

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

JÉSSICA RAMÃO

**PROPRIEDADES QUÍMICAS E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO
À PENETRAÇÃO EM SISTEMA SILVIPASTORIL APÓS ONZE ANOS
DE IMPLANTAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DOIS VIZINHOS

2017

JÉSSICA RAMÃO

**PROPRIEDADES QUÍMICAS E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO
À PENETRAÇÃO EM SISTEMA SILVIPASTORIL APÓS ONZE ANOS
DE IMPLANTAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Mestre em
Agroecossistemas do Programa de Pós-
Graduação em Agroecossistemas da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor
Co-orientador: Prof. Dr. Eleandro José Brun
Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Fabiani das Dores
Abati Miranda

DOIS VIZINHOS

2017

R165p Ramão, Jéssica
Propriedades químicas e resistência mecânica do solo à
penetração em sistema silvipastoril após onze anos de
implantação / Jéssica Ramão – Dois Vizinhos, 2017
52f.:il

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Laércio Sartor
Coorientador: Prof. Dr. Eleandro José Brun
Coorientadora: Profa. Dra. Fabiani das Dores Abati Miranda
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Programa de Pós- graduação em
Agroecossistemas, Dois Vizinhos, 2017.
Bibliografia p. 39-48

1. Agricultura sustentável 2. Fertilidade do solo 3.
Mecânica do solo I. Sartor, Laércio Ricardo, orient. II. Brun,
Eleandro José, coorient. III. Miranda, Fabiani das Dores Abati
IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois
Vizinhos V. Título

CDD: 631.42

Ficha catalográfica elaborada por Rosana da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 007

Propriedades químicas e resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação

Jéssica Ramão

Dissertação apresentada às nove horas do dia vinte e cinco de agosto de dois mil e dezessete, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS, Linha de Pesquisa – Manejo e Conservação de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Banca examinadora:

Laércio Ricardo Sartor
UTFPR-DV

Luís César Cassol
UTFPR-PB

Vanderley Porfírio da Silva
EMBRAPA

Prof. Dr. Eleandro José Brun
Coordenador do PPGSIS

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas.

Dedico...
ao meu avô, Amandio Ziger (em memória),
pelo exemplo a ser seguido, e aos meus pais
Lauri Ramão e Janete Ziger, pelos
ensinamentos, apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pelo dom da vida e por iluminarem meus pensamentos para que eu tivesse discernimento para escrever este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Laércio Ricardo Sartor, pelo incentivo, sabedoria e ensinamentos com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus co-orientadores Prof^a. Fabiani das Dores Abati Miranda e Prof. Eleandro José Brun pela ajuda, amizade, paciência e sugestões.

Ao programa de pós-graduação em Agroecossistemas da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Dois Vizinhos, pela oportunidade de realização do mestrado.

A família Pizzolatto, por terem cedido sua propriedade para a condução da pesquisa.

Ao meu querido irmãozinho, Otávio por me proporcionar alegrias nos momentos difíceis.

Ao meu amado pai Lauri, que apesar da distância sei que sempre posso contar contigo.

Ao meu exemplo de vida minha mãe Janete, que abdicou dos próprios sonhos para que eu pudesse seguir os meus. Você sempre será o alicerce da minha vida, muito Obrigada!

Agradeço de forma especial ao meu namorado Rudinei. Obrigado pela ajuda e pelo amparo nos momentos difíceis. Muito obrigada por entrar em minha vida, tenho a felicidade de estar ao seu lado e desejo estar contigo sempre. Amo você.

RESUMO

RAMÃO, Jéssica. **Propriedades químicas e resistência mecânica a penetração do solo em um sistema silvipastoril após onze anos de implantação.** 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

Com o aumento da demanda por alimento houve a necessidade de intensificação no uso da terra, surgindo várias discussões no que tange a agricultura sustentável. Uma das alternativas aplicadas à agricultura é a adoção de sistemas de integração, como o sistema silvipastoril, o qual visa maximizar os recursos naturais e insumos, com menos impacto sobre o ambiente, sendo considerado economicamente viável, porém, apesar das áreas destinadas a este sistema terem se tornando cada vez mais significativas no Brasil, o efeito promovido por sistemas silvipastoris nos atributos físicos e químicos do solo é pouco relatado na literatura científica. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência mecânica do solo a penetração e a disposição dos macronutrientes em cinco faixas longitudinais distribuídas entre linhas de árvores plantadas em duas disposições distintas (Leste-Oeste; Norte-Sul) em diferentes profundidades sob um sistema silvipastoril constituído por grevilea (*Grevillea robusta*), Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e gado de leite (Jersey x Holandês Vermelho), após onze anos de implantação. Coletaram-se amostras do solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 cm, para determinação de pH em CaCl₂, e os teores de P, K, Ca, Mg, H+Al e valores de MO, CTC, V%, SB, e m%, e para determinação da resistência mecânica do solo a penetração (RMP) as profundidades avaliadas foram 0-5; 5-10; 10-20; 20-40 cm com auxílio de penetrômetro digital; o delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições e cinco tratamentos. Os resultados demonstraram que a concentração dos nutrientes avaliados foi maior nas faixas próximas às árvores, fato associado ao comportamento animal e a ação da cobertura vegetal sobre o solo. Em relação aos atributos físicos, os maiores valores de RMP foram observados na camada de 5-10 cm, nas faixas próximas as árvores, devido à maior permanência dos animais nestes locais. A serapilheira depositada no solo pelas árvores auxiliou para que os níveis de resistência fossem menores nos primeiros 5 cm. O efeito do sistema radicular da espécie arbórea contribuiu para que os níveis de RMP se mantivessem altos na profundidade de 20 a 40 cm para disposição Leste-Oeste.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Fertilidade do Solo. Sistemas Integrados de Produção.

ABSTRACT

RAMÃO, Jéssica. **Chemical properties and mechanical resistance to soil penetration in a silvipastoral system after eleven years of implantation.** 2017. 63 f. Dissertation (Master in Agroecosystems) - Federal Technological University of Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

With the increase in the demand for food there was a need for intensification of land use, with several discussions on sustainable agriculture. One of the alternatives applied to agriculture is the adoption of integration systems such as silvipastoral, which aims to maximize natural resources and inputs, with less impact on the environment, and is considered economically viable, although, despite the areas destined to this system, becoming increasingly significant in Brazil, the effect promoted by silvipastoral systems on the physical and chemical attributes of the soil is little reported in the scientific literature. The objective of this work was to evaluate the mechanical resistance of the soil to the penetration and the macronutrient arrangement in five longitudinal strips distributed between tree lines planted in two different arrangements (East-West and North-South) at different depths under a silvipastoral system consisting of grevillea (*Grevillea robusta*), Tifton 85 (*Cynodon* spp.) and milk cattle (Jersey x Dutch Red) after eleven years of implantation. Soil samples were collected at depths of 0-5; 5-10; 10-20 cm, for determination of pH in CaCl₂, and the contents of P, K, Ca, Mg, H + Al and values of MO, CTC, V%, SB, m%, and for determination of soil mechanical resistance Penetration (RMP) at depths evaluated were 0-5; 5-10; 10-20; 20-40 cm with the aid of a digital penetrometer; the experimental design was a randomized complete block design with three replicates and five treatments. The results showed that the concentration of nutrients evaluated was higher in the zone close to the trees, a fact associated with the animal behavior and the action of the vegetal cover on the soil. Regarding the physical attributes, the highest RMP values were observed in the 5-10 cm layer, in the bands near the trees, due to the longer stay of the animals in these places. The litter deposited on the ground by the trees helped to reduce the resistance levels in the first 5 cm. The effect of the root system of the tree species contributed to the fact that RMP levels remained high at depths of 20 to 40 cm for the East-West arrangement.

Keywords: Sustainability. Soil Fertility. Integrated Production Systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ÁREA REFERENTE AO SISTEMA SILVIPASTORIL.	10
FIGURA 2 – DISPOSIÇÃO DAS FAIXAS E PONTOS DE COLETA ENTRE OS RENQUES DE ÁRVORES ..	11
FIGURA 3 - NÍVEIS DE pH DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	13
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NÍVEIS DE pH NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	14
FIGURA 5 - TEORES DE H+AL DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	15
FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE H+AL NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	15
FIGURA 7 - TEORES DE M% DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	16
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE M% NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	17
FIGURA 9 - TEORES DE K DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS NÃO COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	18
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE K NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	19
FIGURA 11 - TEORES DE CA DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	19
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE CA NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	20

FIGURA 13 - TEORES DE MG DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	21
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE MG NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	22
FIGURA 15 - TEORES DE PDO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	23
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE P NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	24
FIGURA 17 - TEORES DE SB DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	25
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE SB NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	26
FIGURA 19 - TEORES DE V% DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	27
FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE V% NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	27
FIGURA 21 - NÍVEIS DE CTC DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS NÃO COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	28
FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NÍVEIS DE CTC NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.	29
FIGURA 23 - TEORES DE MO DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS NÃO COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.	30

FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE MO NO SOLO EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	30
FIGURA 25 - RMP DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES PROFUNDIDADES (0-5; 5-10; 10-20 CM) SOB SISTEMA SILVIPASTORIL. DISPOSIÇÃO 1: LESTE-OESTE; DISPOSIÇÃO 2: NORTE-SUL. BARRAS NÃO COINCIDENTES DENTRO DE CADA PROFUNDIDADE DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO.....	33
FIGURA 26 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RMP EM 0 A 5 CM DE PROFUNDIDADE EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	34
FIGURA 27 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RMP EM 5 A 10 CM DE PROFUNDIDADE EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	35
FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RMP EM 10 A 20 CM DE PROFUNDIDADE EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	36
FIGURA 29 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RMP EM 20 A 40 CM DE PROFUNDIDADE EM CINCO FAIXAS DIVIDIDAS ENTRE LINHAS DE ÁRVORES EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	SISTEMA SILVIPASTORIL: VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	4
2.2	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO QUANTO A ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO EM AMBIENTES DE INTEGRAÇÃO SILVIPASTORIL	6
3	MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO	9
3.2	DEMARCAÇÃO DAS PARCELAS PARA COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO E AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO.....	10
3.3	VERIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE SOMBREADA DA ÁREA	12
3.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	12
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1	COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO: PH EM CaCl_2 , ACIDEZ POTENCIAL (H + AL) E SATURAÇÃO POR AL (M%).....	13
4.2	TEORES DE POTÁSSIO (K), CÁLCIO (CA), MAGNÉSIO (MG), FÓSFORO (P), SOMA DE BASES (SB), E SATURAÇÃO POR BASES (V%).....	17
4.3	CTC POTENCIAL (T) E NÍVEIS DE MATÉRIA ORGÂNICA (MO).	28
4.4	NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NAS DISPOSIÇÕES NORTE-SUL E LESTE- OESTE.....	31
4.5	RESULTADOS REFERENTES À AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO	33
5	CONCLUSÕES.....	38
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
	APÊNDICE A - IMAGENS DO SISTEMA SILVIPASTORIL.....	50
	ANEXO A – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO CONDOMÍNIO PIZZOLATTO.....	52

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção de alimentos é sem dúvida um dos grandes desafios atuais, pois o consumo vem se intensificando com o passar dos anos e gerando assim uma demanda por aumento de produção, isso afeta principalmente os agroecossistemas, pois se exige destas áreas maior produtividade (LAL, 2007). Dessa forma, é preciso encontrar práticas agrícolas eficientes que tenham por objetivo o equilíbrio entre preservação dos recursos naturais e produção (BIANCHI e LAWICH, 2006).

A sustentabilidade de um sistema produtivo tem sido um assunto amplamente discutido, pois, espera-se que dentro de um agroecossistema haja um equilíbrio ecológico, econômico, social, político e ético. A produção deve estar associada aos cuidados com os recursos ambientais, de maneira que esses ambientes possam ter produção economicamente favorável, sem causar grandes prejuízos aos seus sistemas naturais (JONSSON e CASTRO, 2005).

A sociedade tem tomado conhecimento sobre outras formas de produção que minimizam os impactos gerados pelo sistema produtivo, devido a isso, existe forte pressão no sentido de mudanças dos modelos atuais de exploração agropecuária. A preservação dos recursos naturais e da qualidade e segurança dos produtos alimentares fazem parte da pauta de discussões e ações governamentais (BARCELLOS et al., 2008).

No entanto, apesar da busca por uma produção sustentável ter aumentado, a atual realidade da grande maioria dos agroecossistemas é preocupante, pois, a agricultura de monocultivo, caracterizada pela utilização de poucas espécies vegetais e animais, tem provocado perdas genéticas, solos degradados com baixo teor de nutrientes e altos níveis de compactação (DAL SOGLIO e KUBO, 2009).

O cenário de degradação dos solos induziu o meio científico a buscar sistemas produtivos sustentáveis, que proporcionassem à reposição de nutrientes de maneira natural, diminuindo, dessa forma, o uso de fertilizantes sintéticos (BALBINO et al., 2011). Como alternativa a estas questões surge à proposta de utilização de sistemas integrados de produção agropecuários, que têm por objetivo intensificar o uso da terra através da integração de diferentes atividades em uma mesma área, para atingir níveis cada vez maiores de qualidade do produto, qualidade ambiental e competitividade (LEMAIRE, 2014; CORDEIRO et al., 2015). Segundo Alonso (2011) o emprego de sistemas de integração são uma opção viável de

produção e melhoria aos agroecossistemas, pois a eficiência destas áreas pode minimizar a pressão sobre a abertura de novos locais para produção agropecuária.

Entre os sistemas de integração, está o sistema silvipastoril, que implica a presença e o aproveitamento de árvores, pastagem e animais em uma mesma área. Esta estratégia de produção tem se mostrado eficiente em vários aspectos, principalmente no processo de reversão de degradação das pastagens, pois as árvores além de proporcionarem um aumento do conforto térmico aos animais, também atuam na proteção física do solo, reduzindo a velocidade dos ventos e o impacto da chuva, além de atuarem na ciclagem de nutrientes e aumento da fertilidade, através da absorção de nutrientes das camadas mais profundas do solo e posterior disponibilização via deposição de serapilheira (ALONSO, 2011; CORRÊA, 2013).

De acordo com Cordeiro et al., (2015) não apenas a modalidade silvipastoril, mas também os demais sistemas de integração geram inúmeros benefícios ao produtor e ao meio ambiente, uma vez que ajudam a diminuir as emissões de gases de efeito estufa, principalmente com o sequestro de carbono, além de proporcionar aumento da biodiversidade, favorecer as fontes de água doce e auxiliar na manutenção e melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, aumentar a ciclagem e a eficiência na utilização dos nutrientes e contribuir com a produtividade dos animais. Já para o produtor, a adoção de um sistema de integração pode oferecer estabilidade na renda da propriedade devido à diminuição da inatividade do uso das áreas agrícolas, em consequência da diversificação da produção.

A elaboração deste trabalho é justificada pela fundamental importância em ampliar os estudos científicos sobre as diferentes modalidades de integração implantadas em agroecossistemas, com diferentes tipos de solos, para que desta forma seja possível compreender o que as interações do sistema são capazes de provocar na fertilidade e física do solo. Além disso, o estudo busca entendimento das relações solo – planta – animal – ambiente para estabelecer um manejo eficaz, principalmente em relação aos insumos empregados, pois através dos mapas de fertilidade pode-se ter um real conhecimento da heterogeneidade do solo, conhecendo desta forma a necessidade ou não de adubação, nas diferentes faixas de sombreamento. Estas diferenças no perfil químico do solo são baseadas na hipótese de que os animais e as árvores podem influenciar na distribuição de nutrientes, pois na maior parte do tempo os animais podem vir a ficar nas áreas sombreadas, e assim ocorrer deposição de urina e esterco, aumentando os níveis de nutrientes do solo nesses locais, da mesma forma que o acúmulo de matéria orgânica pode ser mais alto nas áreas próximas as árvores, em consequência do aporte de serapilheira.

Com o conhecimento do perfil químico do solo, é possível reduzir excessos de adubação mineral, sem deixar de elevar a fertilidade de maneira geral, proporcionando ao produtor aumento da produção, com menor custo em comparação ao sistema convencional, aumentando desta forma a sua margem de lucro e ao mesmo tempo contribuindo com a preservação dos recursos naturais, por meio de uma aplicação consciente de fertilizantes no solo.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a resistência mecânica do solo a penetração (RMP) e a disposição dos macronutrientes em cinco faixas longitudinais distribuídas entre os renques de árvores em diferentes profundidades sob um sistema silvipastoril após onze anos de implantação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA SILVIPASTORIL: VANTAGENS E DESVANTAGENS

Os sistemas silvipastoris integram os componentes pecuários (pastagem e animal) e florestais na mesma área e no mesmo ano agrícola, e em virtude dos inúmeros benefícios que podem ser obtidos com o uso desse sistema e por ser considerado um fator determinante para recuperação de pastagens degradadas, as áreas destinadas ao sistema silvipastoril vem se tornando mais significativas no Brasil nos últimos anos. (CORDEIRO et al., 2015)

O sistema silvipastoril tem trazido vantagens importantes para o proprietário para além dos limites da pastagem, dentre esses benefícios estão à produção na mesma área de carne ou leite e produtos madeireiros e não madeireiros ao longo de todo ano, evitando períodos sem produtividade, favorecendo assim o incremento da rentabilidade da propriedade rural (BALBINO et al., 2011). Essa diversidade na produção das propriedades rurais permite o uso sustentável do solo, que agrega em si outros benefícios, a exemplo da minimização ao uso de insumos externos (CORRÊA, 2013).

Para o meio ambiente as vantagens do sistema silvipastoril incluem a conservação da biodiversidade, a proteção aos mananciais, controle de erosão bem como a melhoria da fertilidade do solo (CARVALHO e XAVIER, 2005). Entre os serviços ambientais relacionados se encontram programas desenvolvidos em alguns países da América Central, para pagamento da captura de carbono, da restauração do solo e a conservação da biodiversidade (ALONSO, 2011). Alvarenga e Gontijo Neto (2012) destacam o potencial de sequestro de carbono em sua contribuição para minimizar a emissão de gases do efeito estufa em sistemas de produção pecuária.

Outra forma de contribuição com a natureza na opção de cultura silvipastoril, comparativamente à degradação causada pelos sistemas convencionais de criação de animais, consiste na redução dos impactos ambientais negativos e na restauração ecológica de pastagens degradadas, onde as árvores são um importante componente que auxiliam na proteção física do solo, pois forma-se um estrato adicional de vegetação, que pode exercer importante papel na conservação do solo e no melhoramento da sua fertilidade, uma vez que as raízes mais longas possibilitam o deslocamento de nutrientes de camadas mais profundas para a superfície do solo, além de proporcionar uma reserva temporária de nutrientes

imobilizados nas raízes e parte aérea, evitando sua perda por erosão ou mesmo lixiviação (FREITAS et al., 2013; RADOMSKI e RIBASKI, 2012).

De modo mais específico, as contribuições do sistema silvipastoril para a natureza compreendem diversos setores. Quanto à conservação do solo e da água, a dinâmica de proteção física realizada pela parte aérea das árvores, pode reduzir a velocidade dos ventos e o impacto da chuva sobre o solo. A extensão dessa proteção pode ser verificada na melhor condição de infiltração da água da chuva no solo, favorecido por meio do sistema radicular das árvores, melhorando o solo, sua estrutura, porosidade e capacidade de retenção de água. Em sistemas silvipastoris, as árvores espalhadas nos pastos, os bancos de forragens e cercas vivas contribuem na diminuição do efeito da contaminação de água, aumentando a capacidade de retenção de águas nas pradarias, as nascentes e os córregos (CARVALHO e XAVIER, 2005).

As árvores contribuem ainda de forma significativa nas modificações climáticas, em sua área de influência, com promoção de redução na temperatura do ar mantendo um maior teor de umidade no solo e, por consequência, incrementando as atividades biológicas do solo com aumento da mineralização de nitrogênio e matéria orgânica (CORRÊA, 2013). A presença de árvores na pastagem ajuda ainda na melhoria do conforto térmico aos animais auxiliando no seu bem estar (GARCIA et al., 2011; SILVA et al., 2011).

Em se tratando de melhoramento do solo, as árvores que possuem sistema radicular profundo aproveitam os nutrientes de camada do solo fora do alcance das raízes das plantas forrageiras. Neste processo, essas plantas forrageiras recebem os nutrientes que são disponibilizados pela árvore mediante incorporação constante de nutrientes ao sistema solo e pastagem (CARVALHO e XAVIER, 2005).

Apesar de o sistema silvipastoril ser considerado uma modalidade sustentável e apresentar inúmeras vantagens, também são encontradas algumas limitações tecnológicas referentes à sua adoção como: falta de persistência da pastagem sob as árvores; danos às árvores provocados pelos animais; e redução do crescimento das árvores (VEIGA et al., 2000). Outras barreiras para a adoção desse sistema incluem: elevado investimento e baixo retorno econômico inicial; falta de infraestrutura e mão de obra especializada; complexidade do sistema e desconhecimento dos seus benefícios (DIAS-FILHO e FERREIRA, 2008). No entanto, pode-se dizer que o consórcio de pastagens com renques arbóreos, associado ao componente animal, tem demonstrado ser uma prática vantajosa, quando comparado a pastagens em monocultivo, porém, para que ocorra êxito na implantação e desenvolvimento

do sistema, devem-se levar em conta todos os seus constituintes e como cada um deve ser manejado para que desta forma possa haver um sinergismo entre ambos (FRANKE, 2001).

2.2 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO QUANTO A ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO EM AMBIENTES DE INTEGRAÇÃO SILVIPASTORIL

A agricultura desenvolvida nas diferentes regiões brasileiras tem resultado na compactação dos solos, tanto nos sistemas plantio direto e preparo convencional, como em sistemas de pastagens (ANDRADE et al., 2013). Isso é resultante principalmente da utilização de práticas de manejo inadequadas que visam apenas maximizar a produção (STEFANOSKI et al., 2013).

De acordo com Oliveira et al. (2014) algumas práticas de manejo do solo podem resultar na degradação dos agroecossistemas com o passar do tempo, entre os problemas mais graves de degradação do solo está a compactação, que gera alterações das propriedades físicas do solo, sendo resultado de uma determinada prática de manejo na qual o solo é submetido a uma pressão, causando a redução do volume e resultando no aumento da resistência a penetração e na densidade do solo (OLIVEIRA et al., 2010).

Reichert et al., (2007) apresentam a compactação como o adensamento dos solos como resposta à aplicação de energia mecânica. Na análise da agronomia, a compactação se caracteriza como uma mecanização indesejada promotora de redução na produtividade biológica do solo e, em alguns casos, torna esse solo inadequado à produção de plantas. Essa ocorrência, trazida pelo manejo inadequado do solo, envolve algumas forças causadoras, classificadas como internas: ciclos de umedecimento e secagem, congelamento e degelo e expansão e contração da massa do solo; e forças externas: tráfego de veículos, animais ou pessoas, além do crescimento de raízes que aproximam as partículas do solo, para sua passagem.

Com o aumento da compactação do solo conseqüentemente se tem uma alta resistência à penetração, e isso acaba ocasionando um impedimento mecânico às raízes das plantas, dificultando seu desenvolvimento, além disso, solos compactados alteram o comportamento da infiltração e escoamento das águas, podendo gerar erosão (KLEIN e KLEIN, 2014).

Para Reichert et al., (2007), são diversas as práticas de manejo que podem desencadear o processo de compactação do solo, entre elas o pisoteio de animais, o tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas. Contudo, cada vez mais tem se discutido e buscado por práticas de manejo que visem à exploração racional e ambientalmente correta de recursos naturais, sustentabilidade da produção e mecanismos de desenvolvimento limpo.

Certamente o grande aspecto, que chama a atenção quando se discute sustentabilidade da produção agrícola é a degradação das pastagens. Na sua maioria essas áreas apresentam solos com problemas de fertilidade natural, compactação, declividade, pedregosidade ou limitações de drenagem. Costa e Nascimento Júnior (2000) salientam que a compactação de solos de pastagens já se caracteriza como um fato evidente e generalizado, despertando preocupação pelo incipiente manejo de solo em pastagem e em razão da redução na produtividade das forrageiras. A degradação das pastagens é condição real e pode ser visualizada em diferentes locais e regiões, com diminuição da infiltração de água no solo, com consequências severas em escoamento superficial de água a erosão significativa, desencadeando a descoberta de áreas, com solo endurecido e dependendo da ação do homem para a ocorrência de nova cobertura. Porém, é importante ressaltar que esses efeitos negativos do pastejo na compactação do solo, podem ser evitados com formas de manejo adequadas.

Sendo assim, para frear esse processo de degradação dos solos e recuperar os agroecossistemas de pastagens, um caminho que tem se mostrado eficaz é a produção por meio de sistemas de integração lavoura-pecuária e sistemas silvipastoris (DIAS FILHO, 2005).

Apesar de haver estudos que comprovem a eficiência de uso da terra em áreas de integração (MEDRADO, 2000; CORDEIRO et al., 2015), ainda se tem certa ressalva quanto ao seu estabelecimento, principalmente ao que se refere à incorporação do animal e das árvores no sistema, pois se admite esses componentes como os causadores em potencial da compactação no solo, afetando os atributos físicos através da deformação da estrutura do solo e promoção de mudanças na densidade e porosidade (CORRÊA, 2013).

No entanto, alguns autores descrevem que a compactação advinda da inserção do animal em sistemas de integração, promove reorganização do solo e esse comportamento segue a linha da compactação benéfica, em que a planta é sujeita a um estresse moderado, ativador e estimulador, sendo elemento positivo para seu desenvolvimento (ANGHINONI et al., 2015).

Estudo realizado por Lanzasova (2007) objetivou investigar os atributos físicos do solo para detectar o processo de compactação induzido pelo pisoteio bovino, tendo enfoque em atributos como a densidade do solo na diferenciação dos tratamentos que realizou. Os resultados encontrados indicaram a necessidade de cuidados especiais no pastejo, evitando que os atributos físicos do solo sofram alteração e prejudiquem a qualidade.

Desse modo a avaliação da qualidade física do solo é uma variável que pode auxiliar na escolha do manejo e técnica apropriada no âmbito de uma agricultura sustentável (CARVALHO et al., 2012).

Nesta proposta metodológica se encontra a ferramenta penetrômetro, um instrumento utilizado para medir a resistência do solo à penetração, com aplicação variada em seu uso em diferentes áreas, em razão da facilidade, rapidez e baixo custo de operação esta ferramenta obteve sucesso junto aos proprietários rurais. Dentre suas aplicações encontram-se as explorações de terrenos; determinações da resistência do solo; predição de trafegabilidade; determinação do impedimento de penetração do sistema radicular e da compactação do solo (PERUMPRAL e MANTOVANI, 1994). No entanto, para medir o estado de compactação do solo, é preciso considerar o teor de água no momento desta determinação; as medidas aumentam comparativamente à redução da umidade do solo (ANGHINONI et al., 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO

O trabalho foi conduzido no Condomínio Pizzolatto, localizado no município de Saudade do Iguazu – Paraná (latitude 25°43'57"S e longitude 52°35'39"W), situado na altitude de 590 metros. O clima da região é subtropical úmido mesotérmico Cfa, classificado na escala de Köppen-Geiger, cujas principais características são verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22°C, e a dos meses mais frios é inferior a 18°C (ALVARES et al., 2013).

A área selecionada para o estudo apresenta relevo suave ondulado e o solo é classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006).

A área experimental é de um sistema silvipastoril, o qual foi implantado em Janeiro de 2006, possui uma extensão de 10,2 ha e o consórcio é composto por grevilea (*Grevillea robusta*) como espécie arbórea e Tifton 85 (*Cynodon spp.*) como espécie forrageira, os animais são bovinos de leite da raça Jersey em cruzamento com animais da raça Holandês Vermelho.

O total de árvores no sistema em 2006 era de 2550, sendo aproximadamente 250 árvores ha⁻¹, distribuídas em renques de 20 x 2m. Em 2014 foi realizado um desbaste, retirando-se 710 árvores dos 10,2 ha, restando, para presente estudo, um total de 180 árvores ha⁻¹, plantadas em nível, com duas disposições distintas a primeira sendo Leste-Oeste e a segunda Norte-Sul.

A pastagem é manejada através de um sistema de taxa de lotação rotacionada, pelo emprego de piquetes. Os animais para produção leiteira, cerca de 150 vacas, são divididos em dois lotes e permanecem em piquetes diferentes, no entanto cada lote fica durante um dia apenas em cada piquete a fim de não danificar a pastagem.

A correção do solo bem como a adubação da área silvipastoril são realizadas de acordo com os laudos das análises químicas e ocorrem anualmente. No ano de 2013/2014 foram aplicados 102 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N) objetivando elevar a concentração de N no solo. Em 2014/2015 foi aplicado 7,8 t ha⁻¹ de cama de aviário e 200 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N). No ano de 2015/2016 foi aplicado cerca de 1,5 t ha⁻¹ de calcário em superfície, 279 kg ha⁻¹

de adubo mineral da formulação 9-25-15 (N-P₂O₅-K₂O) e em cobertura 343 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N). E para 2016/2017 foram utilizados 352 kg ha⁻¹ de adubo mineral da formulação 8-20-15 (N-P₂O₅-K₂O) e 245 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N).

3.2 DEMARCAÇÃO DAS PARCELAS PARA COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO E AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO

Foram demarcadas duas áreas amostrais, uma em cada disposição de árvores considerando uma distribuição de renques de árvore no sentido Leste-Oeste e outra no sentido Norte-Sul (Figura 1). Em cada área foram demarcados três blocos de 20x20m estabelecidos entre os renques de árvores. Para cada bloco foi formado um grid com cinco faixas, e para cada faixa foram distribuídos cinco pontos com 4 m de distância entre um e outro (Figura 2). O objetivo de ter se estabelecido o grid é de se captar um bom nível de precisão e variabilidade espacial dos macronutrientes e da RMP presente nos mosaicos de sombra formados entre as linhas de árvores.



Figura 1 – Área referente ao sistema silvipastoril.
Fonte: Adaptado do Google earth, 2017.

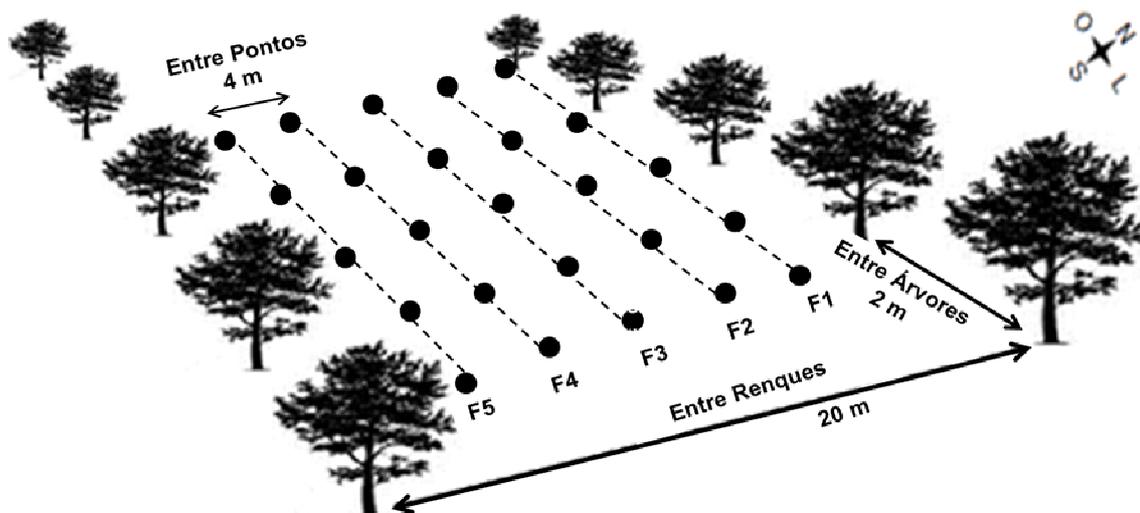


Figura 2 – Disposição das faixas e pontos de coleta entre os renques de árvores
 Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

Após a demarcação das parcelas e dos pontos, foram coletadas amostras do solo com ajuda de uma pá de corte. Em cada ponto foi retirado amostras de solo em profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 cm, estas amostras foram embaladas em saco plástico, identificadas e enviadas ao Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, onde foram realizadas as análises químicas referentes aos valores de pH e teores de P, K, Ca, Mg, MO, H+Al, CTC, V%, SB, e m%, utilizando as seguintes metodologias: M.O por digestão úmida; P, K, extraídos com solução de Mehlich – I; pH em CaCl_2 1: 2,5 Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1} .

Para RMP foi feita a medição em quatro profundidades distintas, sendo de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40 cm. Para isso, utilizou-se um penetrômetro digital da marca FALKER modelo PenetroLOG–PLG 1020, configurado para registrar leituras a cada 5 mm de profundidade, e velocidade de penetração constante com a unidade KPa, posteriormente os resultados obtidos foram multiplicados pela constante 0,0980665 para transformação em MPa, conforme Beutler et al., (2001).

Como a resistência a penetração está ligada diretamente com o teor de umidade do solo (SILVEIRA et al., 2010), foi coletado uma amostra em cada faixa nas mesmas profundidades para determinação da umidade gravimétrica conforme Embrapa (1997). Entretanto, as amostras para cada disposição foram coletadas em datas distintas, sendo realizada em 21/04/16 para primeira disposição e 19/07/16 para segunda disposição.

Por fim, as extremidades de cada bloco foram georreferenciadas com GPS geodésico modelo GTR G². A partir dos pontos de controle foi realizado o transporte de coordenadas

para os demais pontos da parcela, para que posteriormente fosse desenvolvido os mapas de fertilidade do solo e RMP através do software livre arcGIS.

3.3 VERIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE SOMBREADA DA ÁREA

A avaliação dos níveis de sombreamento foi realizada entre os meses de Outubro de 2016 a Maio de 2017, onde foi observada a presença, presença parcial e ausência de sombra em três horários distintos as 9:00h; 12:00h e 15:00h. Para que fossem feitas as observações foram distribuídas três faixas entre os renques de árvores em cada bloco, onde a primeira faixa foi localizada a uma distância de 3m da primeira linha de árvores, a segunda a 10m e a terceira foi inserida a uma distância de 3m da segunda linha de árvores (Tabela 1).

Os dados referentes à tabela 1 foram disponibilizados por alunos e professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Dois Vizinhos, os quais desenvolvem trabalhos ligados a variáveis climatológicas na área do sistema silvipastoril onde se desenvolveu este trabalho.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Trata-se de um experimento no delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições e cinco tratamentos. Os tratamentos são determinados pelas faixas de amostragem que estão no sentido dos renques. Os resultados de cada disposição foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de significância de 5% de probabilidade e, posteriormente, as médias de efeito qualitativo foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Empregou-se o programa computacional Statgraphics para análise dos dados, levando-se em consideração que foi realizada a análise estatística para cada disposição de forma isolada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO: PH EM CaCl_2 , ACIDEZ POTENCIAL (H + AL) E SATURAÇÃO POR AL (M%).

Um dos fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas é a acidez do solo, pois promove o aparecimento de elementos tóxicos para as plantas, além de causar a diminuição da disponibilidade de nutrientes para as mesmas. Analisando os resultados da figura 3, é possível perceber que não houve diferença significativa entre as faixas, nas três profundidades e para as duas disposições de árvores. Os níveis de pH encontrados no solo ficam em torno de 5 a 5,5 e de 4,5 a 5 para disposição 1 e 2, respectivamente. Desta forma, apenas a segunda disposição apresenta níveis a baixo dos considerados ideais para o cultivo das culturas empregadas no sistema, onde os valores de pH em água para desenvolvimento das espécies de *Cynodon* estão em uma faixa de 5,5 a 6 e de 5,5 a 7,5 para *Grevillea robusta* (HARWOOD, 1992; EMBRAPA, 2009).

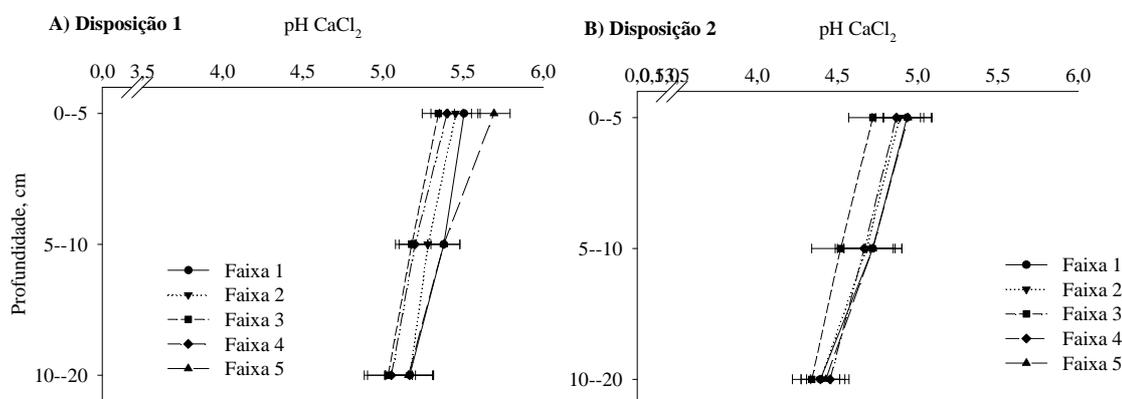


Figura 3 - Níveis de pH do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

Apesar de não haver diferença entre as faixas, nota-se um aumento do pH do solo, nas duas disposições para as áreas localizadas próximas das árvores (Figura 4). Esse aumento do pH, é provavelmente ocasionado pelas quantidades de resíduos vegetais liberados sob a projeção das copas e de nutrientes provenientes dos dejetos de animais, que permanecem por mais tempo nessas faixas devido ao sombreamento ser maior. De acordo com Franchini et al., (1999) compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular, liberados no período inicial da decomposição, colaboram para a neutralização da acidez.

Outra característica a ser observada é a redução do pH com o aumento da profundidade, isso ocorre porque os materiais corretivos utilizados são pouco solúveis e os produtos da reação do calcário têm mobilidade limitada, assim a ação da calagem normalmente fica restrita às camadas superficiais do solo (ROSOLEM et al., 2003). Provavelmente, os valores de pH mais baixos também estejam ligados a utilização de adubos nitrogenados dentro do sistema, os quais tendem a favorecer a redução do pH para valores inferiores aos originais (COSTA et al., 2008).

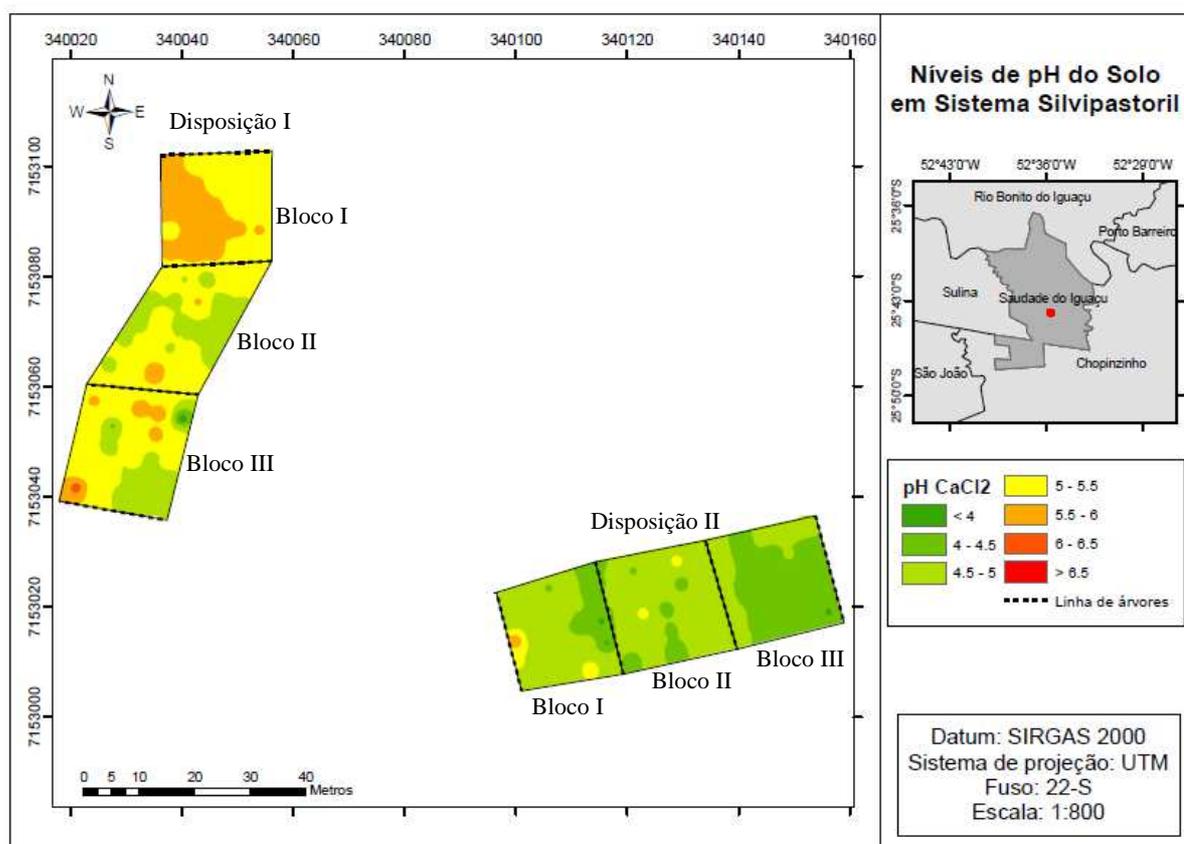


Figura 4 - Distribuição espacial dos níveis de pH no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.
Fonte: Autoria própria

Para acidez potencial (Figuras 5 e 6), foi verificada uma distribuição uniforme entre as faixas nas duas parcelas avaliadas, no entanto a disposição dois apresentou valores mais altos ficando em torno de $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Porém foi observado para as duas disposições que houve um aumento da acidez do solo em profundidade, onde os maiores teores foram verificados em 10 a 20 cm e os menores na camada superficial do solo. Este fato está relacionado aos níveis de pH descritos anteriormente, pois a medida que o pH diminui em profundidade os teores de H^+Al aumentam, isso ocorre porque o pH é o principal fator que controla a disponibilidade de Al no solo (MIGUEL et al., 2010).

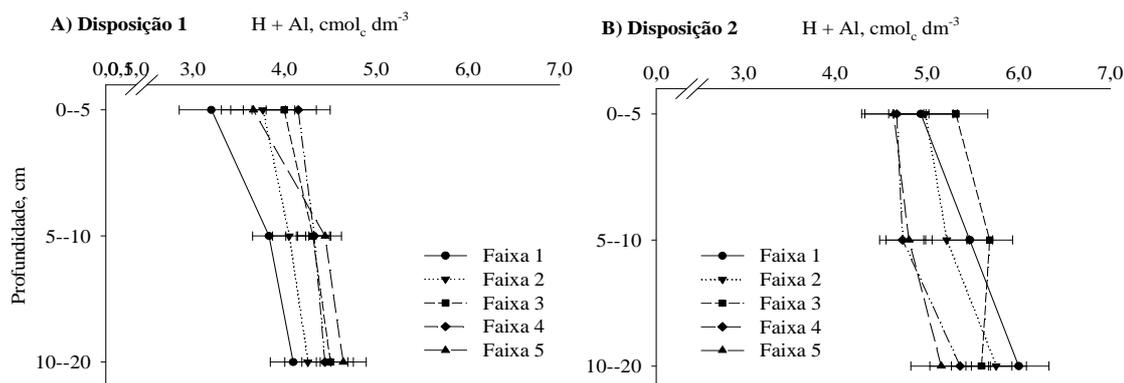


Figura 5 - Teores de H+Al do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

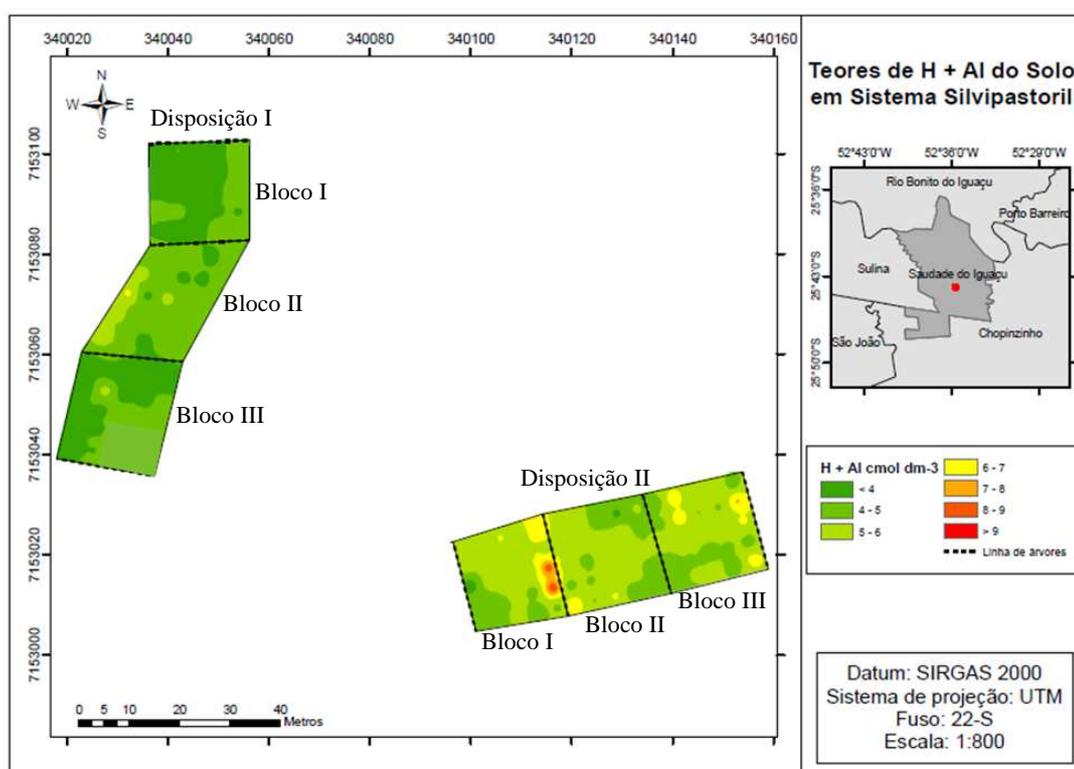


Figura 6 - Distribuição espacial dos teores de H+Al no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Comportamento similar à acidez potencial foi constatado também para o índice de saturação por alumínio (Figura 7), em que os valores em superfície são menores do que aqueles encontrados em profundidade. Contudo, os valores de m% detectados no solo mesmo nas camadas mais profundas são considerados baixos, provavelmente devido à reação de complexação de Al com compostos orgânicos (SALGADO et al., 2006).

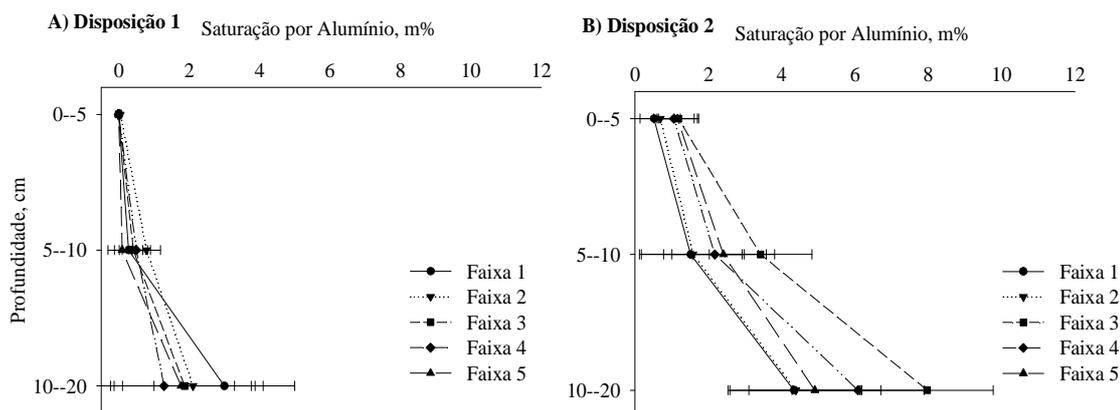


Figura 7 - Teores de m% do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

Na figura 8 percebe-se que de fato a saturação por alumínio é muito baixa nas duas disposições avaliadas, havendo apenas alguns pontos discrepantes na disposição Norte - Sul, porém com valores baixos que não ultrapassam os 8%. Estes resultados se assemelham aos encontrados em estudo realizado por Taufner (2013), onde foi analisada a influência do componente arbóreo nos atributos químicos de Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho sob sistema silvipastoril composto por árvores nativas em pastagem de *Brachiaria decumbens*, verificando que as maiores porcentagens de saturação de alumínio foram encontradas em profundidade sendo o maior valor de 14,95% na camada de 20 a 40 cm, enquanto que para camada de 0 a 10 cm o maior valor foi de 5,1%, de acordo com o autor essa redução de valores referentes à acidez e neutralização do alumínio em superfície pode ser decorrente do aumento do pH.

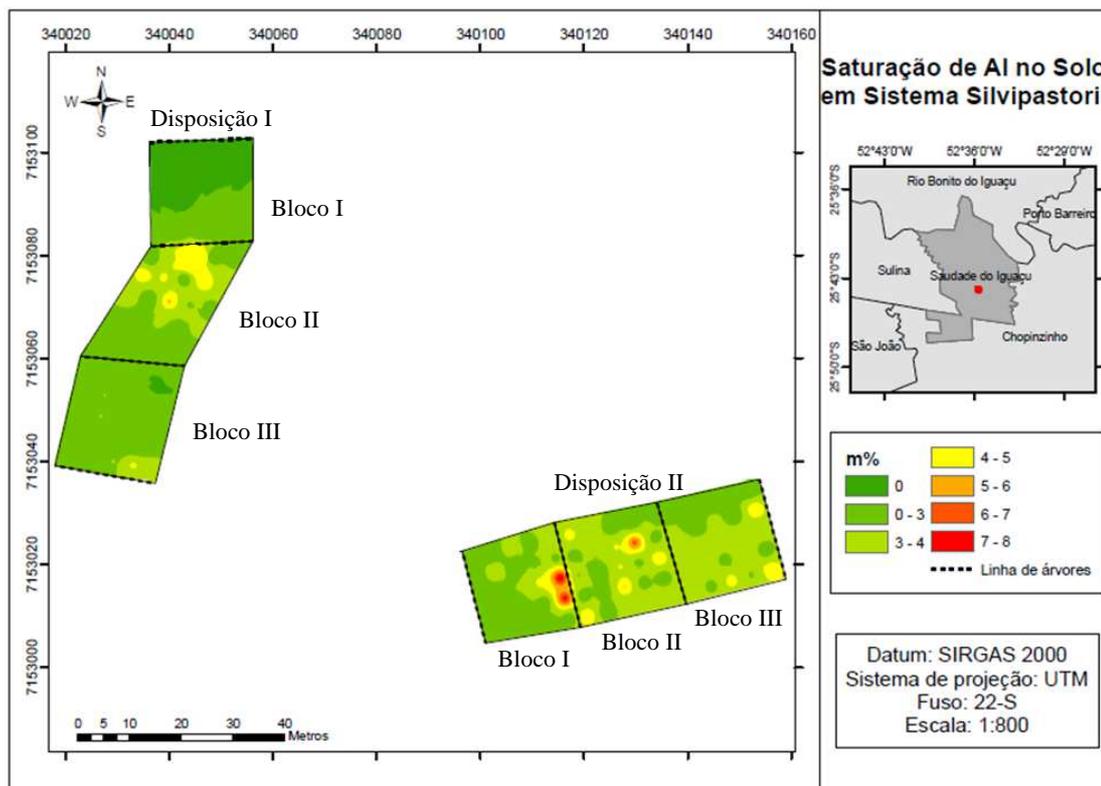


Figura 8 - Distribuição espacial dos teores de m% no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

4.2 TEORES DE POTÁSSIO (K), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), FÓSFORO (P), SOMA DE BASES (SB), E SATURAÇÃO POR BASES (V%).

Através dos resultados obtidos nas análises de solo, é possível observar uma alta concentração de K em todas as faixas avaliadas comparando com o nível adotado pelo manual de adubação do estado do Paraná (Figura 9). Quanto às faixas avaliadas, evidencia-se maior teor de K nas faixas um e cinco nas duas disposições de árvores, porém apenas na primeira disposição há diferença significativa, percebe-se também que os níveis mantiveram-se altos ao longo das profundidades indicando redução na lixiviação, que pode ter ocorrido, pela razão da MO na superfície do sistema silvipastoril ser mais elevada, acarretando em alta CTC e restando assim maior quantidade de K nas camadas superficiais (PRADO, 2012).

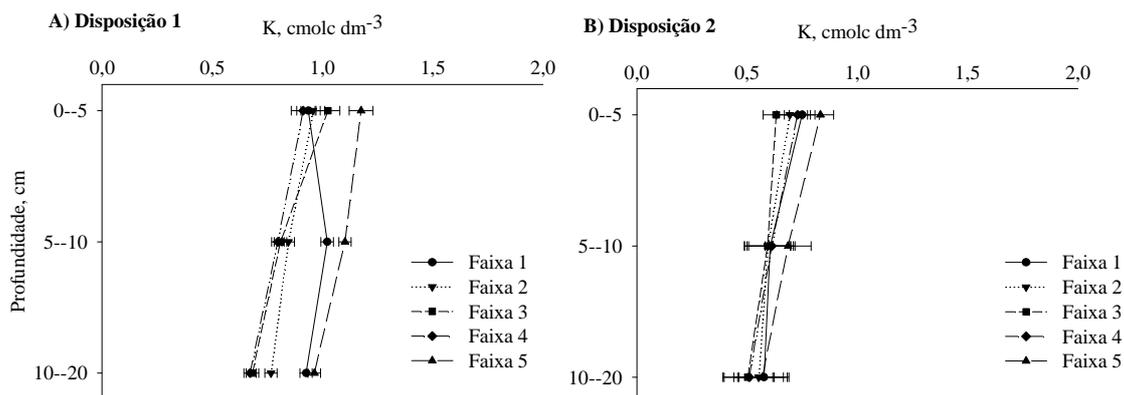


Figura 9 - Teores de K do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras não coincidentes dentro de cada profundidade diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria.

As áreas em vermelho representadas na figura 10 demonstram a maior concentração de K próximo das linhas de árvore na distribuição Leste-Oeste. Por estarem mais próximas das árvores e conseqüentemente terem a maior área sombreada, mostra o aumento de K provavelmente ligado à permanência dos animais nestes locais e com isso há um retorno desse nutriente via excreção (KRUSCHEWSKY, 2009).

Em estudo realizado por Anghinoni et al., (2015) foi possível concluir que cerca de 80% do K, ingerido pelos animais retornaram à pastagem via urina, de modo solúvel e concentrado, porém, Vendramini et al., (2007) constataram que este retorno pode chegar a 95%.

Segundo Radomski e Ribaski (2012) a maior incidência de K, também é associada à serapilheira acumulada na área de projeção da copa. O mesmo foi evidenciado por Durr e Rangel (2002) os quais observaram aumento nos teores de K em amostras de solo coletadas sob a área de influência da copa das árvores em relação àquelas coletadas em pastagens sem árvores. Desse modo, pode-se dizer que há uma baixa extração de K dentro do sistema silvipastoril devido à ciclagem de nutrientes, proporcionando assim uma maior fertilidade ao solo e conseqüentemente menor demanda por insumos externos.

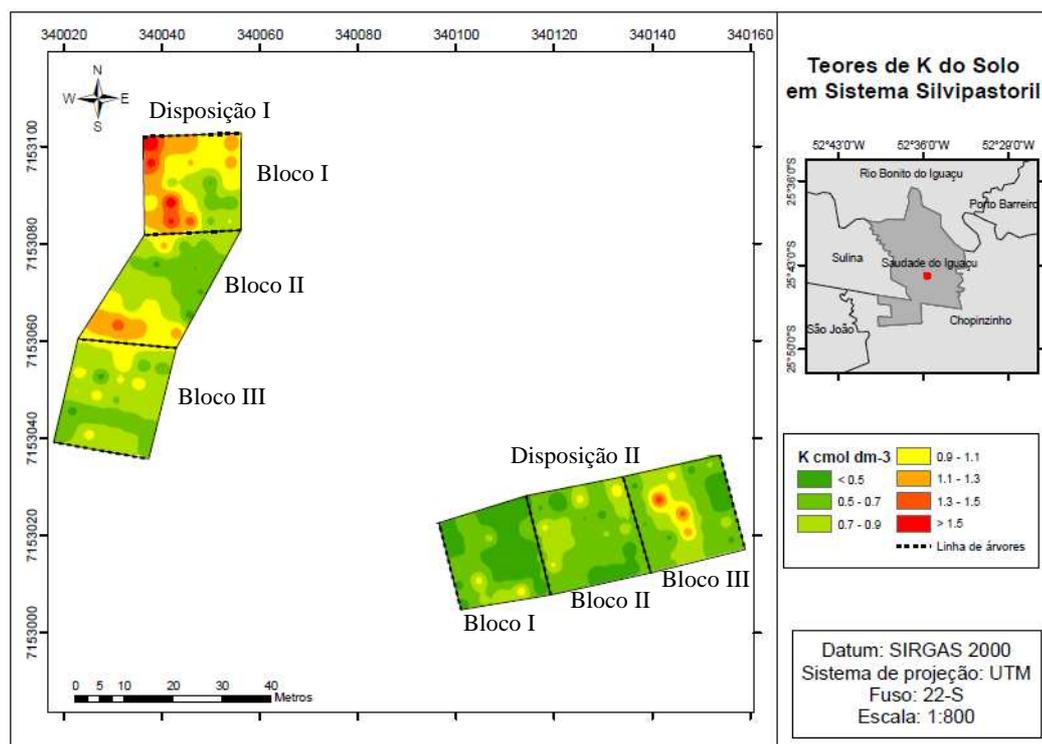


Figura 10 - Distribuição espacial dos teores de K no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.
Fonte: Autoria própria

Para os teores de Ca foi verificado para as duas disposições que não houve diferença significativa entre as faixas estudadas (Figura 11). Entretanto, nota-se que os teores mais altos se encontram na faixa cinco para primeira disposição, onde os valores de Ca ficam em torno de $8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em superfície. Esta mesma característica de maiores valores de Ca nas faixas mais sombreadas, também é verificada na segunda disposição (Figura 12), onde a faixa um é responsável por conter as maiores concentrações deste nutriente.

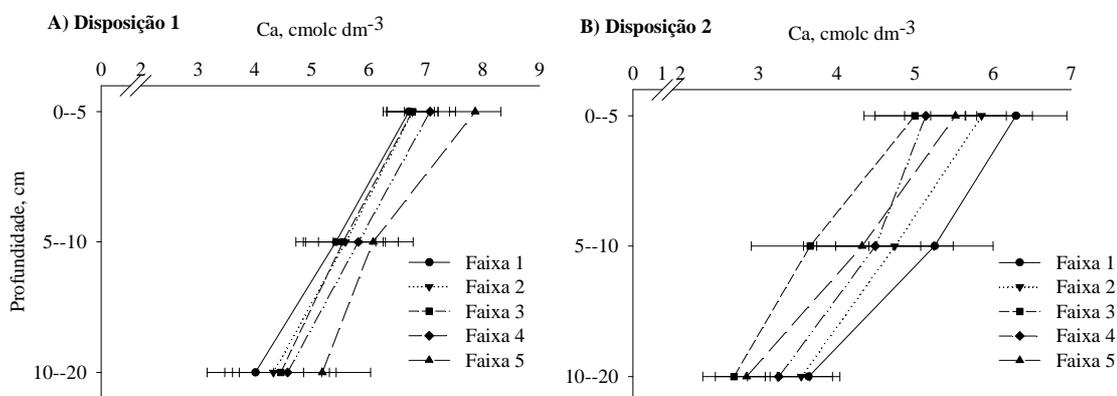


Figura 11 - Teores de Ca do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.
Fonte: Autoria própria

Isso demonstra que as árvores podem estar influenciando no aumento de Ca via serapilheira. Esse aumento no teor de Ca sob copa de árvores, também foi verificado por Veras (2007), onde foram avaliados os atributos químicos de um Neossolo Quartzârenico sob pastagem de capim-andropogon em sistema silvipastoril e monocultura. De acordo com os autores, o teor de Ca foi de $1,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na área sombreada e $0,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para área aberta.

Já o maior teor de Ca nas camadas superficiais e declínio à medida que se aumenta a profundidade, é decorrente da utilização de calcário e também da cama de frango aplicada em superfície (BRATTI, 2013).

Além do efeito proporcionado pela correção do solo, deve-se considerar também o efeito da deposição dos excrementos sólidos dos animais durante o pastejo, os quais podem contribuir significativamente com elementos minerais como Ca (LIMA, 2014).

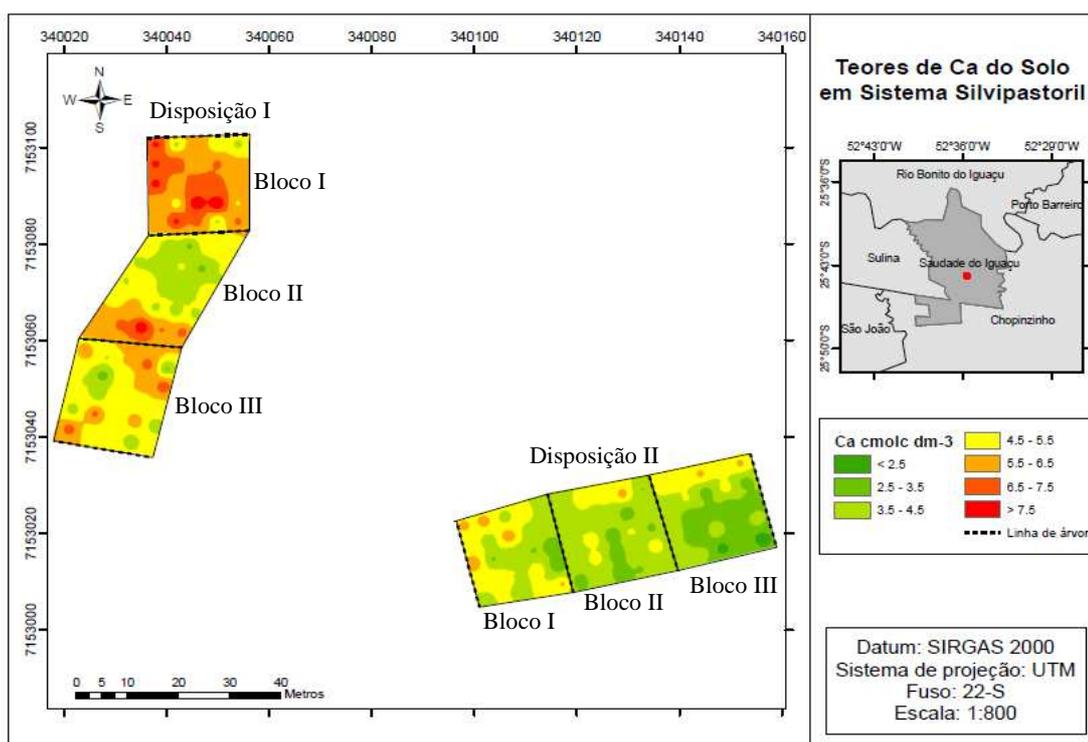


Figura 12 - Distribuição espacial dos teores de Ca no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Os resultados dos teores de Mg não apresentaram variação significativa entre as faixas estudadas, e apesar de haver uma concentração relativamente maior nas faixas próximas aos renques de árvores na camada superficial, observa-se que com o aumento da profundidade houve uma distribuição similar de Mg no perfil do solo (Figura 13).

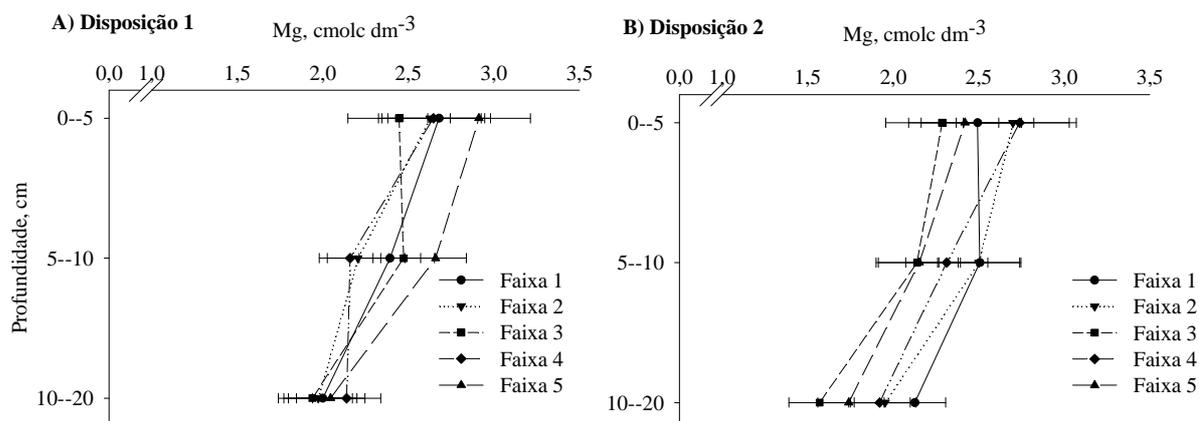


Figura 13 - Teores de Mg do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

De acordo com Malavolta (2006) os maiores níveis de Mg na camada superficial do solo provavelmente estão relacionados com a maior presença de matéria orgânica, que devido as suas cargas negativas promove a adsorção do Mg por força eletrostática.

Segundo Bernardino e Garcia (2009) o sistema silvipastoril contribui com o aumento da fertilidade do solo, isso porque o processo de decomposição da serapilheira configura-se como uma das principais vias de retorno de nutrientes ao solo. Este aumento de nutrientes incluindo o Mg em sistema silvipastoril, foi verificado em estudo desenvolvido por Andrade et al. (2002) onde foi analisada a fertilidade do solo em cultivo consorciado de baginha (*Stryphnodendron guianense*) e pastagens de *Brachiaria*, constatando que os maiores teores de nutrientes do solo ocorreram na área de influência das árvores.

A figura 14 demonstra que as áreas em vermelho são os locais próximos as árvores e com as maiores concentrações de Mg, isso reafirma os resultados encontrados na análise estatística, no entanto no Bloco I pode-se observar que há concentrações altas deste nutriente e sua distribuição é quase que homogênea, provavelmente isso deve-se a posição mais baixa do terreno, que com o passar do tempo acaba recebendo uma maior quantidade de nutrientes das áreas mais altas.

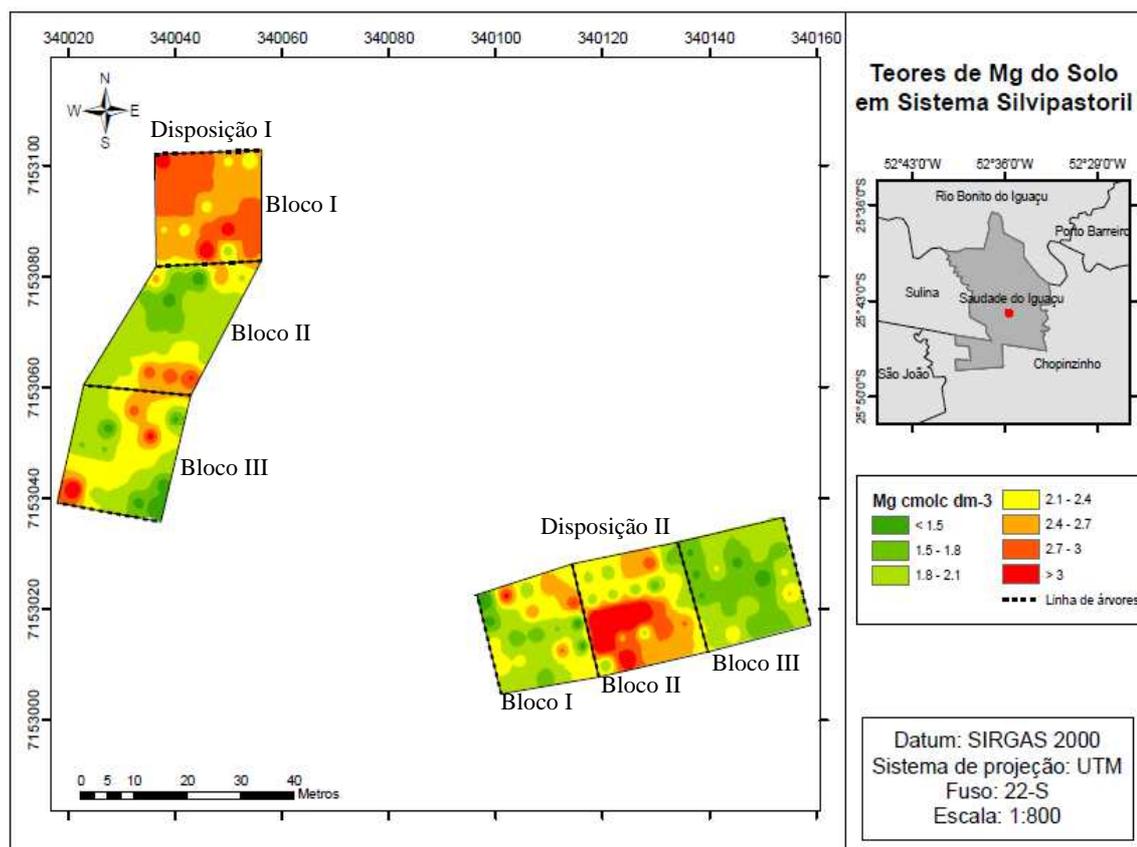


Figura 14 - Distribuição espacial dos teores de Mg no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Quanto aos teores de P não foi observado diferença significativa entre as faixas avaliadas (Figura 15), esta uniformidade na concentração de P no solo pode ser decorrente de um possível efeito residual da correção de solo e fertilização efetuados anteriormente.

No entanto, é perceptível uma maior concentração desse nutriente nas áreas próximas as árvores (Figura 16), isso se deve ao sistema radicular das espécies arbóreas que podem alcançar camadas mais profundas do solo permitindo assim que o P localizado nestas camadas seja transportado para superfície na forma de serapilheira. Estas maiores concentrações de serapilheira acrescentadas pelas árvores favorecem os microrganismos do solo, e estes ajudam no processo de mineralização da MO resultando na liberação de P. Portanto, pode-se dizer que o nível de P presente no solo está diretamente ligado aos teores de MO (PEZZONI, 2012).

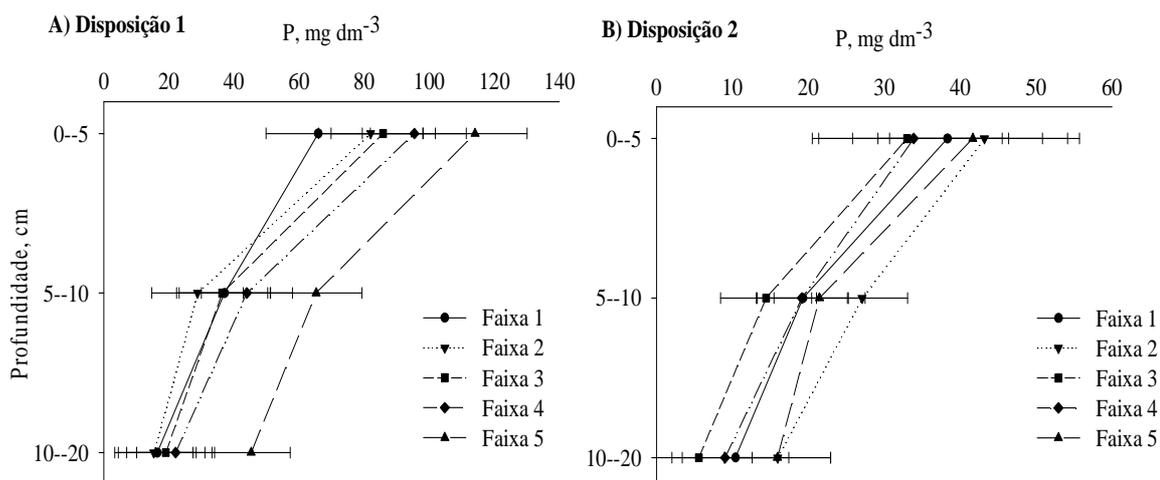


Figura 15 - Teores de P do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

Outra característica a ser observada é a tendência de redução dos teores de P com o aumento da profundidade. Este fator pode estar ligado à baixa mobilidade deste nutriente no solo, que é intensificada ainda mais em solos argilosos (PRADO, 2012). Além disso, a camada superficial apresenta os maiores valores devido à utilização de cama de frango em superfície como adubo orgânico. Segundo Cassol et al., (2001) a adubação com cama de frango pode contribuir para o aumento do teor de P do solo, pois grande parte do P adicionado na ração não é hidrolisada pelo sistema digestivo das aves, sendo então liberado nas fezes ou esterços.

Outro fator que contribuiu com a ciclagem de P dentro do sistema foi a presença dos animais, pois estes acabam acelerando a ciclagem do P principalmente pelas fezes. Em estudo realizado por Braz et al., (2002), onde foi avaliado os aspectos quantitativos do processo de reciclagem dos nutrientes pelas fezes de bovinos em pastejo, foi concluído que cerca de 76,68% do P ingerido pelos animais retornaram à pastagem como fezes.

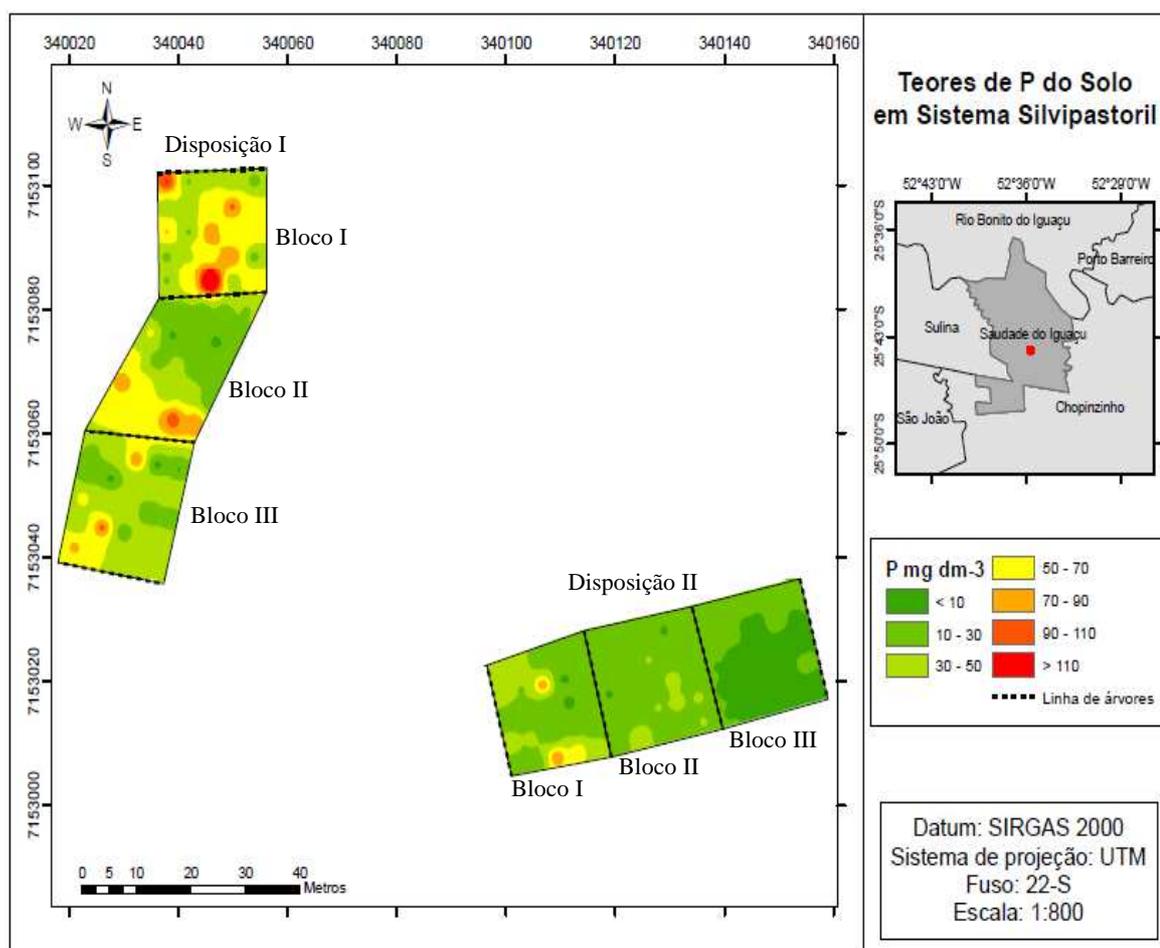


Figura 16 - Distribuição espacial dos teores de P no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.
Fonte: Autoria própria

Em relação à SB não se verificou diferença significativa entre as faixas e profundidades estudadas (Figura 17), porém com os resultados obtidos é perceptível que os teores de SB são altos principalmente para faixas dois e cinco na primeira disposição e faixas um e dois para segunda disposição, é possível observar também que a faixa três, a qual é a mais distante dos renques de árvores detém os menores valores para as duas disposições. Na camada de 0 a 5 cm tiveram-se os valores mais altos de SB, em razão dos teores de Ca, Mg e K presentes nesta camada de solo também serem altos.

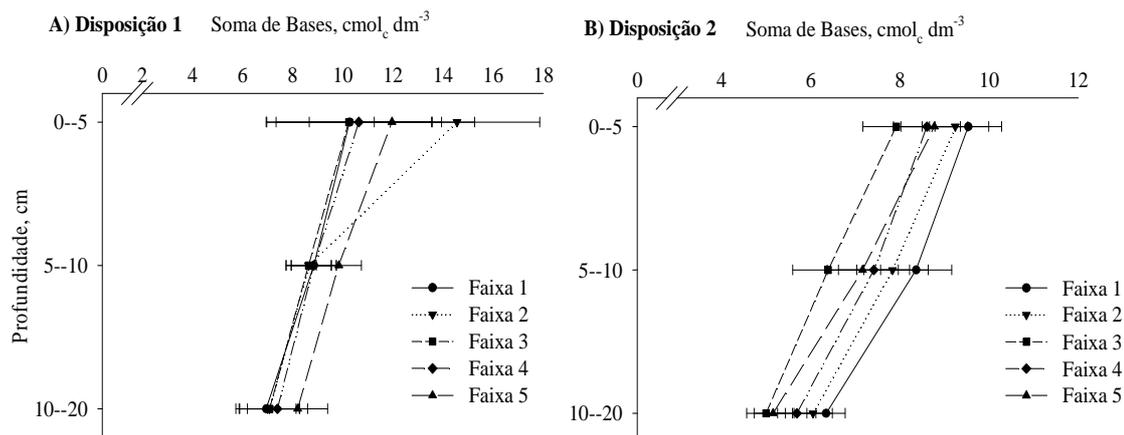


Figura 17 - Teores de SB do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

Na figura 18 está representada a distribuição da SB nas duas parcelas avaliadas, onde é possível observar que os teores elevados de SB encontrados neste trabalho devem-se, sobretudo a serapilheira depositada ao solo pelas árvores de grevêlea.

De acordo com Radomski e Ribaski (2012) a serapilheira da espécie *Grevillea robusta* é capaz de retornar ao solo cerca de $9,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de K, $58,2 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de Ca e $10,4 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de Mg. Outro fator a ser considerado no aumento da SB são os animais que retornam ao solo grande parte dos nutrientes consumidos. Vendramini et al., (2007) destacam que cerca de 30% dos nutrientes ingeridos por bovinos são retidos no corpo do animal, sendo o restante eliminado na forma de excretas. Entretanto, os autores destacam que a deposição de fezes e urina geralmente é desuniforme, sendo que em áreas sob pastoreio contínuo a distribuição das excretas segue uma distribuição concentrada em determinadas áreas, o que leva à formação de zonas de fertilidade do solo diferenciadas em uma pastagem.

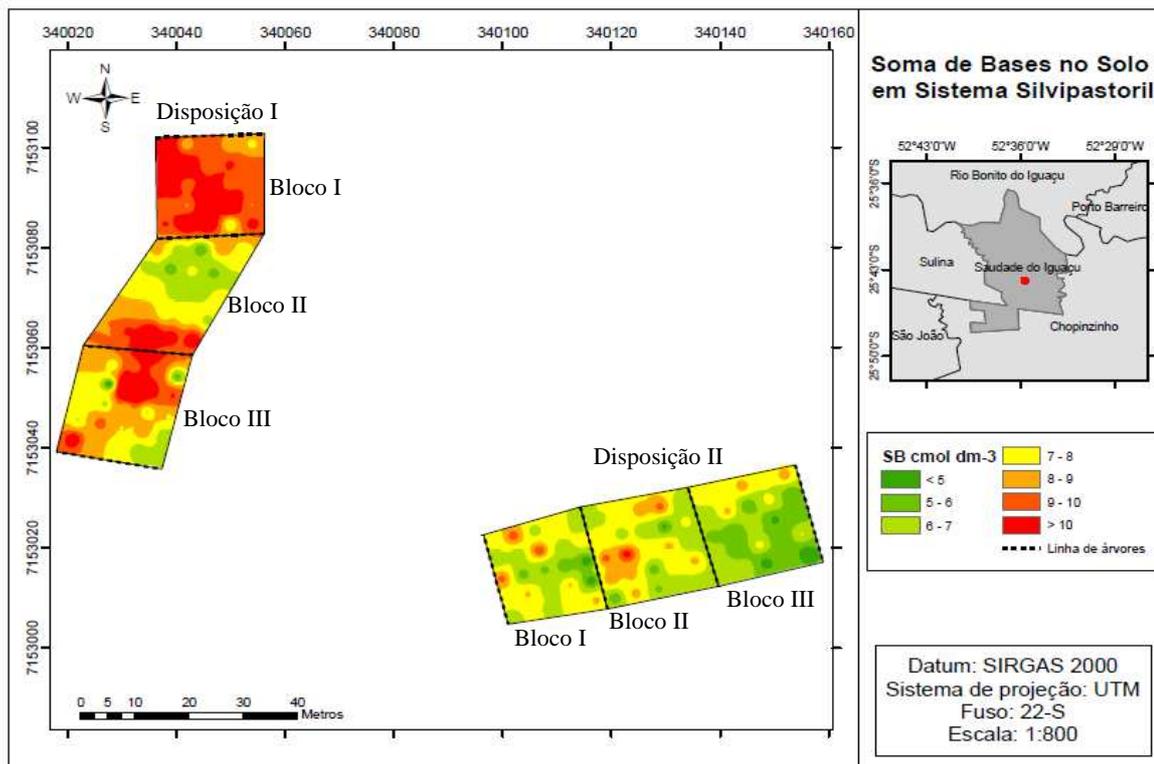


Figura 18 - Distribuição espacial dos teores de SB no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.
Fonte: Autoria própria

Os resultados referentes às faixas com teores de saturação de bases não apresentaram diferença entre si, porém assim como os resultados encontrados para os demais nutrientes avaliados neste trabalho, o índice de saturação de bases também teve comportamento decrescente à medida que se afasta das árvores (Figura 19).

A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. Este índice pode determinar se um solo é eutrófico (fértil) = $V\% \geq 50\%$; ou distrófico (pouco fértil) = $V\% < 50\%$, desta forma considerando os valores obtidos para $V\%$ e levando-se em consideração todos os elementos químicos analisados é possível considerar o solo avaliado como fértil (RONQUIM, 2010).

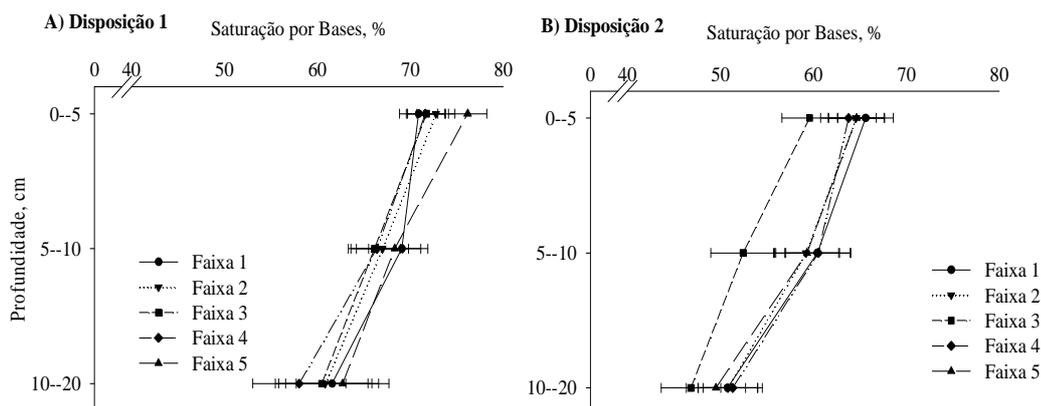


Figura 19 - Teores de V% do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras coincidentes dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

Para disposição um há uma alta saturação de bases em quase toda extensão da área avaliada, especialmente no bloco um devido aos maiores teores de SB e próximo aos renques de árvores nos blocos dois e três. Já na segunda disposição existem pontos com maiores teores de V% perto das linhas de grevêlea, no entanto a distribuição ocorre de forma mais uniforme (Figura 20).

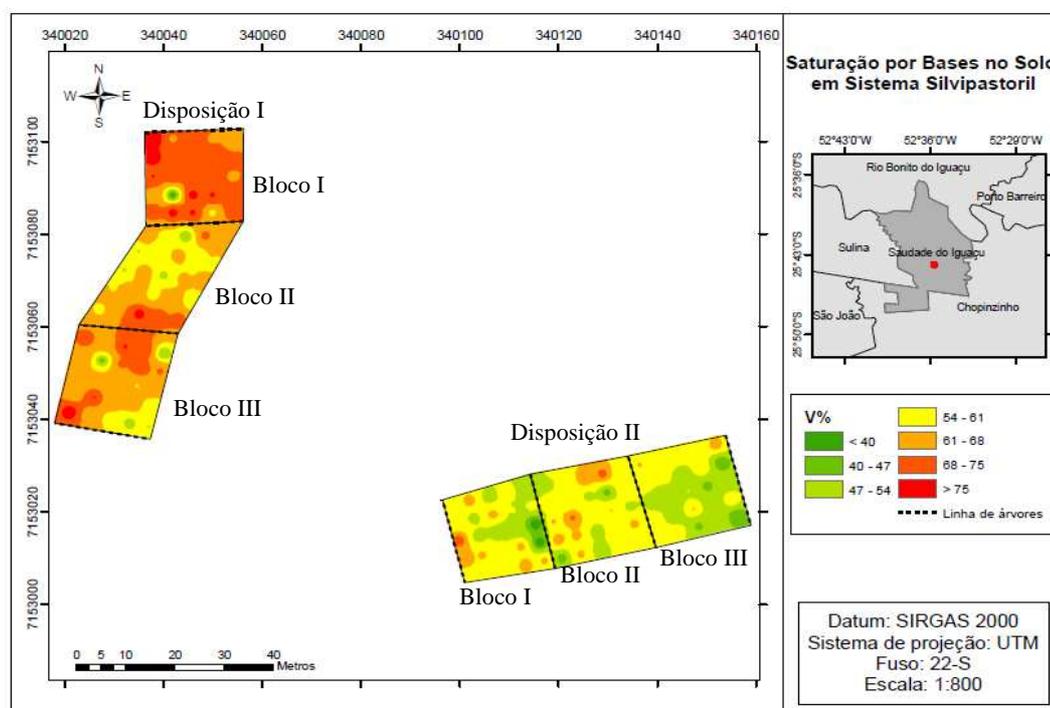


Figura 20 - Distribuição espacial dos teores de V% no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Os resultados encontrados corroboram com Luz (2010), o qual avaliou o efeito da leguminosa arbórea Bordão-de-velho (*Samanea tubulosa*) sobre o valor nutritivo e

produtividade da gramínea *Brachiaria brizantha* e sobre atributos químicos do solo em sistema silvipastoril no Acre, concluindo que o Bordão-de-velho melhorou a fertilidade do solo sob a copa, e aumentou os teores de cálcio, soma de bases e saturação por bases.

4.3 CTC POTENCIAL (T) E NÍVEIS DE MATÉRIA ORGÂNICA (MO).

Estatisticamente, a CTC do solo apresentou diferença apenas na camada de 10 a 20 cm, para as faixas um e dois da segunda disposição. Os maiores valores foram encontrados na camada de 0 a 5 cm, onde ocorre a contribuição mais expressiva da MO produzidos pelas árvores do sistema silvipastoril. Segundo Ronquim (2010) isso ocorre porque a MO representa mais de 80% da CTC total dos solos, especialmente em Latossolos Vermelhos onde a fração mineral é pobre e a maior parte de suas cargas é acrescentada ao solo pela MO, que se apresenta em maior quantidade na superfície e diminui em profundidade, o que pode explicar a ocorrência da CTC mais baixa, em todas as faixas, na camada de 10 a 20 cm (Figura 21).

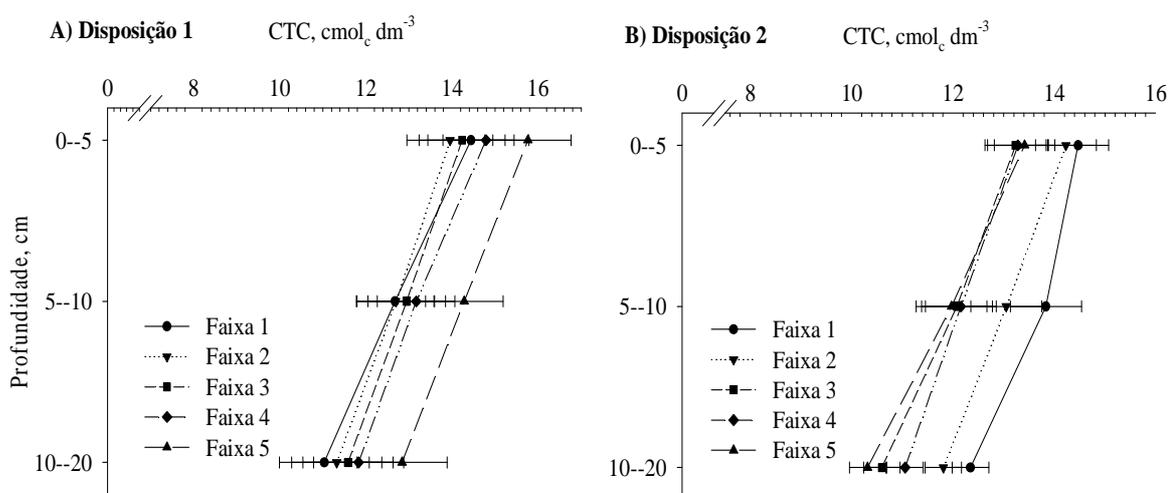


Figura 21 - Níveis de CTC do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras não coincidentes dentro de cada profundidade diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

Os níveis de CTC do solo estão em sua maioria na faixa de classificação de 12 a 14 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 22), estes valores assemelham-se aos encontrados por Prado (2012), onde o autor avaliou as alterações nos atributos químicos do solo sob a influência de *Eucalyptus* sp., com pastagens *Brachiaria brizantha*, obtendo níveis de CTC total de 10,49 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na camada de 0 a 2 cm e de 10,19 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na profundidade de 10 a 20 cm. Segundo o autor as árvores tiveram contribuição constante para estes resultados, sendo mais intensa nas camadas superficiais.

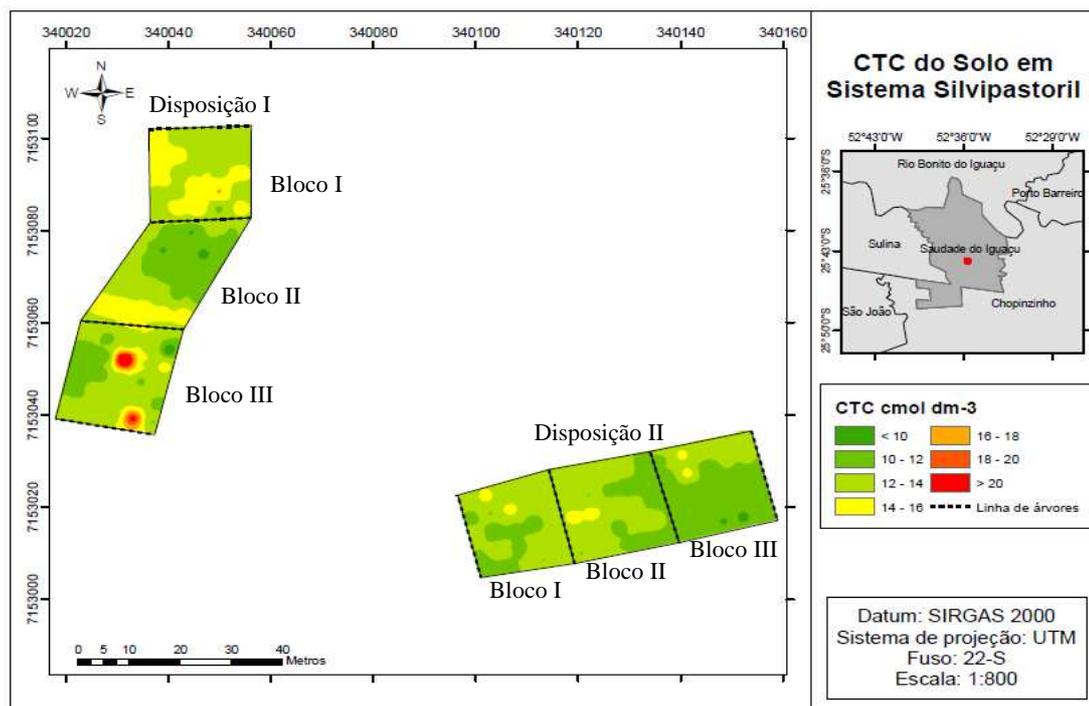


Figura 22 - Distribuição espacial dos níveis de CTC no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.
Fonte: Autoria própria

Quanto para MO os maiores teores foram encontrados na camada superficial e nas faixas próximas as árvores (Figura 23), onde na disposição um a faixa cinco diferiu das demais na camada superficial, enquanto que na segunda disposição apesar das faixas um e dois terem as maiores concentrações, a faixa um obteve os maiores valores com o aumento da profundidade. Esse resultado deve-se, sobretudo ao componente arbóreo que adiciona uma quantidade considerável de MO dentro do sistema silvipastoril, por meio das folhas e material lenhoso, além dos resíduos de raízes.

Este aporte de serapilheira próximo às árvores também foi evidenciado por Radomski e Ribaski (2012), onde os autores verificaram os efeitos da *Grevillea robusta* sobre a fertilidade do solo em sistema silvipastoril, constatando que houve maior deposição de serapilheira nos pontos mais próximos das linhas de árvores e menor quantidade na porção central dos renques.

Neste trabalho, fica evidente que as árvores favorecem o aumento de MO, pois os maiores teores estão nas posições próximas à projeção da copa (Figura 24). Estes resultados corroboram com Freitas et al., (2013), onde os autores compararam a adição de serapilheira e de nutrientes em dois sistemas agrossilvipastoris, o primeiro composto por milho (*Zea mays*), eucalipto (híbrido – *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*), acácia (*Acacia mangium*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*) o segundo sistema composto por milho, eucalipto e

braquiária, que foram comparados com monocultivo de pasto, concluindo que a maior quantidade de serapilheira total foi observada nos sistemas onde o componente arbóreo estava presente.

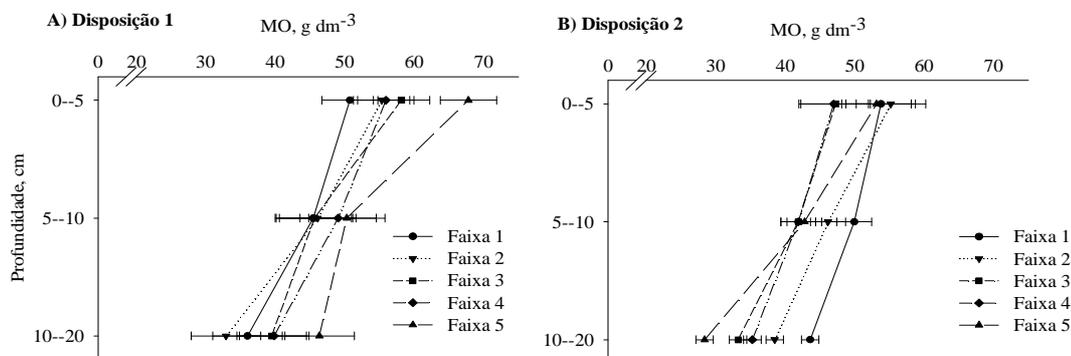


Figura 23 - Teores de MO do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras não coincidentes dentro de cada profundidade diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autoria própria

De acordo com Fritzsons (2014), os altos teores de MO podem estar associados ao fato do sistema ser composto por *Grevillea robusta* como componente arbóreo, pois esta espécie tem demonstrado crescimento favorável e boa adaptabilidade ao clima da região sudoeste do Paraná, proporcionando assim maior aporte de serapilheira.

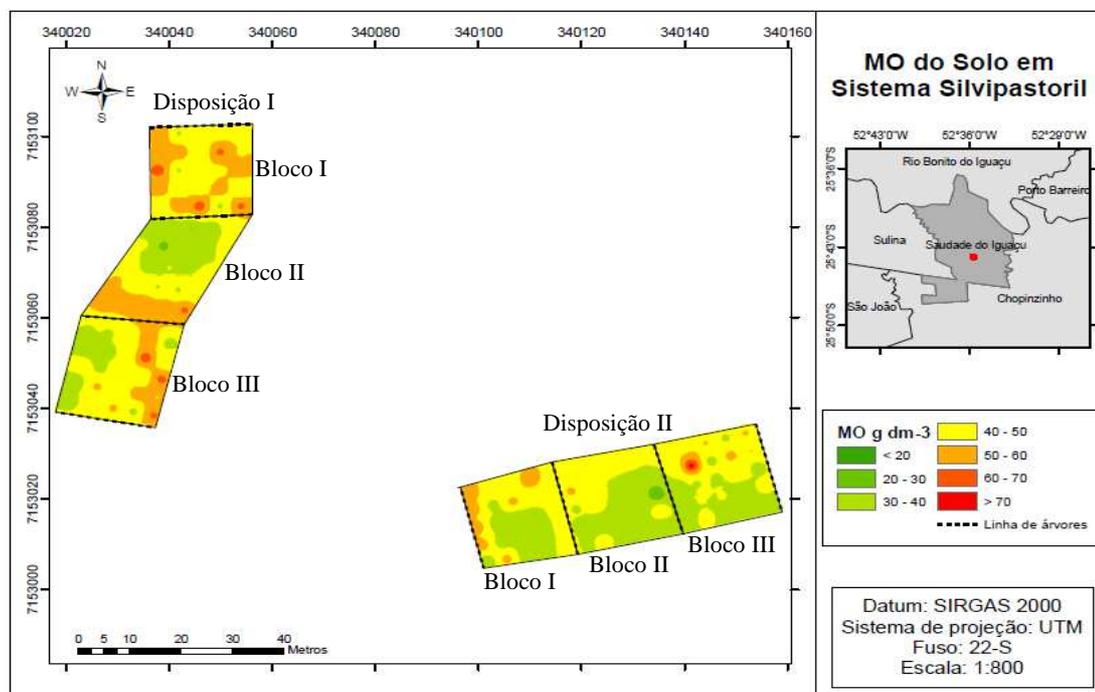


Figura 24 - Distribuição espacial dos teores de MO no solo em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Em estudo realizado por Martins et al., (2004) onde se verificou a deposição de serapilheira e de nutrientes em quatro procedências de *Grevillea robusta* de quatro anos de idade, plantadas na região de Quedas do Iguaçu – PR, concluiu-se que a grevílea produziu em média 10.267,00 kg ha⁻¹ano⁻¹ de serapilheira, sendo considerado um valor alto.

Pode-se dizer que a MO é um componente base na qualidade dos sistemas de produção em razão de seu conteúdo e sua qualidade serem os mais importantes fatores que mantêm a fertilidade dos solos e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Através dos resultados obtidos neste trabalho fica evidente que a MO beneficiou a qualidade química do solo pelo fornecimento de nutrientes, retenção de cátions e complexação de elementos tóxicos (FREITAS et al., 2010).

4.4 NÍVEIS DE SOMBREAMENTO NAS DISPOSIÇÕES NORTE-SUL E LESTE-OESTE

Em todos os mapas de fertilidade do solo foi possível perceber que na disposição Norte-Sul existe maior variabilidade horizontal dos teores dos nutrientes, o que mostra que a disposição dos renques de árvores influencia na distribuição dos atributos químicos do solo.

Esta variabilidade de nutrientes para disposição Norte-Sul deve-se principalmente ao maior nível de sombreamento entre os renques de árvores nesta disposição (Tabela 1) desta forma, com a dispersão da sombra provavelmente o ambiente torna-se agradável como um todo, ocorrendo assim melhor distribuição dos animais sobre a área e conseqüentemente melhor divisão de fezes e urina. Para Kruschewsky (2009) é interessante que haja esta uniformidade na distribuição de excretas, pois isso auxilia, sobretudo no desenvolvimento da pastagem.

Tabela 1 - Predominância de sombreamento (%) em três faixas distribuídas entre os renques de árvores presentes no sistema silvipastoril.

LESTE - OESTE				NORTE - SUL			
Out / 16				Out / 16			
Horário	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Horário	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3
09:00	100%	0%	100%	09:00	100%	0%	100%
12:00	100%	0%	100%	12:00	0%	66%	100%
15:00	66%	0%	100%	15:00	100%	100%	33%
Nov/16				Nov/16			
09:00	0%	33%	100%	09:00	66%	100%	0%
12:00	100%	0%	100%	12:00	100%	0%	100%
15:00	100%	0%	100%	15:00	33%	100%	33%
Dez/16				Dez/16			
09:00	100%	100%	100%	09:00	100%	100%	100%
12:00	100%	100%	100%	12:00	100%	100%	100%
15:00	-	-	-	15:00	-	-	-
Jan/17				Jan/17			
09:00	0%	66%	100%	09:00	33%	100%	33%
12:00	100%	0%	100%	12:00	100%	0%	100%
15:00	66%	0%	100%	15:00	0%	33%	66%
Fev/17				Fev/17			
09:00	100%	0%	100%	09:00	100%	100%	0%
12:00	100%	0%	66%	12:00	100%	0%	100%
15:00	100%	0%	100%	15:00	100%	100%	33%
Mar/17				Mar/17			
09:00	100%	66%	0%	09:00	100%	100%	33%
12:00	100%	100%	0%	12:00	100%	33%	100%
15:00	100%	0%	0%	15:00	33%	100%	66%
Abr/17				Abr/17			
09:00	100%	100%	0%	09:00	100%	100%	0%
12:00	100%	100%	66%	12:00	100%	0%	100%
15:00	100%	100%	66%	15:00	100%	100%	100%
Mai/17				Mai/17			
09:00	100%	100%	100%	09:00	100%	100%	100%
12:00	100%	100%	33%	12:00	100%	33%	0%
15:00	66%	100%	0%	15:00	100%	100%	66%
MÉDIA	83%	44%	68%	MÉDIA	78%	65%	61%

Faixa 1: Distância de 2 m da primeira linha de árvores; Faixa 2: Distância de 10 m das linhas de árvores; Faixa 3: Distância de 2 m da segunda linha de árvores.

Fonte: Autoria própria

Já para disposição Leste-Oeste houve uma porcentagem de sombreamento maior próximo as linhas de árvores o que possivelmente influenciou os animais a buscarem por estes locais com maior quantidade de sombra. Souza et al., (2010), ao avaliarem novilhas aneladas sob sistema de integração lavoura pecuária floresta com eucalipto, verificaram que os animais permaneceram, em média, 47% do tempo disponível sob a sombra das árvores. Também, Ferreira (2010), ao avaliar as respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos leiteiros mestiços no Centro-Oeste brasileiro, submetidos a diferentes ofertas de sombra, observou que os animais passaram até 57% do tempo de permanência nos piquetes à sombra. Leme et al., (2005), estudando o comportamento de vacas mestiças Holandês-Zebu, em sistema silvipastoril, observaram que a permanência dos animais em ambientes sombreados,

foi alta chegando a 68,6% do tempo em contrapartida a 31,4% sob sol, os autores ressaltam ainda que as árvores garantem um ambiente mais favorável aumentando com isso a produtividade dos animais.

4.5 RESULTADOS REFERENTES À AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO

Os trabalhos presentes na literatura têm indicado diferentes valores de resistência à penetração do solo (RMP) como críticos ou restritivos ao desenvolvimento e produtividade de plantas. No entanto, essa variação pode estar associada ao tipo de solo, espécie ou variedade envolvida e umidade do solo no momento da avaliação. Porém, a maioria dos trabalhos tem adotado valores de 2,0 a 2,5 MPa como sendo a faixa crítica de resistência do solo, considerando que nesta faixa, o crescimento radicular é prejudicado (CARVALHO, 1976; TORMENA et al., 1998; SECCO, 2003).

Os valores de RMP, para as duas disposições, indicaram que não houve diferença entre as faixas avaliadas na camada de 0 a 5 cm, além disso, a resistência não foi considerada restritiva ao desenvolvimento das plantas nessa profundidade (Figura 25). Pode-se inferir que, na camada superficial, tem-se uma maior quantidade de material vegetal acrescido ao solo através da senescência das folhas das árvores e pela pastagem presente no local, portanto, forma-se uma manta de serapilheira, raízes e massa de forragem das espécies envolvidas, o que resulta em uma menor resistência à penetração em superfície (CARVALHO, et al., 2004).

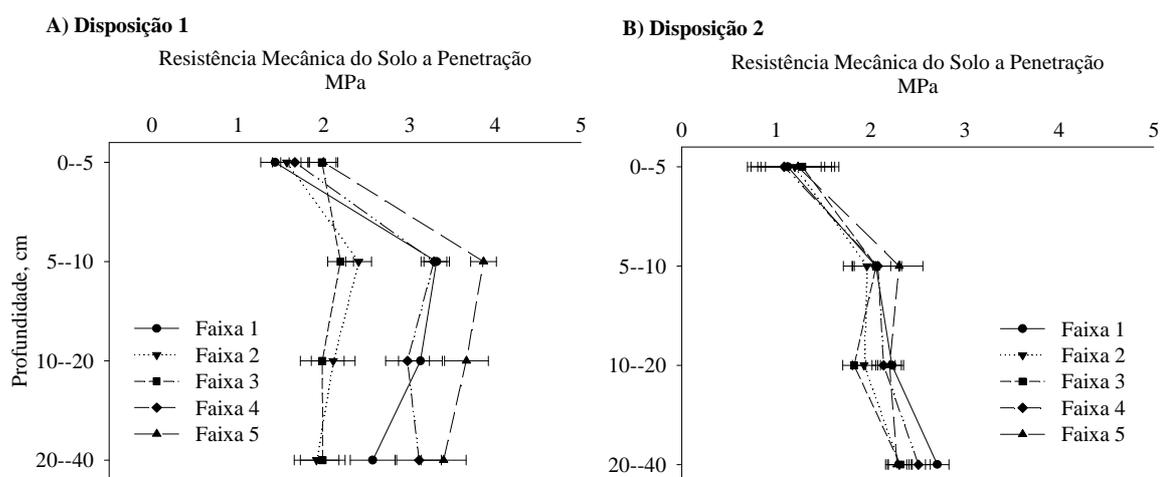


Figura 25 - RMP do solo em três diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) sob sistema silvipastoril. Disposição 1: Leste-Oeste; Disposição 2: Norte-Sul. Barras não coincidentes dentro de cada profundidade diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nota: Umidade do Solo: Disposição 1 (U = 24,20%); Disposição 2 (U = 33%).

Fonte: Autoria própria

Quando se verifica a distribuição espacial do solo em relação à RMP, percebe-se que a primeira disposição apresentou valores maiores, estando, em sua maioria, na classe de 2,5 MPa (Figura 26). Esse maior valor pode ser justificado pelo menor valor de umidade. Segundo Silveira et al., (2010), a resistência à penetração possui relação potencial com a umidade do solo, onde pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na grandeza dependente, ou seja, na RMP. Boeni et al., (1997) também ressaltam que a compactação do solo reduz a aeração e a infiltração de água aumentando a resistência do solo à penetração de raízes.

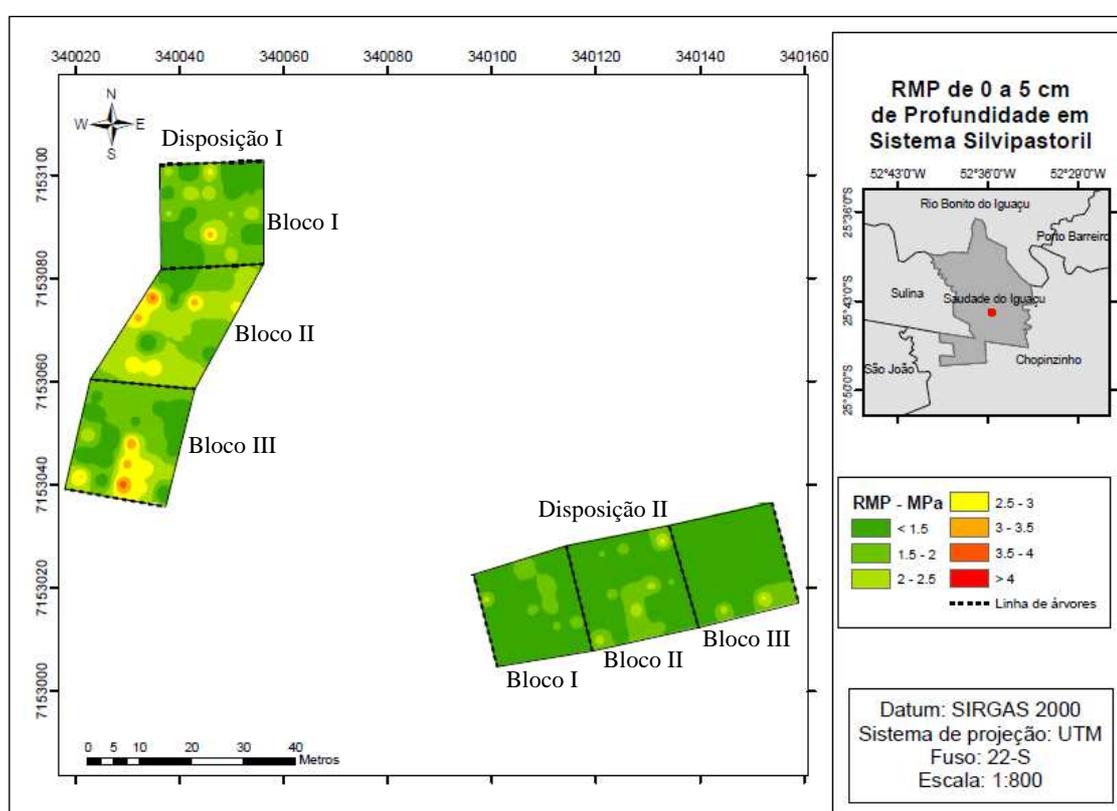


Figura 26 - Distribuição espacial da RMP em 0 a 5 cm de profundidade em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Os maiores valores para RMP foram encontrados na primeira disposição na profundidade de 5 a 10 cm, nas áreas próximas as árvores (Figura 27), os valores altos de resistência nas faixas mais sombreadas deve-se provavelmente à presença dos animais por mais tempo nestes locais, sendo assim a elevada pressão exercida pelo casco do animal sobre o solo faz com que a geometria dos agregados seja alterada, devido ao esmagamento das partículas (ANDREOLLA, 2012).

Imhoff et al., (2000), também destaca que a proporção e o tipo das mudanças ocorridas nas características do solo, causadas pelo pisoteio animal, dependem da intensidade

do pisoteio, da umidade e do tipo de solo. Desta forma, visto que os solos da região sudoeste do Paraná são considerados Latossolos vermelhos e estes são mais susceptíveis a compactação devido ao alto teor de argila, isso pode ter influenciado o aumento da resistência nesta camada.

Segundo Richart et al., (2005) quanto maior o teor de argila, maior a profundidade a qual a pressão é transmitida e maior a espessura da camada compactada, assim, solos com textura média a argilosas requerem cuidados mais severos devido à presença da água entre os agregados, o que propicia a compactação (COSTA, 2000).

Entretanto, os resultados deste experimento diferem dos encontrados por Pezzoni et al., (2012), que observaram que a RMP do solo apresentou seus menores valores nas áreas próximas aos troncos das árvores e aumentando com a distância dos renques.

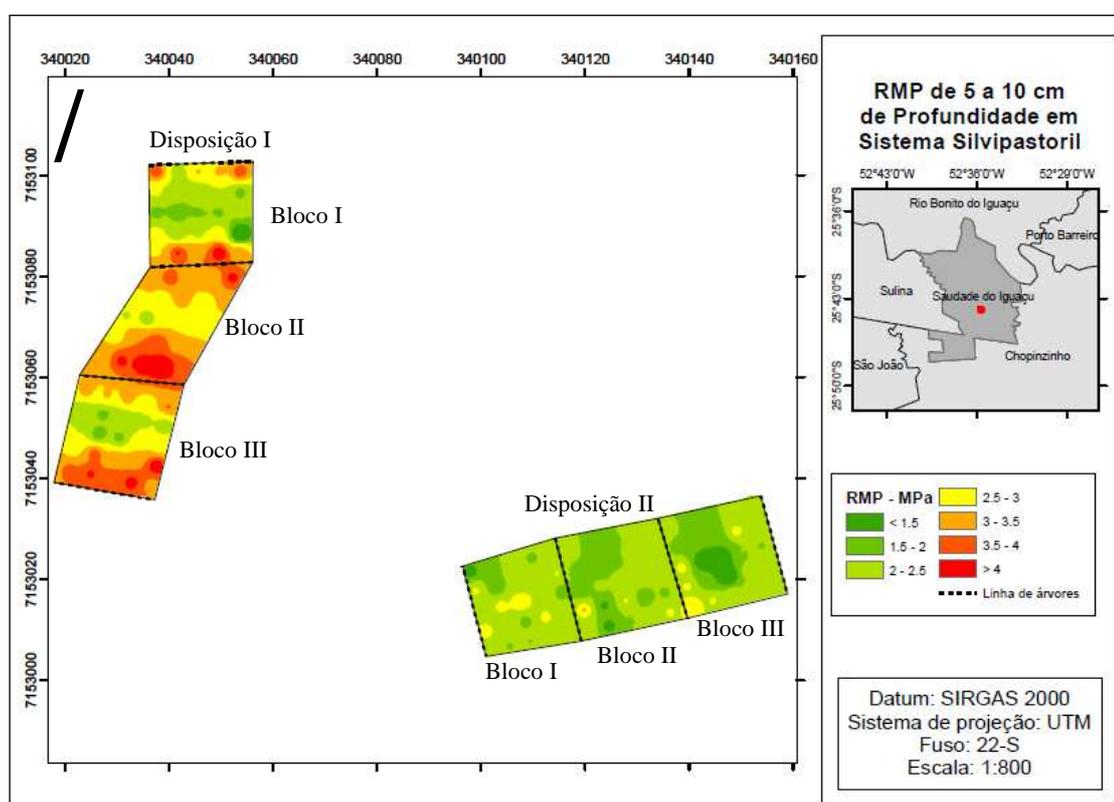


Figura 27 - Distribuição espacial da RMP em 5 a 10 cm de profundidade em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

A tendência de maior RMP nas áreas próximas as linhas de árvores também é verificada na camada de 10 a 20 cm (Figura 28), isso é justificado pelo aumento da carga animal que ocorre devido à concentração do rebanho nas regiões mais sombreadas, pois apesar de haver um controle do número adequado de animais dentro da área, este comportamento contribuiu com a elevação da resistência do solo a penetração, e embora as

faixas um e cinco apresentem elevada quantidade de serapilheira, esses resíduos não foram suficientes para minorar o impacto promovido pelo pisoteio animal. De acordo com Dias Filho (2006) a presença constante de animais sob a copa das árvores pode promover a redução da pastagem, impedindo assim que esta confira ao solo maior resiliência estrutural.

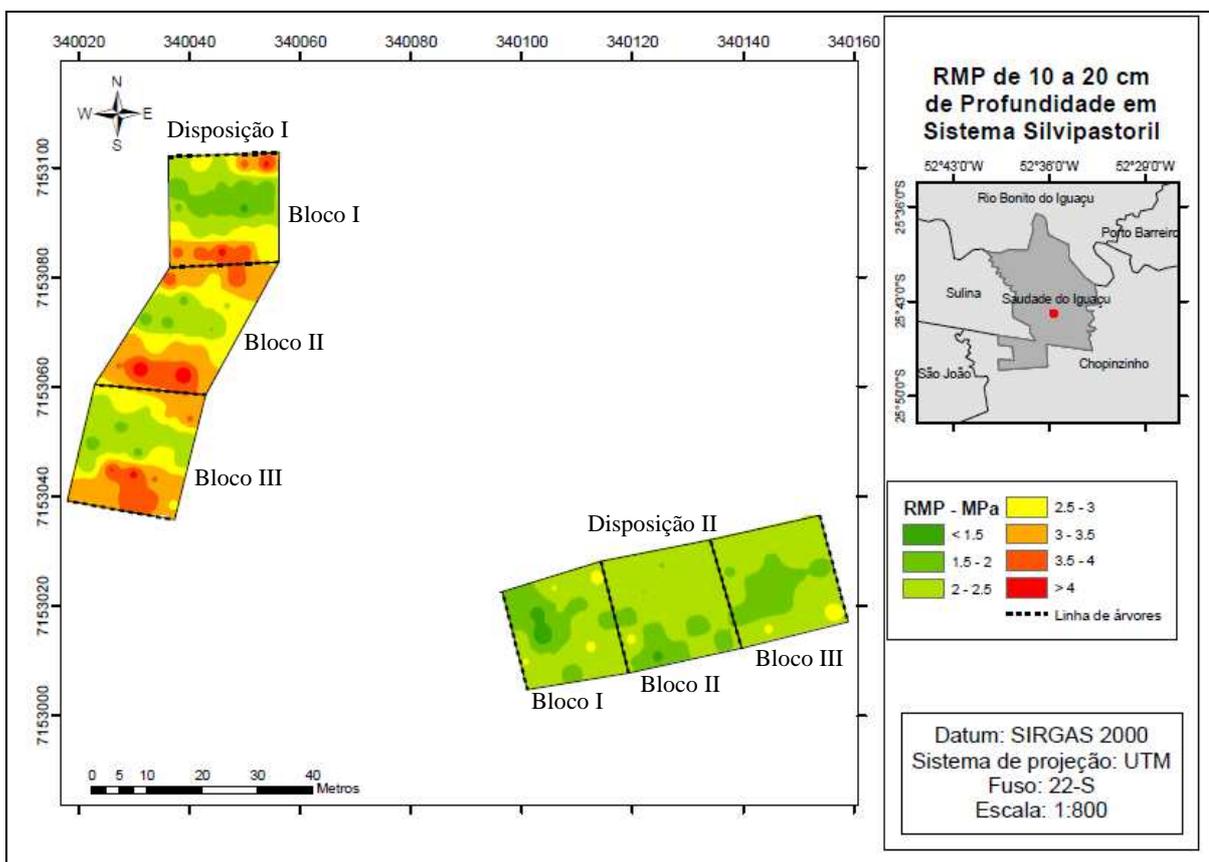


Figura 28 - Distribuição espacial da RMP em 10 a 20 cm de profundidade em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.
Fonte: Autoria própria

Na figura 29, são apresentados os resultados referentes à distribuição espacial da RMP na camada de 20 a 40 cm, em que é possível verificar o mesmo comportamento observado com as profundidades anteriores para disposição Leste-Oeste, enquanto que para disposição Norte-Sul houve um aumento dos valores. Este mesmo comportamento foi verificado em estudo desenvolvido por Vogel e Fey (2016), onde foi avaliada a resistência do solo à penetração em três profundidades (0-20; 20-40 e 40-60 cm) sob quatro diferentes sistemas de manejo (café; amoreira; pastagem; silvipastoril), verificando que o sistema silvipastoril apresentou aumento da RMP a partir dos 20 cm, segundo os autores isso ocorre devido ao crescimento radicular mais pronunciado das árvores nesta camada, o que tende a comprimir o solo entre as raízes e assim formar maior compactação.

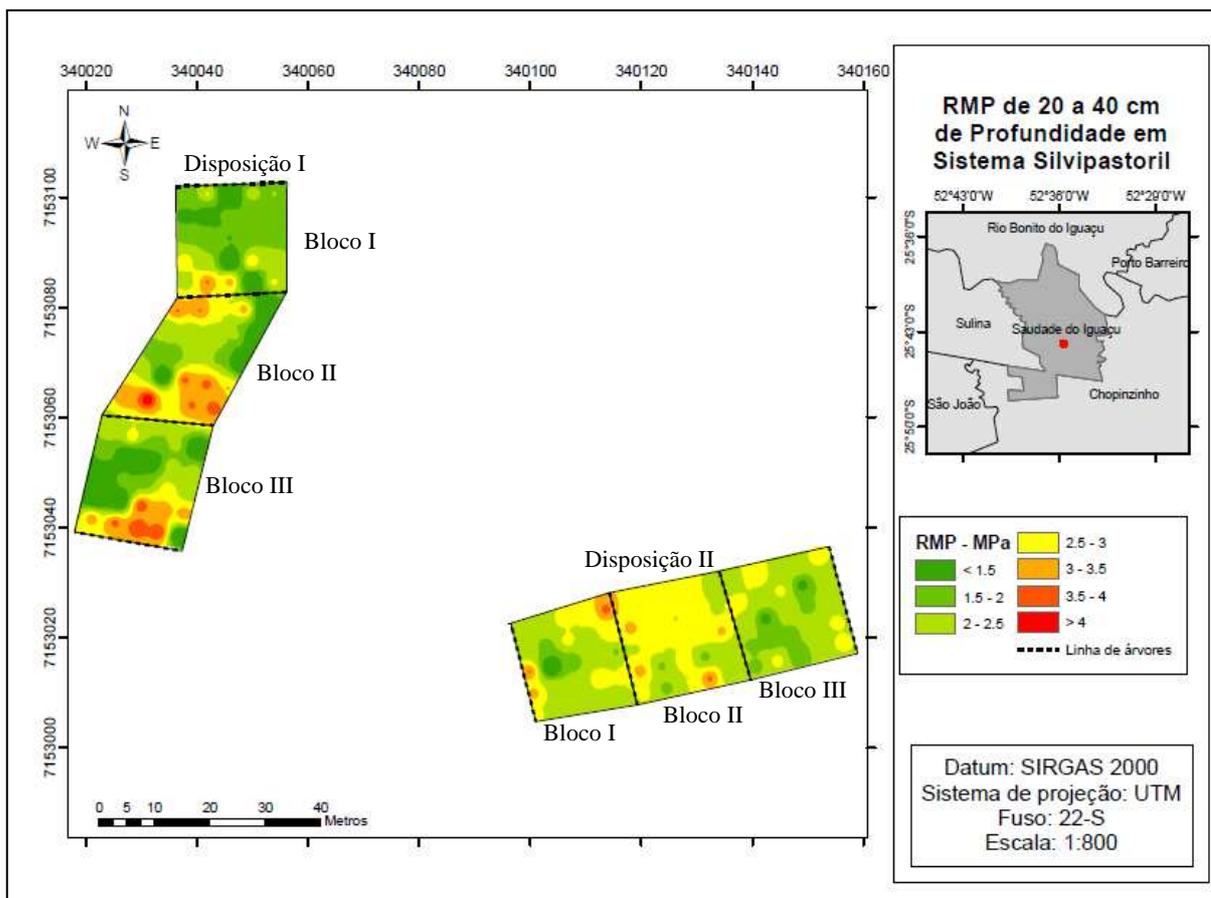


Figura 29 - Distribuição espacial da RMP em 20 a 40 cm de profundidade em cinco faixas divididas entre linhas de árvores em um sistema silvipastoril.

Fonte: Autoria própria

Percebe-se ainda que a disposição Norte-Sul não apresentou maior RMP na profundidade de 20-40 apenas nos locais próximos as árvores, mas também na área central aos renques, isso pode estar associado às condições de adensamento natural do solo, devido às pressões promovidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes (CARVALHO JÚNIOR et al., 1998). Comportamento semelhante foi encontrado por Lima et al., (2013) e Martinkoski et al., (2017), os quais verificaram aumento da RMP com o aumento na profundidade em avaliações de áreas de sistema silvipastoril.

5 CONCLUSÕES

Houve diferença significativa na fertilidade em função das distâncias e profundidades avaliadas apenas para K, CTC e MO, porém todos os nutrientes avaliados mostraram uma tendência de maiores teores nas faixas mais próximas às árvores.

As disposições das árvores, Norte-Sul e Leste-Oeste, influenciam na distribuição de nutrientes no solo.

As árvores de *Grevillea robusta* contribuíram para a melhoria da fertilidade do solo, principalmente em relação aos teores de MO.

As faixas próximas as árvores obtiveram os maiores valores de RMP, indicando que os animais por permanecerem por mais tempo nas áreas sombreadas acarretaram no aumento da RMP.

A resistência foi menos severa na camada de 0 a 5 cm em razão da presença da serapilheira.

Na disposição Leste-Oeste, nas áreas próximas as árvores, a RMP permaneceu alta na camada entre 20 e 40 cm, indicando efeito do sistema radicular da espécie arbórea.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, J. Silvopastoral systems and their contribution to the environment. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 2, 2011.

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. Inovações tecnológicas nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta iLPF. **VIII Sim Corte – VIII Simpósio de Produção de Gado de Corte e IV Simpósio Internacional de Gado de Corte**, 7 a 9 jun. 2012. Disponível em: <<http://rehagro.com.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=2377>> Acesso em: 17 jun. 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, Gerd. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 6, 711–728. Gebruder Borntraeger, Stuttgart, 2013.

ANDRADE, C. M. S. de; VALETIM, J. F.; CARNEIRO, J. C. Árvores de Baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl. Benth.) em Ecossistemas de Pastagens Cultivadas na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.574-582, 2002.

ANDREOLLA, V. R. M. **Integração lavoura-pecuária: atributos físicos do solo e produtividade das culturas do feijão e milho**. 2010. 139p. (Tese de doutorado em agronomia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. de. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.932–937, 2013.

ANGHINONI, I. et al., O solo no contexto. In: Grupo de Pesquisa em Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Integração soja- bovino de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre, 2015.p.53-72.

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, out. 2011.

BARCELLOS, A. O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 37, suplemento especial p.51-67, 2008.

BERNARDINO, F. S; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, n. 60, Edição Especial p.77-87, 2009.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.167-177, 2001.

BIANCHI, V. L. T.; LAWICH, M. C. Agroecossistema e Meio Ambiente: A Necessidade da Sustentabilidade. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**. V. 5, n. 2, p.57-62, 2006.

BOENI, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SCAPINI, C. A.; BUENO, M. E. B. Densidade de raízes do milho e atributos do solo induzidos por pastejo e preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

BRATTI, F. C. **Uso da cama de aviário como fertilizante orgânico na produção de aveia preta e milho**. 2013. 72p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2013.

BRAZ, S. P; JUNIOR NASCIMENTO D. do; CANTARUTTI, R.B; REGAZZI, A. J; MARTINS, C. E; FONSECA D. M. da; BARBOSA, R. A. Aspectos Quantitativos do Processo de Reciclagem de Nutrientes pelas Fezes de Bovinos sob Pastejo em Pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.858-865, 2002.

CARDOSO, P. C. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N.; TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo a penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1091-1097, 2012.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: AQUINO, Adriana Maria de; ASSIS, Renato Linhares de

(Edts.) **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. Cap.22.p.499-517.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um latossolo vermelho-escuro textura média, na região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, p.505-514, 1998.

CARVALHO, S. R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma Terra Roxa Estruturada**. 1976. 89p. Dissertação de Mestrado. Piracicaba: USP/ESALQ, 1976.

CASSOL, P. C; GIANELLO, C.; COSTA, V. E. U. Fração de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 25, p. 636-644, 2001.

CORDEIRO, L. A. M. et al., **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 393p.

CORRÊA, A. R. **Aspectos do sistema silvipastoril correlacionados com atributos de um neossolo quartzarênico em Mato Grosso do Sul**. 2013. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Aquidauana, MS: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2013.

COSTA, O. V.; NASCIMENTO JR., D. do. **Impacto animal sobre o componente abiótico do solo: ciclagem de nutrientes e compactação**. 2000.

DAL SOGLIO, F.; KUBO, R. R. **Agricultura e sustentabilidade**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173p.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. In: SIMPÓSIOS DA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ/UFPB, 2006. p. 535-553.

DIAS-FILHO, M.B. e FERREIRA, J.N. **Barreiras à adoção de sistemas silvipastoris no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 22p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 347).

DURR, P. A.; RANGEL, J. Enhanced forage production under *Samanea saman* in a subhumid tropical grassland. **Agroforestry System**, v.54, p.99-102, 2002

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** [internet]. Brasília, DF: Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2006. Acesso em: 07 jun. 2017. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul - Brasileira**. Renato Serena Fontaneli; Henrique Pereira dos Santos; Roberto Serena Fontaneli. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

FERREIRA, L. C. B. **Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FRANKE, I. L. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51p.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 533-542, 1999.

FREITAS, I. C. V.; MALDONADO, A. C. D.; ALVARENGA, C. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich E Langmuir. **Agropecuária Técnica**. v. 31, n. 2, p 153–163, 2010.

FREITAS, E. C. S. de.; OLIVEIRA NETO, S. N. de.; FONSECA, D. M. da.; SANTOS, M. V.; LEITE, H. G.; MACHADO, V. D. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.37, n.3, p.409-417, 2013.

FRITZSONS, E.; MATTOS, P. P de.; AGUIAR, A. V de.; BRAZ, E. M.; GRABIAS, J.; FERRAZ, M. Crescimento da *Grevillea robusta* em diferentes sítios edafoclimáticos no Estado do Paraná. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 383-392, 2014.

GARCIA, A. R.; MATOS, L. B.; LOURENÇO JÚNIOR, J. de B.; NAHÚM, B. de S.; ARAÚJO, C. V. de; SANTOS, A. X. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1409-1414, 2011.

GOOGLE EARTH MAPS, 2017. Disponível em: <https://maps.google.com.br>. Acesso dia 03 de Agosto de 2017.

GUERRA, A. R. **Atributos de solo sob coberturas vegetais em sistema silvipastoril em Lavras – MG**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – LAVRAS, MG: Universidade Federal de Lavras, 2010.

HARWOOD, C. E.; BOOTH, T. H.; Status of *Grevillea robusta* in forestry and agroforestry. In: HARWOOD, C. E. (Ed.). ***Grevillea robusta* in agroforestry and forestry**: Proceedings of an International Workshop. Nairobi: ICRAF. 1992, p.9–16.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 35, n. 7, p. 1493 – 1500, 2000.

JONSSON, C. M.; CASTRO, V. L. **Bioindicadores e biomarcadores de agroquímicos no contexto da relação saúde-ambiente**. Embrapa - Meio Ambiente. p.5, 2005.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, p. 3915-3925, 2014.

KRUSCHEWSKY, G. C. **Distribuição espacial de fezes de bovinos em sistema Silvipastoril e em convencional: Estudo de caso no Noroeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

LAL, R. World soils and global issues. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, p.1-4, 2007.

LANZANOVA, M. E. et al., Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.31, p.1131-1140, 2007.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Science Direct**. v.190, p.4-8, 2014.

LEME, T. M. P.; PIRES, M. F. A.; VERNEQUE, R. S. V.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 29, n. 3, p. 668-675, 2005.

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**. v. 9, n.1, p.117-124, 2013.

LIMA, H. N. de B. **Atributos do solo e decomposição de fezes bovinas em sistemas silvipastoris**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Recife – PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

LUZ, S. A. **Atributos químicos do solo, produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* em sistema silvipastoril com *Samanea tubulosa* no Acre**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) RIO BRANCO – AC: Universidade Federal do Acre, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MARTINKOSKI, L. I.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvipastoril e Floresta Secundária. **Floresta e Ambiente**. v.24 Seropédica, p. 1-9, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.028216>.

MARTINS, E. G.; FERREIRA, C. A.; NEVES, E. J. M.; INOUE, M. T. Deposição de Folhedo e Retorno de Nutrientes ao Solo em Quatro Procedências de (*Grevillea robusta* Cunn.) no Sudoeste do Paraná. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 48, p. 75-91, 2004.

MEDRADO, M. J. S. **Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações**. In: Galvão, A. P. M. (Org.) **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Um guia para ações municipais e regionais. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: Embrapa Florestas, p.269-312, 2000.

MIGUEL, P. S. B. et al., Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**. Juiz de Fora, v. 24, 2010.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONSELOS, R. F. B.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R. Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.914-920, 2010.

OLIVEIRA, A. P. P. de.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. dos.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande-PB, v.18, p. 939–947, 2014.

PAULETTI, Volnei. et al., Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 1. ed. Curitiba, PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 482 p.

PENEIREIRO, F. M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Ciências) Piracicaba - SP: Universidade de São Paulo, 1999.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.531-537, 2000.

PERUMPAL, J. V.; MANTOVANI, E. C. Aplicações do cone penetrômetro. In: PUIGNAU, Juan. **Reunión sobre metodología para investigación en manejo de suelos**. Montevideo: IICA – Procisur, 1994. p.51-6.

PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v.56, p.40-47, 2013.

PEZZONI, T.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de em sistema *Urochloa decumbens* Stapf silvipastoril. **Revista Cerne**, Lavras - MG, v. 18, n. 2, p. 293-301, 2012.

PINHO COSTA, Kátia Aparecida de; FAQUIN, Valdemar; OLIVEIRA, Itamar Pereira de; RODRIGUES, Cristiane; COSTA SEVERIANO, Eduardo da. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: I - alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 4, pp. 1591-1599, 2008.

PORFIRIO DA SILVA, V. e SANTOS, M. V. Perspectivas da arborização de pastagens na produção animal agroecológica. In: **Anais do II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável**; 23 a 26 de Setembro 2010; Viçosa, Brasil. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2010. p. 207-226.

PRADO, G. A. F. **Atributos do solo, da forrageira e comportamento de vacas leiteiras mestiças manejadas em sistema silvipastoril, em bioma cerrado.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Belo Horizonte – MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

RADOMSKI, M. I. e RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira.** Colombo, v. 32, n. 69, p. 53-61, 2012.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J, Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: TORRADO-Vidal, P.; Alleoni, L. R. F.; Cooper, M.; Silva, A. P. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5. p. 50- 121.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas – SP, 2010.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; e OLIVEIRA, R. H. de. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, fev. 2003.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; ALVARENGA, M. I. N.; VENTURIN, Nelson. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras - MG. **Revista Árvore.** Viçosa-MG, v.30, n.3, p.343-349, 2006.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; LUGÃO, S.M.B.; CRUZ, M.C.P.; CAMPOS, F.P.; FERREIRA, M.E.; OLIVEIRA, R.F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v. 37, p. 27-34, 2008.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas.** 2003. 110p. Tese (Doutorado em Agronomia) Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F de.; AUGUSTO, J.; SACRAMENTO, J. A. A. S do.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um Argissolo

amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. p.59-667, 2010.

SILVA, R.F. da; GUIMARÃES, M. de F.; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1277-1283, 2011.

SILVA, J. M. da. **Atributos do solo em função da distribuição das excretas bovinas em sistema silvipastoril**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Presidente-Prudente – SP: Universidade do Oeste Paulista, 2012.

SOUZA, W. de.; BARBOSA, R. R.; MARQUES, J. A.; GASPARINO, E.; CECATO, U.; BARBERO, L. M. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.3, p.677-684, 2010.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. S.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-309, 2013.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 1998.

VENDRAMINI, J. M. B.; SILVEIRA, M. L. A.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa - MG, v. 36, p. 139-149, jul. 2007. Suplemento.

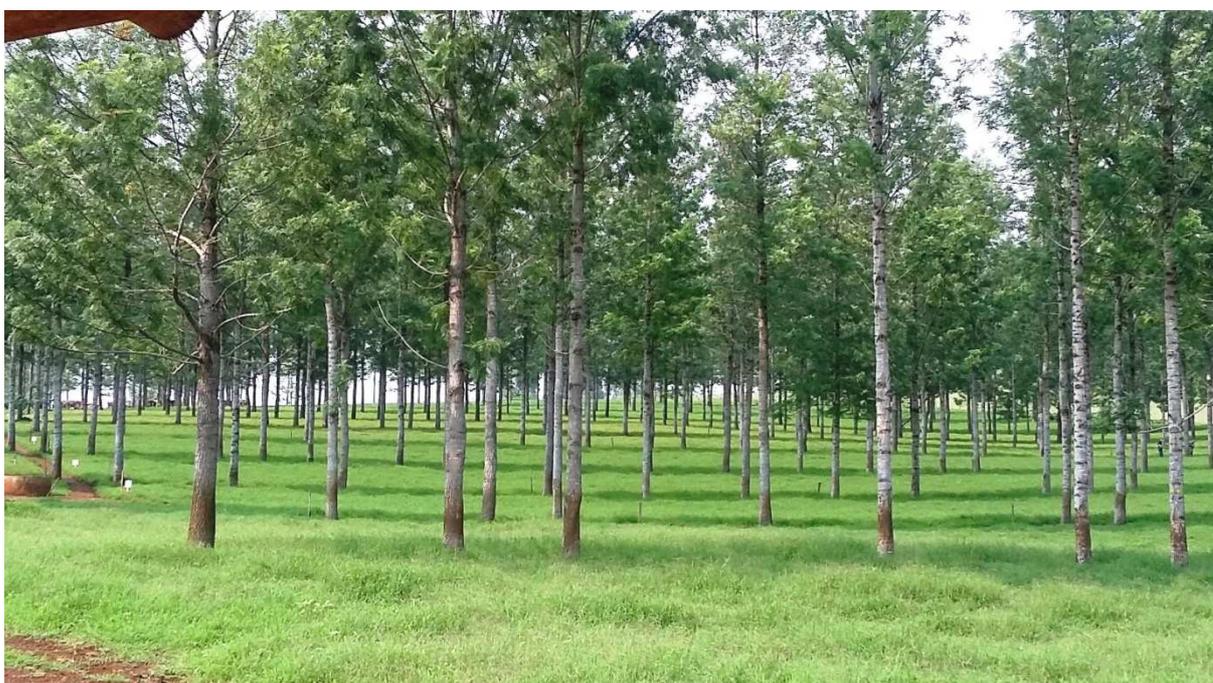
VERAS, V. S. **Pastagem de capim-andropogon em sistema silvipastoril e monocultura**. 2007. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2007.

VIEIRA, M.; CALDATO, S. L.; ROSA, S. F.; KANIESKI, M. R.; ARALDI, D. B.; SANTOS, S. R.; SCHUMACHER, M. V. Nutrientes na serrapilheira em fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 611-619, 2010.

VOGEL, G. F. e FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**. Cassilândia - MS, v. 3, n. 1, p. 21–26, 2016.

TAUFNER, G. A. **Atributos físicos e químicos do solo em sistema silvipastoril**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) São Mateus – ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

APÊNDICE A - IMAGENS DO SISTEMA SILVIPASTORIL

IMAGENS DA ÁREA DO SISTEMA SILVIPASTORIL

ANEXO A – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO CONDOMÍNIO PIZZOLATTO

