,18$, $P < 0,001$) na camada 0-5 cm, KCTCe ($F = 13,56$, $P = 0,0001$) na camada 5-10 cm e KCTCe ($F = 9,79$, $P = 0,0005$) na camada 15-20 cm.

Apenas para o C na camada 20-40 cm, não foi possível ajustar um modelo de regressão ($\hat{y} = \bar{y} = 16,69 \text{ g dm}^{-3}$). Concentrações crescentes à doses crescentes foram observadas para o K trocável na camada 0-5 cm ($y = 2\text{E-}06x^2 + 0,0025x + 1,7844$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0132$), KCTCe na camada 0-5 cm (Figura 2A, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0236$), na camada 5-10 cm (Figura 2B, $R^2 = 0,98$, $P = 0,0124$) e na camada 15-20 (Figura 2C, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0118$) aos 6 meses.

Por outro lado, não era esperado redução linear com a aplicação de doses de K para o K trocável na camada 5-10 cm ($y = 3\text{E-}07x^2 - 0,0017x + 1,1458$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0299$) e redução quadrática do K trocável na camada 15-20 cm ($y = 2\text{E-}06x^2 - 0,0023x + 1,5048$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0297$). A equação quadrática, ajustada para o SB na camada 40-60 cm aos 6 meses ($y = -3\text{E-}05x^2 + 0,0101x - 0,484$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0342$), indicou que as

maiores respostas foram encontradas nas doses iniciais e decresceram com o aumento da quantidade de K aplicada.

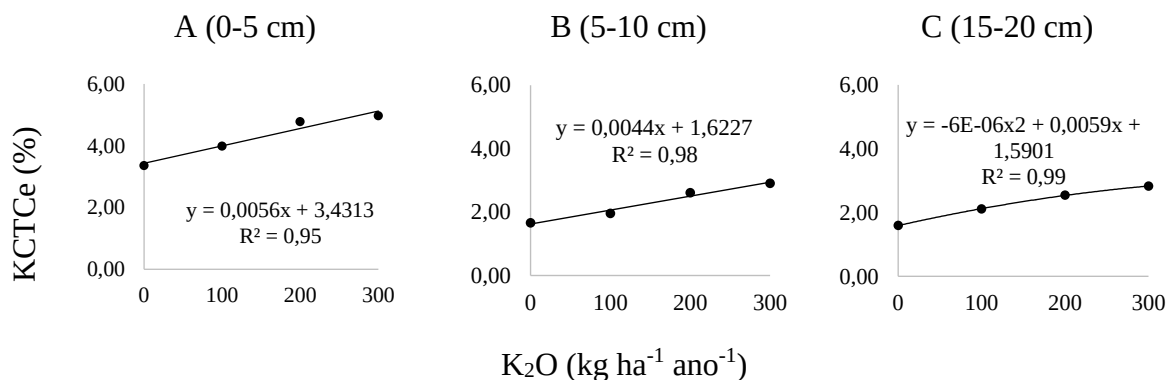


Figura 2: Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas de solo avaliadas aos 6 meses após aplicação das doses de K₂O

A baixa densidade de cargas negativas na superfície da caulinita que predomina em Latossolos, confere a estes solos baixa CTC. Minerais micáceos liberam K no processo de intemperismo (FREIRE; FREIRE, 2007) repercutindo no balanço nutricional das culturas. Neste contexto, níveis médios para Ca (21 – 40 mmol_c dm⁻³) e níveis altos para Mg (> 1 mmol_c dm⁻³) e K (1,56 – 3,07 mmol_c dm⁻³) pode ser observado no perfil, o que repercutiu nos valores adequados para CTC (50 – 150 mmol_c dm⁻³) e V% próximas a 50% (0-10 cm), classificando o solo como eutrófico.

3.3.1.2 Aos 12 meses

Foi observado interação entre o fator principal (transectos) e secundário (doses de K) apenas para o C ($F = 6,22$, $P = 0,0005$) na camada 20-40 cm aos 12 meses. O desdobramento dos fatores para o C na camada 20-40 cm foi observado apenas no transecto 4 ($y = 0,0072x + 15,113$, $R^2 = 0,94$, $P = 0,0312$). Todavia, não era esperado relação linear positiva do K com o C orgânico, pois o teor de K na MOS é extremamente pequeno. O K não faz parte de nenhuma fração orgânica abiótica do solo, pois não integra nenhum composto orgânico estável (ERNANI et al., 2007).

Efeito dos transectos foi verificado para o C ($F = 5,98$, $P = 0,0311$) na camada 5-10 cm, C ($F = 7,76$, $P = 0,0173$) na camada 40-60 cm, pH ($F = 10,53$, $P = 0,0084$) na camada 0-5 cm, pH ($F = 16,37$, $P = 0,0027$) na camada 5-10 cm, Ca ($F = 8,23$, $P = 0,0151$)

na camada 0-5 cm, Ca ($F = 12,41$, $P = 0,0055$) na camada 5-10 cm, Ca ($F = 11,35$, $P = 0,0069$) na camada 10-15 cm, Ca ($F = 6,17$, $P = 0,0290$) na camada 15-20 cm, Mg ($F = 5,34$, $P = 0,0395$) na camada 0-5 cm, Mg ($F = 6,73$, $P = 0,0239$) na camada 5-10 cm, Mg ($F = 5,33$, $P = 0,0396$) na camada 10-15 cm, CTCe ($F = 16,25$, $P = 0,0028$) na camada 0-5 cm, CTCe ($F = 5,05$, $P = 0,0443$) na camada 5-10 cm, CTCe ($F = 10,87$, $P = 0,0077$) na camada 10-15 cm, SB ($F = 18,00$, $P = 0,0021$) na camada 0-5 cm, SB ($F = 7,98$, $P = 0,0162$) na camada 10-15 cm, V% ($F = 8,21$, $P = 0,0152$) na camada 0-5 cm, V% ($F = 13,36$, $P = 0,0046$) na camada 5-10 cm aos 12 meses (Tabela 8).

Maior teor de C orgânico observado nos transectos 3 e 4 aos 12 meses, favoreceram a maior concentração de bases trocáveis, SB, CTC efetiva e V% na camada de 5-10 cm (ANGHINONI, 2007) (Tabela 8). Da mesma forma, maior teor de Ca, Mg, CTCe e a saturação de Ca na CTCe no transecto 3 e 4 foi verificado na camada 10-15 cm. A participação da MOS como fonte de cátions é fundamental, visto que a porcentagem de argila na camada de 0-20 cm é de apenas 31,5% (Tabela 4).

Radomski & Ribaski (2012) verificaram que nos pontos mais próximos das árvores, com menor radiação e maior retenção de umidade, há uma menor taxa de decomposição do material orgânico; ao contrário das áreas mais centrais do SIPA, onde a influência da sombra é menos acentuada, expondo o solo às altas temperaturas e, consequente, aumento da decomposição do material orgânico. Soares et al. (2009) não detectaram diferenças na umidade do solo quando comparado a pleno sol em SIPA, atribuindo à formação de microclima no sub-bosque, uma vez que a velocidade do vento e a radiação solar diminuem a evaporação da água do solo, rejeitando possíveis competições. Todavia, Wilson (1996) verificou que a sombra reduziu a temperatura extrema na superfície do solo e da serapilheira e aumentou o status de água no solo em comparação às parcelas a pleno sol.

Uma possível justificativa dos menores teores de bases trocáveis nas áreas próximas ao componente arbóreo, comprometendo o rendimento das culturas de grão e forragem pode ter relação com a granulometria predominante. Hamer et al. (2015) observaram que espécies de eucalipto que crescem tipicamente em solos de textura grossa, tendem a ter mais raízes laterais explorando um maior volume de solo comparado àquelas tipicamente encontradas em solos de textura fina. Além disso, a distribuição radicular também varia com a precipitação anual e as diferentes arquiteturas e alocação da biomassa de eucaliptos, sugerindo adaptação ao meio.

Tabela 8: Concentrações médias dos atributos químicos do solo em camadas distintas, 12 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total

Camada	Variação	C	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	CTCe	SB	KCTCe	CaCTCe	MgCTCe	V	m
cm		g dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³						%		
A: 0-5	Trans 1	22,99	4,38 c	28,81 b	13,13 ab	2,48	115,10	46,29 b	44,42 b	5,31 ab	62,60	27,87	38,66 ab	4,22
	Trans 2	22,56	4,43 bc	28,02 bc	10,54 b	2,52	108,71	42,82 b	41,07 b	6,01 a	65,70	24,14	37,82 b	4,15
	Trans 3	23,54	4,63 ab	35,36 ab	16,05 a	2,35	119,45	54,70 a	53,76 a	4,34 b	64,63	29,17	45,27 a	1,87
	Trans 4	24,65	4,64 a	36,77 a	14,60 ab	2,41	118,68	54,98 a	53,78 a	4,47 b	67,00	26,09	45,48 a	2,44
	CV%	10,85	4,40	19,96	38,95	37,65	9,64	16,26	18,04	40,40	12,96	30,51	26,29	83,53
B: 5-10	Trans 1	18,83 b	4,54 c	24,83 b	14,80 b	1,88	101,69	42,63 b	41,51	4,50 a	58,14	34,54	40,83 b	2,82
	Trans 2	19,86 ab	4,78 bc	29,62 ab	21,44 ab	2,02	106,90	53,71 ab	53,08	3,99 ab	56,85	38,16	49,48 ab	1,01
	Trans 3	20,52 a	5,18 a	34,67 a	20,03 b	1,74	101,56	56,55 ab	56,43	3,16 bc	61,32	35,34	55,30 a	0,18
	Trans 4	20,37 a	5,14 ab	34,13 a	20,93 a	1,62	103,05	56,88 a	56,67	2,99 c	60,52	36,09	55,04 a	0,39
	CV%	14,15	7,25	21,78	39,56	45,51	15,95	24,25	24,56	50,06	8,75	14,60	16,75	144,21
C: 10-15	Trans 1	17,72	4,43	15,14 b	11,67 b	1,38	102,25	32,55 b	28,19 a	4,38 a	45,46 b	34,72	27,97	15,44
	Trans 2	16,46	4,47	20,95 ab	12,60 ab	1,50	102,09	36,58 ab	35,05 ab	4,23 ab	57,34 a	34,12	34,43	4,31
	Trans 3	17,96	4,77	24,22 a	15,74 ab	1,44	100,90	42,20 a	41,40 b	3,46 ab	57,63 a	36,98	41,44	1,92
	Trans 4	18,49	4,75	24,46 a	17,12 a	1,33	103,82	44,41 a	42,90 b	3,13 b	53,87 a	38,96	41,83	4,04
	CV%	15,88	7,46	32,38	31,51	38,63	9,40	21,85	27,19	42,65	16,53	19,66	29,27	123,35
D: 15-20	Trans 1	17,04	4,09	9,43 b	8,44	1,02	110,76	27,38	18,89	3,65	33,54 b	29,79	17,59	33,02
	Trans 2	15,77	4,16	9,55 b	10,38	1,09	111,29	28,43	21,02	3,79	34,13 ab	36,42	19,27	25,67
	Trans 3	16,94	4,26	16,20 a	8,65	1,03	112,10	30,97	25,88	3,41	51,61 a	28,06	23,77	16,93
	Trans 4	15,99	4,36	13,32 ab	12,47	0,95	104,55	32,12	26,74	3,20	41,57 ab	37,36	26,30	17,87
	CV%	17,68	6,38	48,37	47,89	47,74	13,47	20,85	33,29	46,29	38,70	34,39	40,40	60,18
E: 20-40	Trans 1	15,10	3,95	3,74	7,50 ab	0,66	108,93	24,52	11,90	2,76	15,83	29,78	11,01	51,63
	Trans 2	16,62	3,98	4,49	7,08 b	0,88	110,63	23,71	12,45	3,73	19,38	29,64	11,31	47,25
	Trans 3	16,60	4,11	8,29	9,40 ab	0,90	111,13	27,66	18,58	3,28	29,89	33,52	17,30	33,31
	Trans 4	16,20	4,17	5,58	13,73 a	0,72	111,03	28,98	20,03	2,55	20,48	44,25	19,01	32,72
	CV%	11,49	5,53	63,52	63,54	37,90	12,52	18,99	42,04	39,55	58,76	38,24	51,00	34,51
F: 40-60	Trans 1	8,70 b	3,96	1,66	5,90	0,32	101,21	18,55	7,87	1,72	8,96	31,76	7,90	57,56
	Trans 2	9,52 ab	4,01	3,59	6,57	0,44	104,74	21,30	10,60	2,11	17,05	30,34	10,12	50,50
	Trans 3	9,90 ab	4,10	5,42	7,57	0,45	101,26	21,85	13,43	2,04	24,47	34,53	13,71	38,97
	Trans 4	10,95 a	4,08	5,06	9,32	0,43	106,57	23,17	14,81	1,79	20,63	39,27	14,24	38,31
	CV%	24,22	2,94	72,69	36,89	58,56	11,55	15,87	40,10	47,94	59,74	24,56	42,57	30,85

Transformações realizadas: DIFF(pH_C); DIFF(pH_D); RANDOM(pH_E); DIFF(pH_F); COSR(Ca_E); COSR(Ca_F); COSR(Mg_B); COSR(Mg_D); COSR(Mg_E); COSR(Mg_F); 1/(K_D); 1/(K_E); 1/(K_F); COSR(CTC_B); COSR(CTC_E); COSR(CTC_D); COSR(CTC_E); COSR(SB_B); 1/(SB_C); COSR(SB_D); COSR(SB_E); COSR(SB_F); COSR(KCTCe_F); COSR(CaCTCe_A); COSR(CaCTCe_B); COSR(CaCTCe_E); COSR(CaCTCe_F); COSR(MgCTCe_A); COSR(MgCTCe_B); COSR(MgCTCe_D); COSR(MgCTCe_E); COSR(V%_C); COSR(V%_D); COSR(V%_E); COSR(V%_F); COSR(m%_A); COSR(m%_B); COSR(m%_C); COSR(m%_D); COSR(m%_E); COSR(m%_F). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se aos valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Entre cada camada, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$

A quantidade total de cátions retidos à superfície de argilominerais representativos em solos altamente intemperizados (subtropicais), é normalmente muito baixa, em torno de 50 a 150 mmol_c dm⁻³ para caulinita (MEURER, 2007; RONQUIM, 2010). A baixa densidade de cargas (quantidade de cargas por unidade de superfície) e a baixa superfície específica (área por unidade de peso) da caulinita (10-30 m² g) confere baixa reserva trocável (NOVAIS; MELLO, 2007) corroborando com resultados aqui obtidos. A CTC origina-se na formação do argilomineral (cargas permanentes) ou na dissociação de grupamentos funcionais de minerais ou da MOS (dependentes de pH) (MARQUES, 2006). Neste contexto, verificou-se, aos 12 meses, maior CTCe nos transectos 3 e 4 nas camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Quando se aumenta o pH do sistema, como o verificado nos transectos 3 e 4, mais íons H⁺ ligados a cargas dependentes de pH são neutralizados, resultado em consequente aumento da CTCe do solo (NOVAIS, MELLO, 2007).

Maior V% foi observado nos transectos 3 e 4 na camada 0-5 cm e 5-10 cm aos 12 meses (Tabela 8). Resultados semelhantes foram observados para o V% aos 6 meses (Tabela 7). Todavia, esta faixa de V% observada à 8-12 m e 12-16 m de distância das árvores, é considerada baixa (45 – 64%) (CQFSRS/SC, 2004).

Efeito dos transectos foi verificado para KCTCe (F = 7,46, P = 0,0190) na camada 0-5 cm, KCTCe (F = 14,13, P = 0,0040) na camada 5-10 cm, KCTCe (F = 6,21, P = 0,0286) na camada 10-15 cm, CaCTCe (F = 20,97, P = 0,0014) na camada 10-15 cm, CaCTCe (F = 5,43, P = 0,0381) na camada 15-20 cm. A saturação de K na CTCe verificada nas camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm foi maior nos transectos 1, 2 e 2 respectivamente. Maior teor de K trocável na camada de 0-15 cm à 5 m de distância do renque de árvores foi observado por Baber et al. (2006). Possivelmente, a maior concentração de K na superfície pode ser atribuído ao maior aporte de resíduos vegetais na projeção da copa do eucalipto e à rápida ciclagem do K do resíduo, por não participar da composição estrutural da planta (MARSCHNER, 2012).

A difusão e o fluxo de transpiração são dois processos que atuam simultaneamente, visto que a absorção de água e nutrientes ocorre, em geral ao mesmo tempo (MEURER, 2007). Todavia, não é possível descartar a competição por K nos transectos próximos ao componente arbóreo, mesmo que eucaliptos obtenham água de camadas mais profundas (WILSON et al. 1990). Possivelmente, a absorção do K na rizosfera no transecto 1, exaure o K em solução e o K trocável rizosférico, originando um gradiente de concentração que provoca a liberação de K não trocável (MEURER, 2006). Cabe salientar que o K não trocável, tem contribuído, para o fornecimento de K às plantas (ERNANI et al., 2007,

GARCIA et al., 2008) assim como K dos resíduos na nutrição das culturas (RAIJ et al. 1996).

O balanço equilibrado para a saturação de K na CTC conforme Bear & Toth (1948) é de 3 a 5%. Variações entre 3 a 5% de K na CTCe até 20 cm aos 12 meses indica que o fornecimento de K neste período está adequado (Tabela 8). Por outro lado, situação mais crítica aos 30 meses pode ser observado, com valores abaixo de 2% (Tabela 9).

Maior teor trocável de Ca e de CTCe na camada 10-15 cm favoreceu a maior saturação de Ca na CTCe nestas camadas aos 12 meses. Do mesmo modo, maior teor de Ca na camada 15-20 cm repercutiu na maior porcentagem de CaCTCe aos 12 meses. Cabe salientar que a presença de Ca em profundidade, facilita sua absorção preferencialmente pela coifa das raízes, e sobretudo, melhora o crescimento e desenvolvimento radicular (ZONTA et al., 2006). Segundo Vitti et al. (2006) o Ca é dominante com 65% no complexo de troca, o que pode ser observado apenas para a camada 0-5 cm. Por outro lado, Bear & Toth (1948) mencionam o balanço de Ca na CTC na faixa entre 50-65% como ideal.

As saturações de Ca, Mg e K na CTCe observada aos 12 meses (Tabela 8), são dados que antecederam a cultura da soja. Neste sentido, Vitti & Trevisan (2000) mostraram que para a soja com 50% de saturação de bases, a porcentagem adequada para KCTC é de 4%, de MgCTC é de 11% e CaCTC é de 35%. Cabe salientar, que as saturações calculadas neste experimento, referem-se à CTC efetiva e não à CTC potencial (à pH 7) como mostra a referência. Fageria (2001) observou 2,6; 51 e 18 para a saturação de KCTC, CaCTC e MgCTC respectivamente para soja, portanto, valores abaixo do obtido neste experimento.

Houve efeito das doses de K para o K ($F = 78,96$, $P < 0,001$) na camada 0-5 cm, K ($F = 53,05$, $P < 0,001$) na camada 5-10 cm, K ($F = 33,20$, $P < 0,001$) na camada 10-15 cm, K ($F = 15,96$, $P < 0,001$) na camada 15-20 cm, KCTCe ($F = 31,12$, $P < 0,001$) na camada 0-5 cm, KCTCe ($F = 34,44$, $P < 0,001$) na camada 5-10 cm, KCTCe ($F = 31,54$, $P < 0,001$) na camada 10-15 cm, KCTCe ($F = 8,14$, $P = 0,0012$) na camada 15-20 cm, KCTCe ($F = 3,77$, $P = 0,0293$) na camada 20-40 cm, m% ($F = 3,56$, $P = 0,0349$) na camada 5-10 cm aos 12 meses. Incremento de doses de K aumentou linearmente as concentrações de K nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm (Figuras 3A, 3B e 3C), que repercutiu na maior saturação de K na CTCe nas mesmas profundidades (Figuras 4A, 4B e 4C).

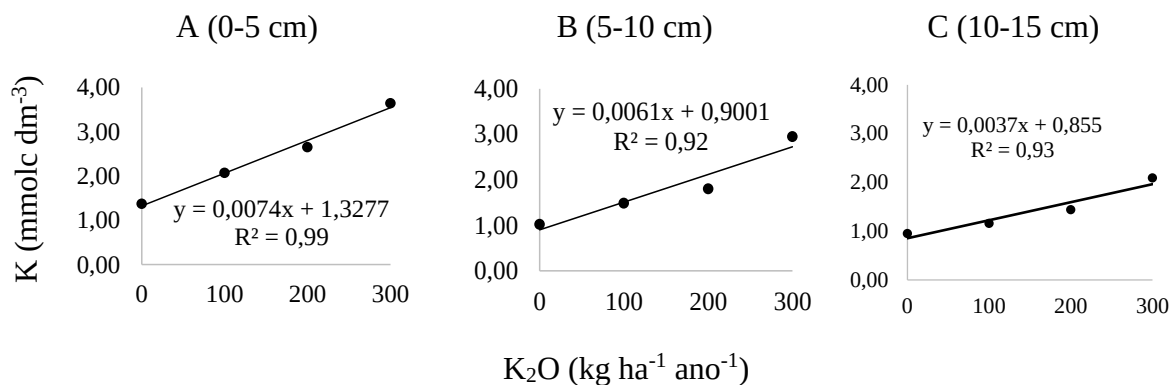


Figura 3: Concentração de potássio nas camadas de solo avaliadas aos 12 meses após aplicação das doses de K₂O

Possivelmente o resíduo (10 cm) da fitomassa da aveia branca, não representou uma grande participação no acúmulo e liberação de K, observadas pela coleta aos 12 meses (Tabela 8). Diante disso, doses crescentes foram ajustadas para o teor trocável e a saturação de K na CTCe. Cabe salientar que, nas áreas onde há remoção da forragem para silagem, a reposição de K é fator primordial para não exaurir as reservas deste nutriente no solo (FONSECA, 2014). No entanto, redução linear foi observada para o K na camada 15-20 cm com doses crescentes de K ($y = -0,002x + 1,4543$, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0281$).

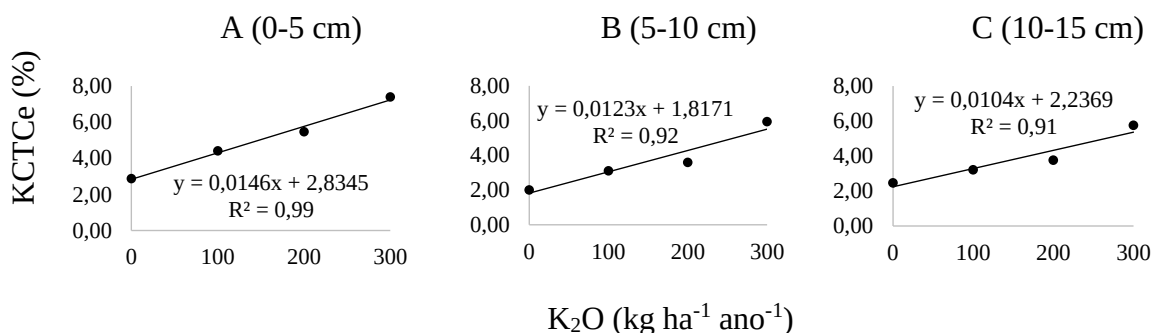


Figura 4: Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas de solo avaliadas aos 12 meses após aplicação das doses de K₂O

Apesar do efeito significativo das doses de K na saturação de K na CTCe nas camadas 15-20 cm e 20-40 cm e para a saturação de Al na camada 5-10 cm pelo teste F aos 12 meses, as análises de regressão mostraram que a saturação destes cátions no solo não foram significativamente afetadas pelas doses de K ($\hat{y} = \bar{y} = 3,51; 3,08; 1,10$ respectivamente).

3.3.1.3 Aos 30 meses

Interação entre os fatores principais (transectos) e secundários (doses de K) foram observados para o V% ($F = 8,92$, $P = 0,0001$) e m% ($F = 10$, $P < 0,001$) na camada de 5-10 cm, MgCTCe ($F = 5,9$, $P = 0,0007$), V% ($F = 4,33$, $P = 0,0040$), m% ($F = 12,87$, $P < 0,001$) na camada de 10-15 cm e m% ($F = 8,8$, $P = 0,0001$) na camada de 15-20 cm.

O desdobramento do efeito da restrição de radiação e da aplicação de K sobre o MgCTCe na camada 10-15 cm no transecto 3 ($y = 0,0002x^2 - 0,0545x + 49,323$, $R^2 = 1$, $P = 0,005$) possivelmente está relacionado com a inibição competitiva do K e Mg (MALAVOLTA et al., 1997; VITTI et al., 2006).

Além disso, redução quadrática e linear com doses crescentes de K pode ser observada para o V% no transecto 3 na camada 5 -10 cm ($y = -0,0004x^2 + 0,1056x + 49,517$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0298$) e no transecto 4 na camada 10-15 cm ($y = -0,0473x + 58,758$, $R^2 = 0,92$, $P = 0,041$) respectivamente. Este fato pode ter contribuído para o aumento linear do m% na camada 5-10 cm ($y = 0,0225x + 1,47$, $R^2 = 0,98$, $P = 0,0079$) no transecto 4, m% na camada 10-15 cm ($y = -3E-05x^2 + 0,0405x + 0,3213$, $R^2 = 1$, $P = 0,0029$) no transecto 4 e m% na camada 15-20 cm ($y = 0,021x + 18,304$, $R^2 = 0,94$, $P = 0,0288$) no transecto 1 aos 30 meses.

Efeito dos transectos foi observado para o C ($F = 15,7$, $P = 0,0030$) na camada 5-10 cm, C ($F = 30,13$, $P = 0,0005$) na camada 10-15 cm, C ($F = 14,87$, $P = 0,0035$) na camada 15-20 cm, C ($F = 10,43$, $P = 0,0085$) na camada 20-40 cm, pH ($F = 5,48$, $P = 0,0374$) na camada 15-20 cm, pH ($F = 8,43$, $P = 0,0143$) na camada 20-40 cm, pH ($F = 13,28$, $P = 0,0047$) na camada 40-60 cm, Ca ($F = 9,32$, $P = 0,0112$) na camada 10-15 cm, Ca ($F = 5,21$, $P = 0,0415$) na camada 15-20 cm, Ca ($F = 5,1$, $P = 0,0434$) na camada 40-60 cm, Mg ($F = 13,31$, $P = 0,0046$) na camada 0-5 cm, CTCe ($F = 21,85$, $P = 0,0012$) na camada 5-10 cm, SB ($F = 23,43$, $P = 0,0010$) na camada 5-10 cm, CaCTCe ($F = 25,55$, $P = 0,0008$) na camada 0-5 cm, MgCTCe ($F = 32,97$, $P = 0,0004$) na camada 0-5 cm, MgCTCe ($F = 12,99$, $P = 0,0049$) na camada 5-10 cm, MgCTCe ($F = 58,34$, $P = 0,0001$) na camada 40-60 cm, V% ($F = 5,26$, $P = 0,0408$) na camada 0-5 cm, V% ($F = 7,62$, $P = 0,0180$) na camada 5-10 cm, V% ($F = 57,14$, $P = 0,0001$) na camada 15-20 cm, V% ($F = 15,69$, $P = 0,0030$) na camada 40-60 cm, m% ($F = 30,27$, $P = 0,0005$) na camada 0-5 cm, m% ($F = 36,89$, $P = 0,0003$) na camada 5-10 cm, m% ($F = 235,2$, $P < 0,001$) na camada 10-15 cm, m% ($F = 117,33$, $P < 0,001$) na camada 15-20 cm, m% ($F = 60,07$, $P = 0,0001$) na camada 20-40 cm, m% ($F = 23,95$, $P = 0,0010$) na camada 40-60 cm (Tabela 9).

A entrada de C a partir das raízes do milho pode compensar a decomposição da MOS original (ZHANG et al. 2015). Todavia, a influência das árvores na elevação dos teores de MOS, devido a deposição contínua da biomassa que se decompõem e promovem a reciclagem de nutrientes removidos das camadas mais profundas (CASTRO; PACIULLO, 2006; MACEDO et al., 2010) pode ser observado aos 30 meses da camada 5-10 até a camada 15-20 cm. Do mesmo modo, Baber et al. (2006) verificaram que a porcentagem de MOS foi maior a uma distância de 5 m das árvores em um SIPA (1,10%) na camada de 0-15 cm. Incrementos no teor de C orgânico foram observados ao longo dos 30 meses de experimentação.

Maior pH CaCl_2 foi observado nos transectos 4, 3 e 4 nas camadas 10-15 cm, 15-20 cm e 40-60 cm respectivamente (Tabela 9). Todavia, estes valores ainda representam elevada acidez ($< 4,3$) segundo Tomé Junior (1997). Resultado semelhante foi observado por Baber et al. (2006), menor acidez na camada de 15-45 cm a 15 e 20 m de distância do renque de árvores.

Foi possível verificar aumento da saturação por Al no transecto 1, próximo ao componente arbóreo em todas as profundidades (Tabela 9). Possivelmente, a liberação de ácidos orgânicos das raízes do eucalipto e a consequente mudança de pH resultou no acréscimo da atividade do Al (SOUSA et al., 2007). A alta mobilidade do Al no perfil pode ter favorecido o aumento do m% no perfil, o qual acima de 45% é altamente prejudicial ao desenvolvimento das culturas (OSAKI, 1991).

Dentre os nutrientes, o Ca geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos, que são típicos do território brasileiro (VITTI et al., 2006; SALVADOR et al., 2011). Vitti et al. (2006) apontam o Ca com maior preferência em relação ao Mg no complexo de troca, devido principalmente à sua valência e raio iônico hidratado, sendo um cátion dominante na maioria dos solos (BARBER, 1984). Em função disso, o padrão de lixiviação de Ca e Mg no perfil só pode ser observado até a camada 10-15 cm, embora a maior concentração permaneceu nas camadas superficiais (Tabela 9). Por outro lado, o Ca e Mg são frequentemente encontrados na superfície da raiz (MARSCHNER, 2012).

A lixiviação de Ca em solos ácidos (SOUSA et al. 2007) geralmente é baixa, e este baixo nível pode afetar o crescimento radicular (BARBER, 1984). A maior concentração de Ca observado nos transectos 4, 3 e 4 nas camadas 10-15 cm, 15-20 cm e 40-60 cm respectivamente, pode estar associada a menor acidez, representado tanto pelo pH CaCl_2 como pelo m%.

Tabela 9: Concentrações médias dos atributos químicos do solo em camadas distintas, 30 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total

Camada	Variação	C	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	CTCe	SB	KCTCe	CaCTCe	MgCTCe	V	m
cm		g dm ⁻³				mmolc dm ⁻³						%		
A: 0-5	Trans 1	23,06	4,26	27,09	30,58 b	1,24	161,87	66,80	58,91	1,85	40,66 ab	45,63 b	36,37 b	11,86 a
	Trans 2	23,06	4,23	27,10	29,91 b	1,25	158,41	66,30	58,26	1,89	41,08 a	44,93 b	36,82 ab	12,11 a
	Trans 3	24,24	4,33	25,72	36,98 a	1,27	164,23	69,76	63,96	1,83	37,19 c	53,06 a	38,95 ab	7,92 b
	Trans 4	24,12	4,32	28,56	39,27 a	1,28	170,65	74,11	69,11	1,75	39,01 b	52,53 a	40,47 a	6,72 b
	CV%	6,66	3,29	14,18	22,04	10,33	5,82	9,69	10,81	12,48	16,80	15,10	7,31	41,57
B: 5-10	Trans 1	24,06 a	4,44	35,90	33,53	0,77	162,73	78,72 b	70,21 b	1,00	47,23	40,43	42,81 b	11,34 a
	Trans 2	22,66 b	4,51	38,76	35,16	0,73	151,29	77,73 b	74,65 b	0,93	50,08	45,02	49,36 ab	3,97 b
	Trans 3	22,90 b	4,64	41,23	41,22	0,70	162,55	88,42 a	83,15 a	0,79	46,67	46,65	51,52 a	5,88 b
	Trans 4	24,19 a	4,57	39,26	44,71	0,78	163,35	88,91 a	84,75 a	0,90	44,88	49,38	51,82 a	4,84 b
	CV%	8,06	4,65	15,75	32,81	42,14	8,6	13,39	15,24	41,81	18,57	23,33	13,10	63,67
C: 10-15	Trans 1	19,83 a	4,41	39,88 b	41,10	0,56	165,96	95,94	81,53	0,58	41,66	42,66	49,48	15,11 a
	Trans 2	17,57 c	4,46	42,95 ab	45,06	0,60	163,80	93,29	88,61	0,64	46,29	48,06	54,30	5,01 b
	Trans 3	18,47 b	4,59	44,33 ab	43,13	0,44	174,41	92,53	87,89	0,49	48,16	46,44	50,57	4,92 b
	Trans 4	18,67 b	4,50	48,42 a	53,02	0,70	190,57	106,98	102,14	0,76	50,51	43,40	51,66	5,34 b
	CV%	9,81	4,21	13,58	64,19	54,62	18,23	28,60	32,04	55,69	18,84	20,85	12,29	66,84
D: 15-20	Trans 1	17,63 a	4,04 b	19,64 b	39,02	0,48	161,70	75,21	59,14	0,65	26,31	51,58	36,58 c	21,46 a
	Trans 2	16,53 c	4,23 ab	19,79 ab	37,88	0,51	142,13	70,26	58,17	0,73	28,32	53,67	41,23 b	17,27 b
	Trans 3	17,21 ab	4,37 a	24,83 a	40,17	0,57	140,86	73,30	65,57	0,79	34,17	54,57	46,86 a	10,47 d
	Trans 4	16,88 bc	4,21 ab	21,23 ab	48,36	0,56	157,34	81,33	70,15	0,70	26,71	58,39	44,33 a	14,19 c
	CV%	8,79	5,32	23,56	27,02	57,47	12,00	14,41	18,32	57,23	25,90	13,69	15,56	37,63
E: 20-40	Trans 1	17,46 b	3,93 b	9,06	20,01	0,39	129,53	43,98	29,46	0,91	20,64	45,27	22,82	33,18 a
	Trans 2	17,65 b	4,08 ab	9,11	23,43	0,43	137,71	46,72	32,97	0,95	19,68	50,12	23,98	29,26 b
	Trans 3	17,58 b	4,16 a	8,92	23,60	0,67	136,28	43,43	33,18	1,54	20,72	54,52	24,66	23,22 c
	Trans 4	18,63 a	4,11 a	9,16	32,79	0,71	148,36	55,25	42,65	1,49	18,71	54,24	27,07	25,56 c
	CV%	8,79	3,14	27,51	63,00	73,30	15,61	32,45	44,76	72,64	31,07	16,54	20,27	24,22
F: 40-60	Trans 1	16,71	4,06 b	6,06 b	12,44	0,88	122,69	31,53	19,38	2,79	20,40	37,42 b	15,67 c	39,39 a
	Trans 2	17,72	4,08 b	7,02 ab	14,06	0,92	120,79	34,14	21,99	2,75	20,49	40,81 b	18,19 bc	35,95 a
	Trans 3	17,66	4,22 a	6,51 ab	18,23	0,86	117,67	34,01	25,60	2,65	19,61	51,60 a	21,60 ab	26,15 b
	Trans 4	17,72	4,14 ab	7,63 a	22,45	0,93	136,76	41,80	31,00	2,45	20,12	49,45 a	21,89 a	27,97 b
	CV%	8,12	2,45	19,54	61,69	31,01	11,24	28,71	42,00	38,58	25,01	27,06	28,61	26,09

Transformações realizadas: COSR(C_A); DIFF(pH_C); COSR(Mg_B); COSR(Mg_C); COSR(Mg_D); COSR(Mg_E); COSR(Mg_F); 1/K_E; COSR(SB_A); COSR(SB_C); COSR(SB_D); COSR(SB_E); COSR(SB_F); CORS(CTC_C); CORS(CTC_E); CORS(CTC_F); CORS(CTCe_C); CORS(CTCe_E); CORS(CTCe_F); Log(KCTCe_E); COSR(MgCTCe_E); COSR(V%_E). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Entre cada camada, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$

A lixiviação de Ca e Mg no perfil verificada nos transectos, aos 30 meses, efeito indireto da acidez do solo (SOUSA et al., 2007), repercutiu na redução dos teores de SB, CTC, CTCe e V%. No geral, maiores concentrações de bases trocáveis foram observadas na superfície (0-5 e 5-10 cm), uma vez que o K é altamente reciclável e se acumula na superfície (ANGHINONI, 2007). Essa é uma característica comum de SPD consolidado, como no presente caso, que acontece paralelamente ao gradiente decrescente de C orgânico (VYN et al., 2002). Esse gradiente ocorre principalmente em função da aplicação superficial do fertilizante, do não revolvimento do solo, manutenção da palhada (milho e soja) na superfície, da quantidade de água que percola no perfil e da concentração do nutriente na solução do solo (ERNANI et al., 2007; FERREIRA et al., 2009).

Ainda, as concentrações de Ca, Mg e K situaram-se dentro da faixa de nível médio entre 15 – 40 mmol_c dm⁻³ de Ca até a camada 15-20 cm e nível baixo para 20-60 cm; nível alto para todas as profundidades (> 10 mmol_c dm⁻³) para o Mg e nível baixo para K em todas as profundidades (< 1,54 mmol_c dm⁻³) (MALAVOLTA et al., 1997; CQFSRS/SC, 2004). Cabe salientar que a maior concentração de Mg em todo perfil foi observado em relação às demais coletas. Além disso, não era esperado maior concentração de Mg do que Ca, uma vez que o Ca domina o complexo de troca, pelo menor raio iônico hidratado (BARBER, 1984; VITTI et al., 2006). Diante disso, maior saturação por bases foram observados nos transectos 3 nas camadas de 0-5 cm e 40-60 cm e nos transectos 3 e 4 nas camadas de 5-10 cm e 15-20 cm respectivamente (Tabela 9). Cabe salientar, que o V% encontrava-se na faixa de muito baixo a baixo (< 45 % e 45-64 % respectivamente) (CQFSRS/SC, 2004).

A lixiviação de K foi observada aos 30 meses, até 60 cm de profundidade. A alta concentração, provocada por grandes quantidades de adubo (em torno de 100 kg ha⁻¹ de K₂O), distribuídas em pequeno volume de solo, favorece as perdas por lixiviação principalmente em solos com baixa CTC, com texturas arenosas (BORKERT et al., 1994; ALFARO et al., 2004; GARCIA et al., 2008). Este efeito no entanto, não foi observado aos 6 e 12 meses, possivelmente pela alta capacidade de reciclagem de K pelas gramíneas (SANTI et al., 2003). Cabe salientar a importância da aplicação a lanço e parcelada de fertilizantes potássicos a fim de evitar esse processo em SPD (VYN et al., 2002).

Menor saturação de Ca na CTCe, aos 30 meses, foi observado em relação aos 12 meses. Foi possível observar maior CaCTCe (41,08%) no transecto 2 apenas para a camada superficial (0-5 cm). Em contrapartida, maior saturação do Mg na CTCe nos transectos 3 e 4 a 0-5 cm de profundidade pode ser confirmada pela maior concentração

de Mg trocável nestas camadas e menor saturação de CaCTCe. Vitti et al. (2006) afirmam que geralmente os solos contêm de 4 a 20% da CTC com Mg, consideravelmente menor do que para o Ca (30 - 45%).

O acréscimo no C provenientes do manejo conservacionista (SPD) resultam no aumento da CTC, que implica em maior retenção e concentração de cátions (FERREIRA et al., 2009; SILVA, MENDONÇA, 2007). No entanto, apenas a saturação de Ca na CTCe está dentro da faixa adequada. A saturação de Mg na CTCe está acima da faixa adequada em relação à saturação de KCTCe aos 30 meses, em razão da maior concentração de Mg em relação ao K. Neste sentido, Fageria (2001) verificou para o milho, saturação de K, Ca e Mg na CTC potencial de 2,6%, 43% e 18% respectivamente.

Efeito das doses de K foi observado para o m% ($F = 37,48$, $P < 0,001$) na camada de 5-10 cm, V% ($F = 4,71$, $P = 0,0135$) na camada de 15-20 cm, Ca ($F = 7,08$, $P = 0,0024$) e m% ($F = 11,12$, $P = 0,0002$) na camada de 20-40 cm.

A aplicação das doses de K não influenciaram o pH; por outro lado, aumentou o m% aos 30 meses, ajustando-se ao modelo quadrático ($y = -1E-05x^2 + 0,0212x + 3,7206$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0232$) e ao modelo linear ($y = 0,0315x + 23,074$, $R^2 = 0,97$, $P = 0,0142$) na camada de 5-10 cm e 20-40 cm respectivamente. A adição de altas doses de K implicam no deslocamento do Al do complexo sortivo para a solução. Uma vez na solução, o processo de hidrólise do Al evolui, liberando prótons com o aumento do pH (SOUSA et al., 2007).

A equação quadrática ajustada para o V% na camada 15-20 cm aos 30 meses ($y = 0,0002x^2 - 0,0552x + 44,201$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,05$), indicou que as maiores respostas foram encontradas na maior dose ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Por outro lado, redução linear ($y = -0,0056x + 9,9041$, $R^2 = 0,92$, $P = 0,0408$) de Ca na camada 20-40 cm com doses crescentes de K retrata a inibição competitiva do Ca na presença de K, mas que pode ser desfeita, aumentando-se a concentração de Ca (MALAVOLTA et al., 1997).

As aplicações de $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O não foram suficientes para elevar o K trocável até a camada 0-20 cm, que ficou com teores abaixo de $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o qual é um valor baixo conforme Malavolta et al. (1997). Borkert et al. (1997) observou no transcorrer de dez anos de cultivo de soja, a necessidade de aplicar de 80 a 150 kg ha^{-1} de K_2O , anualmente, para evitar o esgotamento das reservas de K no solo. Malavolta et al., (1997) reforçam a atenção da adubação potássica em solos arenosos, originados da Formação Ponta Grossa e Furnas que abrangem a região dos Campos Gerais, com baixa

reserva, evidenciando a maior pobreza em minerais primários, fontes dos nutrientes (ALVES et al., 2013), no qual o efeito residual é desprezível.

O manejo da fertilidade do solo visando a aplicação de K foram feitas com adubações fixas, o que pode ter causado um balanço negativo em função das quantidades extraídas pela forragem da aveia branca como observado aos 30 meses. Logo, após 30 meses de experimentação, possivelmente mudanças no âmbito químico do solo que repercutem na nutrição das plantas sob SIPA estejam ocorrendo. O K não trocável pode a curto, médio e longo prazo estar disponível para as plantas, principalmente em solos intemperizados como os brasileiros (MEURER, 2006). Além disso, diversos autores (TORNQUIST et al., 1999; NEUPANE; THAPA; 2001) também observaram que a melhoria na fertilidade do solo em SIPA é lenta, podendo levar anos para incrementos significativos.

Cabe salientar que Neupane & Thapa (2001) mencionam razões para o declínio da fertilidade em SIPA: o aumento da intensidade de cultivo e uso de fertilizantes químicos; declínio das quantidades de forragem e serapilheira; remoção de resíduos de culturas para alimentar o gado reduzindo a reciclagem de nutrientes e uso de variedades de alto rendimento de extração nutrientes dos solos. Diante disso, Vanhove et al., (2016) observaram que o sombreamento sobre a produção de cacau foi, provavelmente relacionada com a criação de um ambiente que melhora a fisiologia da produção e reduz a pressão de pragas e doenças, ao invés da melhoria da qualidade do solo, como consequência da consorciação com árvores.

3.3.2 Cultura de aveia branca

3.3.2.1 Concentrações e acúmulo dos nutrientes na aveia branca em 2013

Foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para acúmulo de Mg ($F = 3,18$; $P = 0,0176$) na parte aérea da aveia branca (Tabela 10). Houve efeito dos transectos na concentração de P ($F = 10,52$; $P = 0,0084$) e S ($F = 5,49$; $P = 0,0372$), assim como para o acúmulo de P ($F = 6,44$; $P = 0,0264$), K ($F = 6,21$; $P = 0,0286$) e Mg ($F = 9,55$; $P = 0,0106$) na parte aérea da cultura (Tabela 11).

As doses de K alteraram os teores foliares de K ($F = 10,51$; $P = 0,0003$), Ca ($F = 6,55$; $P = 0,0035$), Mg ($F = 13,25$; $P = 0,0001$) e S ($F = 3,99$; $P = 0,0243$) da aveia branca;

quanto ao acúmulo na parte aérea, as doses de K influenciaram apenas o acúmulo deste nutriente ($F = 11,47$; $P = 0,0002$) (Tabela 12).

Tabela 10: Equações de regressão e nível de significância da interação do fator principal (transectos, isto é, distância das árvores) e secundário (doses de K) para os atributos da aveia branca no período de 2013 e 2014 após aplicação das doses de K_2O

Interação Transecto x dose						
Atributos	Transecto ⁽¹⁾	Unidade	Período	Equação	R ²	P
Mg	1	kg kg ⁻¹	2013	$\hat{y} = \bar{y} = 4,11$	-	NS ⁽²⁾
	2			$\hat{y} = \bar{y} = 3,96$	-	NS
	3			$\hat{y} = \bar{y} = 5,20$	-	NS
	4			$\hat{y} = \bar{y} = 6,65$	-	NS
P	1	g kg ⁻¹	2014	$y = -0,006x + 9,846$	0,96	0,0190
	2			$\hat{y} = \bar{y} = 8,76$	-	NS
	3			$\hat{y} = \bar{y} = 9,04$	-	NS
	4			$\hat{y} = \bar{y} = 9,07$	-	NS
S	1	g kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 2,08$	-	NS
	2			$\hat{y} = \bar{y} = 2,05$	-	NS
	3			$\hat{y} = \bar{y} = 2,11$	-	NS
	4			$\hat{y} = \bar{y} = 2,05$	-	NS

⁽¹⁾ Transecto 1 = 0 – 4 m; transecto 2 = 4 – 8 m; transecto 3 = 8 – 12 m; transecto 4 = 12-16 m de distância). ⁽²⁾ Não significativo

De forma geral, as quantidades acumuladas dos macronutrientes na parte aérea da aveia branca foram elevadas. Isso pode ser atribuído, em parte, à alta capacidade de extração dessa cultura. As plantas geralmente respondem às condições ambientais subótimas por meio de redução na taxa de crescimento e alterações na alocação de nutrientes para diminuir a limitação do crescimento causada por determinado fator individual (GOBBI et al., 2009), portanto, diferenças nutricionais já seriam esperadas sob condições de restrição de radiação crescente.

A concentração e o acúmulo de N em 2013 não foram influenciados pelos fatores principais e secundários, contudo, se encontram dentro da faixa de 20-30 g kg⁻¹ e 17 kg ha⁻¹ para 1 t MS respectivamente (CANTARELLA et al., 1997; MALAVOLTA et al., 1997). A recomendação para aplicação de N em cobertura tem relação com o processo de perfilhamento, afetando a emissão e sobrevivência dos perfilhos (MUNDSTOCK; BREDEMEIER, 2001). Desse modo, a adubação de base (14:34:00) e a aplicação de ureia (120 kg ha⁻¹ de N) em cobertura (sem parcelamento) realizada no início do perfilhamento possivelmente tenha afetado a densidade de perfilhos, influenciando a taxa de acúmulo (MOREIRA et al., 2015) e o RMS (CARRIEL et al., 1984; PRIMAVESI et al., 2002; SANTI et al., 2003; SILVEIRA et al., 2012; DEISS et al., 2014).

Maiores concentrações observadas para P e S em 2013 nos transectos 1 e 2 não refletiram em maiores acúmulos no mesmo período (Tabela 11). Além disso, o acúmulo

Tabela 11: Concentração e acúmulo dos macronutrientes avaliados para a aveia durante os 30 meses de experimentação, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total

Aveia 2013							Aveia 2014							RMS (kg ha ⁻¹)	Altura (cm)
Variação	Concentração na parte aérea (g kg ⁻¹)														
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	Ano de 2013		
Transecto 1	26,85 a	3,56 a	35,53 a	2,57 a	2,60 a	1,67 ab	27,85 a	8,95 a	39,53 a	1,83 a	1,49 a	2,08 a	1609,06 a	68,29 a	
Transecto 2	22,94 a	3,24 ab	35,28 a	2,74 a	2,64 a	1,82 a	27,50 a	8,76 a	38,82 a	1,93 a	2,21 a	2,06 a	1530,57 a	66,90 a	
Transecto 3	28,45 a	2,93 b	35,58 a	2,54 a	2,61 a	1,58 ab	27,30 a	9,04 a	39,11 a	1,80 a	3,46 a	2,11 a	2035,51 a	72,33 a	
Transecto 4	23,63 a	2,90 b	34,26 a	2,38 a	2,52 a	1,47 b	27,52 a	9,07 a	39,11 a	1,97 a	3,41 a	2,05 a	2668,04 a	73,67 a	
CV (%)	30,74	20,41	21,86	27,06	25,46	25,36	6,73	11,80	8,07	17,08	17,03	13,25	30,23	7,75	
Acúmulo total da parte aérea (kg kg ⁻¹)															
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	Ano de 2014		
Transecto 1	43,20 a	5,71 ab	56,99 b	4,07 a	4,11 b	2,63 a	27,57 c	8,60 c	35,27 c	1,87 b	1,49 b	2,02 c	986,42 c	46,94 a	
Transecto 2	34,22 a	4,94 b	53,93 b	4,17 a	3,96 b	2,70 a	40,85 bc	13,05 bc	57,19 b	2,91 ab	2,21 ab	3,01 bc	1479,75 bc	50,57 a	
Transecto 3	57,79 a	5,92 ab	73,93 ab	5,10 a	5,20 ab	3,18 a	60,57 a	20,36 a	86,56 a	3,97 a	3,46 a	4,70 a	2218,83 a	50,25 a	
Transecto 4	62,82 a	7,68 a	92,35 a	6,25 a	6,65 a	3,95 a	57,06 ab	18,50 ab	81,85 a	4,09 a	3,41 a	4,22 ab	2077,42 ab	52,69 a	
CV (%)	39,87	29,30	40,40	34,94	33,57	34,15	41,74	44,00	42,63	44,57	46,28	43,47	41,21	7,65	

Transformações realizadas: COSR(N g kg⁻¹); COSR(N kg kg⁻¹); 1/Ca(kg kg⁻¹); COSR(Mg) (kg kg⁻¹); DIFF(S) (kg kg⁻¹) e COSR(RMS) (kg ha⁻¹) em 2013; DIFF(Mg) (g kg⁻¹); COSR(altura) em 2014. NS – não significativo; * - $p < 0.05$. Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se aos valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Entre cada transecto, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

(2 kg kg⁻¹ para P e 1 kg kg⁻¹ para S para cada t MS) e a concentração (2 a 5 g kg⁻¹ para P e 1,5 a 4 g kg⁻¹ para S) desses nutrientes estão dentro da faixa de acordo com Cantarella et al., (1997) e Malavolta et al. (1997).

No geral, as concentrações verificadas na parte aérea são suficientes para Ca (2,5 a 5 g kg⁻¹) e Mg (1,5 a 5 g kg⁻¹). Com relação ao K, observou-se maiores concentrações (15-30 g kg⁻¹) (Tabela 11), possivelmente pelo consumo de luxo (CANTARELLA et al., 1997). Apenas para o Mg e K, maiores acúmulos foram observados nos transectos 3 e 4.

Tabela 12: Equações de regressão e nível de significância dos atributos da aveia branca para as doses de K nos períodos de 2013 e 2014 após aplicação das doses de K₂O

Atributos	Unidade	Período	Equação	R ²	P
K	g kg ⁻¹	2013	$\hat{y} = \bar{y} = 35,16$	-	NS ⁽¹⁾
Ca	g kg ⁻¹	2013	$y = -0,0038x + 3,1202$	0,95	0,0272
Mg	g kg ⁻¹	2013	$y = -0,0039x + 3,1747$	0,93	0,0356
S	g kg ⁻¹	2013	$\hat{y} = \bar{y} = 1,63$	-	NS
P	g kg ⁻¹	2014	$y = -0,0036x + 9,5018$	0,93	0,0355
K	g kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 39,14$	-	NS
Ca	g kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 1,88$	-	NS
S	g kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 2,07$	-	NS
RMS	kg ha ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 1690,60$	-	NS
K	kg kg ⁻¹	2013	$\hat{y} = \bar{y} = 69,30$	-	NS
N	kg kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 46,51$	-	NS
P	kg kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 15,12$	-	NS
K	kg kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 65,22$	-	NS
Ca	kg kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 3,21$	-	NS
Mg	kg kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 2,64$	-	NS
S	kg kg ⁻¹	2014	$\hat{y} = \bar{y} = 3,49$	-	NS

(1) Não significativo

Observou-se efeito linear negativo das doses de K na concentração de Ca ($R^2 = 0,95$, $P = 0,0272$) e Mg ($R^2 = 0,93$, $P = 0,0356$) em 2013 (Tabela 12). Era esperado uma forte competição entre esses cátions, uma vez que altas doses de K foram adotadas. A inibição competitiva do K para com Ca e Mg é largamente descrita na literatura (BARBER, 1984; TUMA et al., 2004; MALAVOLTA et al., 1997; MARSCHNER, 2012). A partir disso, era esperado uma redução abrupta nos teores de Ca e principalmente de Mg, devido ao maior raio iônico hidratado do Mg em relação ao Ca, porém este efeito não foi observado. Por outro lado, o acúmulo de Ca e Mg estão dentro da faixa de suficiência apontada por Malavolta et al. (1997) (Ca 5 kg kg⁻¹ e Mg 3 kg kg⁻¹ para 1 ton MS). Aliado a isso, com menor CTCR (CTC radicular) particularmente em gramíneas, há tendência de favorecimento na absorção de cátions monovalentes, o que pode resultar em alteração nas concentrações de cátions divalentes (FERNANDES; SOUZA, 2006).

Pequena resposta a adubação potássica foi verificada em ambos os períodos de avaliação (Tabela 12), indicando a eficiência da cultura na extração e ciclagem de K do solo (BORKERT et al., 2003). Além disso, sua alta produção de matéria seca faz com que haja alta demanda de nutrientes, especialmente de K (FERREIRA et al., 2009). Possivelmente, a maior absorção e o acúmulo de luxo de K em ambos períodos esteja prevalecendo, sem incrementos ou redução no RMS. Do mesmo modo, Borkert et al. (2003) verificaram que tanto o K como o N são os nutrientes mais acumulados na aveia preta.

3.3.2.2 Concentrações e acúmulo dos nutrientes na aveia branca em 2014

Foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses de K_2O) para as concentrações foliares de P ($F = 5,99$; $P = 0,0006$) e S ($F = 3,18$; $P = 0,0175$), no ano de 2014 (Tabela 10). Foram observadas alterações no acúmulo de todos os nutrientes avaliados devido os transectos, N ($F = 16,04$; $P = 0,0029$), P ($F = 19,51$; $P = 0,0017$), K ($F = 35,86$; $P = 0,0003$), Ca ($F = 9,11$; $P = 0,0119$), Mg ($F = 10,01$; $P = 0,0095$) e S ($F = 20,48$; $P = 0,0015$) (Tabela 11). Todavia, não foram observados efeito dos transectos nos teores foliares de todos os nutrientes avaliados em 2014.

O efeito das doses de K repercutiu na concentração de P ($F = 8,48$; $P = 0,0010$), K ($F = 3,77$; $P = 0,0293$), Ca ($F = 3,49$; $P = 0,0374$) e S ($F = 3,97$; $P = 0,0247$) em 2014. Ainda, o acúmulo na parte aérea de N ($F = 9,01$; $P = 0,0007$), P ($F = 5,33$; $P = 0,0084$), K ($F = 10,51$; $P = 0,0003$), Ca ($F = 5,41$; $P = 0,0078$), Mg ($F = 7,36$; $P = 0,0020$) e S ($F = 8,11$; $P = 0,0013$) também foram influenciados pelas doses de K (Tabela 12).

O maior acúmulo dos macronutrientes ocorreram nos transectos 3 e 4, ao passo que as concentrações dos mesmos não apresentaram diferenças (Tabela 11). As concentrações foliares dos nutrientes avaliados se assemelham aos valores observados por Primavesi et al., (2000). Possivelmente, estes resultados podem ter relação com a menor restrição de radiação no outono e inverno de 2014, nos transectos 3 e 4, quando comparado com os transectos 1 e 2 (Tabela 6).

O acúmulo de N e P na aveia branca reduziu na medida em que a restrição de radiação aumentou (Tabela 11). Tal resultado difere dos resultados observados por Castro et al. (1999) com gramíneas forrageiras tropicais. Garcez Neto et al. (2010) verificaram aumento no acúmulo de N no azevém perene decorrente do aumento da restrição de radiação, possivelmente, pelo aumento na área foliar.

O acúmulo de N está de acordo com a faixa de suficiência encontrados por Malavolta et al. (1997), 17 kg ha^{-1} para 1 t MS. Cabe salientar que a aveia preta tem alto potencial de absorção e acumulação de N (147 kg ha^{-1}) (HEINZMANN, 1985). Por outro lado, o acúmulo de P observados em 2014 estão acima da faixa sugerida por Malavolta et al., (1997), 2 kg ha^{-1} por t MS.

No geral, os menores acúmulos de Ca e Mg foram observados nos transectos em 2014. Contudo, os transectos menos sombreados repercutiram em maior acúmulo de Ca e Mg (Tabela 13). Além disso, altas concentrações de K observadas nos transectos pode ter contribuído para redução da concentração de Ca, não alcançando a faixa de suficiência, isto é, entre 2,5 a 5 g kg^{-1} (CANTARELLA et al., 1997).

Por outro lado, as doses de K diminuíram linearmente as concentrações de P ($y = -0,0036x + 9,5018$, $R^2 = 0,93$, $P = 0,0355$), assim como para a concentração de P na interação ($y = -0,006x + 9,846$, transecto 1, $R^2 = 0,96$, $P = 0,0190$) no mesmo período (Tabelas 12 e 10 respectivamente). Cabe salientar que interações sinérgicas ou antagônica entre K e P não foram observadas na literatura (ROSOLEM, 2005).

Era esperado efeito de doses de K nos teores e acúmulos de K, contudo, não foi observado nos dois anos de avaliação (Tabela 12). Assim, a aplicação de K ocasionou, nos dois anos com o cultivo da aveia, ausência ou pouca influência na quantidade dos macronutrientes acumulados na parte aérea.

O menor RMS ($986,42 \text{ kg ha}^{-1}$) no transecto 1 em 2014 pode ser atribuído ao menor acúmulo dos macronutrientes quando comparado ao ano de 2013, já que no primeiro ano de avaliação não foram observadas diferenças entre os transectos. Primavesi et al. (2000) relatam que a produção da aveia é grandemente afetada pela disponibilidade em K e N.

Efeito diluição pode ser observado para a aveia/2014 no transecto 3 (Tabela 11), uma vez que os macronutrientes móveis no floema (N, P, K) foram maiores nesta faixa ($P < 0,05$), ou seja, a medida que a forrageira avança em idade e altura, há uma diluição dos nutrientes na massa seca da planta. No entanto, dentre os macronutrientes estudados, o K foi, quantitativamente, o mais acumulado pela aveia, obtendo 92,35 no transecto 4 e $86,56 \text{ kg kg}^{-1}$ no transecto 3, em 2013 e 2014 respectivamente, corroborando com Santi et al. (2003).

Quantitativamente, a ordem decrescente do acúmulo de nutrientes para o transecto 4, que apresentou maior RMS em 2013, foi: $K < N < P < Mg < Ca < S$, e em 2014 para o transecto 3, que apresentou maior RMS, foi a seguinte: $K > N > P > S < Ca < Mg$.

Os resultados sugerem que a produção de aveia branca (2014) sob resíduo de soja (2013/14) proporcionou incremento na produção de massa seca da cultura subsequente. Possivelmente por disponibilizar prontamente os nutrientes, devido à rápida decomposição dos resíduos e a baixa relação C:N (TORRES et al., 2005).

Portanto, o efeito residual da adubação potássica na aveia branca sobre a soja e o milho está associado ao K acumulado na forrageira, uma vez que o K trocável não teve efeito com as adubações potássicas, corroborando com os resultados de Simonete et al. (2002), para a cultura do azevém anual. Estes autores afirmam que como o K é facilmente lixiviável dos tecidos foliares, e poderia haver resposta a adubação potássica em solos deficientes em K, uma vez que este nutriente acumulado na parte aérea contribuiu com 56% do adubo para nutrir, de forma adequada, o arroz.

3.3.2.3 Rendimento da aveia branca em 2013 e 2014

Diversos fatores ambientais podem alterar a produção e a qualidade da forragem, dentre eles pode-se citar a RFA e a disponibilidade de água e nutrientes (CALONEGO et al., 2011; CASTRO et al., 2012). O RMS foi influenciado pelos transectos ($F = 16,96$; $P = 0,0025$) (Tabela 11) e pelas doses de K ($F = 7,55$; $P = 0,0018$), apenas em 2014 (Tabela 12).

O RMS foi menor em 2014, comparado à 2013, provavelmente devido ao aumento da restrição de radiação em 2014 (Out/13 com 67,47%; Inv/13 com 68,8 %, Out/14 com 88,82% e Inv/14 com 74,04% de sombra). Portanto, a restrição de radiação acima de 70% afetaram negativamente a forrageira. Além disso, tanto em 2013 quanto em 2014 só foi possível obter um único corte, comprovando comportamento mais tardio ou dificuldades no estabelecimento inicial (MACHADO, 2001; TAFERNABERRI JUNIOR et al., 2012).

Apesar de, em geral, a restrição de radiação ter maior efeito em espécies C_4 do que em espécies C_3 (KEPHART et al., 1992), com base nos resultados aqui obtidos, observa-se um alto impacto da restrição de radiação, pois a espécie tem potencial de produzir a pleno sol entre 5-8 t MS ha^{-1} (ASSMANN et al., 2008; FONTANELI et al., 2012). O cultivar IPR 126 pode obter um rendimento acumulativo de até 7936 kg ha^{-1} de MS com 6 cortes (SILVA et al., 2014), 9391 kg ha^{-1} de MS em 8 cortes (FERRAZZA et al., 2013) e 8337 kg ha^{-1} de MS com 9 cortes (PRIMAVESI et al., 2005).

Barro et al. (2008) avaliaram o efeito da restrição de radiação sobre o rendimento de azevém anual, aveia preta e aveia branca e verificaram que a restrição moderada (44%) reduziu em 57% o rendimento médio de forragem dos três genótipos avaliados. Do mesmo modo, Kirchner et al. (2010) observaram redução da produção e da qualidade de aveia branca com 60% de restrição de luz.

Os baixos rendimentos da aveia branca podem ser atribuídos aos seguintes fatores: (i) temperatura média de 15,4 e 16,5 °C em 2013 e 2014, respectivamente, durante todo o ciclo, visto que a aveia exige temperaturas mais moderadas (CASTRO et al., 2012); (ii) umidade relativa (79% em ambos os anos), pouco acima do que se considera ideal para associar a uma boa produtividade (70%) (CASTRO et al., 2012); (iii) hábito de crescimento prostrado com sombreamento das folhas mais velhas localizadas na base da planta o que facilita o estiolamento e o tombamento (SILVA et al., 2014); (iv) acidez do solo (MACHADO, 2000; FONTANELI et al., 2012); e, principalmente, (v) restrição de radiação excessiva (68,80 % de sombra para o Inv/13 e 72,04 % de sombra para Inv/14).

O efeito da restrição de radiação no rendimento da forragem é relativo à radiação recebida e a duração do dia (fotoperíodo). A cultura de aveia branca, como os demais cereais de inverno são plantas de dias longos, dependente do fotoperíodo e da temperatura, requerendo dias com mais de 12 horas de luz para crescimento e florescimento (CASTRO et al., 2012). A restrição de radiação pode ter interferido negativamente na produção de perfilhos, que é diretamente proporcional a produção de massa seca (PACIULLO et al., 2007, MARTUSCELLO et al., 2009; PACIULLO et al., 2011). De fato, com a restrição da RFA provocada pela sombra, as taxas fotossintéticas são reduzidas, o que confirma os menores RMS em 2014 para os transectos 1 e 2 com 79,54 e 77,63 % de sombra respectivamente (Tabela 11).

Embora folhas de sombra apresentem maior tamanho do cloroplasto, maior conteúdo de clorofila por cloroplasto e mais tilacóides por granum (LARCHER, 2000), o crescimento forrageiro em ambientes sombreados comumente com mais água, são mais suculentas (perdem menos água) e tem menor massa seca devido seu desenvolvimento mais lento (CASTRO et al., 1999; GARCIA et al., 2010). Estas condições podem ser aqui atribuídas, uma vez que baixo RMS em 2013 (1609,06 kg ha⁻¹) e ainda menores em 2014 (986,46 kg ha⁻¹) foram observados com porcentagens crescentes de restrição de RFA (transecto 1 = 75,92 % sombra em 2013 e 79,54% em 2014).

O aumento da massa de forragem está associado ao aumento da relação folha:colmo, redução da porcentagem de material em senescência, como resultado de maiores RFA, assim como menor ângulo foliar (MESQUITA et al., 2010), ou seja, o manejo da altura da aveia tem relação direta com o RMS que, pode ser variável conforme a restrição de radiação. No entanto, a restrição crescente não interferiu na altura média da aveia nos dois anos de avaliação (Tabela 11), divergindo de Baldissera (2014), o qual verificou que o sombreamento aumentou a altura em seis forrageiras tropicais. Ainda, Gobbi et al. (2009) verificaram, para amendoim forrageiro e capim braquiária, aumento linear da altura com o aumento da restrição de radiação, sendo relacionado ao maior comprimento do pecíolo, colmo e da lâmina foliar das plantas submetidas ao sombreamento. Essas alterações morfológicas à deficiência de luz, representam uma estratégia adaptativa para compensar, pelo menos em parte, a menor taxa fotossintética por unidade de área foliar (GOBBI, 2007).

Possivelmente, as elevadas alturas, mas que não diferiram entre os transectos (Tabela 11), ocorreram devido ao alongamento de colmos, em detrimento do desenvolvimento de raízes e folhas. Tais mudanças podem ter levado a redução da produtividade da cultura (BELESKY et al., 2011; RUBERTI et al., 2012; GOMMERS et al., 2013), pois um aumento em altura, em geral, está associado a uma menor produção de perfilhos em ambientes com restrição luminosa.

As plantas tolerantes à sombra adaptam sua fotossíntese para funcionar da forma ideal em condições de pouca luz e são capazes de sobreviver longos períodos sob sombra da copa (RUBERTI et al., 2012). Apesar disso, a sombra causou reduções no RMS nos transectos 1 e 2 em 2014. Mudanças significativas na morfologia da aveia podem ter ocorrido, tais como: lâminas foliares e colmos mais longos (PACIULLO et al., 2011) e aumento da área foliar específica (PACIULLO et al., 2007) com a intensificação da restrição de radiação constituindo uma adaptação em busca da maior área para captação da RFA, melhorando o RMS em 2014 em relação à 2013.

Maiores RMS nos transectos 3 e 4 onde a intensidade de radiação foi maior, é decorrente, dentre vários fatores, de maiores acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S (Tabela 11). Portanto, rejeita-se a hipótese de que a aveia branca obteria máximo rendimento com o menor requerimento de K onde ocorre a maior restrição de radiação, uma vez que acúmulos de K nas faixas próximas ao componente arbóreo, não favoreceram altos rendimentos.

3.3.3 Cultura da soja

3.3.3.1 Concentrações de macronutrientes nos tecidos foliares da cultura da soja

Interações entre os fatores primários (transectos) e secundários (doses) não foram observadas na cultura da soja. Efeito dos transectos foi observado para as concentrações foliares de Mg ($F = 9,06$, $P = 0,0120$) e S ($F = 6,7$, $P = 0,0241$) (Tabela 13). Observou-se também efeito de doses para os teores foliares de K ($F = 21,19$, $P < 0,001$), Ca ($F = 4,08$, $P = 0,0122$) e Mg ($F = 39,74$, $P < 0,001$) (Tabela 14).

A soja é uma cultura muito exigente em todos os macronutrientes (SFREDO, 2008). Todavia, a diagnose foliar (Tabela 13) não apresentou irregularidades nutricional, estando dentro dos limites de suficiência para P (2,6-5,0 g kg⁻¹), K (17,1-25,0 g kg⁻¹), Ca (3,6-20,0 g kg⁻¹), Mg (2,6-10,0 g kg⁻¹) e S (2,1-4,0 g kg⁻¹) e o N (40,1-55,0 g kg⁻¹) se encontra dentro dos limites de suficiente a alto (SFREDO et al., 1986). Possivelmente tal fato deve estar correlacionado à melhora no status nutricional da cultura, uma vez que o excesso de K é raramente observado (BATAGLIA, 2005).

Efeitos de doses para o K, Ca e Mg na diagnose foliar (g kg⁻¹) foram verificados, embora apenas os teores de Ca foram ajustados, com redução quadrática ($P = 0,0034$) à medida que a dose aumenta (Tabela 14). Trata-se da interação mais conhecida, isto é, o aumento no teor de K na solução do solo causa diminuição dos teores de Ca e Mg nas plantas. Tal fato ocorre devido ao efeito de diluição, como abordado por Rosolem (2005). Uma planta bem nutrida em K tem maior crescimento, mesmo com diminuição dos teores de Ca e Mg na planta (FERNÁNDEZ et al., 2011), não tendo, em geral, prejuízo para o crescimento ou produção (SILVA; TREVIZAM, 2015).

Rosolem (2005) relatou que a absorção de Mg pela soja ocorre mais em função do K disponível que propriamente o Mg trocável no solo. Apesar disso, Salvador et al. (2011) verificaram que a relação Ca:Mg de 3:1 na solução do solo manteve o equilíbrio no teor foliar dos nutrientes na soja. Em adição, relações maiores que 3:1 proporcionaram efeito diminutivo no teor foliar de Mg. Contudo, a relação 3:1 de Ca:Mg, só pode ser observada na camada de 0-5 cm, 2:1 na camada de 5-10 cm e 1:1 na camada de 10-15 cm (Tabela 8). Epstein (1975) relata que na absorção do Mg e do Ca pela planta há competição entre

Tabela 13: Média da concentração, acúmulo dos macronutrientes e componentes de rendimentos avaliados para a soja, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total

Soja 2013-2014												
Variação	Concentração foliar (g kg ⁻¹)						Acúmulo total da parte aérea (kg kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Transecto 1	53,64 a	4,73 a	27,54 a	10,89 a	4,20 b	2,15 b	8,24 c	1,86 b	13,09 c	5,39 b	3,09 b	0,62 b
Transecto 2	57,39 a	4,64 a	25,30 a	9,61 a	5,47 a	2,79 a	19,66 b	3,96 ab	26,20 ab	14,54 a	10,05 a	1,27 ab
Transecto 3	56,23 a	4,67 a	24,37 a	9,71 a	5,74 a	2,71 ab	27,34 a	3,93 ab	24,36 b	15,61 a	9,80 a	1,58 ab
Transecto 4	59,65 a	4,45 a	25,55 a	10,46 a	5,41 a	2,78 a	29,04 a	4,33 a	34,19 a	16,62 a	11,58 a	1,78 a
CV%	12,64	11,65	19,21	20,91	30,22	22,83	62,09	60,92	68,35	54,80	63,25	77,33
	Concentração nos grãos (g kg ⁻¹)						Componentes de rendimento					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Pl/m ²	Vg/Pl	Gr/Va	MGS	RGS	
Transecto 1	63,25 a	6,75 a	23,22 a	2,60 a	2,72 a	3,42 a	29,25 a	6,68 b	1,83 b	172,65 a	467,42 c	
Transecto 2	62,69 a	6,31 a	23,90 a	2,49 a	2,93 a	3,45 a	29,83 a	18,19 a	2,02 a	182,56 a	1329,92 b	
Transecto 3	65,33 a	6,12 a	21,11 a	2,33 a	2,74 a	3,25 a	32,59 a	20,84 a	2,04 a	179,5 a	1989,0 a	
Transecto 4	63,68 a	6,40 a	26,23 a	2,60 a	2,81 a	3,55 a	30,18 a	20,22 a	2,18 a	184,23 a	1854,75 ab	
CV%	10,91	10,54	22,17	11,67	9,27	18,24	18,31	40,83	9,38	7,28	47,37	

Transformações realizadas: 1/(Ca_Diagnose); 1/K_Grão; COSR(Mg_Grão). NS – não significativo; * - $p < 0.05$. Pl/m²: número de plantas por metro quadrado; Vg/Pl: número de vagem por planta de soja; Gr/Va: número de grãos por vagem de soja; MGS: massa de grãos de soja; RGS: rendimento de grãos de soja. Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se aos valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Entre cada transecto, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

tais elementos, sendo que o excesso de um desses elementos resulta na diminuição da absorção do outro.

Os teores foliares de Mg e S aumentaram com a redução da restrição de radiação. A falta de resposta de mudanças nos teores de S à doses de K evidencia a falta de relação entre estes nutrientes (ROSOLEM, 2005).

Tabela 14: Equações de regressão e nível de significância dos atributos da soja para doses de K no período de 2013/14 após aplicação das doses de K₂O

Atributos	Unidade	Período	Equação	R ²	P
K_Diagnose	g kg ⁻¹	2013/14	$\hat{y} = \bar{y} = 25,69$	-	NS ⁽¹⁾
Ca_Diagnose	g kg ⁻¹	2013/14	$y = -3E-07x^2 + 9E-05x + 0,0988$	1	0,0034
Mg_Diagnose	g kg ⁻¹	2013/14	$\hat{y} = \bar{y} = 5,21$	-	NS
K_R6	kg kg ⁻¹	2013/14	$\hat{y} = \bar{y} = 24,46$	-	NS
K_Grão	g kg ⁻¹	2013/14	$\hat{y} = \bar{y} = 23,62$	-	NS

⁽¹⁾ Não significativo.

3.3.3.2 Concentrações de macronutrientes nos grãos da cultura da soja

Não foi observado efeito dos transectos nos teores de macronutrientes nos grãos de soja (Tabela 13). Contudo, observou-se efeito das doses apenas para o teor de K (F = 6,14, P = 0,0046). Entretanto, não foi possível ajustar um modelo de regressão ($\hat{y} = \bar{y} = 23,62$) (Tabela 14).

Com base no maior aproveitamento e eficiência de K pela soja (OLIVEIRA JUNIOR et al. 2013), nota-se maiores teores de K no grão em comparação às duas safras de milho (OLTMANS, MALLARINO, 2015). Embora o solo com baixa disponibilidade inicial de K, o aumento da produtividade da soja pela aplicação das doses, aumentando a disponibilidade de K para as raízes, facilmente aumenta seu conteúdo nos diversos órgãos da planta e induz o aumento da quantidade de K que é translocado para os grãos (BORKERT et al., 2005; BATAGLIA, 2005). Todavia, este fato não aconteceu, permanecendo a concentração de K parcialmente constante (FERREIRA et al. 2011).

A aplicação parcelada e antecipada de KCl na semeadura pode ter reduzido perdas por lixiviação a um mínimo aceitável (BORKERT et al. 2005) como também pode ter minimizado a translocação de K para os grãos como verificado por Foloni & Rosolem (2008) a faixas adequadas, entre 1,7 a 2,5 g kg⁻¹ conforme Malavolta et al. (1997) (Tabela 13).

O elemento mais requerido pela soja é o N, na sequência, os mais exigidos são o K, S e o P (BORKERT et al. 1994). O P como um macronutriente primário, é o menos extraído pela soja, mas normalmente é utilizado em maior quantidade nas adubações, seja pelo baixo teor no solo ($12,71 \text{ mg dm}^{-3}$ na camada de 0-20 cm no início do experimento, Tabela 4), seja pela sua fixação nos solos tropicais (VITTI, TREVISAN, 2000). A faixa da concentração adequada para os macronutrientes nos grãos de soja, conforme a CQFSRS/SC (2004) são: 45 a 55 g kg de N, 2,6 a 5 g kg⁻¹ de P, 17 a 25 g kg⁻¹ de K, 4 a 2 g kg⁻¹ de Ca, 3 a 10 g kg⁻¹ de Mg e 2,1 a 40 g kg⁻¹ de S. Com base nisso, os teores de N e P estão acima desta referência, Ca e Mg abaixo, no entanto, K e S se encontram na faixa de referência. Possivelmente, este baixo teor de Ca nos grãos é reflexo da baixa mobilidade deste nutriente no floema, das partes mais velhas para as mais novas em crescimento na planta (RITCHIE et al. 1997). Do mesmo modo, N, P e S, móveis no floema, constituem-se na fonte primária dos nutrientes para os grãos em formação e resultam em significativa diminuição desses elementos nas folhas, pecíolos, hastes e vagens, durante o período mais avançado de enchimento das sementes (RITCHIE et al. 1997).

3.3.3.3 Acúmulo de nutrientes na cultura da soja

Efeito dos transectos foi observado para o acúmulo de N ($F = 65,74$, $P = 0,0001$), P ($F = 5,89$, $P = 0,0320$), K ($F = 24,18$, $P = 0,0009$), Ca ($F = 22,35$, $P = 0,0012$), Mg ($F = 17,17$, $P = 0,0024$) e S ($F = 6,2$, $P = 0,0287$) (Tabela 13).

O menor RGS no transecto 1 pode ser atribuído ao menor acúmulo dos macronutrientes no respectivo transecto, em razão da alta restrição de radiação, isto é, com 71% de sombra no verão 2013/14 e 91% de sombra no outono 2014 (Tabela 6). Cabe salientar que tal acúmulo está abaixo do adequado, como verificado por Malavolta et al. (1997), pois para N, P, K, Ca, Mg e S os valores são de 5,17; 0,36; 6,07; 7,68; 3,57 e 0,36 kg kg⁻¹ para 1 t de MS. Por outro lado, os maiores acúmulos de macronutrientes foram observados principalmente nos transectos 3 e 4, as quais apresentavam restrição de 67 e 59% de radiação no verão 2013/14 e 89 e 84% durante o outono de 2014.

Wilson (1996) verificou que, em gramíneas tropicais, as condições de sombreamento natural favorecem aumentos da degradação da MOS e da reciclagem de N no solo. Do mesmo modo, Padmavathi (1998) verificou que a interceptação de luz pela soja aumentou até a floração e fase de desenvolvimento de vagens, diminuindo gradualmente depois. Além disso, a aplicação de N favoreceu a interceptação de luz pela cultura da soja (6% a mais do que o tratamento sem N), mostrando que a eficiência do uso de radiação foi incrementada pela fertilização nitrogenada, além de que a eficiência do uso de N foi máxima na integração soja e girassol, em comparação a soja solteira.

Maior acúmulo de P e S foram observados no transecto 4 (4,33 e 1,78 kg kg⁻¹), em virtude dos teores altos de P no solo (12,7 mg dm⁻³, Tabela 4) e adequados para P e S na diagnose foliar. Possivelmente, o N e o P interagiram de forma sinérgica, promovendo aumento na produção vegetal (ARAUJO; MACHADO, 2006). Além disso, as plantas que são dependentes da fixação biológica tem maior necessidade de P, que as plantas que utilizam mais o nitrato, em razão da utilização de ATP para a redução do N₂ nos nódulos e consequente assimilação do NH₄⁺ em aminoácidos (SILVA; TREVIZAM, 2015).

A inoculação de *Rhizobium* e micorriza arbuscular em soja incrementa a eficiência de fixação de N e promove uma maior transferência de N para o milho, resultando em vantagens no incremento do rendimento no consórcio soja/milho (MENG et al., 2015). Neste sentido, Konvalinková et al. (2015) analisando como o *Medicago truncatula*, uma eudicotiledônea, responde a duração e intensidade da restrição de radiação em termos de crescimento de micorriza e absorção de P, verificaram que o nível da colonização de micorrizas e, conseqüentemente, a absorção de P, foi significativamente reduzida pela restrição de radiação a longo prazo.

Observou-se efeito de doses para apenas o acúmulo de K (F = 5,09, P = 0,0100), contudo, não foi possível ajustar uma equação ($\hat{y} = \bar{y} = 24,46 \text{ kg kg}^{-1}$) (Tabela 14). Concentrações adequadas (17 a 25 g kg⁻¹) de K tem um papel fundamental para maximizar o potencial de produção da soja. Aliado a isso, menor acúmulo de K foi observado apenas no transecto 1 (13,09 kg kg⁻¹, Tabela 13), refletindo no menor RGS, mas sem evidentes sintomas de deficiências. O pico de absorção de K ocorre desde o crescimento vegetativo até pouco antes da floração (YAMADA; BORKERT, 1991).

Um maior acúmulo de K foi observado no transecto 4, em seguida no transecto 2. Nestes transectos, a restrição de radiação foi de 59% e 76% durante o verão 2013/14 e

84% e 92% durante o outono de 2014, respectivamente. Embora haja diferenças na intensidade da restrição entre estes transectos, o acúmulo de K permaneceu semelhante.

Fernández et al. (2011) verificaram que níveis ótimos de K no solo foram relativamente mais importantes que o conteúdo de água no solo, tanto para aumentar a disponibilidade de K no solo como na parte aérea da soja. Ainda, estes autores verificaram uma melhor resposta, em termos de crescimento radicular com o aumento da disponibilidade de água, enquanto o acúmulo de K aumentou concomitantemente com a disponibilidade de água e maior área superficial radicular.

Efeito diluição pode ser observado para o K no transecto 4 (Tabela 13), favorecendo consequentemente o maior RGS. Todavia, o acúmulo de K, em todas os transectos, está acima do valor de referência ($6,07 \text{ kg kg}^{-1}$ para 1 t MS).

Era esperado que as doses de K reduzissem o acúmulo de Ca e Mg (SILVA; TREVIZAM, 2015). Contudo, este efeito não foi observado. Uma possível explicação para este fato é que a soja é uma dicotiledônea de alta CTCR (capacidade de troca de cátions das raízes) e mais eficiente na absorção de Ca e Mg, cátions bivalentes (assim como trivalentes) contendo alta densidade de cargas, em torno de $40 \text{ a } 80 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de raízes secas (FERNANDES; SOUZA, 2006). Aliado a isso, maior acúmulo de Ca e Mg nos transectos 2, 3 e 4 foi observado (Tabela 13).

3.3.3.4 Rendimento de grãos de soja

O conhecimento da relação entre as características de crescimento e de desenvolvimento da planta com os componentes de rendimento é importante para o entendimento dos efeitos resultantes da interação entre árvores e lavouras (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2012). Deste modo, efeito dos transectos foi observada sobre o número de vagens por planta (Vg/Pl) ($F = 61,02$, $P = 0,0001$), grãos por vagem (Gr/Va) ($F = 15,70$, $P = 0,0030$) e rendimento de grãos (RGS) ($F = 31,46$, $P = 0,0005$). Em razão da alta restrição de radiação verificado no transecto 1 (71%), o menor Vg/Pl e Gr/Va contribuiu para o menor RGS no mesmo transecto. A restrição excessiva de radiação, além de ocasionar maior alongação da haste principal e diminuir a intensidade de ramificações, pode aumentar a taxa de aborto e queda de flores e vagens, devido a redução do teor de carboidratos nas folhas (CASTRO; KLUGE, 1999).

O microclima do sub-bosque reduz a interceptação de radiação e minimiza temperaturas extremas (SOARES et al., 2009), todavia, as cultivares mais precoces são mais sensíveis à temperatura, variando o tempo para floração e, consequentemente o potencial de produtividade (RODRIGUES et al., 2001). Dessa maneira, quando a floração é rápida (poucos dias após a emergência), a planta não desenvolve ramos e folhas suficientes para gerarem grande número de flores e vagens, gerando reflexos na produtividade (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

O menor número de Vg/Pl e Gr/Va verificado no transecto 1, foi semelhante ao observado Egli; Yu, (1991) *apud* Mbah et al., (2008). Estes autores demonstraram que o sombreamento em plantas de soja causa abscisão da metade das vagens, ocasionando uma redução de números de sementes e rendimento de grãos. Igualmente, Jiang & Egli (1993) verificaram que a sombra reduziu o número de vagens e que tal redução foi devido ao aumento da abscisão, tanto da flor quanto da vagem, e, consequentemente, um menor número de flores por planta foi observado. Tanto o número de nós na haste principal como o número de flores por nós foram afetados pela sombra. A sombra, durante qualquer parte do período de R1 a R6, reduziu o número de vagens em casa de vegetação.

Os maiores números de Vg/Pl para os transectos 2, 3 e 4 resultaram de acréscimos no número de Gr/Va, que ocasionaram maiores RGS ($P < 0,05$, Tabela 13), uma vez que a fixação e o desenvolvimento de vagens determinam o número total de vagens por planta, sendo esse o componente mais maleável na composição do rendimento de grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). Por outro lado, o efeito da densidade, caracterizado pelo número de plantas por metro quadrado (Pl/m^2) e massa de grãos de soja (MGS) não limitaram o RGS, principalmente pelo fato que Pl/m^2 apresenta maior possibilidade de controle através do manejo (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

A MGS não foi alterada com 70% de restrição de radiação em média no verão de 2013/14. Este componente pode ser utilizado, para estimar se houve uma boa eficiência durante o processo de enchimento de grãos, além de expressar, de forma indireta, o tamanho das sementes e seu estado fisiológico (MARQUES et al, 2008). Contudo, aumentos na RFA interceptada provocam aumentos lineares na produção de matéria seca acumulada (MELGES et al., 1989; RADIN et al., 2003), uma vez que a fixação de C é diretamente dependente da energia luminosa. Entretanto, correlações entre a radiação e o rendimento não são, necessariamente, esperadas tendo em vista que outros fatores (e.g. disponibilidade de nutrientes), podem afetar a partição do carbono entre as sementes e

outros órgãos da planta (BARNI et al., 1995; SCHÖFFEL; VOLPE, 2001). Neste sentido, folhas parcialmente sombreadas podem, repentinamente, vir a receber alta radiação solar (e.g. por desrama e/ou desbaste) e com isso, a eficiência no uso da radiação é reduzida drasticamente e a produção de fotoassimilados cai sensivelmente (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

O menor RGS pode ser atribuído às características intrínsecas da fisiologia da planta, pois, como toda leguminosa, a soja apresenta metabolismo do tipo C_3 e portanto, a eficiência na utilização da radiação solar e água é reduzida, em comparação com as plantas C_4 (CASAROLI et al., 2007). Além disso, a soja, por ser uma planta de dias curtos, é uma das espécies cultivadas mais sensíveis ao comprimento do dia (fotoperíodo) e a temperatura, que regula a indução floral, fases de pré e pós-floração e o crescimento das plantas (KANTOLIC; SLAFER, 2007; OLIVEIRA, 2010). Com intuito de conhecer as fases de pós-floração em resposta ao fotoperíodo e o RGS, Kantolic & Slafer (2007) verificaram que a sensibilidade ao fotoperíodo manteve-se elevada durante o período reprodutivo e foi altamente positiva para a geração de rendimento.

A cultivar 95Y72, classificada como superprecoce, sob condições de temperatura baixa, pode não ter desenvolvido área foliar suficiente para sustentar um IAF crítico (3,5 - 4,0) (RODRIGUES et al., 2006), pois conforme a Tabela 1 a temperatura média entre Dez – Jan (período vegetativo) variou entre 20 a 22°C. Cabe salientar que a temperatura sob SIPA pode ser ainda menor.

A disponibilidade de água, importante na germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005; TECNOLOGIAS...2008), pode não ter sido o único fator preponderante para a redução dos componentes de rendimento no geral, visto que a máxima precipitação durante o ciclo da cultura foi alcançada em Janeiro/14 com 200 mm, embora seja época precedente à floração, não proporcionou o mínimo de 7-8 mm/dia (TECNOLOGIAS....2008). Neste sentido, Catuchi et al., (2012) em condições de restrição hídrica, verificaram que a adubação potássica não interferiu nos parâmetros fisiológicos e de crescimento avaliados para a soja.

O rendimento da soja tem sido inconstante, por variáveis meteorológicas (BERLATO et al., 1992), manejo de nutrientes, rotação de culturas, fertilidade e manejo do solo, pragas e doenças (KARLEN et al., 2013; BLUCK et al. 2015). Segundo a Conab (2014), a produção do PR na safra 2013/14 foi 14.780,7 t de grãos de soja, representando redução de 7,1% em relação à safra anterior (2012/13). Além disso, a produtividade de

soja no PR para 2013/14 foi de 2950 kg ha⁻¹, 11,9% a menos que em 2012/13 (3348 kg ha⁻¹). Cabe salientar que a cultivar utilizada neste experimento tem potencial de rendimento de 3901,7 kg ha⁻¹, segundo o observado no Oeste do PR para a safra de 2013/14 (COPACOL, 2014).

Para a soja atingir seu potencial máximo de produção é imprescindível satisfatórias condições edafoclimáticas. Todavia, o RGS pode ter sido limitado pela baixa saturação de bases (V%), abaixo de 50% (Tabela 8). Fageria et al. (2001) verificaram alta produção de soja com 63% de saturação por base. Vieira et al. (2013) constataram alta sensibilidade à acidez, com reduções na produção de grãos, e 65% de saturação de base como valor crítico para 90% de rendimento relativo. Além disso, a taxa de fixação de N₂ varia entre espécies de bactérias, cultivares de plantas, interação rizóbio-planta, fertilidade do solo, ano agrícola, entre outros (CANTARELA, 2007).

Não era esperado ausência de resposta à doses de K (MALAVOLTA, 1980), uma vez que respostas positivas ao K no rendimento tem sido verificadas na literatura (SCHERER, 1998; BORKERT et al., 1997; BORKERT et al., 2005; LEAL et al., 2015). Em razão da alta extração de K verificada na aveia branca de 2013 (Tabela 11), acima de 21 kg kg⁻¹ para 1 t de MS (MALAVOLTA et al., 1997), a adubação da soja com K, poderia interferir no sistema, contudo, isto não foi observado (Tabela 13).

O aparecimento de *Euschistus heros*, conhecido como percevejo marrom, uma das principais pragas, manifestam-se a partir da floração, causando os maiores danos entre os estádios de desenvolvimento das vagens e final do enchimento dos grãos (BORKERT et al., 1994). Possivelmente seu ataque pode ter causado considerável redução no rendimento geral e na qualidade da semente. Aliado a isso, verificou-se concomitantemente o aparecimento de *Sclerotinia sclerotiorum*, uma doença fúngica que ataca principalmente os estádios reprodutivos iniciais. Provavelmente, as condições climáticas favoráveis, alta umidade e temperaturas amenas (Tabela 1) favoreceram o seu aparecimento. Portanto, baixo status de K na planta e no solo pode resultar em menor resistência ao ataque de pragas e doenças e menor qualidade da semente (BORKERT et al., 2005). Todavia, teores adequados de K foram observados nos transectos 2, 3 e 4 (Tabela 13), estando acima da faixa adequada apontada por Malavolta et al (1997), isto é, 6,07 kg kg⁻¹ para 1 t de MS.

Almeida et al. (2014) avaliaram o efeito do cultivo consorciado entre soja e eucalipto (*E. grandis*) em diferentes posições da faixa de cultivo da soja em relação aos

renques das árvores. Os autores verificaram que o rendimento foi decrescente na faixa oeste, central e leste, no qual renques foram instalados no sentido norte-sul e distância de 15m. Embora, os autores tenham encontrado, entre as posições leste e oeste, menor umidade do solo e sem diferenças significativas quanto a temperatura do solo, os componentes de produção da soja, em geral, foram maiores que o do presente estudo, possivelmente em função da idade e do porte das árvores (25 meses e 4 m de altura), condição bastante distinta do presente estudo. Além disso, Franchini et al. (2014) verificaram que o eucalipto não afetou a produtividade de soja em um SIPA nos dois primeiros anos. Todavia, na terceira e quarta safra, redução de produtividade ocasionada pela interferência do eucalipto foi de 2,9 e 27,0%, sendo mais intensa nas proximidades das árvores. Resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo.

3.3.4 Cultura do milho

3.3.4.1 Concentrações e acúmulo dos nutrientes no milho de 2012/13

Não foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para a concentração foliar e acúmulos de nutrientes no milho de 2012/13.

Efeito dos transectos foram observados para a concentração foliar de K ($F = 15,93$; $P = 0,0029$) e acúmulo de N na parte aérea ($F = 5,08$, $P = 0,0438$), acúmulo de P na parte aérea ($F = 5,23$, $P = 0,0412$) e acúmulo de Mg na parte aérea ($F = 5,63$, $P = 0,0354$) em 2012/13. As doses empregadas ocasionaram diferenças nas concentrações de K ($F = 6,72$; $P = 0,0031$) e acúmulo de K na parte aérea ($F = 7,73$; $P = 0,0016$) em 2012/13 (Tabela 15).

O acúmulo de K em 2012/13 aumentou linearmente com o aumento das doses de K aplicadas em pré-semeadura (Figura 5A). Não foi possível ajustar um modelo para o K na concentração nas folhas do milho, via diagnose foliar ($\hat{y} = \bar{y} = 16,83 \text{ g kg}^{-1}$), bem como no grão para K ($\hat{y} = \bar{y} = 5,52 \text{ g kg}^{-1}$). No entanto, a maior absorção de K eleva o teor no grão devido à maior translocação de fotossintatos para a espiga e consequentemente para os grãos (ANDREOTTI et al., 2001). Clover & Mallarino (2013) verificaram que a adubação potássica raramente aumenta a concentração de K nos grãos de milho mesmo em áreas responsivas, no entanto para a soja, a fertilização aumenta a concentração de K.

Tabela 15: Concentração foliar e acúmulo dos macronutrientes avaliados para o milho 2012/13, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total

Milho 2012-2013												
Variação	Concentração foliar (g kg ⁻¹)						Acúmulo total da parte aérea (kg ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Transecto 1	36,09	4,27	18,23 a	4,32	4,57	1,93	39,00 b	7,42 b	75,18	11,22	17,38 b	3,40
Transecto 2	35,76	4,41	18,49 a	3,97	4,01	1,82	43,99 ab	9,55 ab	77,86	11,80	18,99 ab	3,50
Transecto 3	36,60	4,50	15,36 b	4,74	4,84	1,98	65,80 a	12,24 a	101,48	19,22	31,23 a	5,15
Transecto 4	35,96	4,57	15,23 b	4,29	4,66	1,86	47,43 ab	8,89 ab	75,81	13,98	21,43 ab	3,81
CV%	3,74	11,46	18,43	14,59	21,41	13,20	34,69	35,15	32,87	41,28	44,11	41,62
	Concentração nos grãos (g kg ⁻¹)						Componentes de rendimento					
	N	P	K	Ca	Mg	S	NGM	NF	MGM	IC	RGM	
Transecto 1	13,39 a	3,88	6,13 a	0,13	3,10	0,64	20,08 b	14,91	0,34	46,74	4739,98 c	
Transecto 2	12,61 b	3,03	4,91 b	0,11	2,28	0,64	29,93 a	15,67	0,38	56,35	8649,25 b	
Transecto 3	13,58 a	3,83	5,50 ab	0,11	2,82	0,68	32,60 a	15,81	0,37	50,31	10470,1 a	
Transecto 4	13,11 ab	3,33	5,54 ab	0,11	2,61	0,66	30,11 a	15,35	0,38	55,48	9433,2 ab	
CV%	13,34	29,50	25,98	25,92	37,69	19,23	19,38	4,40	9,04	15,50	30,27	

NGM: número de grãos de milho, NF: número de fileiras, MGM: massa de 1000 grãos de milho, IC: índice de colheita (%), RGM: rendimento de grãos de milho (kg ha⁻¹). Transformação realizada: NF transformado por EXP(NF). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Entre cada transecto, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

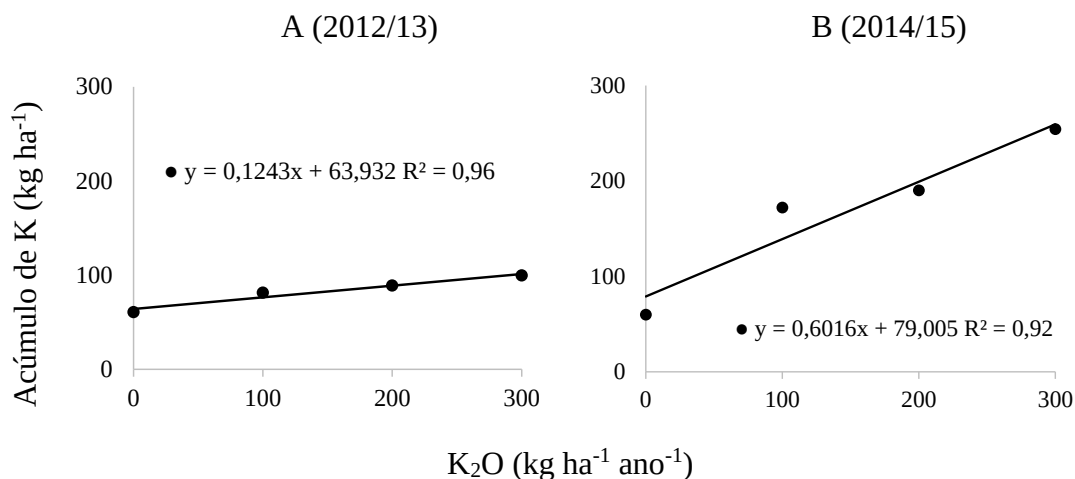


Figura 5: Acúmulo de potássio na parte aérea do milho em 2012/13 e 2013/14 após aplicação das doses de K₂O

Possivelmente as condições de maior umidade e maior restrição de radiação nos transectos 1 e 2 (Tabela 15), próximos ao componente arbóreo, contribuíram para o aumento nos teores de K no milho em ambas as safras (18,23 e 18,49 g kg⁻¹ para 2012/13 e 23,48 e 21,70 g kg⁻¹ para 2014/15 respectivamente). Plantas insuficientes em K têm dificuldade em absorver água do solo, o que aumenta o estresse hídrico. A economia de água e a redução do estresse hídrico é um mecanismo regulado pelo K, através da abertura e fechamento dos estômatos (MARSCHNER, 2012). Cabe salientar que os teores de K em ambas as safras são suficientes (15-17 g kg⁻¹) uma vez que o influxo de K pelas raízes das plantas são influenciados pelo *status* de K na planta (BARBER, 1984). Além disso, o milho, quando bem suprido com K, tem menor necessidade e consequentemente maior eficiência em água (BULL, 1993).

Por outro lado, Maillard et al. (2015) verificaram que o milho é caracterizado com baixa eficiência na remobilização de macronutrientes durante a senescência foliar (40% para N e 72% para K), ainda que Gregersen et al. (2013) afirmem que a sombra pode beneficiar as culturas induzindo a senescência de folhas mais baixas, e assim remobilizar os nutrientes para a parte fotossinteticamente superior.

No geral, os teores de N observados na diagnose foliar em 2012/13 estão suficientes (Tabela 15) conforme a classificação de Martinez et al. (1999) e Cantarella et al. (1997) entre 27 a 35 g kg⁻¹.

Não foi possível verificar diferenças entre os transectos para a concentração de P em 2012/13 (Tabela 15). Todavia, maior acúmulo de P foi observado no transecto 3 (61% de

sombra em outono/2013 e 67,14% no inverno/13). As concentrações de P observadas nos transectos estão dentro da faixa de suficiência (2 a 4 g kg⁻¹) (CANTARELLA et al. 1997). Porém, o maior acúmulo de P (12,24 kg ha⁻¹) no transecto 3 não está dentro do valor observado por Malavolta et al. (1997) que é de 9 kg ha⁻¹ para 4,5 t de grãos.

A concentração e o acúmulo de Ca na parte aérea assim como nos grãos não foram alterados pelos fatores principais e secundários em 2012/13. Efeito dos transectos somente foi observado para o acúmulo de Mg em 2012/13, o qual foi observado no transecto 3 (Tabela 15). O Mg atua como “carregador do P” (VITTI et al., 2006), o que contribuiu o maior acúmulo de P com o maior acúmulo de Mg tanto em 2012/13 quanto em 2014/15 (Tabelas 15 e 16).

Efeito nulo das doses e transectos foram verificadas para o S em todos compartimentos para a safra 2012/13 (Tabela 15). Possivelmente, os maiores RGM obtidos na primeira safra não estão necessariamente relacionados a maior absorção de enxofre pelas plantas, uma vez que a resposta do milho ao S aumenta a produção em apenas 9%, contudo a resposta da soja ao S é de 24% (VITTI et al., 2006; PINHO et al., 2009).

3.3.4.2 Concentrações e acúmulo dos nutrientes no milho de 2014/15

Foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para a concentração K (F = 5,76; P = 0,0008), Ca (F = 17,83; P < 0,001), Mg (F = 45,77; P < 0,001) e acúmulo na parte aérea de P (F = 4,04; P = 0,0057), K (F = 6,68; P = 0,0003) e S (F = 4,89; P = 0,0021) de 2014/15.

Efeito dos transectos foram observadas no teor foliar de N (F = 9,8; P = 0,0099), P (F = 11,23; P = 0,0071), K (F = 7,5; P = 0,0188), Ca (F = 15,54; P = 0,0031), Mg (F = 30,52; P = 0,0005), S (F = 14,47; P = 0,0037) e no acúmulo na parte aérea de N (F = 33,37; P = 0,0004), P (F = 60,60; P = 0,0001), K (F = 39,76; P = 0,0002), Ca (F = 7,50; P = 0,0187), Mg (F = 12,54; P = 0,0054), S (F = 221,50; P < 0,001), em 2014/15 (Tabela 16).

As doses empregadas ocasionaram diferenças no teor de N (F = 5,44; P = 0,0077), K (F = 420,0; P < 0,001), Ca (F = 245,11; P < 0,001), Mg (F = 567,36; P < 0,001) e para o acúmulo na parte aérea de N (F = 27,36; P = 27,36), P (F = 6,41; P = 0,0038), K (F = 130,47; P < 0,001), Ca (F = 10,01; P = 0,0004), Mg (F = 25,36; P < 0,001), S (F = 12,62; P = 0,0001) em 2014/15.

Tabela 16: Concentração foliar e acúmulo dos macronutrientes avaliados para o milho 2014/15, mediante a aplicação de doses parceladas de K, em cobertura e área total

Milho 2014/15												
Varição	Teor foliar (g kg⁻¹)						Acúmulo total da parte aérea (kg ha⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Transecto 1	23,46 ab	3,96 b	23,48 a	5,59 b	6,50 b	2,50 b	74,12 c	34,32 c	119,79 b	15,17 b	21,16 b	7,22 c
Transecto 2	21,58 b	3,69 b	21,70 ab	5,90 ab	6,89 b	2,30 b	92,84 b	51,80 b	178,72 a	15,89 ab	18,94 b	7,25 c
Transecto 3	24,66 a	4,75 a	20,70 b	6,18 a	7,52 a	2,91 a	104,26 a	67,36 a	188,84 a	18,11 a	25,68 a	12,58 b
Transecto 4	22,93 ab	3,58 b	21,82 ab	6,25 a	7,99 a	2,57 b	100,70 ab	66,88 a	189,65 a	14,79 b	20,03 b	13,86 a
CV%	8,99	22,87	29,79	28,36	36,36	14,19	32,39	36,25	49,81	25,65	40,73	38,95
	Teor nos grãos (g kg⁻¹)						Componentes de rendimento					
	N	P	K	Ca	Mg	S	NGM ⁽¹⁾	NF ⁽¹⁾	MGM	IC ⁽¹⁾	RGM	
Transecto 1	13,32 a	2,71 a	3,95 a	0,07 a	0,88 a	1,04 a	-	-	0,34 a		2781,75 b	
Transecto 2	10,94 d	2,39 bc	3,83 a	0,05 ab	0,71 b	1,08 a	-	-	0,35 a		6180,67 a	
Transecto 3	12,60 b	2,45 b	3,45 b	0,04 b	0,70 b	0,47 c	-	-	0,35 a		8742,5 a	
Transecto 4	11,61 c	2,29 c	3,33 b	0,04 b	0,67 b	0,67 b	-	-	0,35 a		6846,5 a	
CV%	11,09	17,67	12,00	55,66	14,02	39,23	-	-	3,77		51,91	

NGM: número de grãos de milho, NF: número de fileiras, MGM: massa de 1000 grãos de milho, IC: índice de colheita (%), RGM: rendimento de grãos de milho (kg ha⁻¹). ⁽¹⁾ Variáveis não avaliadas. Entre cada transecto, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

O acúmulo de K verificado em 2014/15, acima do encontrado por Malavolta et al. (1997), com 55 kg ha⁻¹ para 4,5 t de MS, pode ter referência ao “consumo de luxo”, sem incrementos ou redução na produção de milho (SCHREINER, 1987). Esse efeito geralmente ocorre quando a disponibilidade no solo não é restrita. Oltmans & Mallarino (2015) também verificaram consumo de luxo de K na soja, apesar do consumo de luxo para o milho ter sido muito mais evidente tanto no tecido foliar quanto no resíduo. Este aumento não repercutiu sempre em respostas positivas no rendimento de grãos. Do mesmo modo, Clover & Mallarino (2013) documentaram acúmulo de luxo de K em partes vegetativas, devido a respostas frequentes e larga na concentração e acúmulo que raramente resultou no rendimento de grãos e exportação de K pelo grão.

A maior concentração de K no transecto 1 verificada no milho 2014/15 (Tabela 16) pode ter efeito da maior umidade no solo em condições de sub-bosque mais sombreado (70,87 % de restrição de radiação). Possivelmente, a redução da concentração na superfície da raiz, consequência da absorção, é a força que causa a difusão; tal redução dá origem a um forte gradiente de concentração, condição para que a difusão se estabelece conforme prevê a Lei de Fick (MALAVOLTA, 2005). Com isso, a contribuição do fluxo de massa pode ser relevante em duas condições: quando a corrente transpiratória, proporcional à água movimentada no solo e absorvida pela raiz, é suficientemente grande; e quando a concentração de K na solução do solo é alta (MALAVOLTA, 2005).

Neste sentido, Sá et al. (2014) estudando o efeito da aplicação de K e umidades do solo no crescimento de mudas de *Corymbia citriodora*, uma espécie pertence ao grupo dos eucaliptos, verificaram que a absorção de P, K e S por difusão para os dois primeiros e fluxo de massa respectivamente é mais dependente de uma umidade ideal. Salienta-se que não se pode excluir o componente arbóreo bem desenvolvido na competição por água e nutrientes nos transectos próximas à cultura de milho, que pode estar atuando ativamente. Diante disso, a manutenção da pressão de turgescência celular através do acúmulo de solutos (ajustamento osmótico) é um mecanismo de adaptação das plantas para seu crescimento ou sobrevivência em períodos de estresse de água e, apesar do alto requerimento de água pela planta de milho, ela é eficiente no seu uso para conversão de matéria seca (MAGALHÃES et al., 2002).

Mengel & Kirkby (2001) abordam que a luz é o fator ambiental mais importante quando as plantas estão bem irrigadas. Segundo estes autores, a abertura e fechamento dos estômatos, é um processo importante, não só para fornecimento de CO₂ suficiente para assimilação, mas também para moderar o consumo de água da planta, regulado pelo K. Com

isso, teores mais altos de K observados no transecto 1, sob forte influência do componente arbóreo e da restrição de radiação, pode ter reduzido a evapotranspiração da planta afetando o regulamento osmótico como função do K.

Não foi possível ajustar um modelo de regressão para a concentração foliar de K ($\hat{y} = \bar{y} = 21,93$), contudo, o acúmulo de K foi ajustado linearmente ($R^2 = 0,92$; $P = 0,0405$) com as doses de K em 2014/15 (Figura 5B).

O conteúdo da umidade volumétrica influencia o suprimento difusivo de K para as raízes, ou seja, quanto maior a umidade volumétrica e difusão, menor será a tortuosidade do caminho da difusão (BARBER, 1984). Dessa maneira, baixa umidade do solo diminui a absorção de K, o que, entretanto, pode ser compensado aumentando-se a concentração de K no meio (PLACE; BARBER, 1964; BARBER, 1984; MALAVOLTA, 2005), fato confirmado pelo ajuste quadrático de doses crescentes para a concentração foliar de K em 2014/15 no transecto 4 ($R^2 = 0,9989$, $P = 0,0333$), com menor restrição de radiação (56,97% no transecto 4) e possivelmente menor umidade do solo (Figura 6A).

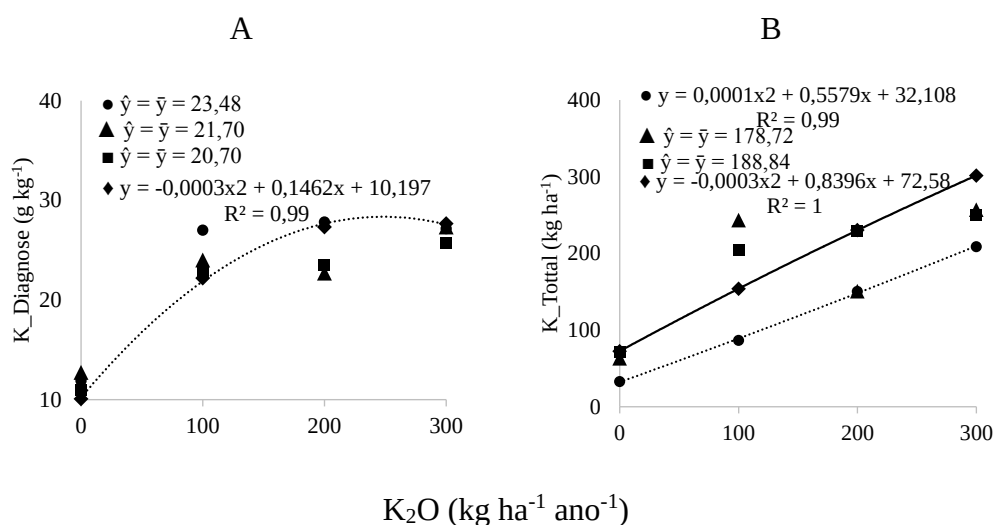


Figura 6: Concentração e acúmulo de potássio na parte aérea do milho em 2013/14 após aplicação das doses de K_2O e em diferentes transectos. (●) Transecto 1, (▲) Transecto 2, (■) Transecto 3, (◆) Transecto 4.

Ajustes quadráticos crescentes para o acúmulo de K para o transecto 1, ($R^2 = 0,99$; $P = 0,0245$; 70,87 % de restrição de radiação) e transecto 4 ($R^2 = 1$; $P = 0,0004$; 56,97 % de restrição de radiação) foi observado (Figura 6B), independentemente da resposta ao

rendimento (CLOVER; MALLARINO, 2013). Portanto, houve resposta no acúmulo de K na gramínea em ambas as safras até a maior dose de K aplicada, indicando possibilidade de resposta a doses ainda maiores do que 300 kg ha^{-1} de K_2O . Todavia, Coelho (2005) afirma que a exigência do milho por nutrientes, não pode ser inferida somente a partir da extração total, principalmente pela existência de picos de absorção, o que se torna necessário o conhecimento da marcha de absorção em função do tempo. O autor aponta que o padrão de absorção de K é diferente em relação a N e P, tendo o pico de absorção nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa superior ao N e P, nomeando o K como elemento de “arranque”.

A resposta do milho à adubação dependeu do K no solo, quer seja o trocável ou não trocável, uma vez que acúmulos do elemento foram visíveis (Tabela 16). O teor crítico, aquele correspondente ao rendimento relativo de 90 % foi de $3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K trocável, na camada diagnóstica de 0–0,20 cm (VIEIRA et al., 2013). O presente estudo obteve níveis iniciais ($1,38 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada 0-20 cm, Tabela 4) e até mesmo após 30 meses, ainda menores. Em contrapartida, Coelho (2005) comenta que o nível crítico para altas produtividades de milho situa-se ao redor de 100 mg dm^{-3} ($2,56 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Redução na concentração de N foi observado em 2014/15 em relação à safra anterior (2012/13), ainda que a aplicação de ureia na aveia branca e no milho em V4 tenham sido semelhantes nas duas safras (Tabela 16). Bigolin et al. (2007) verificaram que a aplicação de N em cobertura nas forrageiras anuais de inverno não interferiu na produção de grãos de milho, todavia, influenciou a concentração foliar de N da cultura. Do mesmo modo, Valderrama et al. (2014) verificaram aumento linear da concentração de N foliar e a produtividade de grãos de milho com aplicação de ureia.

Maiores concentrações de N em 2014/15 verificado no transecto 3 (Tabela 16), pode ter relação com o maior teor de carbono orgânico aos 30 meses (Tabela 9). Todavia este efeito não foi pronunciado na safra anterior (Tabela 15). Não foi possível ajustar uma curva de regressão para a concentração foliar de N ($\hat{y} = \bar{y} = 23,16 \text{ g kg}^{-1}$), bem como o acúmulo de N na parte aérea em 2014/15 ($\hat{y} = \bar{y} = 92,98 \text{ kg ha}^{-1}$) e nos grãos ($\hat{y} = \bar{y} = 12,12 \text{ g kg}^{-1}$) para as doses. A resposta de uma cultura ao K depende, em grande parte do nível em que se encontra a nutrição nitrogenada, em outras palavras, quanto maior o suprimento de N maior o aumento de produtividade devido ao K (ROSOLEM, 2005).

No geral, os teores de N observados na diagnose foliar em 2014/15 estão abaixo do limite de suficiência ($27 - 35 \text{ g kg}^{-1}$) conforme a classificação de Martinez et al. (1999) e

Cantarella et al. (1997). A intensidade de luz afeta o crescimento radicular indiretamente, desde que afeta a quantidade fotossintética produzida e este por sua vez, afeta o crescimento da raiz em relação ao crescimento da parte aérea (BARBER, 1984). Aliado a isso, menores concentrações de P na parte aérea (g kg^{-1}) nos transectos 1 e 2 (Tabela 16) pode ter relação com o supracitado, uma vez que o P tem baixa mobilidade no perfil e é grandemente exportado pelos grãos (COELHO, 2005).

O maior acúmulo de P foi observado nos transectos 3 e 4 na safra de 2014/15 (Tabela 16). Ainda, foi possível observar ajuste quadrático das doses de K para com o acúmulo de P no transecto 3 ($y = 0,0002x^2 - 0,1444x + 80,394$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0171$). A alta mobilidade no floema, e a maior proporção na biomassa e nos grãos de P indica uma translocação preferencial de P para os grãos (ARAUJO; MACHADO, 2006). Contudo, a maior concentração do P no grão, não foi observada no mesmo transecto com maior acúmulo.

Maiores teores de Ca foram observados nos transectos 3 e 4, todavia, maior acúmulo foi observado no transecto 3. Aumento linear de Ca foi verificado com a aplicação das doses de K ($y = 0,0022x + 5,6447$, $R^2 = 0,94$, $P = 0,03$). Este resultado pode ser atribuído com o “Efeito Viets”, ou seja, um efeito sinérgico em baixa concentração de Ca na presença de K.

Redução linear da concentração de Ca foi observado no transecto 1 com as doses de K ($y = -0,0119x + 7,385$, $R^2 = 0,9123$, $P = 0,0448$). Este fato indica que, altas entradas de K tem influencia negativamente na absorção de Mg e Ca pelas plantas e pode acelerar a lixiviação destes cátions (KAYSER; ISSELSTEIN, 2005) em condições de 70,87% de restrição de radiação no transecto 1.

A concentração de Mg em 2014/15 foi reduzida linearmente ($y = -0,0144x + 9,046$, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0276$) em função das doses de K aplicadas em cobertura no transecto 2. Barber (1984) afirma que a redução da absorção de Ca é apenas a metade do efeito do K na redução da absorção de Mg, particularmente em solos com baixos teores trocáveis de Mg.

Maior concentração foliar de Mg nos transectos 3 e 4, repercutiram no maior acúmulo de Mg no transecto 3 (Tabela 16). A maior concentração do Mg na solução do solo observada na coleta aos 30 meses, aliada a maior taxa de transpiração no transecto 3 com menor restrição de radiação, favoreceu a maior absorção, acima da faixa adequada de 1,5 a 5 g kg^{-1} (CANTARELLA et al., 1997). Do mesmo modo, o acúmulo de Mg se encontra ligeiramente acima do valor observado por Malavolta et al. (1997) (10 kg ha^{-1} para 4,5 t de grãos).

Efeito significativo para a concentração foliar e acúmulo de S foram observados em 2014/15 (Tabela 16). As quantidades totais de S acumuladas em R3 (grão leitoso) foram pequenas em 2012/13, confirmando com a menor concentração no grão (Tabela 15). Porém, em 2014/15 maior concentração foi observada nos transectos 3 e 4, com maior acúmulo no transecto 4.

A velocidade de absorção de SO_4^{2-} é dependente do íon acompanhante, obedecendo a seguinte ordem decrescente: NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , ou seja, a absorção do sulfato será máxima se estiver acompanhado do amônio assim como do potássio. Dessa maneira, o acúmulo de S foi aumentado linearmente ($y = 0,0126x + 8,3376$, $R^2 = 0,94$, $P = 0,0311$) com doses crescentes de K. Ainda, interação entre transectos e dose foi verificada, com o aumento das doses de K houve aumento do acúmulo de S ($y = -6\text{E-}05x^2 + 0,0385x + 3,5553$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0111$) no transecto 2 (69,09 % de restrição de radiação).

Maior concentração de S verificado no transecto 3 em 2014/15 pode ter relação com o transporte de sulfato até a raiz que se dá principalmente por fluxo de massa, o qual é controlado pela evapotranspiração da planta. Possivelmente a maior evapotranspiração no transecto 3 em função da menor restrição de radiação, favoreceu o contato até as raízes via fluxo de massa (MALAVOLTA et al., 1997; VITTI et al., 2006). O mesmo efeito pode ser interpretado para as concentrações foliares de Ca e Mg para 2014/15 (Tabela 16) nos transectos 3 e 4 com 64,45 e 56,97% de restrição de radiação respectivamente, uma vez que o fluxo de massa é o mecanismo de contato predominante destes cátions, embora a absorção de Mg em altas taxas de transpiração seja maior que a absorção de Ca (BARBER, 1984).

É conveniente observar que os nutrientes que permaneceram nas folhas (via diagnose foliar) principalmente no que se refere ao P, não apresentaram notáveis diferenças entre as safras. Contudo, variações superiores para as concentrações foliares de Ca, Mg e S em 2014/15 em relação à safra anterior, não refletiram no maior RGM, uma vez que em geral, a safra anterior teve melhor produção. Aliado a isso, o padrão sazonal do acúmulo de nutrientes na planta é semelhante ao do acúmulo de matéria seca (RITCHIE et al., 2003). Por outro lado, maiores acúmulos de nutrientes observados em 2014/15 não favoreceram os maiores RGM quando comparado com a safra anterior.

As plantas de milho acumularam macronutrientes em sua parte aérea na seguinte ordem decrescente: $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S}$ em 2012/13 e $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S}$ em 2014/15. Todavia, estes resultados diferem de Pinho et al. (2009) no qual verificaram que a marcha

de absorção de macronutrientes no milho seguiu a ordem decrescente de $N > K > P > Ca > Mg > S$.

No que se refere à exportação dos nutrientes nos grãos, o N e o P foram quase todo translocado para as sementes, considerando 1 ton de grãos produzida, do total extraído do solo pelo milho, são exportados para os grãos 15,6 kg de N, 4,8 kg de P, 5,1 kg de K, 0,4 kg de Ca, 2,2 kg de Mg e 1,2 kg de S (RITCHIE et al., 2003). Isso significa que incorporação dos restos culturais de milho restitui ao solo em torno de 90 kg ha⁻¹ de K, 47 kg ha⁻¹ de N, 22 kg ha⁻¹ de Ca, 12 Kg ha⁻¹ de Mg e 3 kg ha⁻¹ de P em um total de 7,68 t ha⁻¹ de palhada (COELHO, 2005). Portanto, a adubação com K para as culturas respondendo ou não em rendimento final, proporciona K no resíduo proporcionalmente mais do que a remoção K nos grãos tanto para o milho quanto para a soja (OLTMANS; MALLARINO, 2015). De tal modo que a aveia branca é caracterizada como uma cultura altamente recicladora em K, o milho também pode ser rotulado da mesma forma. Logo, a preocupação apontada por Coelho (2005) referente às baixas respostas do milho à adubação potássica se deve em parte, à descontinuidade de experimentos à campo, refletindo no equilíbrio do elemento no solo a ponto de interferir no entendimento do K no sistema solo-planta.

3.3.4.3 Concentração de nutrientes nos grãos de milho em 2012/13 e 2014/15

Foi observada interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para o teor de K nos grãos ($F = 11,66$; $P < 0,001$) no milho de 2012/13. Ainda, foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para a concentração nos grãos de P ($F = 18,09$; $P < 0,001$), Ca ($F = 2,7$; $P = 0,0346$) no milho de 2014/15.

Efeito dos transectos foram observadas apenas para o teor de N nos grãos ($F = 8,69$, $P = 0,0133$); teor de K nos grãos ($F = 6,37$; $P = 0,0271$) em 2012/13 (Tabela 15). E para 2014/15 foi observado efeito dos transectos na concentração de N nos grãos ($F = 84,41$; $P < 0,001$), P ($F = 58,28$; $P = 0,0001$), K ($F = 25,5$; $P = 0,0008$), Ca ($F = 6,14$; $P = 0,0293$), Mg ($F = 44,59$; $P = 0,0002$), S ($F = 85,22$; $P < 0,001$) (Tabela 16).

As doses empregadas ocasionaram diferenças apenas nos teores de K nos grãos ($F = 7,32$; $P = 0,0021$) em 2012/13. Entretanto, em 2014/15 as doses empregadas ocasionaram

diferenças no teor de N nos grãos ($F = 7,64$; $P = 0,0017$), P ($F = 12,14$; $P = 0,0001$), K ($F = 6,22$; $P = 0,0044$), S ($F = 64,41$; $P < 0,001$) em 2014/15.

Apesar do efeito significativo das doses de K nos teores de K nos grãos pelo teste F em 2012/13 e nos teores de N, P, K e S em 2014/15, não foi possível ajustar curvas de regressão para a concentração de K no grão em (2012/13) ($\hat{y} = \bar{y} = 5,52 \text{ g kg}^{-1}$), e de N ($\hat{y} = \bar{y} = 12,12 \text{ g kg}^{-1}$), K ($\hat{y} = \bar{y} = 3,64 \text{ g kg}^{-1}$) e S ($\hat{y} = \bar{y} = 0,81 \text{ g kg}^{-1}$) em 2014/15. Entretanto, de acordo com a equação de regressão para P ($y = 0,0014x + 2,6736$, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0233$) ajustada para o grão, ressalta-se que para cada kg de K aplicado em cobertura, houve um incremento de 0,0014 kg na extração de P pelos grãos. Os resultados apontam que o excesso de K reduz a translocação de P para o grão, embora não há na literatura evidências de antagonismos ou competição (ROSOLEM, 2005). Ainda, sementes com alta concentração de P favorecem maior crescimento da parte aérea e acumulação de N, como verificado na Tabela 15 e 16, particularmente em solos sob baixa disponibilidade de P, desempenhando fundamental importância no desenvolvimento nas plantas (ARAUJO; MACHADO, 2006).

Aumento quadrático foi possível observar na interação entre transectos e doses, para a concentração de K no grão em 2012/13 ($R^2 = 1$, $P = 0,0012$) no transecto 2 (Figura 7A). Aumento quadrático crescente do Ca grão foi possível observar com as doses no transecto 1 ($R^2 = 0,99$, $P = 0,0458$) em 2014/15 (Figura 7B). Ainda, redução quadrática do P grão ($R^2 = 0,99$, $P = 0,0288$) no transecto 2 também foi observado em 2014/15.

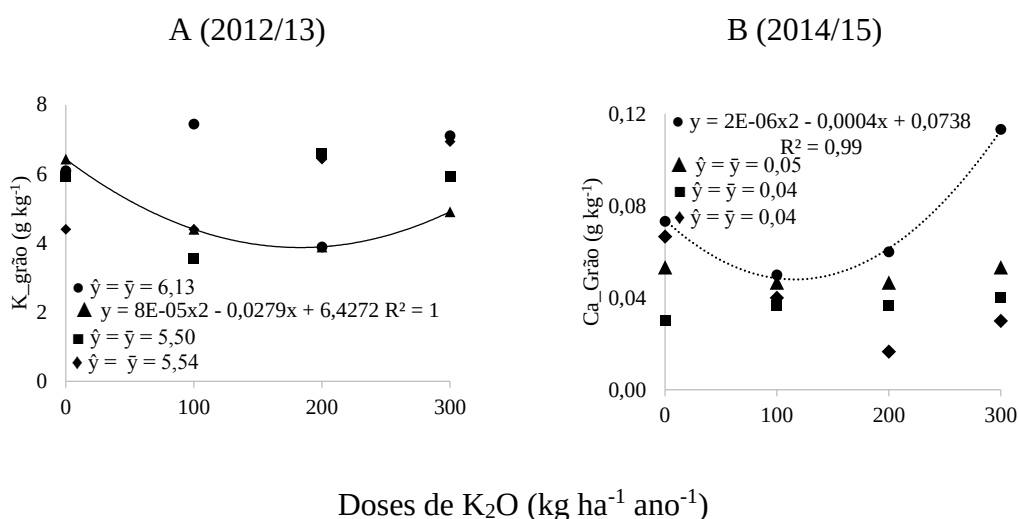


Figura 7: Concentração de potássio e cálcio nos grãos do milho em 2012/13 e 2014/15 após aplicação das doses de K₂O e em diferentes transectos. (●) Transecto 1, (▲) Transecto 2, (■) Transecto 3, (◆) Transecto 4.

A alta mobilidade do Mg no floema, refletiu nas maiores concentrações no grão em 2012/13 em relação ao Mg em 2014/15. Do mesmo modo, as concentrações de Ca em 2014/15 foram ainda menores em relação ao Ca em 2012/13. A baixa mobilidade do Ca no floema justifica não haver translocação das folhas para os grãos (VASCONCELLOS et al., 1998). O milho tem a tendência em aumentar o teor foliar em Ca com a idade das folhas e diminuir o teor foliar de N, P e K (MALAVOLTA et al., 1997).

A translocação dos nutrientes da parte vegetativa para o grão em desenvolvimento depende da quantidade adequada de nutrientes disponíveis no solo para um suprimento adequado neste estágio, que pode provocar deficiências foliares (RITCHIE et al., 2003). Neste sentido, as maiores concentrações de N e K nos grãos foram observados nos transectos 1 (70,87% de sombra) em 2012/13 e transectos 1 e 2 para K, Ca, S e transecto 1 para N, P e Mg em 2014/15 (Tabela 16).

A concentração nos grãos estava dentro da faixa para P e Mg ($2 - 4 \text{ g kg}^{-1}$ e $2 - 5 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente) em 2012/13, entretanto para N, K, Ca e S se encontrava abaixo da faixa de suficiência por CQFSRS/SC (2004), ($27 - 35 \text{ g kg}^{-1}$, $17 - 35 \text{ g kg}^{-1}$, $2 - 8 \text{ g kg}^{-1}$, $1 - 3 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente). Ainda, as maiores concentrações de N, P, Ca, Mg foram observadas no transecto 1, e para K e S nos transectos 1 e 2 iguais significativamente em 2014/15. Apenas para os teores de P (todas os transectos) e S (nos transectos 1 e 2) observados em 2014/15 estavam dentro da faixa de suficiência (CQFSRS/SC, 2004). Este fato pode estar relacionado com os menores teores trocáveis no solo aos 30 meses, mesmo com concentrações suficientes observados na diagnose foliar em ambas as safras.

Maiores concentrações nos transectos 1 e 2 observado para o S no grão em 2014/15 (Tabela 16) pode ter efeito no maior depósito de MOS do componente arbóreo nestas faixas, uma vez que esta é a principal fonte de S para os solos.

De fato, a menor influência da restrição de radiação principalmente nos transectos 3 e 4, favoreceu o maior acúmulo dos nutrientes. Neste sentido, se por ventura, baixo conteúdo de água no solo fosse encontrado nestes transectos, a impedância mecânica do solo aumentaria e o crescimento da raiz seria inibido, o que limitaria ainda mais o fornecimento de nutrientes à superfície radicular por difusão (MARSCHNER, 2012).

Em razão da profundidade intermediária do sistema radicular do *E. dunnii*, a densidade de raízes tende a permanecer na superfície sob condições de solos férteis (GONÇALVES; MELLO, 2000). Logo, há de se considerar a competição das raízes do eucalipto com as

culturas no transecto 1 por água e nutrientes e pode estar atribuído ao solo fértil nos renques, diminuindo a relação sistema radicular/parte aérea e aumentando seu crescimento.

3.3.4.4 Rendimento de grãos de milho em 2012/13

Não foi observado efeito da interação dos transectos e doses nos componentes de rendimento em 2012/13. Além disso, as doses não modificaram a produção de milho 2012/13. Apenas efeito dos transectos foram observadas para o número de grãos de milho (NGM) ($F = 67,52$, $P = 0,0001$) e rendimento de grãos de milho (RGM) ($F = 126,99$, $P < 0,001$) em 2012/13.

Maior RGM foi observada no transecto 3 ($10470,1 \text{ kg ha}^{-1}$, 61% sombra no outono/13), todavia, este rendimento não se enquadra com as plantas mais bem nutridas em K ($15,36 \text{ g kg}^{-1}$) no qual a faixa de suficiência está entre 17,5 a $22,5 \text{ g kg}^{-1}$ (MARTINEZ et al. 1999). Neste contexto, há uma relação linear entre a transpiração, possivelmente maior no transecto 3, com a produtividade (MENDEL; KIRKBY, 2001).

Boas condições climáticas no estado do Paraná resultaram em altos rendimentos médios para o milho 2012/13 (SHIOGA et al., 2013), uma vez que o milho é uma das culturas mais afetadas pela variabilidade no regime pluviométrico, exigindo em torno de 600 mm em todo ciclo da cultura e 6 a 7 mm diários (MAGALHÃES et al., 2002; BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Ao observar a Tabela 15, nota-se uma grande variação de RGM em 2012/13 entre os transectos, na qual o transecto 1 (76,5% de sombra no outono) obteve rendimento médio de $4739,98 \text{ kg ha}^{-1}$ em comparação ao transecto 3 (61,02% de sombra no outono) com rendimento de $10470,1 \text{ kg ha}^{-1}$. O NGM verificado nos transectos 2, 3 e 4 iguais significativamente, favoreceram os maiores RGM.

Dentre os componentes de produção do milho, o número de grãos por fileira interfere diretamente no comprimento de espiga e é o componente de rendimento que apresenta a melhor correlação positiva com a produtividade (BALBINOT JUNIOR et al., 2005) além da massa dos grãos (MAGALHÃES et al., 2002). Estes autores abordam que o RGM está diretamente ligado ao enchimento de grãos que favorece a massa de grãos, como também ao número de grãos interligados dependente do crescimento no pendoamento. Entretanto, cabe ressaltar que o número de fileiras (NF), massa de grãos de milho (MGM) e índice de colheita (IC) não foram influenciados pela restrição da radiação. O pendoamento por sua vez, é o

período mais crítico às condições de estresse de luminosidade (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) e déficit hídrico (MAGALHÃES et al., 2002).

Considerando que a precipitação durante a fase de floração (período crítico) foi pequena (89,8 mm em janeiro, Figura 8) o rendimento foi afetado, já que a planta exige em estádios reprodutivos de 7 a 10 mm/dia (CASTRO; KLUGE, 1999, GALON et al., 2010). Apesar da média de produção do milho para a região de Ponta Grossa nesta safra 2012/2013 ter alcançado 9.477 kg ha⁻¹ (SEAB, 2015) e 7.903 kg ha⁻¹ para a região sul (SEAB, 2015), a média regional para o híbrido 30F53 YR foi de 12.698 kg ha⁻¹ (SHIOGA et al., 2013). Logo, as produtividades obtidas apresentaram valores abaixo da média da região, independente dos tratamentos estudados.

Estudos demonstram que, em função do tempo de resposta da abertura e do fechamento dos estômatos à radiação, a produtividade do milho é maior em dias constantemente nublados do que em dias com nebulosidade intermitente (LEMON, 1969 *apud* CASTRO; KLUGE, 1999). Neste contexto, possivelmente a pouca diferença da restrição de radiação entre os transectos 3 e 4 (61 e 57 % de sombra no Out/2013) favoreceram o maior RGM.

3.3.4.5 Rendimento de grãos de milho em 2014/15

Não foram observadas interações entre tratamento principal (transectos) e secundário (doses) para o RGM. Ainda, foi observada efeito dos transectos para o RGM ($F = 15,92$, $P = 0,0029$) em 2014/15.

Efeito de doses para o RGM foi observada ($F = 25,63$; $P < 0,001$), contudo, não foi possível ajustar uma equação ($\hat{y} = \bar{y} = 6137,85$ kg ha⁻¹). Vyn et al., (2002) observaram que o K embora não tenha afetado a produção de biomassa em SPD, aumentou a massa de grãos por planta.

Maiores RGM foram observadas nos transectos 2, 3 e 4 (6180,67 kg ha⁻¹ e 69,09 % de sombra; 8742,5 kg ha⁻¹ e 64,45% de sombra e 6846,5 kg ha⁻¹ e 56,97 % sombra) para a safra 2014/15, com rendimentos equivalentes.

A redução do RGM observada no transecto 1 (2781,75 kg ha⁻¹) foi mais afetada na projeção da copa das árvores em comparação à primeira safra, provavelmente em virtude da diferença de radiação transmitida aliado ao crescimento contínuo do eucalipto (Tabela 6, 70,87% de restrição de radiação no transecto 1) que acarreta em alterações morfológicas nas

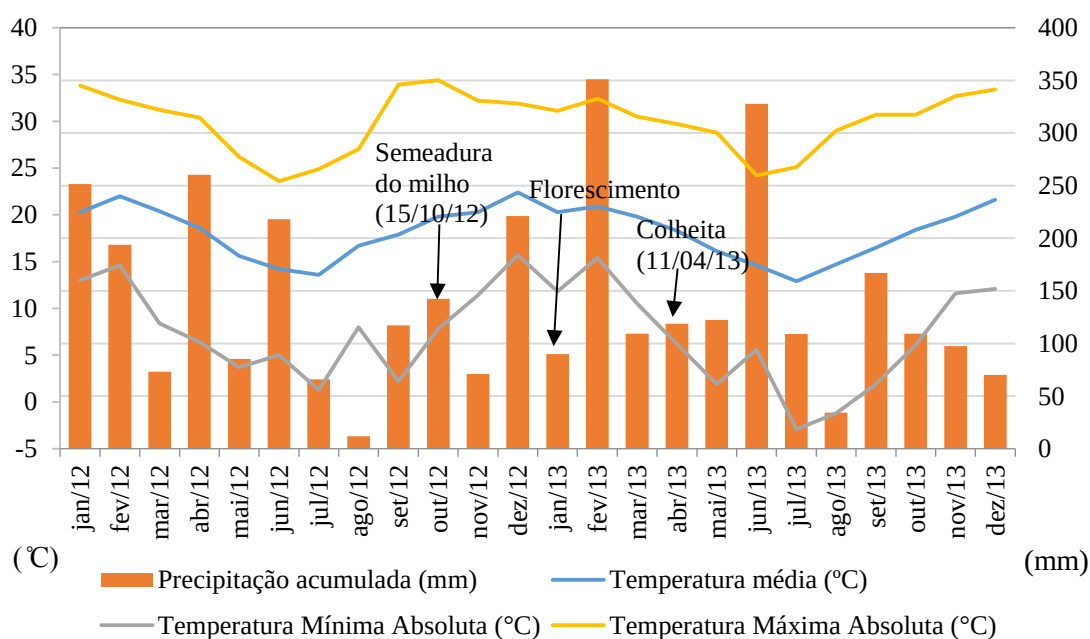


Figura 8: Precipitação acumulada e temperatura mínima, máxima e média no período de Janeiro/12 a dezembro/13. Dados disponibilizados pelo SIIMEPAR - Estação 25135001- para a região de Ponta Grossa, PR

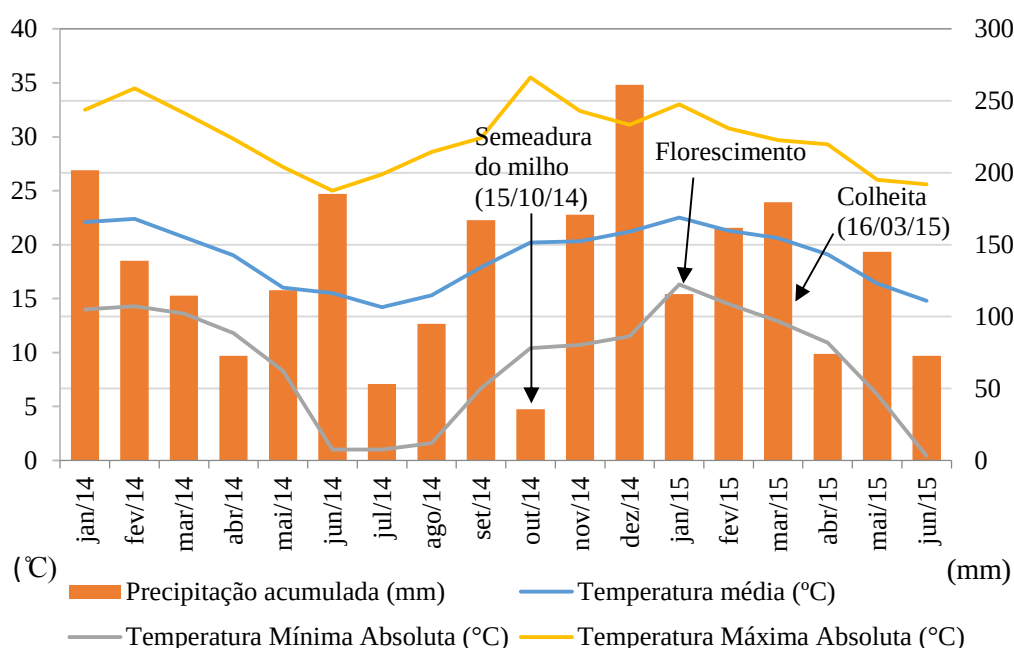


Figura 9: Precipitação acumulada e temperatura mínima, máxima e média no período de Janeiro/14 a Junho/2015. Dados disponibilizados pelo SIIMEPAR - Estação 25135001- para a região de Ponta Grossa, PR

plantas, diminuição da área foliar e mudanças na relação fitomassa e órgãos reprodutivos (MAGALHÃES et al., 2002). O comprometimento da captação e eficiência na utilização da radiação e acumulação de fotoassimilados repercute diretamente na produtividade.

Diferenças no rendimento entre os anos agrícolas pode ser atribuída a maior restrição de radiação se comparados outono/2013 com outono/2014. Resultados semelhantes também foram verificados por Burner et al. (2009), no qual o milho possuiu o melhor ajuste que azevém no cultivo em aléias, uma vez que recebeu mais radiação durante seu crescimento em função do seu hábito de crescimento mais alto, com aumento na competição por luz.

O milho tende a expressar sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico (GALON et al., 2010).

O clima mais seco em outubro de 2014 (Figura 9) em todo o país prejudicou os trabalhos de campo e afetou o desenvolvimento inicial do cereal em algumas regiões (SEAB, 2014), refletindo no RGM em 2014/15. Apesar do maior RGM em 2014/15 obtido no presente trabalho tenha sido 8.742,5 kg ha⁻¹ no transecto 3, foi muito próximo do rendimento obtido para o sul do Brasil com 8.757 kg ha⁻¹ e para Ponta Grossa conforme SEAB (2015) com 9879 kg ha⁻¹. Contudo, Shioga et al., (2015) encontraram para o híbrido 30F53 YR 12.709 kg ha⁻¹ para região de Ponta Grossa.

A umidade do solo tem sido considerada como principal fator limitante de cultivos entre renques (JOSE et al., 2008, BURNER et al., 2009). De tal modo, Khybri et al. (1992) verificaram com trigo e arroz, a redução da produtividade justificados por efeitos hídricos. Estes autores verificaram redução de 39% à uma distância de até 1 metro, 33% de 1 a 2 metros, 25% de 2 a 3 metros e 12% de 3 a 5 metros de distância do componente arbóreo.

Samra et al. (1993) estudando a competição de *Eucalyptus tereticornis* com gramíneas verificaram variação da produtividade da gramínea de ano para ano atribuídas a competição por água. Por outro lado, Soares et al. (2009) descartaram a competição por água das espécies forrageiras e *Pinus taeda*, pois detectaram maior umidade do solo no sub-bosque (30%) em relação a pleno sol (27%), e atribuem essa diferença à formação de um micro-clima no sub-bosque, uma vez que a menor velocidade do vento e menor radiação solar diminuem a evaporação da água do solo, superando o efeito de possível aumento da evapotranspiração da vegetação na presença de árvores.

Não foi observado efeito da restrição de radiação no MGM, em ambas as safras. Martins et al. (2014) verificaram que o sombreamento artificial na fase correspondente ao

final da antese e início do enchimento de grãos, reduziu a massa de grãos em duas cultivares de trigo. Contudo, existe a dificuldade na avaliação da importância relativa da restrição da sombra e água do solo em um SIPA, por causa da confusão dos fatores específicos do local, tais como espécie de árvore e manejo, culturas agrícolas e manejo, precipitação e distribuição anual, tipo de solo, profundidade e drenagem (BURNER et al., 2009).

Em razão dos níveis médios de K trocável no solo (0-5 cm) e baixos e muito baixo para as demais profundidades, não era esperado ausência de resposta à aplicação de doses de K (COELHO, 2005). Todavia, o rendimento das culturas com a adubação com KCl é improvável e a investigação mais acurada mostra que em todos os casos pode ser contabilizados pelos seguintes fatores: excesso de K trocável no solo, acumulação do K na superfície do solo em SPD devido ao lento transporte do K no perfil pelo centro do volume de raízes, além da relação K-Mg e K-Ca (BAR-YOSEF et al., 2015). Cabe ressaltar que o rendimento médio de milho em 2014/15 ($6137,85 \text{ kg ha}^{-1}$) sob efeito das doses de KCl é considerado baixo, mesmo com alto potencial de produção do híbrido.

O espaçamento entre linhas modificado em 2014/15, alcançando aproximadamente $75000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (5 plantas/m a 65 cm entre fileiras) pode ter influenciado no tamanho da espiga, no número de espigas por planta, número de grãos por espiga, altura e produtividade, conforme verificado por Calonego et al. (2011) mascarando a interpretação obtida no presente estudo.

A competição por luz em plantios densos resulta em plantas maiores, com menor diâmetro de colmo e menor ganho de matéria seca (CASTRO; KLUGE, 1999). Ainda, o comprimento de entrenós do milho está diretamente relacionado com a altura da planta que, por sua vez, é decorrente do crescimento dos tecidos, altamente influenciado pela adição de K (ANDREOTTI et al., 2001).

A população e o arranjo de plantas afetaram a produtividade de milho por interferirem na radiação fotossintética ativa e na disponibilidade de água e nutrientes (CALONEGO et al., 2011). Por outro lado, estes autores verificaram competição intra-específica pelo maior crescimento das plantas em altura e pelo maior diâmetro de colmo.

Um dos objetivos da modificação do arranjo de plantas, pela redução da distância entre linhas, é encurtar o tempo necessário para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente e, com isso, incrementar a quantidade de energia captada por unidade de área e de tempo (KUNZ et al., 2007). Por outro lado, maiores índices de área foliar em populações adensadas podem acarretar o auto sombreamento prematuro de folhas, reduzindo, da mesma

forma, o potencial produtivo (GALON et al, 2010, BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). Dessa maneira, a restrição de radiação verificada neste SIPA tornou-se mais um fator a prejudicar o rendimento final, uma vez que maiores produtividades são obtidas somente quando as condições ambientais são favoráveis em todos os estádios de crescimento da planta (RITCHIE et al., 2003).

Assim, plantas que estão sob algum tipo de estresse podem interceptar e absorver a mesma quantidade de radiação que plantas não estressadas, porém, plantas estressadas podem apresentar menor taxa fotossintética e, com isso, menor eficiência de uso da radiação (KUNZ et al., 2007). Aliás, estes autores verificaram que a eficiência de uso de RFA apresentou valores reduzidos com a ocorrência do déficit hídrico, principalmente pela diminuição do IAF e o enrolamento das folhas. Em consequência, houve diminuição da quantidade de radiação interceptada, refletindo-se em menor conversão da RFA em MS da parte aérea. Estes autores concluem que o maior RGM no sistema irrigado é com 40 cm de espaçamento e com déficit hídrico é com 80 cm entre fileiras. Do mesmo modo, o estresse de umidade afetou negativamente interceptação da radiação, eficiência fotossintética e índice de colheita da soja (PADMAVATHI, 1998).

3.4 Conclusões

A restrição de radiação foi a variável determinante do rendimento das culturas, uma vez que resposta à adubação potássica para o rendimento das culturas não foi observada.

Após 30 meses de experimentação, o potássio trocável e a saturação de potássio na capacidade de troca efetiva reduziu, possivelmente pela alta extração de potássio e remoção da parte aérea da aveia branca para formação de feno.

A concentração de potássio adequada na soja, não favoreceu na prevenção ao ataque de pragas e doenças, que pode ter influenciado no menor rendimento de grãos de soja. Os resultados apontam que a soja foi a mais sensível à restrição de radiação em comparação ao milho. O acúmulo de potássio no milho com doses crescentes, não repercutiu em maior produção de grãos em transectos mais sombreados.

A produção da aveia branca na primeira safra, não foi influenciada pela restrição de radiação. Porém na segunda safra, a maior produção de massa seca foi com 89 e 71% de restrição de radiação no outono e inverno respectivamente, representada pelo transecto 3.

4.0 Capítulo 2: Macronutrientes em renques de *Eucalyptus dunnii* Maiden submetidos à adubação potássica em solos de carga variável

RESUMO

A relevante contribuição da ciclagem de nutrientes provenientes dos resíduos de eucalipto em um sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), extraindo o potássio (K) em camadas mais profundas e liberando na superfície, em solos com carga variável carece de informação e merece ser melhor investigada. Além disso, a produtividade do eucalipto pode ser diferenciada com a dinâmica de K em solos com elevada acidez e baixa disponibilidade de bases trocáveis (cálcio - Ca, magnésio - Mg, K). Portanto, o uso eficiente de fertilizantes torna-se indispensável para aumentos no incremento do componente arbóreo em SIPA. Espera-se que a fertilização potássica possa favorecer tanto a nutrição mineral quanto a produção de madeira em solo com carga variável; e que a alta mobilidade e a ciclagem bioquímica do K proporciona aumento das perdas por lixiviação. Os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de doses de K (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O) aplicado na superfície do solo nos renques de um SIPA com eucalipto, e relacionar essas doses com os teores de macronutrientes no solo, serapilheira e copa, e seu incremento médio anual volumétrico (IMA). O delineamento experimental empregado foi o de blocos inteiramente casualizados com parcela subdividida e três repetições. Os renques consistiram nas parcelas e as doses nas subparcelas. Os tratamentos principais foram representados pelos renques 1 e 2 e os secundários pelas doses de K. As amostras de solo foram coletadas aos 6, 12 e 30 meses após o início da experimentação para análise de C, pH, K, Ca, Mg trocáveis, CTC potencial (CTC) e efetiva (CTCe), saturação de bases e de alumínio e a porcentagem de K, Ca e Mg na CTCe. A coleta da serapilheira e folhas da copa das árvores ocorreu no verão de 2014/15 para análise dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg e S. Concentrações média a alta de K no perfil foram verificados até aos 12 meses, e concentração baixas foram observadas após 30 meses do início do experimento, o que favoreceu os adequados teores foliares de K verificados na copa. Concentrações altas de Ca, Mg foram verificadas em todo perfil, favorecendo a saturação destes na CTCe. A saturação do K na CTCe reduziu aos 30 meses, apesar da adequada saturação aos 6 e 12 meses. Não foi observado lixiviação, embora a acidez fosse alta. A decomposição inicial da serapilheira libera primeiramente K para as plantas, sendo que N, S, P e Mg são liberados posteriormente e o Ca pela ciclagem biogeoquímica, isto pode ser confirmado pelos elevados teores na serapilheira. Doses de K não afetaram o IMA, porém, diferenças para altura de árvores entre renques foi verificada, possivelmente, pelo efeito do relevo (transversalmente ao declive) e a disposição do plantio Leste-Oeste, modificando a disponibilidade de radiação.

Palavras-chave: Integração lavoura pastagem floresta, ciclagem de nutrientes, Latossolo Vermelho, adubação de sistema.

ABSTRACT

The relevant contribution of nutrient cycling from eucalyptus residues in an Integrated Crop-Livestock System (ICLS) extracting potassium (K) in deeper layers and releasing on the surface, in soils with variable charge, lack of information and should be further investigated. In addition, eucalyptus productivity can be differentiated on the dynamics of K in soils with high acidity and low availability of exchangeable bases (calcium - Ca, magnesium – Mg and K). Therefore, the efficient use of fertilizers becomes necessary to increase the growth of the tree component in ICLS. In this study we hypothesized the potassium fertilization promotes mineral nutrition and wood production in variable charge soils; and the high mobility and biochemical cycling of K increase leaching losses. Thus, in an agroforestry system, we evaluated only the eucalyptus rows in conditions of K doses (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of K₂O) as potassium chloride (KCl) applied on the soil surface about the macronutrients in soil, litter and canopy, as well as the production (mean annual increment – MAI). The experimental design was a randomized complete block with a split plot with three replications. The rows of tree consisted the plots, and K rates were the subplots. The main treatments were represented by the row 1 and 2 and secondary by K rates. Soil samples were collected at 6, 12 and 30 months after the beginning of the experimentation for pH, H + Al, Al, C, P, K, Ca, Mg, cation exchange capacity (CEC) and effective CEC (ECEC), base and aluminum saturation and the percentage of K, Ca and Mg in the effective CEC. Litter and canopy leaves were collected in the summer of 2014/15 for N, P, K, Ca, Mg and S total analysis. Medium to high concentrations of K in profile were observed up to 12 months. However, very low concentrations of K in the profile were observed after 30 months initiated the experiment, which favored the optimum foliar K checked in the canopy. High concentrations of Ca and Mg were observed throughout profile, favoring saturation of these cations on ECEC. The K saturation of the ECEC reduced at 30 months, despite adequate saturation at 6 and 12 months was observed. No leaching was observed, although acidity was high. Initial decomposition of litter first release K to the plants, and N, S, P and Mg are subsequently released and Ca by biogeochemical cycling, this can be confirmed by high levels in the litter. Moreover, Ca was released by biogeochemical cycling, this can be confirmed by high levels in the litter. K rates did not affect the MAI, however, height differences between rows was found, possibly by the effect of slope (transversely the slope) and the layout of the east-west planting modifying the availability of radiation.

Key Words: Integrated Crop-Livestock-forest System, nutrients cycling, Typic Hapludox, and fertilization of system.

4.1 Introdução

Atualmente, a preocupação mundial voltada para a sustentabilidade preconiza os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) como alternativa viável para atingir o desenvolvimento sustentável (MACEDO et al., 2010). O SIPA tem sido uma opção interessante e viável para a oferta de madeira, alimentos, forragem, sementes, óleos, gomas, fibras, tanino, entre outros bens, otimizando a produção por unidade de área. O sucesso desse sistema está condicionado à competição entre plantas, inter e intra-específica por espaço físico, luz, água e nutrientes minerais (PACIULLO et al., 2009).

A dinâmica da serapilheira e o ciclo de nutrientes é variável com as entradas (via atmosfera, intemperismo, adubação) e saídas (por meio de lixiviação, percolação, exportação) (BERTALOT, 2004; FOSTER; BHATTI, 2006). Neste caso, a ciclagem bioquímica de nutrientes, particularmente para o potássio (K), é fundamental para a manutenção e aumento dos rendimentos florestais (GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002, ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). Também, a ciclagem biogeoquímica tem sido relevante no SIPA com eucalipto (ANGHINONI et al., 2011). Neste contexto, a contribuição dos resíduos de eucalipto na liberação de K é grande (SANTI et al., 2003; CUNHA et al., 2005), devido à sua capacidade de absorvê-lo das camadas mais profundas (abaixo de 40 cm) e, posteriormente, liberá-lo na camada superficial (0-20 cm) (LOUZADA; PACHECO, 1992, WITSCHORECK et al., 2003; FREYCON et al., 2015).

O componente arbóreo proporciona um microclima diferenciado no SIPA, resultando em diminuição da porcentagem de radiação, amenização da temperatura do ar e do solo, aumento da porcentagem de umidade do ar, diminuição da evapotranspiração e melhoria da manutenção da umidade do solo (MENEZES et al., 2002; SANTANA et al., 2007; BERNARDINO; GARCIA, 2009). Esse último fator tem sido determinante na disponibilidade de K às plantas. O movimento da solução do solo pode ser impulsionado por diferenças de potencial hídrico (fluxo de massa) ou por diferenças de concentração (difusão). Quando a concentração de K na solução do solo é alta, o fluxo de massa é o mecanismo de contato predominante, por outro lado, a difusão é o mecanismo de contato dominante no transporte de K às raízes sob baixas concentrações de K (MARSCHNER, 1995, OLIVEIRA et al., 2004, MALAVOLTA, 2005), apesar da alta concentração (98%) do K do solo ser encontrada na estrutura dos minerais primários e secundários (K estrutural) e uma pequena fração ligado às cargas elétricas negativas (SPARKS, 2000).

O eucalipto tem respondido à fertilização potássica em solos que possuem concentrações na faixa de 0,2 a 1,0 mmol_c dm⁻³ de K (SILVEIRA; MALAVOLTA; 2000). Portanto, há um expressivo potencial de resposta à fertilização em solos de baixa fertilidade (GAZOLA et al., 2015), pois um adequado equilíbrio dos nutrientes é alcançado, levando a obtenção de altas produtividades (CALDEIRA et al., 2015). No entanto, as respostas do eucalipto à fertilização podem ser variáveis em povoamentos após o fechamento das copas, pois segundo Miller (1995) o requerimento dos nutrientes para o crescimento pode ser obtido por retranslocação a partir de tecidos velhos e assim reduzir a exigência dos nutrientes pela serapilheira.

Diante do exposto, espera-se que a fertilização potássica favorecerá a nutrição mineral e a produção de madeira em solos com carga variável e que a alta mobilidade e ciclagem bioquímica do K aumentará as perdas por lixiviação. Os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de doses de K (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O), aplicados na superfície do solo, nos renques de um SIPA com *Eucalyptus dunnii*, nos teores de macronutrientes no solo, na serapilheira e na copa das árvores, bem como no incremento médio anual em termos de produção de madeira.

4.2 Material e Métodos

A localização do experimento e histórico da área em que o estudo foi realizado, a metodologia utilizada na amostragem de solos e as análises referentes aos macronutrientes no solo estão descritas no primeiro capítulo. Neste capítulo será apresentada a metodologia referente à análise nutricional e a produtividade do componente arbóreo.

4.2.1 Caracterização da área de estudo

O inventário florestal foi realizado em 2013, mensurando a cada 10 árvores a circunferência acima do peito e altura, obtendo uma média de 21,6 cm de diâmetro acima do peito (DAP); 21,1 metros de altura total (Ht), 10,84 m² ha⁻¹ de área basal (G), 81,68 m³ ha⁻¹ de volume e 13,61 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de incremento médio anual (IMA). Os principais atributos

químicos e físicos do solo nos renques, realizados no mês de maio de 2012, antes da aplicação das doses, estão representados na Tabela 17.

Tabela 17: Principais atributos do solo da área experimental, em diferentes camadas, por ocasião da instalação do experimento nos renques (Set/2012)

Profundidade cm	pH ¹	H + Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ²
				mmolc dm ⁻³			
0-5	5	66,9	1,3	39,5	24	2,6	132,9
5-10	4,6	87,4	3,2	29,4	12,3	1,6	130,7
10-15	4,4	98,5	7,6	14	19,8	1,5	133,8
15-20	4,3	102,2	10,2	6,8	14,7	1,1	124,8
20-40	4,1	99,2	14,8	2,8	10,4	1,1	113,5
40-60	4,2	100,0	12,2	3,6	11,3	0,7	115,5
Média: 0-20	4,6	88,7	5,6	22,4	17,7	1,68	130,54

Profundidade cm	V ³	m ⁴	C ⁵	P ⁶	Areia	Silte	Argila
	%		g dm ⁻³	mg dm ⁻³		g kg ¹	
0-5	49,7	1,94	20,4	4,8	579,4	140,6	280
5-10	33,1	6,91	21,1	3,6	579,6	120,4	300
10-15	26,4	17,80	16,1	2,9	579,6	120,4	300
15-20	18,1	31,32	15,3	2,4	597,2	102,8	300
20-40	12,6	51,27	15,7	2,3	591,2	108,8	300
40-60	13,5	44,23	12,5	2,4	554,0	106,0	340
Média: 0-20	31,82	14,5	18,2	3,4	584,0	121,1	295,0

⁽¹⁾pH em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹; ⁽²⁾T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0;

⁽³⁾Índice de saturação por bases; ⁽⁴⁾Índice de saturação de alumínio; ⁽⁵⁾C: carbono orgânico extraído pelo método de Walkley-Black; ⁽⁶⁾P disponível por solução de Mehlich-1.

4.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi o de blocos inteiramente casualizados com parcela subdividida com três repetições. As parcelas consistiram dos renques (renque 1 e 2) e as subparcelas as doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O), na forma de KCl, aplicadas na superfície do solo (Figura 10). Esse experimento possuía 24 parcelas, sendo que cada parcela tinha área de 24 m². As doses de fertilizante potássico foram parceladas em duas aplicações, sendo a metade no outono (mês de abril) e a outra metade na primavera (mês de outubro) seguindo a metodologia do capítulo anterior, ou seja, no momento de implantação das culturas intercalares de inverno (aveia branca) e verão (soja ou milho), respectivamente.

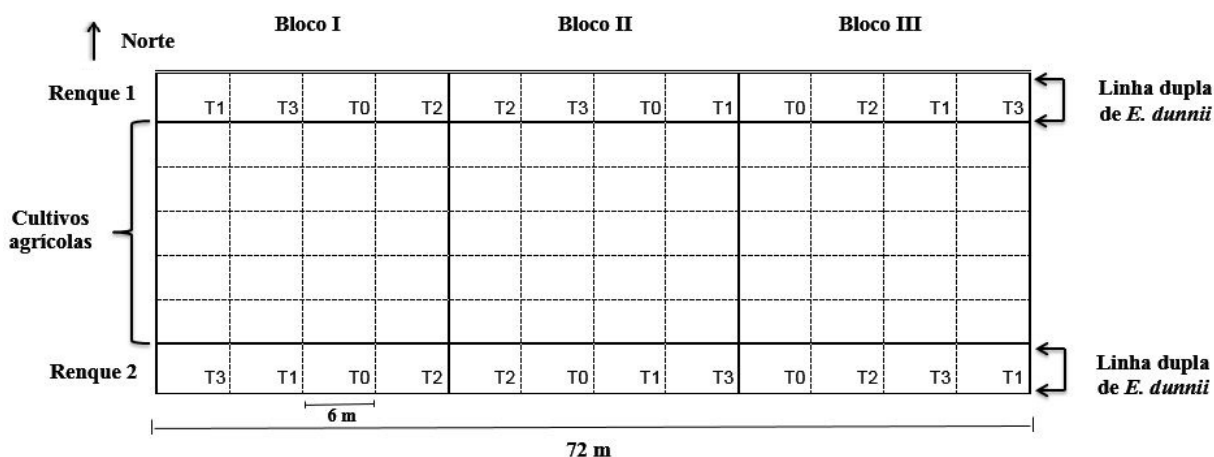


Figura 10: Croqui da distribuição de doses de potássio nos renques na área experimental

4.2.3 Amostragem das plantas e análise química de tecido vegetal

Para a análise foliar do eucalipto, foram coletadas folhas das árvores dominantes de cada parcela no verão de 2013/14 baseado no critério da altura dominante de Assmann (1970) que corresponde proporcionalmente às 100 árvores mais grossas do hectare. A separação das folhas foi feita a partir de ramos situados a meia altura das copas (terço médio da copa), expostas à face Norte, de duas árvores representativas, do total de quatro árvores em cada parcela, para os dois renques, coletando as folhas 3, 4, 5 e 6 conforme metodologia de Bellote; Silva, (2000).

Para a coleta de serapilheira acumulada (verão 2013/2014) utilizou-se um gabarito de madeira com dimensões de 0,25 x 0,25 m com três repetições para cada subparcela. As amostras de serapilheira foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório para procedimentos de lavagem, secagem, moagem e determinações analíticas, empregando-se os métodos sugeridos por Malavolta et al., (1997). Da mesma forma, as amostras foram secas em estufa a 65 °C com circulação forçada de ar até atingir peso constante, moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em recipientes plásticos tampados para a realização das análises químicas.

A metodologia de digestão para determinação de N foi 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 EAM para P; EEC para K; EAA-chama para Ca e Mg; e turbidimetria para S.

4.2.4 Amostragem das árvores e análise de incremento

Para análise das árvores, foram feitas duas avaliações dendrométricas da altura (h) e circunferência acima do peito (cap), transformando posteriormente em diâmetro acima do peito (DAP), no período de janeiro/2014 e agosto/2015. De posse destes dados, foi estimado o volume com casca e sem casca (vol._{C/C} e vol._{S/C}) de madeira por hectare. No cálculo do volume, empregou-se o modelo matemático de Schumacher e Hall conforme Figueiredo Filho et al. (2014) ajustada para *Eucalyptus dunnii* nos Campos Gerais, dada por:

$$\text{vol} = B_0 * d^{B_1} * h^{B_2} + \epsilon_i$$

Em que:

B_0 , B_1 e B_2 são coeficientes do modelo e ϵ_i é o erro da estimativa.

Os coeficientes para o volume com casca foram 0,000018 como B_0 , 1,77298 como B_1 , 1,37336 como B_2 e para volume sem casca foram 0,00001 como B_0 , 1,7737 como B_1 e 1,49002 como B_2 .

O incremento médio anual (IMA) em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ foi obtido para verificar o crescimento total em determinada idade, conforme Imaña-Encinas et. al. (2005).

$$\text{IMA} = Y_t/t_0$$

Em que:

IMA = incremento médio anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$);

Y = dimensão da variável considerada e

t_0 = idade a partir do tempo zero.

4.2.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística univariada de acordo com o experimento em blocos inteiramente casualizados em parcelas subdivididas. Foi realizado o teste de Bartlett para verificação de variâncias homogêneas, teste F para análise de variância dos atributos de solo e planta. Quando o F foi significativo ($p < 0,05$), aplicou o teste de Tukey para comparação das médias. Foram realizadas análises de regressão (lineares ou quadráticas) para cada uma das variáveis resposta (concentração de nutrientes no solo, na copa, serapilheira e incremento) de acordo com as doses de K (0, 100, 200 e 300 $\text{kg}^{-1} \text{ha}^{-1}$

ano de K_2O), adotando-se a magnitude do coeficiente de determinação como critério de escolha.

Na ausência de interação, foram consideradas como repetições: (i) para os renques: os blocos (três) e a média das doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano de K_2O); (ii) para as doses – os blocos (três) e a média dos renques (1 e 2). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o uso do *Software* Statgraphics® Centurion.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Atributos de fertilidade do solo

4.3.1.1 Aos 6 meses

Não foram observadas interações entre tratamento principal (renque) e secundário (doses) para os atributos de solo aos 6 meses. Diferenças entre renques foi observado para o Mg (F = 64,89, P = 0,0151) na camada 5-10 cm, Mg (F = 64,43, P = 0,0152) na camada 10-15 cm, Mg (F = 53,45, P = 0,0182) na camada 15-20 cm, SB (F = 25,62, P = 0,0369) na camada 0-5 cm, SB (F = 33,45, P = 0,0286) na camada 5-10 cm e KCTCe (F = 484,94, P = 0,0021) na camada 40-60 cm (Tabela 18).

Maior concentração de Mg trocável na camada 5-10 cm favoreceu a maior SB na mesma camada no renque 2. Além disso, foi observado maior SB e KCTCe no renque 2 para as camadas 0-5 cm e 40-60 cm respectivamente (Tabela 18).

A SB significativamente maior no renque 2 na camada 0-5 cm e 5-10 cm aos 6 meses favoreceu a maior V% nas mesmas camadas. Por outro lado, a porcentagem das cargas negativas do solo neutralizadas por cátions de reação básica (V%) na camada 5-10 cm, está muito abaixo de 45%, e são considerados muito baixo (CQFSRS/SC, 2004). Zaia & Gama-Rodrigues (2004) encontraram menores concentrações de Ca, Mg e K no solo sob eucalipto em relação ao presente estudo. Todavia, eram solos mais ácidos e com m% crescente no perfil, o que confirma a eleva acidez e baixa fertilidade dos solos florestais (SILVA et al.; 1983; GONÇALVES, 1995; VALE et al., 1996, LEITE et al., 2010).

Aumento significativo do Mg no renque 2 aos 6 meses na camada 5-10 cm e 15-20 cm (Tabela 18), corrobora com a maior concentração de C, embora não significativo, uma

Tabela 18: Concentrações médias dos atributos químicos do solo dos renques em camadas distintas, 6 meses após o início do experimento e aplicação das doses de K, em cobertura e área total

Camada	Variação	C	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	CTCe	SB	KCTCe	CaCTCe	MgCTCe	V	m
cm		g dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³					%		
A: 0-5	Renque 1	24,0	5,0	34,52	23,10	2,28	130,91	60,49	59,90 b	3,82	57,34	37,87	46,27	0,98
	Renque 2	25,5	5,1	35,11	24,34	2,34	129,99	62,19	61,79 a	3,82	56,98	38,59	47,84	0,61
	CV%	9,87	6,41	14,04	28,22	24,05	12,63	12,59	12,45	27,15	13,86	21,60	13,91	166,59
B: 5-10	Renque 1	20,4	4,5	13,73	17,71 b	1,95	121,75	38,25	33,39 b	5,82	34,41	48,00	27,29	11,77
	Renque 2	21,0	4,4	15,45	21,07 a	1,95	126,85	41,77	38,47 a	4,89	36,39	50,45	30,64	8,27
	CV%	12,04	5,31	42,0	32,81	25,63	19,80	27,88	28,24	45,09	25,49	21,21	21,83	62,85
C: 10-15	Renque 1	14,4	4,2	8,76	30,73 a	1,29	141,86	50,83	40,78	3,65	22,35	50,18	25,00	23,82
	Renque 2	16,2	4,3	9,53	18,58 b	1,26	128,44	37,54	29,37	3,63	24,56	49,54	22,83	22,27
	CV%	18,06	6,18	59,88	134,14	26,83	27,73	74,09	91,49	51,65	48,22	23,49	41,20	45,82
D: 15-20	Renque 1	14,3	4,1	4,87	9,41 b	1,28	117,97	27,26	15,55	5,15	17,36	36,65	13,59	40,85
	Renque 2	15,4	4,0	5,10	11,81 a	1,13	123,17	29,72	18,04	3,95	16,80	39,00	14,58	40,25
	CV%	16,04	4,71	72,51	37,04	23,29	17,62	23,76	33,08	41,79	59,07	27,49	30,0	35,02
E: 20-40	Renque 1	16,6	4,1	7,54	16,43	1,00	132,40	39,03	24,97	2,60	19,38	41,29	18,76	36,73
	Renque 2	18,0	4,1	9,92	16,42	1,09	137,04	41,17	27,42	2,78	22,59	40,21	20,01	34,42
	CV%	13,33	2,33	85,14	41,09	42,62	9,46	21,05	29,40	44,55	81,27	36,87	28,17	24,38
F: 40-60	Renque 1	10,9	4,1	1,00	8,58	0,71	112,02	24,97	10,29	2,91 b	3,87	33,67	9,04	59,55
	Renque 2	14,5	4,2	1,08	9,74	0,62	115,13	25,82	11,44	2,40 a	4,07	37,59	9,98	55,94
	CV%	26,91	1,32	76,32	32,62	42,50	8,69	11,64	29,17	46,01	67,31	27,77	27,22	16,61

Transformações realizadas: COSR(C_B); COSR(C_F); 1/pH_C; DIFF(pH_D); COSR(Ca_D); COSR(Ca_E); COSR(Mg_C); COSR(Mg_D); COSR(CTC_C); COSR(CTCe_C); 1/SB_C; COSR(SB_E); COSR(SB_C); COSR(KCTCe_E); COSR(KCTCe_F); COSR(CaCTCe_E); COSR(MgCTCe_C); COSR(MgCTCe_E); COSR(V%_C). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Para cada camada, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

vez que os sítios de troca da MOS controlam cátions bivalentes como Ca e Mg (VITTI et al., 2006). Apenas para a camada 10-15 cm, maior concentração de Mg foi observada no renque 1.

Efeito de doses pelo teste F foi observado para K ($F = 8,86$, $P = 0,0127$) na camada 5-10 cm, CTC ($F = 5,49$, $P = 0,0373$) na camada 20-40 cm, Mg ($F = 6,96$, $P = 0,0222$) na camada 0-5 cm, KCTCe ($F = 5,51$, $P = 0,0369$) na camada 0-5 cm aos 6 meses.

Entretanto, ajuste linear com as doses crescentes de K foi possível observar apenas para o K ($R^2 = 0,94$, $P = 0,0298$) na camada 5-10 cm (Figura 11A) e para o KCTCe ($R^2 = 0,97$, $P = 0,0145$) na camada 0-5 cm (Figura 11B). Em virtude às respostas crescentes da aplicação de K, os fertilizantes ao ingressarem no sistema, alteraram a composição da solução e, com isso, promovem modificações nos equilíbrios químicos entre as fases sólida e líquida (ERNANI et al., 2007). Concentrações médias (1,04 a 1,53 mmol_c dm⁻³) de K foi possível verificar até 20-40 cm aos 6 meses (Tabela 18), sobretudo aos 12 meses (Tabela 19), contudo esse efeito não pode ser observado aos 30 meses.

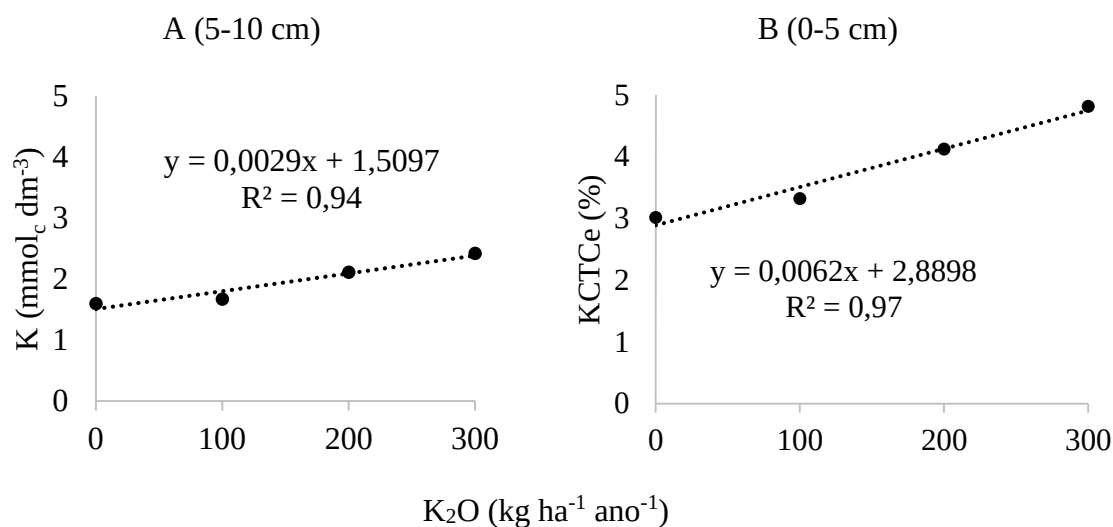


Figura 11: Concentração de potássio e percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas de solo dos renques avaliadas aos 6 meses após aplicação das doses de K₂O

No entanto, ajuste quadrático ($y = -0,0005x^2 + 0,1898x + 124,9$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0253$) para a CTC na camada 20-40 cm foi verificada com doses crescentes de K, sendo que a maior CTC foi encontrada até a dose 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e acima disso, a CTC foi reduzida. Aliado a isso, ajuste quadrático negativo ($y = -0,0001x^2 + 0,0006x + 28,512$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0134$) foi observado para o Mg na camada 0-5 cm.

Possivelmente, pouco efeito das doses de K após 6 meses do início do experimento pode ter relação em curto espaço de tempo após sua avaliação. Fato semelhante foi observado quando acrescentou o fator renque vs dose na mesma época de coleta.

Observou-se maiores teores de C, para todas as avaliações, em relação ao C inicial (Tabela 17) e apresentam-se em nível médio, por estarem entre 11,6 a 23,2 g dm⁻³ segundo Ribeiro et al. (1999). Resultados diferentes foram observados por Tivet et al. (2011) e Kramer et al. (2014) em um Latossolo Vermelho Distrófico no município de Ponta Grossa, PR e em Latossolo Bruno no município de Reserva do Iguaçu, PR respectivamente. Devido ao manejo conservacionista dos renques e a alta relação C:N da serapilheira de eucalipto (GAMA-RODRIGUES et al., 2008), há uma minimização na decomposição pelos microorganismos, aumentando gradativamente a reserva de C para solos arenosos (BAYER; MIELNICZUK, 1999, LEITE et al., 2010), como é o caso do presente estudo; além de constituir um efeito positivo sobre a retenção e disponibilidade de nutrientes.

A exsudação de compostos orgânicos e inorgânicos, que incluem íons, água, enzimas e mucilagem, podem afetar a atividade microbiana, modificar as propriedades físicas e químicas da região como também atuar ativamente na absorção de água e nutrientes (ROVIRA, 1969; HARRISON-MURRAY; CLARKSON, 1973; JONES et al., 2004). Neste sentido, altos teores de C em profundidade em ambos os meses, são provavelmente devidas à influência da exsudação radicular nutrindo comunidades microbianas associadas às raízes das plantas (ROVIRA, 1969; JONES et al., 2004).

A medida que o pH aumenta, a acidez potencial (H + Al) diminui, corroborando com outros trabalhos (SILVA et al., 2008; NICOLODI et al., 2008), tendo em vista que a diminuição da acidez, principalmente da rizosfera, resulta em complexação e/ou precipitação do Al, reduzindo a solubilidade e a sua absorção e aliviando, consequentemente, os efeitos fitotóxicos desse íon (SOUZA et al., 2011). Este efeito está claramente observado na camada 0-5 cm, com pH CaCl₂ 5,0 e saturação de Al menor que 1%, embora não significativo. Ainda, baixos valores de Al podem ser reflexo do método de extração, pois Zambrosi et al. (2007) e Campos et al. (2014) verificaram que o CuCl₂ tem maior poder de extração de Al trocável que o KCl.

Observou-se aumento crescente da saturação de K na CTC efetiva aos 6 e 12 meses a medida que aumenta a profundidade (Tabelas 18 e 19), o que pode ter referência com a mobilidade do K no perfil aliado ao aumento crescente do C. Foi observada diferença significativa do K na CTC efetiva no renque 2 aos 6 meses na camada 40-60 cm. Contudo,

não foi possível verificar a ocorrência de um comportamento padrão de K na CTC efetiva entre os renques aos 6 meses (Tabela 18). Costa et al., (2012) verificaram que a aplicação de doses de K aumentaram o teor no solo e consequentemente a concentração no tecido foliar de *E. camaldulensis* (Dehn).

4.3.1.2 Aos 12 meses

Foram observadas interações entre tratamento principal (renque) e secundário (doses) para o CTCe ($F = 8,56$, $P = 0,0138$) na camada 0-5 cm; SB ($F = 8,39$, $P = 0,0144$) na camada 0-5- cm e CaCTCe ($F = 6,03$, $P = 0,0305$) na camada 20-40 cm.

Ajustes lineares da interação renque vs dose para a CTC efetiva ($y = 0,0553x + 66,363$, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0243$) e SB ($y = 0,0559x + 65,54$, $R^2 = 0,93$, $P = 0,034$) indicam maiores concentrações no renque 1 aos 12 meses na camada 0-5 cm. Por outro lado, reduções quadráticas do CaCTCe com doses de K no renque 1 ($y = -1E-05x^2 - 0,0001x + 0,4387$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0479$) foi observado na camada 20-40 cm, possivelmente, em razão da inibição competitiva entre o K, em altas concentrações, e o Ca (MALAVOLTA et al., 1997).

Efeito dos renques foi observado apenas para a SB ($F = 29,22$, $P = 0,0326$) na camada 15-20 cm, CaCTCe ($F = 80,70$, $P = 0,0122$) na camada 20-40 cm, V% ($F = 100,0$, $P = 0,0099$) na camada 20-40 cm e m% ($F = 20,24$, $P = 0,0460$) na camada 20-40 cm (Tabela 19).

Maior SB ($11,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada 15-20 cm e V% (7,48%) na camada 20-40 cm foram observados no renque 1. Era esperado menor m% (60,79%) na camada 20-40 cm no renque 1, em virtude da maior saturação de bases. Por outro lado, houve maior CaCTCe no renque 2 também na camada 20-40 cm (Tabela 19). Cabe salientar, que a alta saturação de alumínio, verificada principalmente nas camadas subsuperficiais (15-60 cm, Tabela 19) é atribuído ao maior teor de Al (GIESLER et al., 2000; SILVA et al., 2008; NICOLLODI et al., 2008). Por outro lado, alto m% não é restritivo ao eucalipto, uma vez que o eucalipto pode absorver passivamente o Al quanto maior o crescimento (BELLOTE; FERREIRA, 1993).

Efeito das doses pelo teste F foram observados para o K ($F = 21,12$, $P = 0,0014$) na camada 0-5 cm, K ($F = 12,24$, $P = 0,0057$) na camada 5-10 cm, K ($F = 12,91$, $P = 0,0050$) na camada 10-15 cm, CTCe ($F = 11,26$, $P = 0,0071$) na camada 0-5 cm, SB ($F = 9,58$, $P = 0,0105$) na camada 0-5 cm, KCTCe ($F = 24,59$, $P = 0,0009$) na camada 0-5 cm, KCTCe ($F = 12,17$, $P = 0,0058$) na camada 5-10 cm e KCTCe ($F = 5,37$, $P = 0,0389$) na camada 10-15 cm.

Tabela 19: Concentrações médias dos atributos químicos do solo nos renques, 12 meses após o início da experimentação submetidos aos tratamentos de doses de K

Camada	Variação	C	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	CTCe	SB	KCTCe	CaCTCe	MgCTCe	V	m
cm		g dm ⁻³					mmolc dm ⁻³					%		
A: 0-5	Renque 1	24,56	4,81	35,46	35,29	3,18	129,84	74,66	73,93	4,18	47,55	47,26	57,12	1,00
	Renque 2	25,24	4,84	38,14	36,48	3,19	136,38	78,42	77,80	4,09	48,78	46,33	57,17	0,81
	CV%	9,90	4,62	14,73	16,57	32,33	7,95	10,93	11,21	27,68	11,25	11,0	10,55	91,13
B: 5-10	Renque 1	20,76	4,35	14,68	15,50	2,47	104,33	35,92	32,66	6,89	40,69	42,33	31,81	10,09
	Renque 2	20,44	4,41	14,60	16,84	2,39	106,58	36,31	33,83	6,57	39,83	46,29	32,29	7,31
	CV%	14,25	5,31	25,1	26,37	36,58	9,51	13,78	20,12	33,20	18,98	22,55	25,76	88,73
C: 10-15	Renque 1	17,18	4,02	8,23	12,73	1,93	108,79	31,05	22,89	6,25	25,75	40,06	21,23	27,94
	Renque 2	19,19	4,10	8,13	11,85	1,76	114,34	30,14	21,74	5,81	26,28	39,48	19,54	28,44
	CV%	17,38	5,56	58,0	32,39	34,90	9,73	14,92	32,26	30,21	48,80	21,48	36,38	52,69
D: 15-20	Renque 1	16,33	3,95	3,85	6,72	1,26	112,52	22,67	11,83 b	5,55	16,37	29,25	10,87	48,83
	Renque 2	17,64	3,95	3,17	6,91	1,16	117,31	23,50	11,23 a	5,09	13,54	29,42	9,91	51,96
	CV%	10,64	3,1	75,04	26,14	36,90	12,56	15,33	35,26	35,84	67,28	18,24	43,58	27,33
E: 20-40	Renque 1	14,92	3,94	1,84	5,53	1,07	115,85	20,57	8,45	5,06	8,16 b	25,98	7,48 a	60,79 a
	Renque 2	15,80	3,92	2,33	4,45	1,18	126,35	20,71	7,96	5,58	9,17 a	21,05	6,52 b	64,21 b
	CV%	18,75	4,32	169,0	48,77	47,38	10,28	16,57	72,56	37,12	127,40	31,48	79,65	27,60
F: 40-60	Renque 1	8,36	3,96	0,87	4,48	0,58	95,97	16,85	5,92	3,39	5,12	26,43	6,22	65,07
	Renque 2	10,00	3,95	0,63	4,77	0,63	101,37	17,99	6,02	3,51	3,51	26,14	6,05	66,85
	CV%	25,92	1,25	64,84	30,61	52,04	10,64	12,19	26,88	48,56	63,33	25,24	30,58	10,93

Transformações realizadas: DIFF(pH_C); DIFF(pH_D); FIRST(pH_E); COSR(Ca_D); COSR(Ca_E); COSR(Ca_F); COSR(Mg_B); COSR(Mg_C); COSR(Mg_E); COSR(CTC_E); COSR(CTCe_D); COSR(CTCe_E); COSR(SB_D); COSR(SB_E); COSR(%CTCeK_D); COSR(%CTCeCa_A); COSR(%CTCeCa_D); COSR(%CTCeCa_E); COSR(%CTCeMg_A); COSR(%CTCeMg_B); COSR(V%_D); FIRST(V%_E); COSR(m%_E). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Para cada camada, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

Ajuste quadrático de K trocável com as doses crescentes de K foi observado na camada 0-5 cm (Figura 12A), o que favoreceu o ajuste linear da CTCe ($R^2 = 0,92$, $P = 0,039$) e SB ($R^2 = 0,92$, $P = 0,0417$) e quadrático para a KCTCe ($R^2 = 0,99$, $P = 0,0422$) na mesma camada (Figura 13A). De modo igual, efeito linear do K ($R^2 = 0,99$, $P = 0,0023$) na camada 5-10 cm (Figura 12B) favoreceu a KCTCe ($R^2 = 0,95$, $P = 0,062$) na mesma camada (Figura 13B), assim como o efeito linear do K na camada 10-15 ($y = 0,0042x + 1,2178$, $R^2 = 0,95$, $P = 0,0229$) favoreceu quadraticamente o KCTCe ($y = -2E-05x^2 + 0,0179x + 4,114$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0097$). Estes ajustes do K com as doses de K ocorreram mesmo em condições de boa fertilidade aos 12 meses (Tabela 19), pois para CTC entre 50 a 150 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, teores entre 1,04 a 1,53 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 1,56 a 3,07 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de K é considerado médio e alto respectivamente (CQFSRS/SC, 2004). No entanto, Sá et al. (2014) trabalhando com *Corymbia citriodora* (Hill & Johnson), não verificaram efeitos de doses de K nas plantas, mesmo quando cultivados com baixo conteúdo de K no solo.

Cabe salientar que o K é um elemento móvel no solo (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA et al., 1997), o decréscimo da concentração de K em profundidade pode ser atribuído à utilização e rápida ciclagem do elemento pelo sistema radicular do eucalipto (Tabela 19). Em razão da distribuição radicular do eucalipto, o qual explora um volume considerável de solo através de raízes finas, pode ter prevenido perdas de nutrientes por percolação profunda (LACLAU et al., 2013).

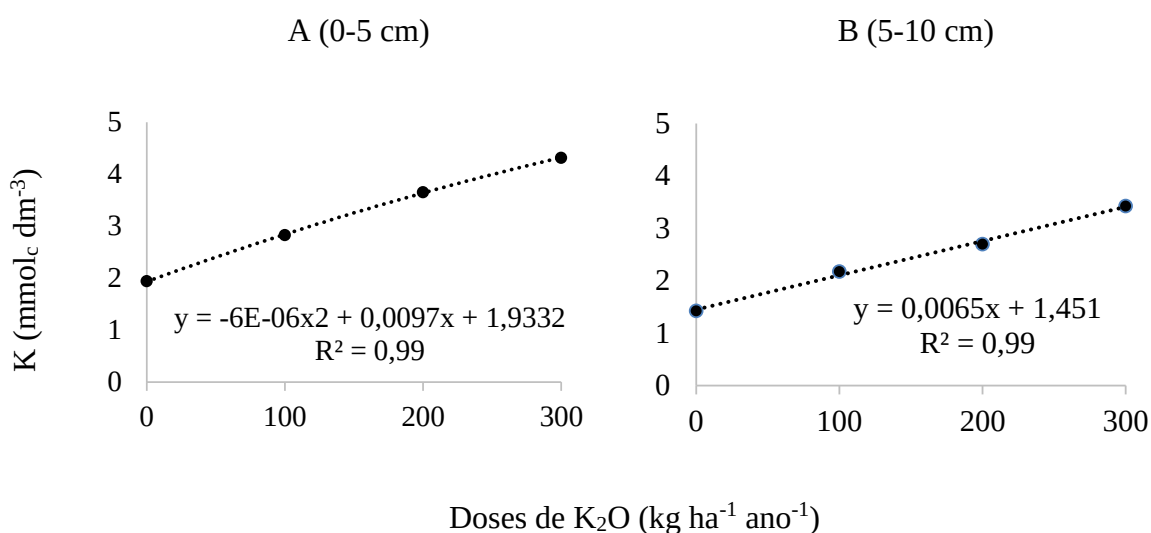


Figura 12: Concentração de potássio nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm nos renques após aplicação das doses de K₂O aos 12 meses.

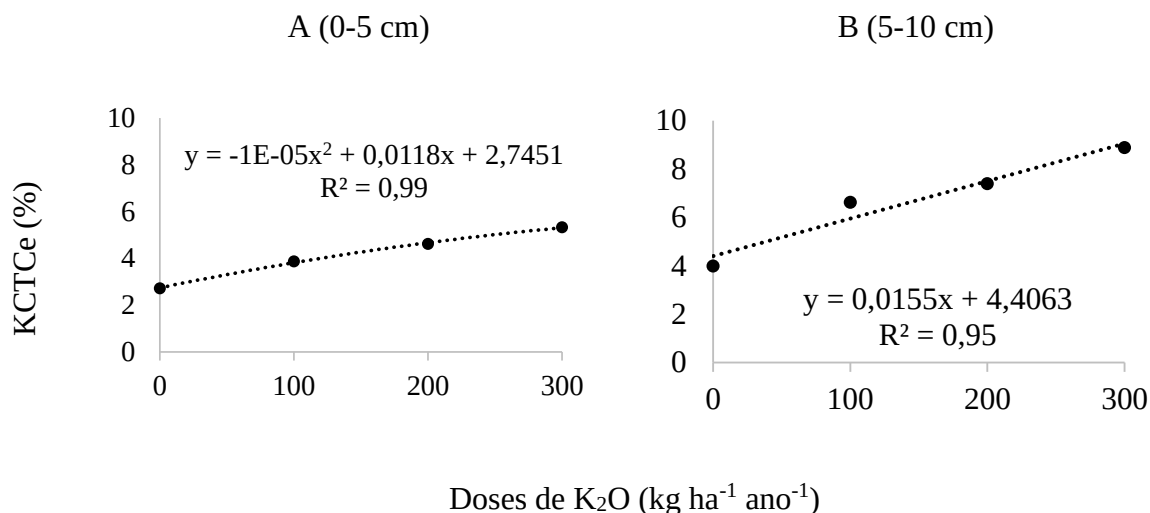


Figura 13: Percentual de potássio na capacidade de troca catiônica efetiva do solo KCTCe (%) nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm nos renques após aplicação das doses de K_2O aos 12 meses.

Contudo, um estudo desenvolvido por Fassbender & Bornemisza (1994) mostrou que aplicações continuadas de fertilizantes potássicos na camada superficial do solo, levaram a uma acumulação de K nas profundidades de 7,5-15 cm e 15-30 cm, indicando que a lixiviação de K, entre essas camadas, ocorreu de forma muito intensa. Lixiviação de K também foi encontrada por Werle et al. (2008) e mais acentuada em solos arenosos. Neste estudo, mesmo com 58% de areia na camada 0-20 cm, não foi verificada lixiviação de K, uma vez que as aplicações foram parceladas, assim como sugere Costa et al., (2012), a fim de evitar grandes perdas. Neste sentido, os solos da região subtropical possuem pequenas reservas de nutrientes na forma de minerais primários, com baixa CTC, alta capacidade de fixação de P, elevado grau de agregação e, conseqüentemente, a permeabilidade e o potencial de lixiviação de bases dos solos são muito elevados (GONÇALVES et al., 2000).

4.3.1.3 Aos 30 meses

Não foram observadas interações entre tratamento principal (renque) e secundário (doses) para as variáveis analisadas. Diferenças entre renques foram observadas para o pH ($F = 18,65$, $P = 0,0497$) na camada 10-15 cm, pH ($F = 499,66$, $P = 0,0020$) na camada 20-40 cm, CTC ($F = 69,38$, $P = 0,0141$) na camada 20-40 cm; CTCe ($F = 19,65$, $P = 0,0473$) na camada 20-40 cm aos 30 meses (Tabela 20). Todavia, baixa concentração da CTC potencial

foi observada ($< 50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (CQFSRS/SC, 2004). O pH menos ácido (4,0) no renque 2, favoreceu as maiores CTC e CTCe na camada 20-40 cm (Tabela 20). A mesma tendência pode ser observada para o pH menos ácido no renque 2 na camada 10-15 cm.

Observou-se efeito das doses de K pelo teste F para o C ($F = 35,77$, $P = 0,0003$) na camada de 10-15 cm e CaCTCe ($F = 7,60$, $P = 0,0182$) na camada de 5-10 cm. Ajustes quadráticos de doses de K foi possível observar para o C na camada 10-15 cm ($y = 0,0001x^2 - 0,0373x + 19,717$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0346$). Dessa maneira, as maiores respostas foram encontradas na maior dose ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}$) para o teor de C orgânico. As fertilizações à longo prazo influenciaram o aumento do estoque de C (Tabela 20), corroborando com Zhu et al. (2015). Tais autores analisaram a fertilização com NPK no sequestro de C e encontraram incremento de 29,3% na taxa de sequestro de C orgânico com fertilização com NPK, comparado com 12,9% e 23,4% com fertilização com N e NP, respectivamente. Os autores indicam que a fertilização inorgânica pode ajudar o solo a reter maior resíduo radicular para incrementar o conteúdo de sequestro de carbono orgânico a cada ano. Tal resposta pode ter contribuído para a geração de CTC em solos sob condições subtropicais (RAIJ, 1981), o que repercute na retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação.

Ajustes quadráticos de doses de K também foi possível observar para CaCTCe na camada 5-10 cm ($y = -0,0004x^2 + 0,1085x + 42,721$, $R^2 = 0,99$, $P = 0,0176$). Por outro lado, as menores doses de K proporcionaram a maior saturação de Ca na CTCe, embora sinergimos ocorra entre o K e o Ca em baixa concentração (MALAVOLTA et al., 1997).

Apesar da baixa qualidade da serapilheira, o crescimento do eucalipto é grandemente dependente dos nutrientes liberados pela decomposição dos resíduos orgânicos (VERSINI et al., 2013). Em razão do manejo conservacionista dos renques, observou-se aumento da CTC potencial e efetiva (Tabela 20) no decorrer do experimento em relação aos 6 meses (Tabela 18), corroborando com Grayston et al. (1996) que verificaram aumento do C ao longo do tempo associado ao eucalipto. O tamanho do reservatório de C orgânico depende tanto da produção vegetal, como da mineralização dos resíduos das plantas (COÛTEAUX et al., 1995).

Cabe salientar que a recomendação potássica para o eucalipto quando o teor de argila se encontra entre 15-35% e K trocável entre $1,5$ a $3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada 0-20 cm é de $40 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ (SILVEIRA et al., 2005) (Tabela 17). Independentemente desta situação, o manejo da fertilização potássica se baseou em outro experimento, focando a produção de grãos e forragem em SIPA. Por isso, pouca resposta à adubação foi observada, sobretudo

Tabela 20: Concentrações médias dos atributos químicos do solo nos renques, 30 meses após o início da experimentação submetidos aos tratamentos de doses de K

Camada	Variação	C	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	CTCe	SB	KCTCe	CaCTCe	MgCTCe	V	m
cm		g dm ⁻³					mmolc dm ⁻³					%		
0-5	Renque 1	23,4	4,7	46,69	29,93	1,33	150,88	79,40	77,96	1,77	60,82	35,55	51,14	1,86
	Renque 2	24,0	4,7	45,35	35,40	1,25	156,10	83,81	82,00	1,57	56,78	39,61	52,12	2,03
	CV%	8,4	5,4	16,02	57,92	25,84	11,32	22,54	22,36	36,27	23,15	36,53	12,95	80,29
5-10	Renque 1	24,1	4,3	31,45	29,47	0,88	144,26	67,66	61,80	1,34	46,76	42,94	42,60	8,96
	Renque 2	24,2	4,5	32,18	36,50	1,01	152,12	75,64	69,68	1,39	42,77	47,71	45,66	8,13
	CV%	5,0	6,0	23,31	30,38	33,23	11,35	20,20	21,90	35,67	18,90	17,35	15,71	43,98
10-15	Renque 1	18,3	4,0 b	25,88	41,07	0,66	163,92	79,22	67,61	0,85	31,83	52,53	41,00	14,79
	Renque 2	18,3	4,3 a	32,78	41,44	0,72	166,23	87,12	74,94	0,90	36,59	48,03	44,76	14,48
	CV%	8,0	6,0	45,76	23,37	40,83	10,68	18,93	21,59	49,57	31,66	21,21	13,78	27,21
15-20	Renque 1	17,0	4,0	12,45	44,58	0,68	159,13	70,60	57,71	0,97	17,80	62,83	36,06	18,40
	Renque 2	18,3	4,1	11,62	53,35	0,77	167,77	78,12	65,74	1,02	15,00	67,89	39,09	16,10
	CV%	7,2	4,0	35,61	22,88	42,68	9,56	16,0	18,43	45,06	39,32	11,57	12,13	22,84
20-40	Renque 1	17,3	3,9 b	4,03	21,05	0,66	122,88 b	40,37 b	25,74	1,68	10,08	51,59	20,90	36,65
	Renque 2	17,6	4,0 a	4,37	22,48	1,11	137,52 a	42,06 a	27,95	2,67	10,35	53,01	20,34	33,97
	CV%	9,0	5,3	22,87	21,43	57,54	8,1	13,20	19,24	57,51	21,63	10,4	17,05	13,40
40-60	Renque 1	17,4	4,1	3,33	13,94	0,90	117,12	30,00	18,18	2,95	11,04	46,17	15,45	39,84
	Renque 2	17,5	4,1	4,15	15,57	0,82	125,11	32,17	20,53	2,59	12,69	47,96	16,41	36,77
	CV%	9,0	1,0	41,09	22,9	49,32	7,52	14,36	22,28	48,01	32,36	11,73	19,01	14,48

Transformações realizadas: CORS(pH_E); 1/(K_C); DIFF(K_D); DIFF(Ca_C); DIFF(Mg_D); CORS(CTC_B); CORS(CTC_D); COSR(SB_D); DIFF(KCTCe_D); COSR(CaCTCe_D); CORS(V%_C). Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas. Para cada camada, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey quando $p < 0,05$.

para o *E. dunnii*, que tem média resposta à fertilização (GONÇALVES; MELLO, 2000). Nos solos com valores acima de $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, os resultados têm sido contraditórios, sendo que na maioria das vezes não se encontram respostas à aplicação deste nutriente, e quando ocorre são justificadas pela estreita relação Ca:Mg (< 1 unidade) ou pelos elevados valores de Ca + Mg no solo ($> 8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Redução da saturação do K na CTCe aos 30 meses (Tabela 20) foi observado quando comparado ao KCTCe aos 6 e 12 meses (Tabelas 18 e 19). Não era esperado essa redução do KCTCe aos 30 meses, uma vez que a adubação foi contínua, aliado a desrama natural, que ocorre com o maior intensidade nos meses de janeiro e fevereiro (MELO; RESCK, 2003). Neste sentido, redução acentuada do m% e aumento do V% aos 30 meses em comparação as análises aos 6 e 12 meses foram observadas. O V% é uma medida indireta para indicar a condição de acidez do solo, pois representa a proporção dos teores de cátions trocáveis de caráter básico em relação à CTC (KAMINSKI et al., 2007). Ademais, Gonçalves (1995) sugere aplicar calcário a fim de elevar a V% para 50% e, CQFSRS/SC (2004) indica aumentar a V% para 65%.

Por outro lado, a saturação do Ca na CTCe até 15 cm é adequada, 35-45% segundo Vitti et al. (2006), porém a saturação do Mg na CTCe é muito maior que a faixa adequada, entre 5 a 20% (VITTI et al., 2006). O que corrobora a baixa relação Ca:Mg no perfil aos 30 meses.

A interação do Al com a fração orgânica do solo controla sua atividade na solução do solo (DIJKSTRA; FITZHUGH, 2003; SILVA; MENDONÇA, 2007; CAMPOS et al., 2014), logo, a redução do C no perfil reduz sua complexação predominando sua forma trocável; da mesma maneira, a redução do pH em profundidade pode ter relação com a menor concentração de carbono orgânico no perfil.

Apesar da alta acidez nos renques, e em todas as coletas, os teores trocáveis de Ca permaneceram dentro da faixa adequada, para o qual a variação entre 21 a $40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerada como teor médio. Por outro lado, concentrações altas de Mg, acima de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ foi observada (CQFSRS/SC, 2004). Era esperado uma menor concentração destes cátions ou lixiviação dos mesmos, o que é comum em solos subtropicais ácidos (SALVADOR et al., 2011). Possivelmente a maior atividade desses cátions favoreceram a maior saturação de Ca e Mg na CTCe e redução do m%, principalmente nas camadas superficiais (Tabelas 18, 19 e 20). Aliado a isso, Marschner (2012) aponta que de 5 a 10%

do Mg das folhas está ligado a pectatos na parede celular, o qual pode estar favorecendo, à medida que ocorre a mineralização, a disponibilização do Mg às plantas. No entanto, cabe salientar, que enquanto a decomposição da serapilheira promove a liberação de nutrientes nas camadas mais superficiais do solo, a decomposição de raízes finas forma no solo microrregiões mais férteis que, posteriormente, são ocupadas por novas raízes (GONÇALVES; MELLO, 2000).

Dijkstra & Fitzhugh (2003) analisando a solubilidade e a mobilidade de cátions, verificaram que o Ca foi o cátion mais importante da CTC e o K representava menos de 5% da CTC efetiva, corroborando com os resultados aqui obtidos aos 30 meses (Tabela 20). Por outro lado, a representatividade do Mg na CTCe foi maior que a do Ca (Tabela 20), o que não é comum, pois os solos geralmente contêm menos Mg do que Ca, pois o primeiro não é adsorvido tão fortemente pelas argilas e pela MOS, estando mais sujeito à lixiviação (VITTI et al., 2006).

Embora a saturação adequada do K na CTCe aos 6 e 12 meses, esta situação não se repetiu aos 30 meses, o qual representou menos que 2% da CTC efetiva (Tabela 20). Dijkstra & Fitzhugh (2003) verificaram que o reservatório de Al foi significativamente mais alto, ocupando em torno de 60% da CTC e atribuíram à biociclagem das plantas e ectomicorrizas, ascensão capilar e outros processos. Além disso, Pavinato & Rosolem (2008) afirmam que possivelmente o aumento dos teores de Ca, Mg e K nas camadas superficiais seja a resposta da quantidade presente no resíduo e não ao aumento na disponibilidade do nutriente preexistente no solo.

Os solos originados pela Formação Ponta Grossa e Furnas, pertencentes ao Segundo Planalto Paranaense, são constituídos de folhelhos, siltitos e micáceos principalmente, para o primeiro, e por arenitos quartzosos, de granulação média a grossa, fedspáticos e/ou caulíníticos para o segundo (RETZLAF et al., 2006; SOUZA et al., 2013), os quais originam solos de baixa fertilidade (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000). Portanto, diferentes conteúdos de nutrientes no material de origem podem influenciar a composição de espécies arbóreas dentro da unidade de paisagem (FOSTER; BHATTI, 2006). A quantidade de K disponível nos primeiros 20 cm da maioria dos solos florestais é insuficiente para atender à demanda média de eucalipto aos sete anos de idade aproximadamente (SILVEIRA et al., 2005). Por outro lado, o efeito do SIPA e da adubação das culturas anuais, mudaram quimicamente o complexo de troca principalmente na camada 0-20 cm, com a elevação da CTC, C orgânico, e a saturação

de cátions na CTCe. Isso faz com que o efeito residual da adubação aumente, podendo reduzir a necessidade de várias aplicações durante o ciclo de produção (SILVEIRA et al., 2005)

4.3.2 Nutrição mineral das folhas da copa e da serapilheira

Não houve interação entre renque e dose para todas as variáveis estudadas, assim como para o fator secundário (doses). Em contrapartida, foi observado efeito para o fator primário (renques) apenas para o Mg e S na copa (Tabela 21).

De maneira geral, os macronutrientes primários (N, P e K) apresentados na Tabela 21 se encontram na faixa adequada para desenvolvimento de *Eucalyptus* sp. conforme CQFSRS/SC (2004). A concentração de K na parte aérea se encontra dentro do limite observado para *E. dunnii* por Boardman et al. (1997), entre 8 a 15 g kg⁻¹. Do mesmo modo, a concentração de N se encontra dentro da faixa adequada, 13,5 a 18 g kg⁻¹ (GONÇALVES, 1995). Contudo, os teores de Ca na copa estão abaixo de 6 a 10 g kg⁻¹ recomendado por Gonçalves (1995), possivelmente pelo fato de sua mobilidade na parte aérea ser muito baixa, o que repercute na baixa ciclagem bioquímica, sendo fundamental na parede celular das células (MARSCHNER, 1995). Cabe salientar que o aumento do K trocável no solo reduz a absorção de Ca e Mg, frequentemente o Mg é afetado mais que o Ca (BARBER, 1984).

Tabela 21: Concentrações médias dos teores na serapilheira e na copa de *Eucalyptus dunnii*

Varição	N	P ⁽¹⁾	K	Ca	Mg	S ⁽²⁾	MS
			g kg ⁻¹				t ha ⁻¹
Serapilheira							
Renque 1	10,84 a	1,09 a	3,47 a	11,20 a	2,02 a	0,85 a	2,93 a
Renque 2	10,66 a	0,80 a	3,21 a	11,07 a	1,99 a	0,81 a	2,96 a
CV%	11,2	60,0	26,1	14,8	13,4	21,4	26,6
Copa							
Renque 1	21,12 a	1,58 a	13,54 a	4,46 a	2,15 b	1,10 a	
Renque 2	18,17 a	1,71 a	12,35 a	5,73 a	2,80 a	0,85 b	
CV%	33,0	20,0	24,7	46,1	31,0	32,3	

(1) Variável transformada para 1/P para serapilheira. (2) variável transformada para 1/S para serapilheira; NS – não significativo; * - P < 0,05. Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas.

O Mg na parte área apresentou baixos teores (Tabela 21), tanto pela classificação de Gonçalves (1995) quanto para CQFSRS (2004), indicando teores na faixa de 3,5 a 5 g

kg^{-1} e 5 a 8 g kg^{-1} como suficientes respectivamente. Os teores observados para S na copa (Tabela 21), se encontram também, abaixo da faixa de suficiência nutricional (1,5 a 2 g kg^{-1} de S) (GONÇALVES, 1995; CQFSRS/SC, 2004). Os teores de P obtidos estão compatíveis com os relatados na literatura, onde variam de 1,0 a 1,3 g kg^{-1} (CQFSRS/SC, 2004) sendo considerados adequados para o bom desenvolvimento do eucalipto (GONÇALVES, 1995).

A maior concentração de K no solo repercutiu na maior absorção do mesmo na copa (Tabela 21), o qual confirma a maior quantidade de nutrientes acumuladas nos diferentes compartimentos da planta (casca, madeira e folhas) no eucalipto, principalmente para os nutrientes K, Ca e Mg (GONÇALVES, 1995). Além disso, eucaliptos tem uma taxa de crescimento muito rápida e uma alta capacidade de absorção de nutrientes, o que significa que a absorção e o acúmulo em biomassa é eficiente, podendo resultar em baixo conteúdo de nutrientes no solo (ZHANG et al., 2015). Todavia Barros et al. (2000) afirmam que as maiores demandas de nutrientes ocorrem até o final do terceiro para o quarto ano após o plantio.

Com relação aos macronutrientes, os sintomas visuais de deficiência e as maiores respostas à adubação têm sido observadas no campo, com mais frequência, na seguinte ordem: $\text{P} > \text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ (GONÇALVES, 1995), contudo não foi verificada resposta para doses de K, possivelmente pelos teores médio a alto observado principalmente nas coletas aos 6 e 12 meses.

Diferenças significativas dos teores de Mg na copa para o renque 2 foi observado (Tabela 21), o qual pode ter relação com os maiores teores de Mg aos 6 meses, nas camadas 5-10 e 15-20 cm. A influência do material vegetal na concentração de C e consequentemente na maior concentração de Mg no solo em função da geração de CTC (PAVINATO; ROSOLEM, 2008), não foi suficiente para aumentar os teores na copa.

Malavolta (1984) afirma que as causas de deficiência de S poderiam estar relacionadas aos teores baixos de MOS e a alta relação C:S no solo, o que dificulta a mineralização, porém, tais situações não foram verificadas no presente estudo. Relação C:S menor que 200 foi verificada (dados não apresentados), portanto o fornecimento do elemento não foi comprometido.

Gazola et al., (2015) verificaram decréscimo na concentração de Ca e Mg com doses de K em *E. urophylla* (S.T. Blake), ratificando a interação entre estes cátions bivalentes com o K (MALAVOLTA et al., 1997). Todavia, não foi observado efeito de

dose nos teores na copa e serapilheira (Tabela 21). Possivelmente, o K tenha sido absorvido continuamente até mesmo em camadas mais profundas (LOUZADA; PACHECO, 1992) uma vez que o comprimento de raízes finas (< 2 mm) de *E. urophylla* com 10 anos de idade pode alcançar quase 28.000 km ha⁻¹ até 60 cm de profundidade e, ter 58% da densidade de raízes nos horizontes superficiais (WITSCHORECK et al., 2003).

Com o aumento na concentração de K, a absorção de Ca é diminuída, visto que os mecanismos de absorção de K são mais específicos e contribuem para seu aproveitamento em comparação com o Ca, que é absorvido apenas pelas raízes mais finas e jovens (MENGEL; KIRKBY, 1987); embora o K seja o segundo ou terceiro mais acumulado no eucalipto, ficando às vezes abaixo do N e do Ca (SILVEIRA et al. 2005).

Verificou-se no presente trabalho um aumento no teor de Ca na serapilheira, pouca alteração para o S e redução nos teores de N, P e Mg (Tabela 21), corroborando com Zaia & Gama-Rodrigues (2004). Entretanto, a concentração de N, P e K verificada na parte aérea em comparação à serapilheira, indica uma potencial ciclagem bioquímica, uma vez que o N, P e K são extremamente móveis no floema. Blair (1988) por outro lado, observou imobilização de N, P e S na serapilheira. Cabe salientar que o K não faz parte de um componente estrutural, mas sim pode-se acumular no suco celular e ser facilmente e prontamente removido (MARSCHNER, 1995; DUTTA; AGRAWAL, 2001). A rápida liberação de K das folhas da serapilheira de *E. globulus* (Labill) também foram reportadas por Ribeiro et al., (2002) e por Caldeira et al., (2007). Essa característica decorre do fato do cátion ser monovalente, permitindo uma rápida ciclagem solo-planta (JORDAN, 1985).

Ribeiro et al., (2002) também observaram baixa mobilidade de Ca na decomposição da serapilheira, indicando que a liberação do nutriente é mais dependente da atividade biótica do que a lixiviação; retornando ao solo principalmente via queda de folhas, galhos e frutos (ATTIWILL et al., 1978, DICKOW et al., 2009). A ciclagem biogeoquímica, de modo geral, é a via pela qual os nutrientes de baixa mobilidade na planta (Ca e S) são ciclados, uma vez que para esses nutrientes a ciclagem bioquímica torna-se pouca expressiva (CALDEIRA et al., 2007; GAMA-RODRIGUES et al., 2008). Estes autores abordam que quanto maior a intensidade da ciclagem bioquímica (retranslocação dos nutrientes dentro da planta), menor será a intensidade da ciclagem biogeoquímica (transferência de nutrientes entre o solo e a planta).

Neste sentido, Blair (1988) estimando a liberação de nutrientes totais da serapilheira de *Cornus florida* L., *Acer rubrum* L. e *Quercus prinus* L., verificou que em tais espécies as mudanças na concentração de Mg foram mais acentuadas, com gradual declínio na concentração com o tempo de decomposição, quando comparados ao Ca. Não obstante, este autor obteve rápida liberação de K quando comparada ao Ca e Mg, semelhante ao presente estudo (Tabela 21). Ainda observou que, entre 50 a 77% do K inicial da serapilheira foi liberado nos primeiros 59 dias, ratificando que o elemento é sujeito a lixiviação física.

A manutenção da produtividade de florestas plantadas, quando bem manejadas, está intimamente relacionada com a eficiência nos processos de ciclagem de nutrientes (POGGIANI, 1985). O eucalipto apresenta alta eficiência de obtenção e de retranslocação de nutrientes (ciclagem bioquímica), produzindo serapilheira de baixa qualidade nutricional, principalmente aqueles nutrientes móveis (N, P, K e Mg) (POGGIANI; SCHMACHER, 2000, MACEDO et al., 2010). Em consequência, menor taxa de decomposição e mineralização, ocasionando, assim, redução no nível de fertilidade do solo (GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002, ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). Porém, alguns trabalhos afirmam a importância da serapilheira acumulada na transferência de nutrientes incrementando a fertilidade do solo, principalmente na camada superficial para carbono orgânico, N, K, Ca, Fe, Mn e Zn (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000; CALDEIRA et al., 2007; CORRÊA et al., 2013). Por conseguinte, a partir dos resultados aqui obtidos, a CTC, C orgânico e V% evidenciam solos de média fertilidade (Tabelas 18, 19 e 20) possivelmente resultante da ciclagem biogeoquímica. Observa-se que mais da metade da absorção anual de nutrientes por uma floresta é normalmente retornada para o solo florestal pela reciclagem, tornando-se uma fonte de nutrientes disponíveis (FOSTER; BHATTI, 2006).

A variação de N na copa e serapilheira, contudo, pode ser desprezível uma vez que Foster & Bhatti (2006) afirmam que a limitação de N para a produtividade arbórea aumenta à medida que a temperatura diminui.

Provavelmente os teores de N e P encontrados na copa (Tabela 21) podem decorrer de fontes orgânicas no solo, visto que teores baixos de P no solo (entre 4,1 a 8,0 mg dm⁻³) foram detectados em ambas coletas e entre renques (dados não apresentados). As árvores podem obter N e P orgânicos do solo via micorrizas ou pela realocação dos nutrientes de folhas mais velhas, antes do processo de abscisão foliar, e, assim, reduzir

sua dependência no reservatório do solo (FOSTER; BHATTI, 2006). Assim, por exemplo, mais de 80% do P e do N da serapilheira de um povoamento de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) foram provenientes das folhas (FERREIRA, 1984). Kariman et al. (2014) verificaram que a presença de *A. occidentalis* e *Scleroderma* sp. (fungos não-colonizadores e associações de ectomicorrizas respectivamente) causaram um amplo aumento no conteúdo de P em plantas em crescimento sob condições de deficiência de P.

De modo geral, as folhas representam o principal componente em peso e contribuem, de modo preponderante, para a composição química da serapilheira (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993). A serapilheira acumulada na superfície do solo consiste na quantidade anual de aporte de resíduos menos a taxa anual de decomposição (PRITCHETT, 1990). A produção de folhas, caracterizado como serapilheira no presente estudo, de *Eucalyptus dunnii* (Tabela 21) está muito semelhante ao encontrado por Zaia & Gama-Rodrigues (2004), os quais trabalharam com *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita* (F. Muell), e obtiveram 3,12; 3,02 e 3,33 t ha⁻¹, e isto, pode indicar que a qualidade da serapilheira proveniente da eucalipto pode não ser recalcitrante (BRIONES; INESON, 1996). Além disso, Zaia & Gama-Rodrigues (2004) englobaram a casca, o tronco e outros compartimentos (inflorescência e materiais não identificados) como serapilheira, contudo, para os dois primeiros, não verificaram diferença significativa entre espécies, considerando a folha como componente principal.

Possivelmente, os baixos valores de serapilheira acumulada no presente trabalho, pode ter relação com o número de árvores presentes/ tratamento, podendo variar de duas a quatro árvores. Além disso, menor quantidade de serapilheira foliar sugere um mecanismo eficiente de restringir perdas de nutrientes em ambientes secos que é a fração mais rica em nutrientes que seria lixiviado pela chuva, implicando em empobrecimento nutricional (MAMAN et al., 2007). Por outro lado, não foi observado restrição na distribuição da precipitação (Tabela 1). De acordo com Stape et al. (2010) a produção do eucalipto é governada pela disponibilidade de água e segundo Paludzyszyn Filho et al. (2006) a exigência mínima de precipitação para *E. dunnii* é de 845 mm e máxima de 1950 mm por ano.

Por fim, Santana et al. (2008) apontaram que aproximadamente 70% da demanda de todos os nutrientes acumula até à idade de 4,5 anos, para um ciclo de corte de 6,5 anos. Isso indica que a ciclagem bioquímica do eucalipto é mais significativa a partir de 4,5 anos de idade, época em que a copa está totalmente desenvolvida, ou seja, o potencial de

resposta à aplicação de fertilizantes é reduzido (MILLER, 1995; GONÇALVES et al., 2000; SANTANA et al. 2008). Barros et al., (1990) relatam que a necessidade de K aumenta com o acúmulo de biomassa e consequentemente com a idade, o que possivelmente, explica a falta de significância para a adubação potássica neste estudo.

4.3.3 Produtividade do *Eucalyptus dunnii*

Não houve resposta da cultura à adubação potássica, bem como interação entre os fatores principais (renques) e secundários (doses) nas variáveis de crescimento avaliadas. Por outro lado, diferenças entre renques para altura total (Ht) foram observadas (Tabela 22).

A maior Ht verificada no renque 1 em 2015, assim como para as demais variáveis dendrométricas, embora iguais significativamente, pode ser reflexo do relevo e a disposição do plantio Leste-Oeste, modificando a disponibilidade de radiação de acordo com o grau de inclinação e face de exposição do terreno, podendo aumentar ou diminuir a energia disponível para a fotossíntese (PEZZOPANE, 2001). Facco et al. (2009) verificaram que a topografia da microbacia teve influência importante no saldo de radiação nos plantios de eucalipto no Vale do Rio Doce em Minas Gerais.

Tabela 22: Variáveis dendrométricas avaliadas no verão de 2013/14 e 2014/15 em *Eucalyptus dunnii*

Variação	DAP cm	Ht ⁽¹⁾ m	G m ² ha ⁻¹	vol s/c m ³ ha ⁻¹	vol c/c m ³ ha ⁻¹	IMA m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹
2014						
Renque 1	31,8	28,5	38,9	326,5	396,8	57,0
Renque 2	29,3	26,8	37,5	299,7	366,0	52,0
CV%	10,6	6,1	22,6	21,9	21,8	21,8
2015						
Renque 1	34,5	31,2 a	45,7	439,8	528,0	66,0
Renque 2	33,1	29,7 b	46,9	426,6	515,0	64,4
CV%	9,6	6,1	16,0	15,4	15,3	15,3

(1) Altura (m) em 2014 foi transformado para COSR, NS – não significativo; * - P < 0,05. Para cada variável transformada, as médias apresentadas referem-se ao valores originais e o teste de comparação de médias às variáveis transformadas.

Em decorrência da disponibilidade adequada de K no solo em ambos os renques (Tabelas 18, 19 e 20), o nutriente pode não ter sido utilizado com maior eficiência na produção de madeira, uma vez que não houve efeito com as doses de K. Era esperado incremento significativo em função da aplicação das doses de K, uma vez que doses de

K aumentaram significativamente a biomassa do tronco de madeiras de *E. grandis* verificados por Sette Jr et al. (2013). A requisição de nutrientes pela planta é dependente do crescimento e da eficiência da planta em converter o nutriente absorvido em biomassa, essas diferenças na eficiência nutricional podem ser fundamentais na utilização mais racional de fertilizantes (PINTO et al., 2011). Neste sentido, o K dentre os demais nutrientes, é principalmente retido na madeira variando de 64 a 65% a alocação de K no tronco (lenho + casca) para eucaliptos com 6,5 e 8,5 anos respectivamente (SANTANA et al., 2008).

Gazola et al., (2015) encontraram incremento no volume com doses de K aos 21 meses para *E. urophylla* e associaram esta resposta ao grande requerimento por este nutriente durante o ciclo da cultura. Possivelmente, a ausência de resposta no presente trabalho estaria associado a idade e desenvolvimento mais avançado. Sette Jr et al. (2010) afirmam que as árvores apresentam alta e comum tendência de crescimento diamétrico nos primeiros anos, seguida de estabilização pelo aumento da demanda dos fatores de crescimento como água, nutrientes, luz, etc.

Apesar das altas doses de K adotadas no presente estudo estarem relacionadas à mobilidade do mesmo no solo, podendo ser facilmente lixiviável (MALAVOLTA et al., 1997), a aplicação parcelada do K em eucaliptos já desenvolvidos em solos profundos é recomendável a fim de evitar lixiviação (SILVA et al., 2013). Costa et al., (2012) verificaram aumento no DAP com menor dose de K (50 kg ha^{-1}), porém Stape et al. (2010) não verificaram efeito quanto a adubação em eucalipto mesmo trabalhando com doses mais altas de K que a do presente estudo. Santo (2000) não verificou crescimento com adubação potássica mesmo com baixa concentração no solo.

O maior crescimento em DAP está relacionado com o espaço vital disponível para cada árvore (INOUE et al., 2011). Por outro lado, não foi possível verificar competição entre as culturas agrícolas e o eucalipto, que refletisse em menor desenvolvimento do eucalipto, uma vez que o manejo das culturas anuais foi o mesmo próximo aos renques. Macedo et al. (2010) verificaram crescimento em altura e DAP de eucalipto favorecido em um SIPA consorciado com o milho e capim Marandu. Aliado a isso, o aumento no tronco devido ao maior acúmulo de nutrientes contidos na biomassa, foram detectados na prognose obtida por equações, indicando que com o aumento da idade a proporção da copa reduz e a do tronco aumenta (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993; SANTANA et al., 2008). Daniel et al. (2004) notaram redução de 40% do DAP e de 33 % da altura do

eucalipto (com 4 meses) em consórcio com milho quando comparado com linhas solteiras (duas linhas de eucalipto sem consórcio). Ainda, verificaram redução de 50% da altura e 35% do DAP aos 15 meses, o qual justificaram em razão da proximidade de plantio do milho para com o eucalipto (45 cm).

Sá et al. (2014) verificando efeito da aplicação de K e a umidade do solo no crescimento de *Corymbia citriodora*, encontraram um ajuste quadrático das doses de K para o diâmetro de caule; justificado pela influência do K na diferenciação celular do xilema e na expansão das células. Valeri et al., (1996) estudaram o efeito do parcelamento e de doses de potássio (0, 50 e 100 kg de K₂O ha⁻¹) nos cinco primeiros anos após o plantio, em Areia Quartzosa e em Latossolo Vermelho Escuro álico e concluíram que, no Latossolo, o maior incremento em volume foi obtido com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de K₂O, parcelados nos quatro ou cinco primeiros anos, enquanto na Areia Quartzosa foi com a aplicação de 100 kg de K₂O ha⁻¹, parcelados em doses iguais nos cinco primeiros anos ou em doses crescentes nos quatro primeiros anos.

Correlações significativas e positivas foram verificados para o N na serapilheira vs K na serapilheira; fósforo na serapilheira vs N na copa, K na serapilheira vs altura total, cálcio na serapilheira vs magnésio na serapilheira, enxofre na serapilheira vs altura total, fósforo na copa vs cálcio na copa, fósforo na copa vs magnésio na copa, potássio na copa vs enxofre na copa, cálcio na copa vs magnésio na copa, área basal vs volume sem casca, área basal vs volume com casca; área basal vs incremento médio anual; volume sem casca vs volume com casca, volume sem casca vs incremento médio anual, volume com casca vs incremento médio anual e correlações significativas e negativas para o potássio na serapilheira vs cálcio na serapilheira, enxofre na serapilheira vs área basal (Tabela 23).

A produtividade do eucalipto sofre influência da ciclagem de nutrientes via deposição e decomposição da serapilheira, mesmo em solos com baixo V% e alto teor de Al (LACLAU et al., 2010). Neste sentido, a relação direta do potássio na serapilheira com a altura total ($r=0,426$) e enxofre na serapilheira com a altura total ($r=0,4773$) indica que baixos teores foliares desses nutrientes repercutiram em baixas produtividades. Cabe salientar que a maior altura total observado no renque 1, não representa, na maioria das variáveis estudadas, os maiores valores de bases trocáveis, CTC e C orgânico. Resultados semelhantes foram observados por Bellote & Ferreira (1993) onde o K foi o nutriente que mais contribuiu para explicar o crescimento das árvores. Do mesmo modo, Laclau et al. (2008) verificaram que a adubação potássica favoreceu o incremento em altura de árvores

Tabela 23: Matriz correlação de Pearson e p-valores para os macronutrientes na serapilheira (Ser), copa (Co), DAP (diâmetro acima do peito), Ht (altura total), G (área basal), Vs/c (volume sem casca), Vc/c (volume com casca) e IMA (incremento médio anual) para o ano de 2015 de *Eucalyptus dunnii* após 30 meses de aplicação dos tratamentos

Variável	N_Ser	P_Ser	K_Ser	Ca_ser	Mg_Ser	S_Ser	N_Co	P_Co	K_Co	Ca_Co	Mg_Co	S_Co	DAP	Ht	G	Vs/c	Vc/c
P_Ser	-0,0744																
P valor	0,7296																
K_Ser	0,5479	-0,2917															
P valor	0,0056	0,1667															
Ca_Ser	-0,2175	0,3476	-0,551														
P valor	0,3073	0,096	0,0053														
Mg_Ser	0,017	0,3162	-0,2379	0,6864													
P valor	0,9373	0,1322	0,2629	0,0002													
S_Ser	-0,0155	-0,1643	0,009	0,1875	0,1422												
P valor	0,9425	0,4429	0,9665	0,3803	0,5075												
N_Co	0,2512	0,5056	0,037	-0,0819	-0,0337	-0,2408											
P valor	0,2365	0,0117	0,8635	0,7036	0,8756	0,2569											
P_Co	0,2139	-0,0756	-0,0282	-0,3135	-0,2602	-0,229	0,0089										
P valor	0,3156	0,7256	0,8961	0,1358	0,2195	0,2817	0,9671										
K_Co	-0,0366	0,2027	0,1246	-0,3573	-0,1661	0,0287	0,3141	0,3445									
P valor	0,8652	0,3421	0,5617	0,0866	0,4378	0,894	0,135	0,0993									
Ca_Co	0,095	-0,1261	-0,1924	0,1239	0,2103	0,2531	-0,1536	0,5186	0,0431								
P valor	0,6589	0,557	0,3679	0,5641	0,324	0,2327	0,4737	0,0094	0,8415								
Mg_Co	0,0818	-0,0761	-0,065	0,0122	-0,0672	0,2032	-0,044	0,4468	0,1944	0,7573							
P valor	0,7039	0,7237	0,7629	0,955	0,7552	0,3409	0,8383	0,0286	0,3628	0							
S_Co	-0,0338	0,2002	0,2537	-0,2809	-0,0598	-0,0606	0,1488	0,3221	0,4682	0,1286	-0,0434						
P valor	0,8755	0,3482	0,2317	0,1836	0,7814	0,7786	0,4879	0,1247	0,021	0,5491	0,8404						
DAP	0,1624	-0,0712	0,0736	0,1869	0,3025	0,1237	-0,2535	-0,0215	-0,3447	0,1119	-0,2605	0,1899					
P valor	0,4483	0,7411	0,7325	0,3819	0,1508	0,5648	0,232	0,9205	0,099	0,6026	0,2188	0,3741					
Ht	0,3545	0,0451	0,426	-0,1731	-0,0027	0,4773	0,0844	-0,2983	0,0085	-0,2158	-0,2666	0,259	0,2258				
P valor	0,0892	0,8343	0,0379	0,4187	0,9901	0,0183	0,6951	0,1569	0,9684	0,3112	0,2079	0,2216	0,2888				
G	-0,4026	-0,1353	0,0521	-0,1568	-0,2441	-0,4449	-0,2874	0,147	0,2444	-0,1675	-0,0923	0,202	-0,1291	-0,3219			
P valor	0,0511	0,5284	0,8089	0,4643	0,2504	0,0294	0,1732	0,4931	0,2498	0,4341	0,6679	0,3438	0,5477	0,125			
Vs/c	-0,2971	0,0276	0,1882	-0,1892	-0,182	-0,2867	-0,219	0,0255	0,2311	-0,2884	-0,2421	0,3836	-0,0613	0,147	0,8588		
P valor	0,1586	0,898	0,3784	0,3758	0,3947	0,1744	0,3039	0,9058	0,2773	0,1717	0,2543	0,0642	0,7759	0,493	0		
Vc/c	-0,3096	0,016	0,1772	-0,1878	-0,1907	-0,3042	-0,2257	0,036	0,2366	-0,2817	-0,2283	0,3707	-0,0748	0,1083	0,8799	0,999	
P valor	0,141	0,9407	0,4074	0,3794	0,3721	0,1485	0,2891	0,8672	0,2657	0,1823	0,2833	0,0746	0,7283	0,6143	0	0	
IMA	-0,3095	0,0161	0,1772	-0,1878	-0,1906	-0,3043	-0,2255	0,0361	0,2367	-0,2818	-0,2283	0,3707	-0,0749	0,1083	0,8799	0,999	1
P valor	0,141	0,9404	0,4075	0,3794	0,3722	0,1483	0,2893	0,8672	0,2655	0,1822	0,2833	0,0746	0,7278	0,6145	0	0	0

de eucaliptos aos 36 meses de idade. O saldo de radiação que representa a energia disponível para os processos físico-químicos e a quantificação de perdas de água pela evapotranspiração pode ter sido alterada (FACCO et al., 2009) com a disposição das linhas de eucalipto no sentido Leste-Oeste. Além disso, a face de exposição e declividade do terreno afeta a química do solo, qualidade e decomposição da serapilheira, ciclagem de nutrientes, variáveis microclimáticas, teor de argila que conduzem uma variação na biomassa microbiana, MOS, enzimas orgânicas responsáveis pela fertilidade do solo são fatores chave para o desenvolvimento do ecossistema florestal (SARIYILDIZ; KUCUK, 2005, SIDARI et al., 2008).

Apesar do enxofre na serapilheira ter favorecido a relação com a altura total, correlação fraca e negativa foi verificada para a área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) ($r = -0,4449$), indicando que o crescimento em área basal, baseado na secção transversal do tronco (DAP) (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009) não é dependente dos teores de S na serapilheira.

Do mesmo modo, correlação significativa e negativa foi verificado para o potássio na serapilheira com o cálcio na serapilheira, possivelmente o menor grau de atração do K à CTC efetiva (BARBER, HUMBERT, 1963) em relação ao Ca, pela facilidade de lixiviação do K em relação ao Ca e pelo efeito diluição do K na copa em relação do Ca na copa (SILVA; TREVIZAM, 2015) contribuiu para a relação negativa.

O efeito marcante dos níveis de Ca na absorção do Mg é bem detalhado por Barber (1984). O autor aborda que a razão de Ca para a absorção de Mg é semelhante à relação entre os íons na solução, embora altos níveis de Ca no solo, reduzem a absorção do Mg. Neste sentido, correlações positivas foram encontradas entre o magnésio na copa e cálcio na copa assim como magnésio e cálcio na serapilheira possivelmente, por serem absorvidos por processos passivos, esses elementos possuem várias características em comum, sugerindo que a absorção de Ca e Mg é inicialmente pelas células radiculares por mecanismos semelhantes (GRUNES; WELCH, 1989). Bellote & Ferreira (1993) verificaram que o Mg, depois do K, é o elemento que mais se relaciona com o crescimento de *E. grandis*, contrariando os resultados aqui obtidos. Silveira et al. (2005) constataram que o K e Ca seriam os nutrientes mais limitantes à produtividade.

Os resultados demonstraram relação positiva do P na copa para com Ca e Mg na copa (Tabela 23), provavelmente por estarem relacionados com as interações dos mesmos, ou seja, a absorção do P é influenciada pela concentração de Mg no meio,

podendo o Mg ser carregador do P para dentro da planta como também ser importante nas reações de transferência de energia, ou seja, na formação da ponte entre o ATP ou ADP com a molécula da enzima (MALAVOLTA et al., 1997; MARSHNER, 1997; SILVA; TREVIZAM, 2015).

P e N interagem de forma sinérgica (MALAVOLTA et al., 1997), logo a correlação positiva encontrada entre o fósforo na serapilheira com o nitrogênio na copa se baseia na condição de deficiência de P o que reduz a síntese de ácido nucléico e de proteína, induzindo a acumulação de compostos nitrogenados solúveis no tecido (GRANT et al., 2001), uma vez que a absorção de NO_3^- é um processo ativo e requer energia metabólica para o transporte contra o gradiente de concentração (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Relação positiva do nitrogênio na serapilheira e potássio na serapilheira foi verificada ($r= 0,5479$) corroborando com Zhang et al. (2010) que ressaltaram que a absorção de K é dependente do status nutricional de N (amoniaco e nitrato) para a interação positiva.

Era esperado que as variáveis de produtividade se correlacionassem positivamente entre si (Tabela 23). A influência da altura, área basal e dos volumes com e sem casa para a produção final, o incremento médio anual, é largamente descrito na literatura (SCHAAF et al., 2005; FINGER, 2006; BECKERT et al., 2014).

4.4 Conclusões

O manejo conservacionista dos renques, favoreceram as maiores concentrações de bases trocáveis, aos 30 meses de experimentação, contribuindo para o aumento de carbono orgânico, capacidade de troca potencial e efetiva assim como aumento na saturação do cálcio, magnésio e potássio na capacidade de troca efetiva. Redução de potássio trocável aos 30 meses pode estar associado à maior concentração de magnésio na capacidade de troca efetiva. Alta mobilidade do potássio em profundidade não foi verificada, rejeitando-se a hipótese que haveria lixiviação.

Não foi observado efeito das doses de potássio nas concentrações dos macronutrientes na parte aérea e serapilheira. Concentrações adequadas de nitrogênio, fósforo, potássio e baixas de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea do eucalipto foi observada. Razões das menores concentrações na serapilheira do nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, podem estar relacionadas à maior decomposição bioquímica. Por outro lado, a maior concentração de cálcio observada na serapilheira, confirma que a ciclagem biogeoquímica seja mais atuante principalmente pela baixa mobilidade do cálcio no floema. Era esperado um aumento do S na serapilheira, assim como observado para o cálcio, em consequência da baixa mobilidade.

As doses de potássio não aumentaram o crescimento em termos volumétricos do eucalipto. Diferenças entre renques foi observado apenas para a altura, possivelmente resultante das diferenças de relevo, o que modifica a energia disponível para a fotossíntese.

5.0 Considerações finais

A particularidade do sistema radicular do componente arbóreo, modificando o complexo de troca, merece de mais estudos, o que poderia explicar com mais clareza os fatores da competição (cultura agrícola x florestal) aliado ao sombreamento em sistema integrado de produção agropecuária.

A expressiva influência de formas de potássio não trocável pode ser determinante para as culturas agrícolas e principalmente para o eucalipto, que por serem culturas perenes, têm tempo de modificar as condições edáficas. Com isso, mais informações relacionadas à mineralogia podem contribuir para o entendimento do balanço de potássio em sistema integrado de produção agropecuária.

A alta produção (incremento médio anual) do eucalipto em 2015 aos 8 anos, pode estar coincidindo com o primeiro desbaste a ser realizado com essa idade. Estudos futuros para avaliar a curva de crescimento e incremento corrente anual devem ser focados para a determinação exata da idade de corte. Além disso, estudos de longo prazo são importantes para assegurar o comportamento do potássio no sistema solo-planta, considerando um desbaste sistemático a fim de aumentar a radiação no sistema integrado de produção agropecuária.

6.0 Referências Bibliográficas

- ABREU JR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. **Scientia Agricola**, v.60, p.337-343, 2003.
- ACQUA, N.H.D.; SILVA, G.P.; BENITES, V.M.; ASSIS, R.L.de.; SIMON, G.A. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.2, p.117-122, 2013.
- AGUINAGA, A.A.Q., CARVALHO, P.C.de.F., ANGHINONI, I., PILAU, A., AGUINAGA, A.J.Q., GIANLUPPI, G.D.F. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1523-1530, 2008.
- ALFARO, M.A.; JARVIS, S.C.; GREGORY, P.J. Factors affecting potassium leaching in different soils. **Soil Use and Management**, Hoboken, v.20, 2, p.182-189, 2004.
- ALMEIDA, F.L.de.; CALONEGO, J.C.; CATUCHI, T.A.; TIRITAN, C.S.; ARAÚJO, F.F.; DA SILVA, P.C.G.da. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de eucalipto em cultivo consorciado. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n.1, p.33-44. 2014.
- ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 1. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2011. p. 25-36.
- 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.
- ALTMANN, N. **Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: Resultados práticos no cerrado**. Informações agronômicas, Nº 140, p. 1-8, 2012.
- ALVARENGA, R.C., PORFIRIO-DA-SILVA, V.; GONTIJO NETO, M.M.; VIANC, M.C.M.; VILELA, L. Sistema Integração lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.31, n.257, p.59-67, 2010.
- ALVES, M.J.F. MELO, V.de.F.; REISSMANN, C.B.; KASEKER, J.F. Reserva mineral de potássio em latossolo cultivado com *Pinus taeda* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1599-1610, 2013.
- ANDRADE, C.M.S.de., 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 Zootecnia**, v. 30, nº4, p.1178-1185, 2001.
- ANDREOTTI, A.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; DE SOUZA, E. C. A.; BULL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, v.58, p.145-150, 2001.
- ANDRIST-RANGEL, Y. et al. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.122, n.4, p.413-426, 2007.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.873-928.

- ANGHINONI, I.; ASSMANN, J.M.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.A.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scyentifica**. III Encontro de Integração Lavoura- Pecuária no Sul do Brasil. Pato Branco UTFPR, v. 6, n.2, p. 1-8, 2011.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. **Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtrópico brasileiro**. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. Tópicos em Ciência do Solo. Volume VIII. 1. Ed. Viçosa: UFV, 2013. p. 325-380.
- ARAUJO, A.P.; MACHADO, C.T.de.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p 254-280. 2006
- ASSMANN, A.L.; SILVA, H.L.da.; KIRCHNER, R.; KOZELINSKI, S.M. Espécies forrageiras para o sistema integração lavoura-pecuária. In: ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B.; ASSMANN, T.S. **Integração Lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: IAPAR, 2008. 49 p.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 506p. 1970.
- 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.
- ATTIWILL, P. M.; GUTHRIE, H. B.; LEUNING, R. Nutrient cycling in a Eucalyptus oblique (L'Herit) forest. I. Litter production and nutrient return. **Australian Journal of Botany**. 26, 79-91. 1978.
- BABER, S.; AHMAD, M.F.; BHATTI, A. The effect of *Eucalypts camaldulensis* on soil properties and fertility. **Journal of Agricultural and Biological Science**. v.. 1, n.3, 2006.
- BALBINO, L.C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v.46, n.10, p.i-xii, 2011.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; OLIVEIRA, P.de.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P.R.; VILELA, L. **Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**. Informações agronômicas, Nº 138, p. 1-18, 2012.
- BALBINOT JUNIOR., A.A.; BACKES, R.L.; ALVES, A.C.; OGLIARI, J.B.; FONSECA, J.A. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.2, p.161-166, 2005.
- BALDISSERA, T.C. **O ambiente luminoso: do impacto no crescimento e desenvolvimento em nível de planta forrageira a dosséis em sistemas integrados de produção agropecuária**. Tese de Doutorado. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. 140p. 2014.
- BARBER, S. A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York: **Wiley-Interscience**, 1984. 398 p.
- BARBER, S.A.; HUMBERT, R.P. Advances in knowledge of potassium relationship in the soil and plant. In: McVICKAR, M.H.; BRIDGER, G.L.; NELSON, L.B. **Fertilizer technology and uses**. Madison: SSSA, 1963, p.231-268.
- BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDP, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de

- fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.1, n.2, p. 201-216, 1995.
- BARRO, R.S.; SAIBRO, J.C.de.; MEDEIROS, R.B.de. SILVA, J.L.S.da.; VARELL, 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.
- BARROS, N.F. de et al. Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L. de M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 269-286.
- BARROS, N.F.; NOVAIS. R.F.; NEVES. J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS. N.F.; NOVAIS. R.F. (eds.) **Relação Solo-Eucalipto**. Ed. Folha de Viçosa. Viçosa. p.127-186. 1990
- BARTHAM, G.T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: HIFRO. **The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984/1985**. Penicuik: HFRO, 1985. p.29-30.
- BAR-YOSEF, B.; MAGEN, H.; JOHNSTON, A.E.; KIRKBY, E.A. Potassium fertilization: paradox or K management dilemma? **Renewable Agriculture and Food Systems**: 30(2); 115–119. 2015.
- BATAGLIA, O.C. Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, p.322-341. 2005.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: 1999. p.09-26.
- BEAR, F.E.; TOTH, S.J. Influence of Ca on availability of other soil cations. **Soil Sci.**, 65:69-75, 1948.
- BECKERT, S.M.; ROSOT, M.A.D.; ROSOT, N.C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.
- 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.
- BELESKY, D. P.; BURNER, D. M.; RUCKLE, J. M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 66, n. 3, p. 370-380, 2011.
- BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.26/27, p.17-28, 1993.
- BELLOTE, J. F. A.; SILVA H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 107-114.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C.; GONÇALVES, H..M. Relação entre o rendimento de grãos da soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.5, p.695-702. 1992.
- BERNARDI, A.C.C. de et al. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milheto e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v.39, n.2, p.158-167, 2009.

- BERNARDINO, F.S. TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NEVES, J. C. L.; ROCHA, C. R. Produção de forragem e desempenho de novilhos de corte em um sistema silvipastoril: efeito de doses de nitrogênio e oferta de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, p.1412-1419, 2007.
- BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo. n.60, p.77-87. 2009.
- BERTALOT, M. J. A. Retorno de nutrientes ao solo via deposição de serapilheira de quatro espécies leguminosas arbóreas na região de Botucatu-SP. **Scientia Forestalis**. v.65. p.219-227. 2004.
- BERTALOT, M. J. A.; GUERRINI, I. A.; MENDOZA, E. P.; VIANELLO, M. S. Desempenho da cultura do milho (*Zea mays* L.) em sucessão com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) sob manejos agroflorestal e tradicional. **Revista Árvore**. v.34, p.597-608, 2010.
- BIGOLIN, P.E.; ASSMANN, A.L.; ASSMANN, A.P.; ASSMANN, T.S.; SOARES, A.B.; ASSMANN, J.M. **Produção de grãos de milho em função da utilização de espécies forrageiras anuais de inverno em presença e ausência da adubação nitrogenada no Sistema de Integração Lavoura-Pecuária**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. Gramado. 2007. Resumos. Viçosa: SBCS, 2007
- BLAIR, J.M. Nutrient release from decomposing foliar litter of three species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. **Plant Soil** 110: 49-55. 1988.
- BLUCK, G.M.; LINDSEY, L.E.; DORRANCE, A.E.; METZGER, J.D. Soybean Yield Response to Rhizobia Inoculant, Gypsum, Manganese Fertilizer, Insecticide, and Fungicide. **The American Society of Agronomy**. V. 107 N. 5, p. 1757-1765. 2015.
- BOARDMAN, R; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J.; WEBB, M.J. Forest plantations. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant Analysis an Interpretation Manual**. Collingwood: CSIRO, 1997. cap.10, p.505-566.
- BODZIAK JUNIOR, C.; MAACK, R. Contribuição ao conhecimento dos solos dos Campos Gerais no Estado do Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba. Jubilee volume. 127-163p. 2001.
- 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, p. 143-153, 2003.
- BORKERT, C.M.; CASTRO, C.de.; OLIVEIRA, F.A.de.; KLEPER, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A.de. O potássio na cultura da soja. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, p.672-722. 2005.
- 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 distrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.12, p.1235-49, 1997.
- BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORREA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. Seja o doutor da sua soja. In: **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.66, 1994. 16p
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 13th ed. Prentice-Hall (Pub.). NJ. USA. 2002. p.960.
- BRIONES, M.J.I.; INESON, P. Decomposition of eucalyptus leaves in litter mixtures. **Soil Biology Biochemistry**. Vol. 28, No. 10/11, pp. 1381-1388, 1996.

- BRUNETTO, G. et al. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p.565-571, 2005.
- BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 63-145.
- BURNER, D. M.; POTE, D. H.; BELESKY, D. P. Effect of loblolly pine root pruning on alley cropped herbage production and tree growth. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 1, p.184-192, 2009.
- CAKMAK, I. Protection of plants from detrimental effects of environmental stress factors. In: **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. P.261-279.
- CALDEIRA, D.R.M.; MIELKE, K.C.; SILVA, R.P.da.; MARTINS, F.; COSTA, W.J.; ANGELO, A.C. Initial assessment and nutritional status of hybrid eucalyptus sp. in the municipality of Colorado Do Oeste, Rondônia State - Brazil **African Journal of Agricultural Research**. V. 10(35), p. 3548-3553, 2015.
- CALDEIRA, M.V.W.; MARQUES, R.; SOARES, R.V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.
- CALONEGO, J.C.; POLETO, L.C.; DOMINGUES, F.N.; TIRITAN, C.S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Revista Agrarian**. Dourados, v.4, n.12, p.84-90, 2011.
- CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Phosphorus and potassium balance in a corn-soybean rotation under no-till and chiseling. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 96:123–131. 2013.
- CAMPOS, J.R.da.R., SILVA, A.C., SILVA, E.de.B., VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v.49, n.3, p.207-214, 2014.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.376-470. 2007
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B.van. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B.van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A., eds. **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p.173-180.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.43-50. (IAC. Boletim técnico, 100).
- CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOLO, A. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n.1, p. 11-16, 2005.
- CARRIEL, R. E.; COLOZZA, M. T.; PAULINO, V. T. Limitações nutricionais de dois solos de várzeas do Estado de São Paulo para o cultivo de aveia e de azevém. **Zootecnia, Nova Odessa**, v. 22, p. 153-177, 1984.
- CARVALHO, P.C.de.F.; MORAES, A.de.; PONTES, L.da.S.; ANGHINONI, I.; SULC, R.M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1040-1046, 2014.

- CASAROLI, D.; FAGAN, E.B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S.P.; MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q.de.J.V.; MÜLLER, L.; MARTIN, T.N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA. Uruguiana**, v.14, n.2, p. 102-120. 2007.
- CASTRO, C.R.T., PACIULLO, D.S.C. **Boas práticas para a implantação de sistema silvipastoril**. Comunicado Técnico. EMBRAPA, Juiz de Fora, MG. 2006
- CASTRO, C.R.T.de., GARCIA, R., CARVALHO, M.M.,COUTO, L.. Produção Forrageira de Gramíneas Cultivadas sob Luminosidade Reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.28, n.5, p.919-927, 1999.
- CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. 126 p.
- CASTRO,G.S.A.; COSTA, C.H.M.da.; FERRARI NETO, J. Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**, V. 11, n. 3, p.1-15, 2012.
- CATUCHI, T.A., GUIDORIZZI, F.V.C., GUIDORIZI K.A., BARBOSA, A.de.M. & SOUZA. G.M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.47, n.4, p.519-527, 2012.
- CHERUBIN, M.R.; FABRIS, C.; WEIRICH, S.W.; ROCHA, E.M.T.DA.; BASSO, C.J.; SANTI, A.L.; LAMEGO, F.P. Desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do brasil. **Global Science and technology**, Rio Verde, v. 07, n. 01, p.76 – 85, 2014.
- CLOVER, M.W. AND A.P. MALLARINO. Corn and soybean tissue potassium content response to potassium fertilization and relationships with grain yield. **Soil Science Society of America Journal** 77:630-642. 2013.
- COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **O potássio na agricultura brasileira**. 3. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. cap. 22. p. 613-658.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.de. Seja o doutor da seu milho. In: **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.2, 1995. 25p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 400p.
- COPACOL. Cooperativa Agroindustrial Consolata. Relatório de pesquisa agrícola. Estação Experimental Nº: 8. 2014 Disponível em: http://www.copacol.com.br/agronegocio/relatorio_agricultura/relatorio_de_pesquisa_agricola-Cultivares_segunda_epoca_2014.pdf. Acesso em: 31 Jan. 2016
- CORRÊA, R.S.; SCHUMACHER, M.V.; MOMOLLI, D.R. Deposição de serapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 065-074, 2013.
- COSTA, J.P.V.da.; BARROS, N.F.de.; BASTOS, A.L.; ALBUQUERQUE, A.W.de. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.1, p.56–62, 2009.
- COSTA, M.C.G.; TONINI, H.; DIAS, C.T.dos.S.; IWATA, B.de.F. Fertilization during the establishment of a *Eucalyptus camaldulensis* plantation in the northern Brazilian Amazon. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, n. 2, p. 91-101, 2012.

- COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C. & ANDRIGHETTI, M. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1291-1301, 2009.
- COÛTEAUX, M.M.; BOTTNER, P.; BERG, B. Litter decomposition, climate and litter quality. **Tree**, v.10, n.2, p. 63-66, 1995.
- CUNHA, G. de M., GAMA-RODRIGUES, A. C. da; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.353-363, 2005.
- DA ROS, A.O., AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 135-140, 1996.
- DANIEL, O.; BITTENCOURT, D.; GELAIN, E. Avaliação de um sistema agroflorestal eucalipto-milho no Mato Grosso do Sul. **Agrossilvicultura** (Viçosa), Viçosa - MG, v. 1, n.1, p. 15-28, 2004.
- DEISS, L.; MORAES, A.de.; PELISSARI, A.; SKORA NETO, F.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; ANDREOLLA, V.R.M. Oat growth under different nitrogen doses in eucalyptus alley cropping system in subtropical Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1014-1023, 2014.
- DICKOW, K.M.C. MARQUES, R.; PINTO, C.B. Nutrient Composition of Mature and Litter Leaves and Nutrient Mobilization in Leaves of Tree Species from Secondary Rainforests in the South of Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52 n.5: pp. 1099-1106, 2009.
- DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L. e IDE, F. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 933-938, 2002.
- DIEHL, R.C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H.W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2653-2659, 2008.
- DIJKSTRA, F.A., FITZHUGH, R.D. Aluminum solubility and mobility in relation to organic carbon in surface soils affected by six tree species of the northeastern United States. **Geoderma**, 114, 33-47, 2003.
- DUTTA, R.K.; AGRAWAL M. Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. **Pedobiologia**, 45(4): 298-312. 2001.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.de.; SANTOS, F.C.dos. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.552-594. 2007
- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A.de.; CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:393-402, 2007.
- FACCO, A.G.; RIBEIRO, A. SEDIYAMA, G.C.; LEITE, F.P.; BARROS, N.F.de. Saldo de radiação em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.471-480, 2009.
- FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.416-424, 2001

- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p.21-54.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina**. 2a. ed. San José, CR: IICA, 420p., 1994.
- FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p 115-152 2006
- FERNÁNDEZ, F.G.; BROUDER, S.M.; VOLENEC, J.J.; BEYROUTY, C.A.; HOYUM, R. Soybean shoot and root response to localized water and potassium in a split-pot study. **Plant Soil**. 344:197–212. 2011.
- FERRAZZA, J.M.; SOARES, A.B.; MARTIN, T.N.; ASSMANN, A.L.; NICOLA, V. Produção de forrageiras anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 379-389, 2013.
- FERREIRA, E.V.de.O., ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M.H., MARTINS, A.P. & CARVALHO, P.C.de.F. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.161-169, 2011.
- FERREIRA, E.V.de.O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.de.F.; COSTA, S.E.V.G.de.A.; CAO, E.G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1675-1684, 2009
- FERREIRA, M.G.M. **An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the cerrado region in Brazil: a nutrient cycling approach**. Vancouver: University of British Columbia. 1984. 230 p. (Tese-Ph.D.)
- FIGUEIREDO FILHO, A; MACHADO, S.do.A.; MIRANDA, R.O.V.de.; RETSLAFF, F.A.de.S. **Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil**. Curitiba, 306 p., 2014.
- FINGER, C. A. G. Biometria florestal. Santa Maria: UFSM, 239 p. 2006
- 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**, 32:1549-1561, 2008.
- FONSECA, A.F.da. **Considerações sobre o Manejo e a Ciclagem de Nutrientes em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Subtropical Brasileiro**. Informações agronômicas, Nº 148, p. 19-21, 2014.
- FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.dos.; FONTANELI, R.S.; OLIVEIRA, J.T.de.; DREON, R.I.L.e.G. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.dos.; FONTANELI, R.S. **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira**. 2. ed. - Brasília, DF: Embrapa, p.127-172. 2012.
- FOSTER, N.W.; BHATII, J.S. Forest Ecosystems: Nutrient Cycling. **Encyclopedia of Soil Science**. p.718-721. 2006
- FOX, R.L.; HUE, N. V.; JONES, R. C. and YOST, R.S. Plant soil interactions associated with acid, weathered soils. **Plant and soil**. v.134, p.65-72, 1991.
- FRAGA, T. I.; GENRO JUNIOR, S.A.; INDA; ANGHINONI, A.V. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:497-506, 2009.

- FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; SICHIERI, F.R.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1006-1013, 2014
- FREIRE, M.B.G.dos.S.; FREIRE, F.J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. SBCS, Viçosa. p.929-954. 2007.
- FREYCON, V.; WONKAM, C.; FAYOLLE, A.; LACLAU, J.P.; LUCOT, E.; JOURDAN, C.; CORNU, G.; GOURLET-FLEURY, S. Tree roots can penetrate deeply in African semi-deciduous rain forests: evidence from two common soil types. **Journal of Tropical Ecology**. v. 31, p. 13–23. 2015.
- GALON, L.; TIRONI, S.P.; ROCHA, A.A.da.; SOARES, E.R.; CONCENÇO, G.; ALBERTO, C.M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Tropica – Ciencias Agrarias e Biologicas**. v. 4, n. 3, p. 18, 2010.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v.26, n.2, p.193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.da.; GAMA-RODRIGUES, E.F.da.; BARROS, N.F.de. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1165-1179, 2008
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da.; BARROS, N.F.de., VIANA, A.P.; SANTOS, G. de. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1489-1499, 2008.
- GARCEZ NETO, A.F.; GARCIA, R.; MOOT, D.J.; GOBBI, K.F. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**., v.39, n.1, p.42-50, 2010
- GARCIA, R.; TONUCCI, R. G.; GOBBI, K. F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: **Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta**. Universidade Federal de Viçosa, Sociedade de Investigadores Florestais, Viçosa – MG. p.123-166, 2010.
- GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C. & ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**., 28:579-585, 2008.
- GAZOLA, R.DE.N.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; DINALLI, R.P.; MORAES, M.L.T.DE.; CELESTRINO, T.DE.S.; SILVA, P.H.M.DA.; DUPAS, E. Doses of N, P and K in the cultivation of eucalyptus in soil originally under Cerrado vegetation **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, suplemento 1, p. 1895-1912, 2015.
- GIESLER, R., ILVESNIEMI, H., NYBERG, L., VAN HEES, P., STARR, M., BISHOP, K., KAREINEN, T., LUNDSTROM, U.S., Distribution and mobilization of Al, Fe and Si in three podzolic soil profiles in relation to the humus layer. **Geoderma**. 94, 249 – 26, 2000.
- GOBBI, K.F. **Características morfoanatômicas, nutricionais e produtividade de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento**. Tese de Doutorado. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 2007. 94p.
- GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A.F.; PEREIRA, O.G.; VENTRELLA, M.C.; ROCHA, G.C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do

- capim braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.9, p.1645-1654, 2009.
- GOMMERS, C. M. M.; VISSER, E. J. W.; St. ONGE, K. R.; VOESENEK, L. A.; PIERIK, R. Shade tolerance: when growing tall is not an option. **Trends Plant Science**, v. 18, n. 2, p. 65-71, 2013.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v.15, p.1-23, 1995.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: **Nutrição e fertilização de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.221-267.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G. & GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V., eds. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, IPEF, 2000. p.1-49.
- GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Potafos. Informações agrômicas. N.95. p.1-5., 2001.
- GRAYSTON, S.J.; VAUGHAN, D.; JONES, D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, v. 5, p. 29-56, 1996.
- GREGERSEN, P.L.; CULETIC, A.; BOSCHIAN, L.; KRUPINSKA, K. Plant senescence and crop productivity. **Plant Molecular Biology**. 82:603–622. 2013.
- GRUNES, D.L.; WELCH, R.M. Plant contents of magnesium, calcium and potassium in relation to ruminant nutrition. **Journal of Animal Science**. v. 67, p.3485-349. 1989.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P.R.; SOUCHIE, E.L.; ROCHA, A.C.da. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 04, p. 769-774, 2008.
- HAMER, J.J.; VENEKLAAS, E.J.; RENTON, M.; POOT, P. Links between soil texture and root architecture of *Eucalyptus* species may limit distribution ranges under future climates. **Plant and Soil**. p 1-13 2015.
- HARRISON-MURRAY, R. S.; CLARKSON, D.T. Relationships between structural development and the absorption of ions by the root system of *Cucurbita pepo*. **Planta**, n.114, p. 1-16, 1973.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20:1021-1030, 1985.
- HUXLEY, P. A. (Ed.). **Plant research and agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983. 617 p.
- IMAÑA-ENCINAS, J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília. DF: UnB. 40 p. 2005.
- INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**., Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011.
- JIANG H.; EGLI, D.B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agronomy Journal**. 85:221–225. 1993.
- JONES, D.L.; HODGE, A.; KAZYAKOV, Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. **New Phytologist**, 2004. v.163, p. 459-480.
- JORDAN, C.F. **Nutrient cycling in Tropical Forest Ecosystems**. New York: John Wile. 1985. 190 p.
- JOSE, S.; ALLEN, S. C.; NAIR, P. K. R. Tree-crop interactions: lessons from temperate alley-cropping systems. In: BATISH, D. R.; KOHLI, R. K.; JOSE, S.; SING, H. P.

- Ecological Basis of Agroforestry.** Nova York: Crc Press - T & F Group, 2008. p. 15-31. 382 p.
- KAMINSKI, J.; SILVA, L.S.da; CERETTA, C.A.; SANTOS, D.R. dos. **Acidez e calagem em solos do sul do Brasil: aspectos históricos e perspectivas futuras.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Tópicos em Ciência do Solo, v. 5., p. 307-332. 2007.
- KANTOLIC; A.G.; SLAFER, G.A. Development and Seed Number in Indeterminate Soybean as Affected by Timing and Duration of Exposure to Long Photoperiods after Flowering. **Annals of Botany** 99: 925–933, 2007.
- KARIMAN, K.; BARKER, S.J.; FINNEGAN, P.M.; TIBBETT, M. Ecto- and arbuscular mycorrhizal symbiosis can induce tolerance to toxic pulses of phosphorus in jarrah (*Eucalyptus marginata*) seedlings. **Mycorrhiza**. 24:501–509. 2014.
- KARLEN, D.L.; KOVAR, J.L.; CAMBARDELLA, C.A.; COLVIN, T.S. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. **Soil and Tillage Research**. V. 130, P. 24–41. 2013.
- KAYSER, M.; ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: A review. **Grass and Forage Science**., 60:213- 224, 2005.
- KEPHART, K.D., BUXTON, D.R.;TAYLOR, S.E. 1992. Growth of C₃ and C₄ perennial grasses under reduced irradiance. **Crop science**. 32(4):1033-1038. 1992.
- KHYBRI, M. L., GUPTA, R. K., SEWA RAM, TOMAR, H. P. S. Crop yields of rice and wheat grown in rotation as intercrops with three tree in the outer hills of Western Himalaya. **Agroforestry Systems**, v. 17, p.1 93-204, 1992.
- 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, Viçosa. 2010.
- KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B; SILVEIRA, P. M. da. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**., v.36, n.1, p.21-28, 2006.
- KONVALINKOVÁ, T.; PÜSCHEL, D.; JANOUŠKOVÁ, M.; GRYNDLER, M.; JANSÁ, J. Duration and intensity of shade differentially affects mycorrhizal growth-and phosphorus uptake responses of *Medicago truncatula*. **Frontiers in Plant Science - Plant Nutrition**. V.6, P.1-11. 2015.
- KORNDÖRFER, C. L.; MÓSENA, M.; DILLENBURG, L.R. Initial growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) under equal soil volumes but contrasting rooting depths. **Trees** (Berlin), v. 22, p. 835-841, 2008.
- KRAMER, L.F.M.; MÜLLER, M.M.L.; TORMENA, C.A.; GENÚ, A.M.; MICHALOVICZ, L; VICENSI, M. Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:1190-1199, 2014.
- KUBO, C.T.; MATA, J.de.D.V.da.; SILVA, M.A.G.da.; SENGIK, E.; MUNIZ; A.S.; NEIRO, E.da.S. Produtividade de soja em plantio direto em sucessão ao trigo, aveia branca, aveia preta com e sem adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 2, p. 235-240, 2007.
- KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.
- LACLAU, J.P.; ALMEIDA, J.C.R.; GONÇALVES, J.L.M.; SAINT-ANDRE, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R.M.; NOUVELLON, Y. Influence of

- nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantation. **Tree Physiology**, v.29, p. 111-124, 2008.
- LACLAU, J-P et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**. 259. 1771–1785. 2010.
- LACLAU, J-P., SILVA, E.A.da.; LAMBAIS, G.R., BERNOUX, M.; MAIRE, G.L., STAPE, J.L; BOUILLET, J-P.; GONÇALVES, J.L.de.M., JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**. v.4, p.1-12. 2013.
- LAGO, B.C. **Eficiência de uso do K em razão do sistema de adubação na rotação aveia-milho**. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Fitotecnia. 41 p. 2014.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**. v. 304, p.1623-1627. 2004.
- LAMBERS, H., F.S. CHAPIN III AND T.L. PONS. **Plant physiological ecology**. Springer-Verlag, Berlin, 540 p. 1998.
- LAMBERT, R.C.; LINCK, A.J. Comparison of uptake of ^{32}P and ^{42}K by intact alfalfa and oat roots. **Plant Physiology**, v.39,p.920-924,1964.
- LAMÔNICA, K. R.; BARROSO, D.G. **Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e recomendações**. Niterói: Programa Rio Rural, 12 p. 2008.
- LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A.; SANTANA, D.P. **Clima e solo**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de Produção, 2. Versão Eletrônica – 5º edição. 2009.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- LÁZARO, R.de.L; COSTA, A.C.T.da.; SILVA, K.de.F.da.; SARTO, M.V.M.; DUARTE JÚNIOR, J.B. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**., Goiânia, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.
- LEAL, A.J.F.; VALDERRAMA, M.; KANEKO, F.H.; LEAL, U.A.S.; PERIN, A.; LUCHESE, K.U.de.O. Produtividade da soja de acordo com diferentes doses de cloreto de potássio revestido ou não com polímeros. **Global Science And Technology**., Rio Verde, v.08, n.01, p.19 – 30, 2015.
- LEITE, F.P.; SILVA, I.V. NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.de.; NEVES, J.C.L. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five Regions in the Rio doce Valley **R. Bras. Ci. Solo**, Vol. 34, N.3, 2010.
- LEONEL, F.de.P., PEREIRA, J.C., COSTA, M.G., MARCO JÚNIOR, P.de., LARA, L.A., QUEIROZ, A.C.de.. Comportamento produtivo e características nutricionais do capim braquiária cultivado em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**., v.38, n.1, p.177-189, 2009.
- LIMA JUNIOR, E.de.C.; ALVARENGA, A.A.de.; CASTRO, E.M.de.; VIEIRA, C.V.; OLIVEIRA, H.M.de. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, n.5, p.1092-1097, 2005.
- LOUZADA, P.T.C.; PACHECO, R.M. Use of fertilizer eucalypts plantations: response to applications and consumption evolution. **IPEF Internacional**, Piracicaba, 2: 25-30, 1992.
- LUCCHESI, L.A.C.; CHANDOHA, E. O que esperar do Plano ABC. **Revista CREA – PR**. nº73. 2012.

- MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.38, p.133-146, 2009 (supl. especial)
- MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B.do.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 331p. 2010.
- MACHADO, L. A. Z. **Aveia: forragem e cobertura do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 16p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Coleção Sistema Plantio Direto, 3)
- MACHADO, L.A.Z. **Cultivares de Aveias para Produção de Forragem e Cobertura do Solo**. Dourados. MS. Comunicado Técnico 49. 2001. 6p.
- MACHADO, L.M.Z.; BALBINO, L.C.; CECCON, G. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 1. Estruturação dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 46p., 2011.
- MACHADO, S.do.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Unicentro. 316 p. 2009
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo. 2002. 23p. (Circular técnica, 22).
- MAILLARD, A.; DIQUÉLOU, S.; BILLARD, V.; LAÎNÉ, P.; GARNICA, M.; PRUDENT, M.; GARCIA-MINA, J.M.; YVIN, J.C.; OURRY, A. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. **Journal Frontiers in Plant Science**.v.6, n.317 p.1-15. 2015.
- MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. 60 p. (Divulgação técnica; Boletim técnico, 3).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Potássio – Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **O potássio na agricultura brasileira**. 3. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. cap. 22. p. 179-238.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MAMAN, A.P.de.; SILVA, C.J.da.; SGUAREZI, E.de.M. ; BLEICH, M.E. Produção e acúmulo de serapilheira e decomposição foliar em mata de galeria e cerradão no sudoeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.5, n.1, p.71- 84, 2007.
- MARQUES, M. C.; BUENO, M. R.; FREITAS, M. C. M.; HAMAWAKI, O. T. **Competição intergenotípica de soja em três épocas de semeadura em Uberlândia - MG**. In: V Semana acadêmica, 2008, Uberlândia. VIII Encontro interno e XII Seminário de iniciação científica, p. 1-10. 2008
- MARQUES, R. Caracterização química da fertilidade do solo. In: LIMA, M.R.de. et al. **Diagnostico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UPFR/Setor de Ciências Agrarias. p.100-124. 2006.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.
- MARSCHNER. H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients**. In: MARSCHNER. H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press. 1995. p.231-255.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.de.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed). **Recomendações**

- para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.: 5ª aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. P.143-168.
- MARTINS, L.M.; ZAGONEL, J.; FERREIRA, C.; SENGHER, M. Épocas de aplicação de regulador de crescimento e de sombreamento artificial em cultivares de trigo. **Revista EIXO**, Brasília - DF, v.3 n.1, 2014.
- MARTUSCELLO, J.A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M.M.; LAURA, V.A.; CUNHA, D.de.N.F.V.da. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revsita Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.7, p.1183-1190, 2009.
- MATOS, M.A.; SALVI, J.V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.26, n.2, 2006.
- MBAH, E. U.; MUONEKE, C. O.; OKPARA, D. A. Evaluation of cassava (*Manihot esculenta* (Crantz) planting methods and soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] sowing dates on the yield performance of the component species in cassava/soybean intercrop under the humid tropical lowlands of southeastern Nigeria. **African Journal of Biotechnology**. Abraka, Nigéria, v. 8, n. 1, p. 042-047, 2008.
- MELGES, E.L; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, 24(9): 1073- 1080, 1989.
- MELO, J.T.de.; RESCK, D.V.S. **Retorno ao solo de nutrientes de serapilheira de *Eucalyptus camaldulensis* no cerrado do Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 17 p. 2003. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)
- MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v.57, p.117-125, 2003.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.HL; ELLIOTT, E.T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry systemns**. Dordrecht. v.56. n.1. p.27-38. 2002.
- MENG, L.; ZHANG, A.; WANG, F.; HAN, X.; WANG, D.; LI, S. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen uptake and transfer in soybean/maize intercropping system. **Frontiers in Plant Science**. v.6, p.1-10. 2015.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MESQUITA, P.; SILVA, S. C.; PAIVA, A. J.; CAMINHA, F. O.; PEREIRA, L. E. T.; GUARDA, V. D-A.; NASCIMENTO JUNIOR, D. do. Structural characteristics of marandu palisadegrass swards subjected to continuous stocking and contrasting rhythms of growth. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 23-30, jan./fev. 2010.
- MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. SBCS, Viçosa. p.66-90. 2007
- MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p 282-298. 2006
- MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant and Soil**, v.168-169, p.225-232, 1995.

- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 411-416, 1993.
- MOREIRA, L.A. et al. Acúmulo de forragem em pastos de Tifton 85 adubados com MUNDSTOCK, C. M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 205-211, 2001.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 31p. 2005.
- NACHTIGALL, G. R & RAIJ, B. V. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira**. Anais do Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba, 2005. 841p.
- NAKAGAWA, J. ROSOLEM, C.A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.441-445, 2005.
- NAKAGAWA, J., CAVARIANI, C. & BICUDO, S.J. Produção e qualidade de sementes de aveia-preta em função da adubação fosfatada e potássica. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 23, nº 1, p.260-266, 2001.
- NEUPANE, R.P.; THAPA, G.B. Impact of agroforestry intervention on soil fertility and farm income under the subsistence farming system of the middle hills, Nepal. **Agriculture, Ecosystems and Environment** .84, p. 157–167. 2001.
- NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1217-1226, 2008.
- nitrogênio e manejados sob lotação contínua. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, suplemento 1, p. 2275-2286, 2015.
- NORO, G.; BASSO-SCHERER, S.M.; FONTANELI, R.S.; ANDREATTA, E. Gramíneas anuais de inverno para produção de forragem: avaliação preliminar de cultivares. **Agrociência**. v.2, nº1, p.35-30. 2003.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V.de. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.134-204. 2007
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.471-550. 2007
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de.; OLIVEIRA, F.A.de.; CASTRO, C.de.; JORDÃO, L.T. **Adubação potássica na soja: cuidados no balanço de nutrientes**. Informações agronômicas, IPNI. N. 143. P. 1-10. 2013.
- OLIVEIRA, A.B.de. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidades de plantas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 78p. 2010.
- OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A.; TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 28:439-445. 2004.
- OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. In: SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, L. **Cerrado – correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 245-256.

- OLIVEIRA. R.P.; MACHADO. P.L.O.A.; BERNARDI. A.C.C.; NAUMOV. A. Considerações sobre o uso do solo e a regionalização do balanço de potássio na agricultura brasileira. In: YAMADA. T.; ROBERTS. T.L (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo. SP. 2004. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS. 2005. p118-164.
- OLTMANS, R.R., AND A.P. MALLARINO. Potassium uptake by corn and soybean, recycling to soil, and impact on soil test potassium. **Soil Science Society of America Journal**. 79:314-327. 2015.
- OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.
- PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ. M. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 04, p. 573-579, 2007.
- PACIULLO, D. S. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; CARVALHO, M. M.; CASTRO, C. R. T. Arranjos e modelos de sistemas silvipastoris. In: FERNANDES. E. N.; PACIULLO. D. S.; CASTRO. C. R. T. de; MULLER. M. D.; ARCURI. P. B.; CARNEIRO. J. da C. (Ed.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. 2007. p. 13-50.
- PACIULLO, D.S.C., CAMPOS, N.R., GOMIDE, C.A.M., CASTRO, C.R.T.de., 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.; AROEIRA, L.J.M.; CARVALHO, M.M. Sistemas Silvistoris na pecuária Leiteira. **Embrapa Gado de Leite. Produção de leite a pasto: Técnicas de produção e de manejo da propriedade**, p.63-84, 2009.
- PACIULLO, D.S.C.; FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; SOUZA SOBRINHO, F.; CARVALHO, C.A.B.. The growth dynamics in Brachiaria species according to nitrogen dose and shade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.02, p.270- 276, 2011.
- PADMAVATHI, P. **Nitrogen management in soybean (*Glycine Max* (L.)) and pigeonpea (*Cajanus Cajan* (L.)) under sole and intercropping systems**. Department Of Agronomy Center For Soil And Crop Management. University Coimbatore. 273 p. 1998. (Thesis of PhD.)
- PALUDZYSZYN FILHO; E. SANTOS, P.E.T.dos; FERREIRA, C.A. **Eucaliptos Indicados para Plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. P.1-45 (Embrapa Florestas. Documento 129).
- PARMEJIANI, R. S. **Microclima e características agronômicas de *Brachiaria decumbens* em um sistema silvipastoril**. 2012. 96 p. Mestrado em Ciência Animal e Pastagens. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, Piracicaba. 2012.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M.de. F.; ZEMPULSKI, H. DA C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR. 1992. 40p.
- PAVINATO, A., AITA, C., CERETTA, C.A. *et al*. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p. 427-432, 1994.

- PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no Solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:911-920, 2008.
- PEREIRA, O.G.; GOBBI, K.F.; PEREIRA, D.H.; RIBEIRO, K.G. Conservação de forragens como opção para o manejo de pastagens. **Anais de Simpósios da 43ª Reunião Anual da SBZ** – João Pessoa – PB, p. 507-539. 2006.
- PEZZOPANE, J. E.M. **Caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa, MG**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 240f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PINHO, R.G.V.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J.L.de.A.R.; REIS, M.C.dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p. 157-173, 2009
- PINTO, S.I.do.C.; FURTINI NETO, A.E.; NEVES, J.C.L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B.da.S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:523-533, 2011.
- PLACE, G.A.; BARBER S.A. The effect of soil moisture and rubidium concentration on diffusion and uptake of rubidium-86. **Soil Sci.Soc. Amer Proc.** 28:239-243. 1964.
- POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus. Implicações silviculturais**. 1985. 211 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1985.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap.10, p.287-308.
- PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Produtividade em sistema de integração lavoura-pecuária - floresta no subtrópico brasileiro**. Tese de Doutorado. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. 2012. 119p.
- PÖTTKER, D.; ROMAN, E.S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 29. n. 5. p. 763- 770. 1994.
- PRIMAVESI, A. C.; GODOY, R.; PRIMAVESI, O.; SOUZA, F. H. D. **Avaliação de genótipos e recomendação de cultivares de aveia forrageira, para o ano de 2006, na região Sudeste**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 3 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 60).
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CANTARELLA, H.; GODOY, R.; VIVALDI, L.J. Adubação de aveia em dois sistemas de plantio. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v. 37, n. 12, p. 1773-1778, 2002.
- PRIMAVESI, A.C.DE.A.; PRIMAVESI, O.; GODOY, R. Teores e extração de nutrientes pela forragem de aveia, em função de doses de nitrogênio, no manejo de dois cortes e em duas épocas de plantio. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, V. 75, fase, 2, 2000.
- PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. Mexico: John Wiley & Sons, Inc., 1990. 634 p.
- RADIN, B., BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N.A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I.A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

- RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa Florestal Brasileira** (Impresso), v. 32, p. 53-62, 2012.
- RADOMSKI, M.I.; RIBASKI, J. **Sistemas silvipastoris: aspectos da pesquisa com eucalipto e grevilea nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas. 2009. 40 p.(Embrapa Florestas. Documentos 191).
- RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van., ed. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p.17-31.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H. A análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, v.40, p.57-75, 1981.
- REISSMANN, C.B. & WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V (eds.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. 427 p, 2000.
- RETZLAF, J. G.; STIPP, N. A. F.; ARCHELA, E. Breve síntese geológica e geomorfológica da área do parque estadual do Guartelá no estado do Paraná. **Geografia** - v. 15, n. 1, 2006.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- RIBEIRO, C.; MADEIRA, M.; ARAÚJO, M.C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. **Forest Ecology and Management** 171, 2002, 31–41.
- RITCHEY, K.D. **O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos**. Piracicaba. Instituto da Potassa e Fosfato. Instituto Internacional da Potassa. 1982. 69 p.
- RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Potafós: informações agronômicas, Piracicaba, n. 103, Arquivo Agrônomo 18, set. 2003.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 21p. il. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, 11).
- ROBERTS, T.L.; RYAN, J. **Solo e segurança alimentar**. Informações agronômicas nº 150. 2015. 3p.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI; P.F.; LUZ, J.S.da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.
- RODRIGUES, O; TEIXEIRA, M.C.; DIDONET, A.; LAMBHY, J.C.B. SÓRIO, I. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura do ar no desenvolvimento da área foliar da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento online, 33).
- RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 26p. 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)

- ROSOLEM, C. A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 239-260.
- ROSOLEM, C.A., CALONEGO, J.C. & FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:355-362, 2003.
- ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- ROSSIELLO, R.O.; JACOB NETTO, J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S. ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 375-418.
- ROVIRA, A. D. Diffusion of carbon compounds away from wheat roots. **Australian Journal of Biological Sciences.**, v. 22, p. 1287-1290, 1969.
- RUBERTI, I; SESSA, G.; CIOLFI, A.; POSSENTI, M.; CARABELLI, M.; MORELLI, G. Plant adaptation to dynamically changing environment: The shade avoidance response. **Biotechnology Advance**. 30, 1047–1058. 2012.
- SÁ, A.F.L.de.; VALERI, S.V.; M.C.P.da.; BARBOSA, J.C.; REZENDE, G.M. TEIXEIRA, M.P. Effects of potassium application and soil moisture on the growth of *Corymbia citriodora* plants. **Cerne**, v. 20 n. 4, p. 645-651, 2014.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, AC; MACEDO, MCM; BROCH, DL. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.11-21, 2008.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T.C.; LUCCHESI, L.A.C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica : Ciências Agrárias e Ambientais.**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.
- SAMRA, J. S., GREWAL, S. S., SINGH, G. Modelling competition of paired columns of Eucalyptus on interplanted grass. **Agroforestry Systems**, v.21, p.177-190, 1993.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V.P.; PICOLI, G.J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8 n2, p. 187-197, 2009.
- SANTANA, G da S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M. da.; RAMOS, M. M. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.11,p. 142-151, 2007.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N.F.de. NOVAIS, R.F.; LEITE; H.G.; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2723-2733, 2008.
- SANTI, A.; AMADO. T. J. C.; ACOSTA. J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia branca. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**. vol. 27. p. 1075-1083. 2003.
- SANTO, L.T. Fertilization of Eucalyptus for Rapid Canopy Closure on the Hamakua Coast in Pa’auilo. Hawaii Agriculture Research Center, **Forestry Report**. 4. 2000.
- SANTOS, F.C.dos.. NOVAIS, R.F. . NEVES, J.C.L. . FOLONI, J.M.. ALBUQUERQUE FILHO, M. R.de & KER, J.C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de

- soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:2015-2025. 2008.
- SANTOS, H. P. dos. Efeito de sistemas de cultivo sobre o rendimento de grãos e outras características agronômicas de aveia preta e da branca, em rotação com trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n.5, p. 709-714, 1991a.
- SANTOS, H. P. dos. Soja em sucessão a aveia branca, aveia preta, azevém e trigo: características agronômicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 9, p. 1563-1576, 1991.
- SANTOS, H.P.dos., LHAMBY, J.C.B., SPERA, S.T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v.36, n.1, 2006.
- SANTOS, H.P.dos., LHAMBY, J.C.B., SPERA, S.T. Rendimento de grãos de milho e sorgo em sistemas de rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. I, p.49-58, 2001a.
- SANTOS, H.P.dos.; LHAMBY, J.C.B. Influência de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos de soja cultivada em sistemas de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, 2001.
- SANTOS, H.P.dos.; ROMAN, E.S. Efeitos de culturas de inverno e rotações sobre a soja cultivada em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. 1, p.59-68, 2001.
- SANTOS, H.P.dos.; LHAMBY, J.C.B.; SANDINI, I. Efeitos de culturas de inverno e de sistema de rotação de culturas sobre algumas características da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.Brasília. v.32. n.1l. p. 1141-1146. 1997.
- SARIYILDIZ, T.; KUCUK, A. M. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 1695–1706, 2005.
- SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SANQUETTA, C.R.; GALVÃO, F. Incremento diamétrico e em área basal no período 1979-2000 de espécies arbóreas de uma floresta ombrófila mista localizada no sul do paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 35, n. 2, 2005.
- SCHERER, E.E. Resposta da soja à adubação potássica em Latossolo húmico distrófico num período de doze anos **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:49-55, 1998.
- SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.& GIANELLO, C. Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.1669-1677, 2011.
- SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para a produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n. 2, p. 241-249, 2001
- SCHREINER, H.G. **Tolerância de quatro forrageiras a diferentes graus de sombreamento**. (S.L): Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1987. p.61-72.
- SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembí, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p. 21-34, 1993.
- SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Boletim Diário DERAL: Departamento de Economia Rural - 2014 – milho. 2014. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2014_15.pdf. Acesso em: 19 Jan. 2016.

- SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Comparativo de área, produção e rendimento de culturas selecionadas. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>. Acesso em: 19 Jan. 2016.
- SERAFIM, M.E., ONO, F.B.; ZEVIANI, W.M.; NEVELINO, J.O.; SILVA, J.V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 222-227, 2012.
- SETTE JR, C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.dos.S.; LACLAU, J.P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, v.34, n.6, p.979-990, 2010.
- SETTE JR., C.R.; LACLAU, J.P.; TOMAZELLO FILHO, M.; MOREIRA, R.M.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J.; ALMEIDA, J.C.R. Source-driven remobilizations of nutrients within stem wood in *Eucalyptus grandis* plantations. **Trees**, 27(4). 2013.
- SFREDO, G.J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, n. 305. 2008. 148 p.
- SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J.; BORKERT, C.M. **Soja, nutrição mineral, adubação e calagem**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1986. 51p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 64)
- SHIOGA, P.S.; GERAGE, A.C.; ARAÚJO, P.M.de.; BIANCO, R.; CUSTÓDIO, A.A.de.P. **Avaliação estadual de cultivares de milho safra 2012/2013**. Londrina: IAPAR, 2013.100 p. (IAPAR. Boletim técnico, 79)
- SIDARI, M.; RONZELLO, G.; VECCHIO, G.; MUSCOLO, A. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). **European Journal of Soil Biology**, v.44, p.364-372, 2008.
- SILVA, A. A. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 37, n. 4, p. 928-935, 2007.
- SILVA, A.A.S.; BRANDO, P.de.T.V.M.; DA SILVA, N.A.da.; MELO, E.T. **Competição de genótipos de aveia branca e aveia preta em Araxá, MG**. Instituto de Ciências da Saúde, Agrárias e Humanas (ISAH) - Araxá - MG, p.1-5, 2014 (Circular técnica, 12).
- SILVA, A.A.S.; BRANDO, P.T.V.M.; RIBEIRO, J.V.C.; PAIVA, M.J.A.; CARNEIRO FILHO, A.J.; INÁCIO, P.K. Ensaio de genótipos de aveia branca, Araxá, MG, 2013. **Anais da XXXIV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**. CASTRO-Pr, 2014
- SILVA, D.C. da., SILVA, M.L.N., CURI, N., OLIVEIRA, A.H., SOUZA, F.S.de., MARTINS, S. G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **REA – Revista de estudos ambientais (Online)** v.13, n. 1, p. 77-86. 2011.
- SILVA, H.A.da.; MORAES, A.de.; CARVALHO, P.C.de.F.; FONSECA, A.F.da.; CAIRES, E.F.; DIAS, C.T.dos.S. Chemical and physical soil attributes in integrated crop-livestock system under no-tillage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 946-955, 2014.
- SILVA, H.D.da.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 6/7, p. 9-25, 1983.
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES,R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.;

- NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-357.
- SILVA, M.L.de.S.; TREVIZAM, A.R. **Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas**. Informações agronômicas. N.149.p.10-16. 2015.
- SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam,v.301, p. 67-71, 2013.
- SILVA, S. M. da.; OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F. P.; REIS, E. F.; CARNEIRO, S. M. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ciência Rural**. v.41, p.1931-1937, 2007.
- SILVA, V.da.; MOTTA, A.C.V.; MELO, V.de.F.; LIMA, V.C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:551-559, 2008.
- SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de; PIAZZETTA. H. V. L.; LANG, C. R.; CARVALHO, P. C. de F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1323-1332, 2012.
- SILVEIRA, R.L.V.de.A.; GAVA, J.L.; MALAVOLTA, E. O potássio na cultura do eucalipto. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na agricultura brasileira**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato – POTAFOS, Piracicaba, 2005. p.521-590.
- SILVEIRA, R.L.V.de.A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus. **Potafos**. Informações Agronômicas n. 91, p.1 – 12. 2000.
- SIMONETE, M.A.; VAHL, L.C.; FABRES, R.T.; COUTO, J.R.R.; LUNARDI, R. Efeito residual da adubação potássica do azevém sobre o arroz subsequente em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:721-727, 2002.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; FEIGEL, B. J.; VESZKE FILHO, S. de P.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). II - Emissões de CO₂ e N₂O. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33. n.4. p.1023-1029. 2009.
- SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; VARELLA, A.C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C.; Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.38, n.3, p.443-451, 2009.
- SOUSA NETO, E.L.de. **Dinâmica dos atributos físicos e estoque de carbono de um Latossolo** em sistemas integrados de produção. Jaboticabal, 2013, 41 p. (Tese de doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013.
- SOUSA, D.M.G.de.; MIRANDA, L.N.DE.; OLIVEIRA, S.A.DE. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS et al. **Fertilidade do solo**. SBCS, Viçosa. p.206-274. 2007.
- SOUZA, E.P.de.; SILVA, I.de.F.da. ; FERREIRA, L.E. . Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.17, n.2-4, p.167-173, 2011.
- SOUZA, M.S.P.de.; MAULLER, P.M.; CARDOSO, T.R.; RODRIGUES, R.; PEREIRA, E. Caracterização Geoquímica e Bioestratigráfica das Superfícies de Inundação Marinha da Seção Meso-Neodevoniana, na Região de Dom Aquino (MT), Noroeste da Bacia do Paraná, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 36 – 1, 2013 p.15-25.

- SPARKS, D.L. **Bioavailability of soil potassium**. In: Handbook of soil Science (M.E. Sumner, ed.). CRC Press, Boca Raton, pp: D38-D53. 2000.
- STAPE, J.L. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**. V. 259 p. 1684–1694, 2010.
- TAFERNABERRI JUNIOR, V.; DALL'AGNOL, M.; MONTARDO, D.M.; PEREIRA, E.M.; PERES, E.R.; LEÃO, M.L. Avaliação agronômica de linhagens de aveia-branca em duas regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.1, p.41- 51, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed. 2004.
- TECNOLOGIAS de produção de soja - região central do Brasil 2009 e 2010. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 13).
- TIVET, F.; SÁ, J.C.de.M.; BORSZOWSKI, P.R.; LETOURMY, P.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A.O.; DOS SANTOS, J.B.; INAGAKI, T.M. Soil Carbon Inventory by Wet Oxidation and Dry Combustion Methods: Effects of Land Use, Soil Texture Gradients, and Sampling Depth on the Linear Model of C-Equivalent Correction Factor. **Soil Science Society of America Journal**. 2011. J. 76:1048–1059.
- TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba, SP: Agropecuária, 1997. 274 p.
- TORNQUIST, C.G.; HONSB, F.M.; FEAGLEYB, S.E.; HAGGARC, J. Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. Agriculture, **Ecosystems and Environment** 73. 19-28. 1999.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C. & FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:609-618, 2005.
- TŮMA, J.; SKALICKÝ, M.; TŮMOVÁ, L.; BLÁHOVÁ, P.; ROSŮLKOVÁ, M. Potassium, magnesium and calcium content in individual parts of *Phaseolus vulgaris* L. plant as related to potassium and magnesium nutrition. **Plant, Soil and Environment**, 50, (1): 18–26. 2004
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BENETT, C.G.S.; ANDREOTTI, M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 659-670, 2014.
- VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDEZ, L.A.; REZENDE, A.V. Crescimento radicular de espécies florestais em solos ácidos. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. 31: 609-616. 1996.
- VALERI, S.V.; ISMAEL, J.J., TORRES, R.M.; CORRADINI, L. Efeito do potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de Eucalyptus grandis, em Areia Quartzosa e Latossolo Vermelho Escuro (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Solo-Suelo 96: trabalhos**. Piracicaba: SBCS/ SLCS, 1996.
- VANHOVE, W.; VANHOUDT, N.; DAMME, P.V. Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. **Agriculture, Ecosystems and Environment** .219 p.14–25, 2016.
- VARELLA, A. C.; RIBASKI, J.; SILVA, V. P.; SOARES, A. B.; MORAES, A.; MORAIS, H.; SAIBRO, J. C.; BARRO, R. S.; POLI, C. H. E. C. **Recomendações para a escolha e manejo de plantas forrageiras em sistemas silvipastoris no Sul**

- do Brasil.** Bagé: Embrapa Pecuária Sul. 2008. 25 p. (Embrapa Pecuária Sul. Documentos. 76).
- VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.M.; IRA, J.J.F. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, v.33, o.1, p.1835-1845, 1998.
- VERSINI, A.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J.P.; KINANA, A.; MARESCHAL, L.; ZELLER, B.; RANGER, J.; EPRON, D. The manipulation of organic residues affects tree growth and heterotrophic CO₂ efflux in a tropical Eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management.** v.301, p. 79–88. 2013.
- VIEIRA, C.P. **Sistemas de Manejo do Solo, Culturas de Cobertura e Rotação de Culturas: Resposta para Soja e Milho.** Tese de doutorado - Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista, 2009, 78p.
- VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ANGHINONI, I.; ERNANI, P.R.; MORAES, R.P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.188–198, 2013.
- VIEIRA, T.A.; ROSA, L.dos.S.; VASCONCELOS, P.C.S.; SANTOS, M.M.dos.. MODESTO, R.da.S. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu. Pará: caracterização florística. implantação e manejo. **Acta Amazônica.** v. 9. 37(4) p. 549 – 558. 2007.
- VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p 300-325. 2006
- VITTI, G.C; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. Piracicaba: POTAFOS, **Informações Agronômicas**, v.90, p.1-16. 2000.
- VYN, T.J.; GALIC, D.M.; JANOVICEK, K.J. Corn response to potassium placement in conservation tillage. **Soil & Tillage Research.** 67, 159–169. 2002.
- 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 Ciências do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.
- WERNER, J.C. Adubação potássica. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS. 1.. Nova Odessa. 1985. **Anais.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato. 1986. P.175-190.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by **pasture grasses in a subtropical environment.** **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1075-1093, 1996.
- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. et al. The growth of *Paspalum notatum* under a shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasses.** 24(1):24-28. 1990.
- WITSCHORECK, R. MAURO VALDIR SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.177-183, 2003.
- WITTER, E.; JOHANSSON, G. Potassium uptake from the subsoil by green manure crops. **Biology Agriculture and Horticulture.** [S.l.]. v.19. p.127-141. 2001.
- XAVIER, D.F. et al. Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicais**, v.25, n.1, 23-26, 2003.

- YAMADA, T.; BORKERT, C.M. Adubação potássica de soja. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n.55, p.1-3, 1991.
- ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira Ciência Solo**. 28(5): 843-852. 2004.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R.F.; CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 3, 2007, pp. 487-495
- ZANELLA, F.. SONCELA, R.. LIMA, A.L.da.S. Formação de mudas de maracujazeiro “amarelo” sob níveis de sombreamento em Ji-Paraná/RO. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. v. 30. n. 5. p. 880-884. 2006.
- ZHANG, F.; NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; YUAN, L.; XIE, J. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. **Plant and Soil**, v. 335, p. 21-34, 2010.
- ZHANG, K.; ZHENG, H.; CHEN, F.L.; OUYANG, Z.Y.; WANG, Y.; , WU, Y.F.; LAN, J.; FU, M.; XIANG, X.W. Changes in soil quality after converting Pinus to Eucalyptus plantations in southern China. **Solid Earth**, 6, 115–123, 2015.
- ZHANG, W.; LIU, K.; WANG, J.; SHAO, X.; XU, M.; LI, J.; WANG, X.; MURPHY, D.V. Relative contribution of maize and external manure amendment to soil carbon sequestration in a longterm intensive maize cropping system. **Scientific Reports**, 5:10791, p. 1-12, 2015.
- ZHONGKUI, L.; WANG, E.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. **Geoderma**, v.155, p.211-223, 2010.
- ZHU, L.; LI, J.; TAO, B.; HU, N. Effect of different fertilization modes on soil organic carbon sequestration in paddy fields in South China: A meta-analysis. **Ecological Indicators**. 2015, 53, 144–153.
- ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.& ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.7-52.