

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA**  
**MESTRADO**

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE *Urochloa brizantha* cv.**  
**Marandu NO DISTRITO DE JASY CAÑY-CANINDEYÚ, PARAGUAI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PATRICIA JUANA COLMÁN RIBELATTO**

**GUARAPUAVA-PR**

**2017**

**PATRICIA JUANA COLMÁN RIBELATTO**

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE *Urochloa brizantha* cv.  
Marandu NO DISTRITO DE JASY CAÑY, PARAGUAI**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

**Profa. Dra. Aline Marques Genú**  
**Orientadora**

**Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa**  
**Co-orientador**

GUARAPUAVA-PR

2017

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Santa Cruz

C733e Colmán Ribelatto, Patricia Juana  
Atributos do solo e produção de *Urochloa brizantha* cv. Marandu no Distrito de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai/ Patricia Juana Colmán Ribelatto. -- Guarapuava, 2017.  
xiii, 93 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2017

Orientadora: Aline Marques Genú  
Coorientador: Sebastião Brasil Campos Lustosa  
Banca examinadora: Aline Marques Genú, Sebastião Brasil Campos Lustosa, Deonisia Martinichen, Karina Batista

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. *Urochloa brizantha*. 4. Solo. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

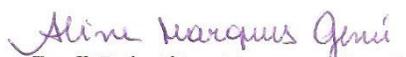
CDD 630

Patricia Juana Colmán Ribelatto

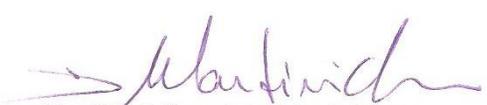
**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE *Urochloa brizantha* cv. MARANDU NO  
DISTRITO DE JASY CAÑY-CANINDEYÚ, PARAGUAI**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2017.

  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Aline Marques Genú  
(UNICENTRO)

  
Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa  
(UNICENTRO)

  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Deonisia Martinichen  
(UNICENTRO)

  
Dr<sup>ª</sup>. Karina Batista  
(IZ-APTA)

GUARAPUAVA-PR  
2017

“A persistência é o menor caminho para o êxito”  
(Charles Chaplin)

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado não seria possível sem a ajuda, apoio e colaboração de um conjunto de pessoas, por essa razão, a todos minha eterna gratidão.

À Universidade Nacional de Canindeyú pela concessão da bolsa de estudos e por proporcionar a oportunidade de minha formação pessoal e profissional.

À Universidade Estadual do Centro Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do mestrado, por me acolher e proporcionar a convivência com professores e colegas de tamanho apreço.

À minha família, minha mãe Zanete, meu pai Federico e minhas irmãs, Carolina, Viviane e Camila, por serem os pilares da minha vida, obrigado pelo apoio incondicional.

À minha orientadora professora Aline Marques Genú pela amizade, paciência, acompanhamento, compreensão e apoio durante a realização do mestrado.

Ao professor Sebastião Lustosa pelo exemplo de profissional, amizade, por compartilhar seus valiosos conhecimentos e por não medir esforços em me ajudar nos trabalhos realizados no Paraguai.

Ao professor Cristiano André Pott, pela amizade, pelas análises realizadas e pela disponibilidade em prestar os materiais do laboratório de física do solo, assim também pelo constante apoio e acompanhamento na realização do experimento.

À professora Deonisia Martinichen por me receber em sua casa, por me guiar e auxiliar em vários momentos pessoais e profissionais.

Aos professores Luciano Farinha e Cacilda Faria por sua amizade, e por brindar toda sua ajuda durante a realização do mestrado.

Ao Dr. Gustavo Brites e Lic. Beatriz Ramírez pela oportunidade de crescimento acadêmico paralelamente ao meu cargo na Faculdade de Ciências Jurídicas y Sociales, e aos meus companheiros de trabalho pela compreensão e apoio.

Aos alunos Luis Ortíz, Elena Benitez e ao professor Fernando Giménez pela constante ajuda nos levantamentos de dados do experimento.

A todos meus colegas do mestrado pelo companheirismo e por toda a ajuda que sempre me deram especialmente, à minha colega de estudo e de convivência Elida Peralta pelos tantos momentos que juntas superamos.

Aos produtores da colônia Nova Aliança por disponibilizar suas propriedades para a realização do estudo.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Solos do departamento de Canindeyú.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Qualidade dos solos.....</b>	<b>4</b>
<b>3.3 Propriedades físicas do solo.....</b>	<b>5</b>
3.3.1 Densidade do solo .....	6
3.3.2 Porosidade total, macro e microporosidade .....	6
3.3.3 Granulometria .....	7
3.3.4 Resistência mecânica do solo à penetração .....	8
<b>3.4 Propriedades químicas do solo .....</b>	<b>9</b>
3.4.1 Disponibilidade dos nutrientes e toxicidade do Al <sup>3+</sup> .....	9
3.4.2 Matéria orgânica.....	10
3.4.3 pH do solo.....	11
<b>3.5 Manejo e produção de pastagens.....</b>	<b>11</b>
<b>3.6 Características da <i>Urochloa spp.</i> .....</b>	<b>13</b>
<b>3.7 Adubação das forrageiras.....</b>	<b>14</b>
<b>3.8 Degradação das pastagens .....</b>	<b>16</b>
3.8.1 Estágios de degradação .....	17
<b>3.9 Atributos do solo em relação à pastagem.....</b>	<b>19</b>
<b>4. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>20</b>
<b>5. CAPITULO 1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DE SOLOS SOB PASTAGEM DE CAPIM-MARANDU .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Introdução.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Material e métodos.....</b>	<b>33</b>
5.2.1 Descrição do local de experimento .....	33
5.2.2 Descrição das áreas utilizadas .....	33
5.2.3 Coleta de amostras de solos .....	34
5.2.4 Análises físicas.....	35

5.2.5	Análises químicas .....	37
5.2.6	Análise estatística .....	37
<b>5.3</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>37</b>
5.3.1	Caracterização química de solos sob pastagem de capim-Marandu .....	37
5.3.2	Caracterização física de solos sob pastagem capim-Marandu .....	40
<b>5.4</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>51</b>
<b>5.5</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>CAPITULO 2. PRODUÇÃO DE CAPIM-MARANDU COM DIFERENTES ADUBAÇÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>6.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>56</b>
<b>6.2</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>57</b>
6.2.1	Descrição do local do experimento .....	57
6.2.2	Coleta de amostras de solos .....	58
6.2.3	Adubação da pastagem .....	58
6.2.4	Avaliação da matéria seca da parte aérea e da altura do dossel da pastagem .....	59
6.2.5	Análise estatística .....	60
<b>6.3</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>60</b>
<b>6.4</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>63</b>
<b>6.5</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>

## LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa dos solos do Departamento de Canindeyú (LÓPEZ et al., 1995). ..... 3
- Figura 2.** Indicadores de qualidade física do solo relativos à porosidade entre o solo saturado e seco, os tradicionais e os propostos por Reynolds et al. (2002). Adaptado de Taubinger, L. (2016). ..... 36
- Figura 3.** Densidades de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 42
- Figura 4.** Porosidade total de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 43
- Figura 5.** Macroporosidade de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 44
- Figura 6.** Microporosidade de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 46
- Figura 7.** Porosidade no domínio dos macroporos de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 47
- Figura 8.** Capacidade de armazenamento de água de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 48
- Figura 9.** Capacidade de armazenamento de ar de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%). ..... 49
- Figura 10.** Resistência à penetração de solos sob pastagem *U. brizantha* cv. Marandu de quatro áreas analisadas na localidade de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. .. 50
- Figura 11.** Registros climáticos (temperatura e precipitação mensal) da estação CEFA de

Curuguay observadas durante o período de janeiro de 2016 a agosto de 2016..... 57

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classes de resistência mecânica do solo a penetração (MPa) e graus de limitação ao crescimento das raízes adaptado de Canarache (1990), citado por Camargo & Alleoni (1997).....	8
<b>Tabela 2.</b> Estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda temporal na capacidade de suporte (QCS) e nível de degradação (Nível).....	18
<b>Tabela 3.</b> Análise química de solo sob pastagem de capim-Marandu, Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. ....	38
<b>Tabela 4.</b> Granulometria do Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu, localizado no distrito de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016.....	41
<b>Tabela 5.</b> Resultado das análises químicas do solo sob pastagem capim-Marandu nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Yasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016.....	59
<b>Tabela 6.</b> Tratamentos usados no estudo.....	59
<b>Tabela 7.</b> Produção de matéria seca e altura do dossel do capim-Marandu após a adubação com N ou NPK.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

PT	Porosidade Total
PDmacro	Porosidade no domínio dos macroporos
CC/PT	Capacidade de armazenamento de água
CA <sub>t</sub> /PT	Capacidade de armazenamento de ar
RP	Resistencia a penetração
MS	Matéria seca
QS	Qualidade do solo
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
C	Carbono
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
P	Fósforo
K <sup>+</sup>	Potássio
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
Fe	Ferro
V%	Saturação de bases
m%	Saturação por alumínio
CTC	Capacidade de troca de cátions
Al <sup>3+</sup>	Alumínio
UA	Unidade animal

## RESUMO

Patricia Juana Colmán Ribelatto. **Atributos do solo e produção de capim - Marandu no distrito de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai.**

A produção de leite é uma atividade importante na economia paraguaia, no entanto em muitos casos está sendo desenvolvida sob pastagens degradadas devido a falta de manejo adequado, o que com o tempo pode afetar a qualidade química e física dos solos e, conseqüentemente, a sustentabilidade da produção animal. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os atributos físicos e químicos de solos sob pastagem de capim - Marandu e determinar sua produtividade utilizando diferentes adubações. O estudo foi realizado em quatro áreas localizadas no distrito de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. Para as avaliações dos atributos químicos foram realizadas coletas de solos antes da adubação, nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm, tendo como indicadores químicos da qualidade do solo os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P disponível, saturação por bases, saturação por alumínio, acidez trocável,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  e matéria orgânica. Quanto aos atributos físicos, as coletas de solo foram realizadas nas camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm e foram determinadas densidade de solo, porosidade total, macro e microporosidade, porosidade no domínio de macroporos, capacidade de armazenamento de água, capacidade de armazenamento de ar, granulometria e a resistência dos solos à penetração. Para a avaliação da produção de matéria seca e altura do dossel foi utilizado o delineamento de blocos completos ao acaso e os tratamentos consistiram na testemunha (sem adubação), adubação nitrogenada ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e adubação com N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$  ( $100$ - $40$ - $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), as coletas foram realizadas periodicamente entre o verão e o inverno. Com base nos resultados os solos são medianamente ácidos, com ausência de toxicidade por  $\text{Al}^{3+}$ , boa saturação por bases, baixo teor de MO e de  $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ , carência de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e de P disponível e elevado teor de  $\text{Mg}^{2+}$  em relação ao  $\text{Ca}^{2+}$ . Os atributos físicos indicaram que os solos das áreas estudadas não apresentam restrições físicas ao crescimento das plantas a exceção da área 4 que apresentou baixos níveis de macroporosidade. A adubação com N ou N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$  proporcionou aumentos significativos na produção de matéria seca e na altura do dossel do campim-Marandu, apresentando alta capacidade responsiva, sendo possível concluir que a adubação é o fator fundamental para a produtividade da pastagem.

**Palavras-chave:** pastagem, propriedades químicas do solo, propriedades físicas do solo.

## ABSTRACT

Patricia Juana Colmán Ribelatto. **Soil attributes and production of Marandu grass, in the district of Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguay.**

Milk production is one of the most important activities in the Paraguayan economy, however in most cases this activity is being developed under degraded pastures due to lack of management which over time can affect soil chemical and physical quality and, therefore, the sustainability of animal production. The objective of this work was to characterize the physical and chemical attributes of soils under Marandu grass and determine their productivity using different fertilizations. The study was conducted in 4 areas located in the district of Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguay. In order to evaluate the chemical attributes, soil samples were collected before fertilization in the 0-10 cm and 10-20 cm layers, using the levels of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , extractable P, base saturation, aluminum saturation, exchangeable acidity,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{CTC}_{\text{pH}7.0}$ ,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  and organic matter as chemical indicators of soil quality. For the physical attributes, soil samples were collected in the 0-5 cm, 5-10 cm and 10-15 cm layers and soil total porosity, macro and microporosity, porosity in the macropore domain, water storage capacity and air storage capacity, soil particle size and resistance to root penetration were determined. For dry matter production and height of the pasture, a complete randomized block design was used and the treatments consisted of control (without fertilization), nitrogen fertilization ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) and fertilization with N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$  ( $100\text{-}40\text{-}80 \text{ Kg ha}^{-1}$ ), the sampling were carried out periodically between summer and winter. Based on the results the soils present a medium acidity, with no  $\text{Al}^{3+}$  toxicity, good base saturation, low MO and  $\text{CTC}_{\text{pH}7.0}$ , lack of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and extractable P and high  $\text{Mg}^{2+}$  content in relation to  $\text{Ca}^{2+}$ . The physical attributes indicated that the soils of the studied areas do not present physical restrictions to plant growth, except for the area 4 that presented low levels of macroporosity. Fertilization with N and N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$  provided significant increases in dry matter yield and height of Marandu grass presenting high responsive capacity, and it is possible to conclude that fertilization is the fundamental factor for pasture productivity.

**Keywords:** pasture, chemical soil properties, soil physical properties.

## 1. INTRODUÇÃO

O Paraguai é um país em que o crescimento econômico e o desenvolvimento social dependem grandemente do setor agropecuário (MAG, 2008). Neste setor, a produção de carne e de leite são as atividades pecuárias mais importantes para a economia paraguaia, no entanto na maioria dos casos estas atividades estão sendo desenvolvidas sob pastagens degradadas, o que com o tempo pode afetar a qualidade dos solos e, por conseguinte, a sustentabilidade da produção animal. Estes aspectos têm aumentado consideravelmente a preocupação com a condição dos sistemas de produção pecuária, pois inúmeros impactos gerados acarretam a degradação ambiental, aumentando as emissões dos gases de efeito estufa.

A falta de práticas adequadas que fomentem a conservação dos solos e manejos adequados da pastagem são os principais fatores que provocam a degradação dos sistemas pecuários. Uma das principais causas da degradação das pastagens no mundo de influência antrópica direta é o manejo inadequado, em particular o uso sistemático de taxas de lotação que excedam a capacidade das forrageiras de se recuperar do pastejo e do pisoteio animal (FAO, 2009), prejudicando desta maneira a qualidade dos solos. Portanto, é imprescindível o conhecimento dos atributos físicos e químicos dos solos, os quais geram informações de extrema relevância para a produção sustentável das forrageiras.

Na região de Jasy Cañy, departamento de Canindeyú é muito comum a falta de manejo das pastagens diminuindo o funcionamento sustentável do sistema solo-planta-animal. Ainda, na maioria das vezes, as áreas destinadas para atividades pecuárias possuem solos pobres e que não recebem adubação, sendo que a falta da reposição de nutrientes prejudica o desenvolvimento das pastagens e com o tempo leva-as a degradação, diminuindo a sua produtividade.

A hipótese deste trabalho é que a baixa produtividade das pastagens da região de Jasy Cañy se deve pela degradação dos solos. Dessa forma, pesquisas visando obter informações sobre os atributos químicos e físicos dos solos que permitam o planejamento de estratégias para a recuperação da produtividade das pastagens é de fundamental importância para a viabilização econômica e obtenção de sistemas sustentáveis de produção.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

- Determinar os atributos químicos e físicos de solos sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu (capim-Marandu) e sua produção no distrito de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os atributos químicos e físicos de solos sob pastagem de capim-Marandu.
- Avaliar a produção e a altura do dossel da pastagem de capim-Marandu com uso de adubação nitrogenada ou NPK.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Solos do departamento<sup>1</sup> de Canindeyú

Segundo Bertoni & Lombardi Netto (1999) o solo deve ser considerado como a fonte fundamental da riqueza nacional, pois nele encontram-se os materiais minerais e orgânicos indispensáveis a sobrevivência de atividades essenciais como a agricultura e a pecuária.

Os solos da região oriental do Paraguai apresentam sete ordens taxonômicas das 11 reconhecidas no mundo, que são: Oxisol, Vertisol, Ultisol, Mollisol, Alfisol, Inceptisol e Entisol, classificados pelo sistema Soil Taxonomy, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos de América (USDA, 1992). Destas ordens, cinco estão presentes no departamento de Canindeyú (Figura 1).

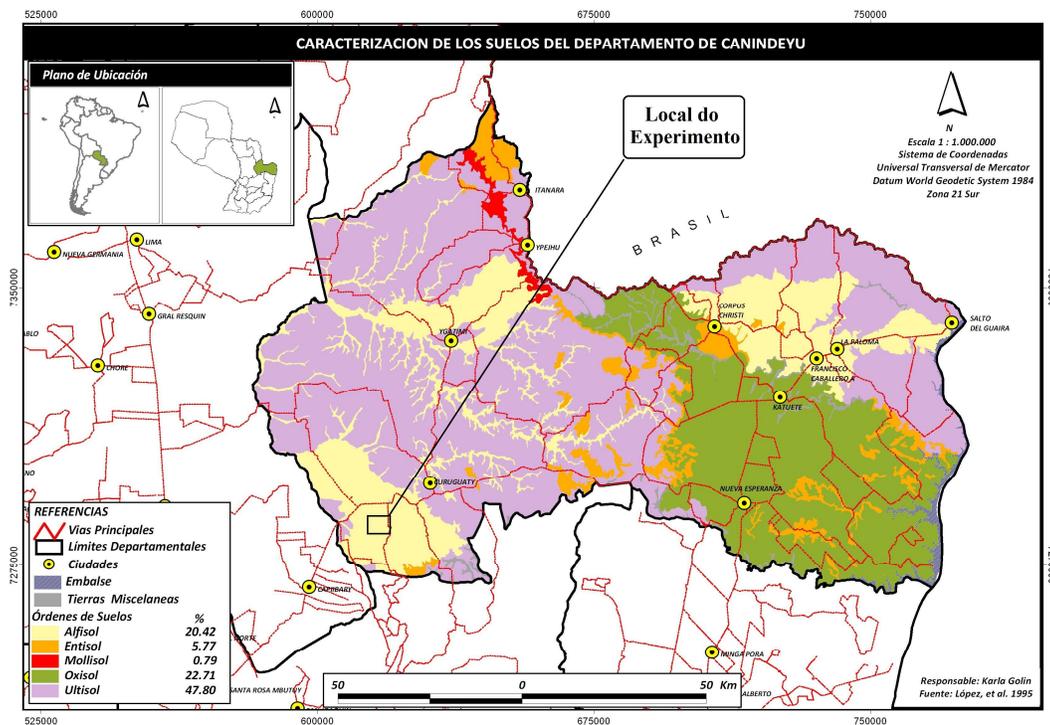


Figura 1. Mapa dos solos do Departamento de Canindeyú (LÓPEZ et al., 1995).

<sup>1</sup> “Departamento” significa “Estado” no Brasil.

Na área estudada segundo López et al. (1995) encontram-se solos da ordem Alfisol, que possuem 2 subordens, Aqualf e Udalf, classificados pelo regime de umidade do solo. Estes solos apresentam elevada saturação por bases ( $V > 50\%$ ) e maior teor de argila em subsuperfície, podendo chegar a apresentar mudança textural abrupta entre o horizonte de superfície e o de subsuperfície e, ainda, possuir elevados teores de sódio. Segundo Embrapa (2013) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, estes solos podem ser classificados como Argissolos, Luvisolos e, ainda, Planossolos, variando em função do horizonte de subsuperfície e das características químicas observadas no perfil de solo.

### **3.2 Qualidade dos solos**

Segundo Doran & Parkin (1994) e mais tarde reformulado por Doran (1997), a qualidade do solo (QS) é conceituado como a aptidão dos solos de funcionar sustentavelmente, seja dentro de um ecossistema natural ou manejado pelo homem, permitindo a atividade e produtividade das plantas e animais, e com isto, promovendo a qualidade do ar e da água, e assim, a saúde das plantas, dos animais e dos homens.

Seguindo este conceito, o solo deve ter a capacidade de funcionar adequadamente, proporcionando para os elementos do agroecossistema um desenvolvimento saudável, melhorando a sua qualidade e promovendo alta produtividade das plantas (FAGERIA & STONE, 2006). A perda da qualidade física do solo acontece com o aumento da resistência mecânica à penetração das raízes, redução da infiltração de água no solo e aumento da suscetibilidade à erosão (GUIMARÃES, 2011).

Segundo Doran & Parkin (1994) os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção. Estas avaliações podem ser feitas de formas indiretas (quantidade de agregados estáveis em água ou a seco ou resistência dos agregados ao impacto de gotas de chuva simulada), ou diretas pelos atributos de densidade do solo, porosidade, índices de floculação e infiltração de água no solo (MENDES et al., 2006).

Segundo Gliessman (2000) a sustentabilidade agrícola é conceituada como a capacidade de produzir alimentos e fibras em um sistema agrícola, sem comprometer as condições que viabilizam esse processo. Portanto, a relação entre a QS e a sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos em um solo capaz de cumprir suas funções, num processo de produção ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceito.

Considerando a qualidade do solo como a base para o desenvolvimento da sustentabilidade agrícola (DORAN & ZEISS, 2000), um solo pode ser considerado de boa ou má qualidade, dependendo do contexto em que se encontra. É importante considerar a atividade que se desenvolve nele, os elementos que se relacionam e como são afetados para poder compreender e definir o estado de qualidade do sistema (PALMIERI & LARACH, 2004).

O solo é qualificado pelos indicadores que são os próprios atributos do solo que, por meio de ações naturais ou provocadas pelo homem, podem contribuir com a melhoria ou causar danos aos componentes do solo. As propriedades físicas, químicas e biológicas são as responsáveis por determinar a qualidade do solo, o que demonstra o quanto é importante monitorar estas propriedades, principalmente nas áreas mais susceptíveis a degradação para assim poder estabelecer um manejo adequado destes sistemas, evitando a perda da qualidade do solo (NETTO, 2008). A compactação, a erosão eólica e hídrica, e os manejos que alterem os atributos do solo são fatores que devem ser prioritariamente conhecidos e estudados, de modo a direcionar ações estratégicas para o melhoramento do sistema (LAL, 2000).

### **3.3 Propriedades físicas do solo**

As propriedades físicas do solo influenciam a produtividade das plantas e muitas têm sido utilizadas para quantificar as alterações provocadas no solo pelos diferentes sistemas de manejo e também como indicadores da sua qualidade (NEVES et al., 2007).

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e do aumento da erosão hídrica. Algumas práticas culturais e de manejo provocam alterações nas propriedades do solo, principalmente em suas características estruturais influenciando o desenvolvimento das plantas (TISDALL & OADES, 1982; BERTOL, 2001).

Suzuki (2008) menciona que os valores críticos de propriedades físicas do solo para o desenvolvimento e rendimento de culturas anuais também pode ser efetivo para a pastagem, um solo com qualidade física deve apresentar as partículas de argila floculadas, ou seja, estáveis, assim também uma proporção adequada do tamanho de poros e elevada porosidade total, fazendo com que o solo seja capaz de absorver, armazenar e disponibilizar água para as plantas. Neste contexto a estrutura é um dos atributos mais importantes do solo e que participa da relação solo-planta, sendo influenciadas pelo clima, atividades biológicas, práticas de

manejo e, ainda, pelas forças de natureza mecânica e físico-química, exercendo influência na disponibilidade de água e ar para o desenvolvimento radicular (CRUZ et al, 2003).

### **3.3.1 Densidade do solo**

Segundo Ferreira & Dias Júnior (1996) a densidade do solo é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes que existe no perfil do solo com base no volume, constituindo-se assim em um atributo importante da qualidade do solo, segundo Klein (2008) é um atributo que avalia a massa de sólidos pelo volume e é afetada pelos cultivos que alteram a estrutura do solo.

A degradação da estrutura do solo leva a um aumento da densidade do solo e, por conseguinte, geralmente é usada como um indicativo de degradação. Nos campos agrícolas, é comum formar-se uma camada adensada abaixo da superfície do solo, causado pelo uso intensivo de máquinas. Esta camada evita que as raízes se aprofundem no solo, dificultando seu acesso à água e nutrientes e pode ser detectada medindo-se a densidade do solo em intervalos regulares de profundidade. Valores comuns de densidade do solo se encontram entre 0,95 e 1,8 g cm<sup>-3</sup>. A tendência é o aumento da densidade do solo nos pontos mais profundos do perfil, porque o peso dos horizontes de cima comprime os de baixo (AZEVEDO & DAMOLIN, 2004). Por outro lado, esta propriedade também tende a aumentar por influência de teores reduzidos de matéria orgânica, conforme aumenta a profundidade (KIEHL, 1979).

No entanto, aumentos na densidade do solo até certos limites não são necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, pois pode contribuir com o armazenamento de água no solo e com a capacidade de suporte de carga (REICHERT et al., 2009).

### **3.3.2 Porosidade total, macro e microporosidade**

Segundo Hillel (1972) o espaço poroso do solo é composto por interstícios de diferentes tamanhos e formas, determinados pela disposição das partículas sólidas e formam a fração volumétrica do solo ocupada com ar e solução (água e nutrientes). Os poros do solo correspondem, portanto, ao espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo. A porosidade total está formada pela soma dos microporos, menores que 0,06 mm e macroporos, maiores que 0,06 mm (AZEVEDO & DAMOLIN, 2004).

Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros

responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo. A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação de raízes afetando, conseqüentemente, o aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis para as plantas (RIBEIRO et al., 2007). O tamanho dos poros pode variar dependendo das partículas e dos agregados. A distribuição dos espaços pode mudar pela atuação de alguma pressão ou por rolamento das partículas. A quantidade, o tamanho, a distribuição e a continuidade variam de um solo para o outro (RESENDE et al., 2002).

Solos arenosos apresentam elevada permeabilidade com baixa capacidade de armazenamento de água devido a maior quantidade de macroporos existentes. Nestes solos a água se aprofunda pela força da gravidade, arrastando nutrientes consigo. Os solos argilosos apresentam porosidade total (40 a 60%) maior que os solos arenosos (35 a 50%). Em geral, a movimentação de gases e água nos solos argilosos é mais lenta que em solos arenosos, e varia de acordo com as características de cada solo. A porosidade também é dependente do teor de matéria orgânica, geralmente quanto maior for o teor de matéria orgânica, maior é a porosidade total. Como o teor de matéria orgânica decresce em profundidade, aumenta o grau de empacotamento das partículas do solo, e com isso a porosidade total do solo tende a diminuir conforme aumenta a profundidade. Quanto maior for a compactação do solo, menor será a sua porosidade total (AZEVEDO & DAMOLIN, 2004).

Atualmente, também existem medidas de porosidade propostas por Reynolds et al. (2002) as quais podem ser utilizadas para distinguir o volume poroso de diferentes grupos de diâmetro de poros. A macroporosidade e a microporosidade passam a integrar um conjunto de medidores que contemplam o estudo do volume poroso responsável pela aeração e pela retenção de água em tensões iguais ou maiores que a capacidade de campo (CC), permitindo a comparação eficiente entre diferentes sistemas de preparo do solo. Em um estudo realizado por Reynolds et al. (2002) observaram que a porosidade no domínio dos macroporos foi maior em solo de mata em comparação ao mesmo solo sob plantio direto e plantio convencional, e concluíram que este resultado foi devido ao maior teor de carbono (C) do solo sob a mata, e pelo maior volume de poros resultantes de fissuras e de atividade de raízes e minhocas.

### **3.3.3 Granulometria**

A textura do solo está relacionada com a proporção de tamanho das partículas minerais do solo e constitui-se em um dos fatores mais importante do solo, pois esta

característica não pode ser modificada, determinando o seu valor econômico (GAVANDE, 1976). A análise granulométrica é o método utilizado para determinar a textura do solo, a qual permite classificar os componentes sólidos do solo em classes de acordo com os seus diâmetros, sendo divididos em areia, silte e argila (KIEHL, 1979).

### 3.3.4 Resistência mecânica do solo à penetração

É um parâmetro usado para analisar o grau de compactação dos solos, o qual pode identificar os níveis de resistência mecânica dos solos a penetração. Esta propriedade é influenciada por vários fatores, entre eles a textura, a densidade e o conteúdo de água. A umidade facilita a penetração, portanto, quanto mais seco estiver o solo, maior será a sua resistência mecânica a penetração. Altos valores de resistência mecânica a penetração são encontrados em solos que estão em processo de degradação e, nessas condições, o crescimento do sistema radicular das plantas é dificultado devido à baixa disponibilidade de água, nutrientes, ar e espaço, prejudicando o seu desenvolvimento (CAMARGO & ALLEONI, 1997). De acordo com Reichert et al. (2010) a resistência a penetração é utilizada para identificar camadas compactadas e mudanças nas propriedades físicas do solo associadas aos seus horizontes. Na Tabela 2 estão representadas as classes de resistência mecânica do solo a penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes.

**Tabela 1.** Classes de resistência mecânica do solo a penetração (MPa) e graus de limitação ao crescimento das raízes adaptado de Canarache (1990), citado por Camargo & Alleoni (1997).

Classes	Limites (MPa)	Limitações ao crescimento das raízes
Muito baixa	< 1,1	Sem limitações
Baixa	1,1 - 2,5	Pouca limitação
Média	2,6 - 5,0	Algumas limitações
Alta	5,1 - 10	Sérias limitações
Muito alta	10,1 - 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente alta	>15,0	Raízes não crescem

### 3.4 Propriedades químicas do solo

#### 3.4.1 Disponibilidade dos nutrientes e toxicidade do $Al^{3+}$

A avaliação da fertilidade dos solos é de grande importância para determinar as quantidades e tipos de fertilizantes que devem ser aplicados ao solo para recuperar a sua produtividade. Os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mo, Cl e Mn) são constituintes dos minerais e da matéria orgânica, encontrando-se dissolvidos na solução do solo. Estes nutrientes podem estar presentes ou quase ausentes no solo, em uma forma pouco móvel, ou seja, não disponível para a planta. Para torná-los disponíveis para as plantas o solo deve ser bem manejado. Portanto, quando os nutrientes se encontram em teores abaixo da necessidade da planta, estes devem ser repostos (EMBRAPA, 2010).

Nos solos da região Oriental do Paraguai o macronutriente considerado mais deficiente é o P, seguido por ordem decrescente de importância, N, Ca, Mg e o K, entre os micronutrientes encontram-se o Cu e Zn (FATECHA, 1999).

Em solos de regiões tropicais e subtropicais, as reações de adsorção e precipitação de P no solo (retenção ou fixação de P) são condicionados pelo pH. Em solos ácidos, o P inorgânico, proveniente da mineralização do P orgânico ou dos fertilizantes, precipita como minerais secundários com Fe/Al, ou é adsorvido à superfície de óxidos de Fe/Al e também a superfície de minerais da fração argila; determinando a disponibilidade de P (TISDALE et al., 1993). Cubilla et al. (2007) encontraram nível crítico de  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  de P para a classe textural de argila e  $75 \text{ mg dm}^{-3}$  para o K extraível.

Ao avaliar a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, é importante analisar as relações entre os cátions para as distintas culturas, para que a produção não seja restringida pelo nutriente em menor proporção ou disponibilidade, a quantidade absoluta de um nutriente deve ser tão importante quanto à quantidade relativa desse nutriente no solo (MALAVOLTA, 1992).

O  $Al^{3+}$  abrange um dos maiores problemas de toxicidade as plantas e que é conhecido a nível mundial devido aos níveis excessivos em que se encontra nos solos (TISDALE et al., 1993). A quantidade de  $Al^{3+}$  no solo aumenta com a diminuição do pH em água abaixo de 5,5, chegando a alcançar concentrações muito elevadas em pH em água menor que 4,5 sendo amplamente dependente do pH do solo. Elevando o pH, o  $Al^{3+}$  precipita-se como  $Al(OH)_3$ ,

forma não trocável e com a acidificação do solo o íon  $H^+$  dissolve os hidróxidos de alumínio, retornando-o à forma trocável (tóxica). Desta forma a dinâmica da toxidez de  $Al^{3+}$ , aumenta ou diminui dependendo do pH do solo (PAVAN & MIYAZAWA, 1997).

A interpretação das análises químicas do solo visa o balanço nutricional das plantas, tendo em conta que a verdadeira disponibilidade desses nutrientes pode variar ao longo do crescimento da cultura (ETCHEVERS et al., 2000).

### 3.4.2 Matéria orgânica

Segundo Vilela et al. (2004) a matéria orgânica é toda a substância morta resultante de restos de plantas, animais e organismos que apresentam resíduos em todos os estágios de decomposição. A deposição da matéria orgânica no solo pode variar conforme o tipo de vegetação. Quando é produzida pelas árvores, que possuem maior massa vegetal na parte aérea que nas raízes, estas contribuem com maiores restos orgânicos na camada superficial do solo, enquanto que as gramíneas normalmente produzem grandes quantidades de material orgânico tanto no interior do solo como na parte aérea.

As pastagens que são manejadas por longo tempo de forma adequada apresentam teores mais altos de carbono no solo do que culturas anuais e, também, teores mais altos em carbono que áreas de vegetação natural (MACEDO, 2013). Gramíneas do gênero *Urochloa spp.* são muito eficientes em acumular C, por possuir um sistema radicular abundante, volumoso, de contínua renovação e de elevado efeito rizosférico (D'Andréa et al., 2004).

A matéria orgânica cumpre um papel muito importante nos solos, atua tanto na melhoria das condições físicas, quanto nas propriedades químicas, fornecendo nutrientes às plantas e maior capacidade de troca catiônica do solo (CTC), além de proporcionar a atividade de microrganismos (FIGUEIREDO et al., 2008). Pode chegar a ter uma CTC de 280  $cmol_c dm^{-3}$ , sendo uma das maiores contribuintes de nutrientes para as plantas (KLUTHCOUSKI & STONE, 2003). Solos arenosos que possuem baixo teor de matéria orgânica e, portanto, baixa CTC, são mais susceptíveis a perda de nutrientes por lixiviação, devido à baixa capacidade de reter cátions.

Além disso, a matéria orgânica é um fator muito relevante no monitoramento de mudanças da qualidade do solo (QS) no tempo (SHUKLA et al., 2006) e está grandemente relacionada às características químicas dos solos, influenciando na disponibilidade de nutrientes para as culturas, capacidade de troca de cátions, complexação de elementos tóxicos

e micronutrientes importantes em solos tropicais (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

### **3.4.3 pH do solo**

O pH do solo é uma propriedade correlacionada com a acidez e interfere na disponibilidade dos elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal e, portanto, considerado como indicador importante das condições químicas do solo (BRANDÃO & LIMA, 2002). Na região Oriental do Paraguai, os solos não corrigidos, apresentam em sua maioria pH entre 4,5 a 5,9 portanto bastante ácidos, sendo necessária a calagem para diminuir a acidez e assim, poder elevar os rendimentos dos cultivos (CUBILLA et al, 2012).

A acidez do solo pode ter origens distintas, como da dissociação de  $H^+$  de grupos químicos da matéria orgânica do solo, de bordos quebrados dos minerais de argila e da superfície de óxidos de  $Fe^{2+}$  e  $Al^{3+}$ ; da hidrólise de  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  e Mn; da formação de ácido como resultado da reação da água do solo com o gás carbônico ( $CO_2$ ) proveniente do ar do solo, da respiração das raízes e organismos vivos e da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS); da absorção de cátions básicos pelas plantas; dos resíduos ácidos ou reações acidificantes dos fertilizantes; da lixiviação e do deslocamento de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  adsorvidos para a solução do solo (TISDALE et. al., 1993; PAVAN & MIYAZAWA, 1997).

Com o poder tampão reduzido em zonas tropicais à adição de fertilizantes deve ser realizada com muito cuidado, pois, esta pode proporcionar facilmente um desequilíbrio. Desta forma, a matéria orgânica se torna muito importante porque aumenta o poder tampão do solo e diminui os perigos de desequilíbrios minerais causados por uma adubação eventual (EMBRAPA, 2010).

### **3.5 Manejo e produção de pastagens**

Geralmente, o manejo inadequado das forrageiras se dá pela utilização de forrageira inadequada para o clima do local; fertilidade dos solos abaixo do necessário; uso excessivo do fogo; compactação do solo por máquinas e animais; presença de pragas; doenças e plantas daninhas (PEDREIRA et al., 2004).

Práticas inadequadas de manejo do pastejo também são apontadas como uma das principais causas de degradação das pastagens em regiões de clima tropical e subtropical (DIAS-FILHO, 2011). Leite (2005) relata que um manejo orientado requer um conhecimento pormenorizado da real situação do campo, como produção, qualidade nutricional e

composição florística da forragem, relacionando estes parâmetros às exigências nutricionais dos animais. A caracterização de pastagens, quanto aos aspectos de produção de forragem, composição florística, densidade e altura ao longo do ano, fornece informações para o planejamento de técnicas de manejo, melhorando a eficiência da produção animal e a sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO FILHO et al., 1994).

Medidas relativas ao vigor do estande forrageiro como altura das plantas ou do dossel, o perfilhamento e a produção de forragem são avaliações importantes. As perdas de vigor das pastagens podem incluir menor altura, menor peso seco, menor número de perfilhos por planta, para plantas de estágio de crescimento equivalente, fazendo-se importante o conhecimento de tais características para avaliar a pastagem. Assim, também o monitoramento da fertilidade do solo, os aspectos de reposição ou elevação da fertilidade com calagem e adubação são componentes fundamentais. A fertilidade é certamente um dos principais fatores para o manejo adequado das pastagens, solos com fertilidade elevada ou espécies mais adaptadas a condições de baixa fertilidade são extremamente importantes para que as pastagens permaneçam produtivas ao longo do tempo (PEDREIRA et al., 2004).

Para a produção de massa por unidade de área associada à conservação dos parâmetros qualitativos da pastagem as forrageiras são estritamente dependentes das condições de fertilidade, da morfologia e fisiologia da forrageira utilizada, assim também do manejo empregado. Para alcançar o potencial máximo de produção, é necessário recordar que as forrageiras são tão ou mais exigentes do que as culturas agrícolas. Portanto, a correção do solo e a adubação fazem parte dos fatores mais importantes para definir o nível de produção das forrageiras, e assim poder obter o maior benefício das pastagens (MORAES et al., 2008).

A eficiência de uso da forragem, o desempenho e a produção de animais por hectare, o retorno econômico e o melhoramento da uniformidade estacional de forragem, possibilitando a persistência da pastagem, são necessários para o aperfeiçoamento da produção da forrageira. O manejo do pastejo eficaz inclui: altura de entrada no piquete, resíduo de pós-pastejo, período de descanso, período de ocupação, com base em recomendações técnicas de acordo com a espécie forrageira, clima, solo e categoria animal (PAULINO & TEIXEIRA, 2010). Um manejo adequado proporciona redução de custos, riscos econômicos e impactos ambientais, a melhoria no bem-estar animal, a geração de um produto tido como mais saudável e com qualidade nutricional elevada (DALEY et al., 2010)

A utilização de forrageiras tropicais pode apresentar algumas limitações, em alguns casos estas limitações estão associadas ao rápido crescimento vegetativo na estação chuvosa,

e a escassa oferta de matéria seca na estação seca (BRANCO et al., 2002). O principal critério a ser considerado, durante a avaliação do alimento volumoso, independente do tipo de forrageira utilizada, é o teor de matéria seca. Quase sempre, forragens com matéria seca muito baixa ocasionam a necessidade de consumo de alta quantidade de massa verde, o que possibilita ser um fator limitante em algumas situações (SILVA et al., 2010).

Pastagens tropicais e subtropicais são eficientes quando relacionam a quantidade de radiação com a produção de massa seca, mas para ter essa relação, as plantas têm que estar sadias e supridas as suas necessidades hídrica e nutricional (SILVA JÚNIOR et al., 2010). O desenvolvimento das pastagens também é influenciado por fatores climáticos, tais como temperatura, luminosidade e precipitação. A temperatura varia com as estações do ano, principalmente em regiões de altas latitudes, com sua diminuição no outono e inverno, influenciando o metabolismo das plantas (SANTOS, 2006).

As gramíneas de clima tropical e subtropical se distinguem das forrageiras de clima temperado por apresentarem ponto de saturação de luz mais elevada e baixo ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, ausência de fotorrespiração e fotossíntese máxima a temperaturas entre 30 a 35 °C e a mínima a temperaturas de 10 a 15 °C (RODRIGUES, 2004).

A pastagem é a fonte de nutrientes mais econômicas no mundo, mas principalmente em países em desenvolvimento (SILVA et al., 2010). Ebani (2009) considera que, além do aspecto econômico, utilizar as pastagens de forma racional colabora para preservação dos recursos renováveis e permite a produção de leite em condições ambientais favoráveis.

### **3.6 Características da *Urochloa* spp.**

O gênero *Brachiaria* foi descrito primeiramente por Trinius (1834) como uma subdivisão de *Panicum* e depois elevado a gênero por Grisebach (1853). Alguns autores como Morrone e Zuloaga (1992) e Gouveia-Santos (2001) seguem a proposta de Webster (1987) e Filgueiras (1995) transferindo algumas espécies forrageiras de *Brachiaria* ao gênero *Urochloa*.

De acordo com Bogdan (1977) existem cerca de 100 espécies deste gênero distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais, sendo a África oriental o centro de origem das principais espécies. Possuem ampla adaptação, abarcando desde várzeas inundáveis, margens de florestas ralas e até regiões semidesérticas. Entretanto, comumente ocorrem em vegetação de savana. Algumas espécies de *Urochloa* também se adaptam a solos de baixa

fertilidade e mal drenados. Conforme Almeida (1998) para o estabelecimento de pastagens, os capins deste gênero apresentam vantagens em relação a outros gêneros, devido a sua boa adaptação a solos ácidos, tolerância à baixa fertilidade dos solos e elevado rendimento de matéria seca.

As espécies *Urochloa arrecta*, *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. dictyoneura*, *U. humidicola*, *U. mutica* e *U. ruziziensis*, são as principais plantas forrageiras na América tropical (KELLER-GREIN et al., 1996). Soares Filho (1994) descreve a *U. brizantha* como uma espécie cosmopolita, perene, cespitosa, muito robusta, com laminas foliares linear-lanceoladas, colmos iniciais prostrados, mas produzindo perfilhos predominantemente eretos. Segundo Machado & Assis (2010) é uma das espécies mais adequadas para a produção de forragem e palha. Tem um potencial de produção que permite, em sistemas bem manejados, onde a pastagem é o principal alimento na dieta dos animais, a utilização de cinco ou mais UA ha<sup>-1</sup> (CANTARUTTI et al., 1999).

Segundo Oliveira (2010) a *U. brizantha* cv. Marandu, comumente chamada de capim-Marandu, oferece várias características desejáveis como resistência à cigarrinha das pastagens, alta produção de matéria seca, boa qualidade de forragem, elevada resposta à adubação, ótima produção de sementes, adequada cobertura de solo, concorrência com plantas daninhas, é adequada para utilização na forma de pasto vedado, não é atacada por formigas cortadeiras de folhas, tem estabelecimento rápido. Por outro lado, possui características desfavoráveis tais como baixa adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade, demanda manejo mais cuidadoso, dificuldade de adaptação em solos mal drenados, susceptível à cigarrinha da cana-de-açúcar e não é consumida por equinos.

Seu sistema radicular é vigoroso e profundo, o que lhe permite ter elevada tolerância à deficiência hídrica e a capacidade de absorver nutrientes nas camadas mais profundas do solo, podendo desenvolvendo-se em condições ambientais em que a maioria das culturas produtoras de grãos e das espécies utilizadas para cobertura do solo, não poderiam se desenvolver adequadamente (BARDUCCI et al. 2009).

### **3.7 Adubação das forrageiras**

O nitrogênio, fosforo e potássio são nutrientes que desempenham um papel importante nos processos de crescimento das pastagens e que permitem o uso mais eficiente da água, a maximização das reações enzimáticas, a translocação de carboidratos, o aparecimento e o

desenvolvimento de perfilhos, o tamanho e número de folhas e colmos, a intensidade de florescimento e a síntese de compostos orgânicos (COSTA, 2004). Segundo Kluthcouski & Aidar (2003) a adubação nitrogenada é fundamental na sustentabilidade dos sistemas agropecuários. Apesar de o nitrogênio estar presente no solo, formando parte do material orgânico e mineral, seu fornecimento é muito limitado. Ainda segundo esses autores este nutriente é esgotado rapidamente pelas pastagens, e para manter um solo produtivo, precisa-se produzir muita matéria orgânica, para a qual é necessário um bom suprimento de nitrogênio.

A quantidade de N no solo em muitas ocasiões não atende à demanda das gramíneas, as quais podem ser mais bem exploradas em relação à produtividade quando recebem esse nutriente na adubação nitrogenada. Quando as forrageiras *Urochloa* são adubadas com N, ocorrem grandes alterações na taxa de acúmulo de matéria seca ao longo das estações do ano (FAGUNDES et al., 2005). De acordo com Werner (1986) o nitrogênio é elemento essencial na formação das proteínas, cloroplastos e outros compostos que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos constituintes da estrutura vegetal, participando desta maneira na manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras. O N tem proporcionado aumento imediato e visível na produção de forragem, isso acontece porque a quantidade de N disponibilizada pela matéria orgânica do solo, não tem sido suficiente para abastecer a necessidade das plantas forrageiras (KLUTHCOUSKI & AIDAR, 2003).

Além disso, o nitrogênio é o nutriente mais impactante em termos de ganhos na produção de forragem e para que possa ser usado como ferramenta para maximizar esta produção, o solo deve estar devidamente corrigido especialmente com fósforo e com os demais macros e micronutrientes. O potássio, por sua vez, também pode limitar a resposta da produção de forrageiras de maior exigência nutricional, onde as relações inadequadas dos nutrientes podem prejudicar a nutrição mineral das plantas (BERNARDI; RASSINI, 2008). Segundo Werner (1984) as adubações de manutenção com potássio realizado anualmente são suficientes para o desenvolvimento das pastagens.

Em outro estudo Werner (1994) considera o N como nutriente chave para a manutenção da produtividade das pastagens assim como o P é para o estabelecimento da mesma, este é considerado o nutriente mais importante depois do N devido às funções que cumpre, como o papel que desempenha na respiração vegetal, influi no armazenamento, transporte e utilização de energia no processo fotossintético e na síntese das proteínas.

O fósforo desempenha um papel indispensável no desenvolvimento radicular e no perfilhamento de *Poaceae*. Este nutriente está relacionado ao metabolismo energético da

planta, pois participa de todos os ciclos metabólicos das plantas, os quais estão relacionados ao seu gasto de energia, tornando-se limitante à capacidade produtiva (HEINRICHS; SOARES FILHO, 2014). Segundo Novais & Smyth (1999) em solos tropicais o P é considerado o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das pastagens e afeta principalmente o crescimento da raiz e assim a sua produtividade. A eficácia da adubação fosfatada depende de vários fatores, entre eles o tipo de solo e a fonte de P utilizado. Os solos argilosos precisam de maiores quantidades de fosfato para suprir as necessidades das plantas que os solos arenosos. As braquiárias são mais eficientes na utilização do P disponível no solo e estão adaptadas a baixos teores do nutriente, não requerendo mais do que 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FERTILIDAD, 1982). Em pastos já estabelecidos, a fertilização fosfatada pode ser realizada a lanço, na superfície do solo. Onde ocorre maior concentração de nutrientes e de raízes e a disponibilidade de água é favorecida, beneficiando a absorção do fósforo pelas plantas (SOUSA et al., 2007).

### **3.8 Degradação das pastagens**

Segundo Macedo (1995) designa-se como degradação de pastagem ao processo evolutivo de perda de vigor, produtividade e da capacidade de recuperação natural de uma dada pastagem, tornando-a incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas daninhas. A degradação de pastagens não é um fenômeno localizado e sim mundial. Aproximadamente 20% das pastagens mundiais (naturais e cultivadas) estão degradadas ou em processo de degradação, chegando a ser até três vezes maiores nas regiões mais áridas do planeta (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2004).

Segundo Dias-Filho (2011) uma pastagem pode ser considerada degradada dentro das distintas condições onde pode ser encontrada, podendo ser denominadas como “degradação agrícola” e “degradação biológica”. Havendo na degradação agrícola um aumento na proporção de plantas daninhas na pastagem, diminuindo gradualmente a capacidade de suporte. Já na degradação biológica, o solo perde a capacidade de sustentar a produção vegetal de maneira expressiva, levando à substituição da pastagem, ou simplesmente ao aparecimento de áreas desprovidas de vegetação ficando o solo descoberto (DIAS-FILHO, 2014).

Freitas et al. (2000) avaliaram a densidade do solo em área nativa e em pastagens

degradadas e não degradadas de capim-Marandu, na camada superficial de 0-10 cm e não encontraram variação entre pastagens degradadas e não degradadas, porém foi maior que as encontradas em cerrado nativo e atribuíram este resultado ao pisoteio dos animais. Estes autores também encontraram níveis de fertilidade do solo menores em pastagens degradadas, com maior acidez e menor saturação por bases, além de menores teores de cálcio + magnésio, potássio, enxofre e fósforo constituindo desta maneira a fertilidade do solo um fator importante a ser considerado na degradação das pastagens.

De acordo com Dias-Filho (2011) não existe uma metodologia uniforme para caracterizar os indicadores de degradação de pastagens. Isto ocorre devido à conceituação da degradação da pastagem que é relativa a boa produtividade para aquela pastagem e local. Assim, uma pastagem natural em determinado local, embora agronomicamente e biologicamente produtiva (i.e., não degradada), pode ter uma capacidade produtiva média bem menor do que uma pastagem cultivada considerada degradada em outro lugar. Desta maneira, os indicadores da degradação de uma determinada pastagem dependem da produtividade considerada boa para aquela pastagem (DIAS-FILHO, 2014).

### **3.8.1 Estágios de degradação**

Dias-Filho (2011) propõe uma classificação de degradação de pastagens composta de quatro níveis de degradação (Tabela 2) a qual apresenta as diversas variações de degradação agrícola e biológica de pastagens, observadas em distintas regiões tropicais e baseada em parâmetros facilmente medidos no campo e menciona também que a classificação dos estádios de degradação de uma dada pastagem é uma ação necessária e importante para o levantamento do potencial produtivo da propriedade.

**Tabela 2.** Estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda temporal na capacidade de suporte (QCS) e nível de degradação (Nível).

<b>ED</b>	<b>Parâmetro limitante</b>	<b>QCS (%)</b>	<b>Nível</b>
1	Vigor e solo descoberto	Até 20	Leve
2	Estádio 1 agravado + plantas invasoras	21-50	Moderado
3	Estádio 1 agravado ou morte das forrageiras (degradação agrícola)	51-80	Forte
4	Solo descoberto + erosão (degradação biológica)	> 80	Muito forte

Fonte: Dias-Filho (2011).

Nascimento Jr. et al. (1994) definem pastagem excelente como as que apresentam plantas com ótimo crescimento e cobertura vegetal pela forrageira de interesse, com ausência de plantas daninhas e pastagem pobre as que apresentam plantas em avançado estado de degradação, carentes de cobertura vegetal e invadida por plantas indesejáveis.

A degradação das pastagens está baseada num processo contínuo de alterações que tem início com a queda do vigor e da produtividade da pastagem. Neste processo, no topo encontram-se as maiores produtividades e à medida que se utiliza cada vez mais a pastagem, avança-se no processo de degradação. Até certo ponto haveria possibilidade de se conter a queda de produção e manter a produtividade por meio de atuações mais simples, diretas e com menores gastos econômicos. A partir desse ponto, chega-se ao processo de degradação propriamente dito, onde somente ações de reforma, geralmente mais drásticas apresentariam respostas favoráveis. A ruptura dos recursos naturais seria a última etapa do processo de degradação das pastagens, onde ocorre a degradação do solo, evidenciado pela compactação e a conseqüente diminuição das taxas de infiltração e capacidade de retenção de água, causando erosão e assoreamento de nascentes, lagos e rios, prejudicando assim os recursos naturais (MACEDO, 2013).

Dias-Filho (2014) considera que com a recuperação de apenas um percentual pequeno das áreas de pastagens degradadas já haveria um forte impacto positivo no aumento da produção e da eficiência pecuária, sendo possível estimar que, para cada hectare de pastagem recuperada, cerca de três hectares poderiam ser liberados para outros fins não pecuários (agrícolas, florestais ou de preservação), sem que houvesse perda na produção da pecuária nacional. Além do mais, em pastagens recuperadas, a duração das fases de recria e engorda

pode ser acelerada substancialmente. Sendo de extrema importância destacar que em pastos recuperados, é possível alcançar alta produtividade e menor emissão de gases efeito estufa por animal, tornando a pecuária uma atividade economicamente mais rentável e ambientalmente mais sustentável (DIAS-FILHO, 2011). Ademais, Paulino & Teixeira (2009) também relatam que a degradação da pastagem faz com que haja redução na produtividade, perda de matéria orgânica do solo, ou emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera, com redução no sequestro do carbono na pastagem. Recuperar uma pastagem degradada e torná-la uma pastagem bem manejada representa vantagem no aspecto de retirada de CO<sub>2</sub> atmosférico.

### **3.9 Atributos do solo em relação à pastagem**

As forrageiras tropicais exercem papel fundamental nas propriedades físicas do solo. Devido às propriedades de seu sistema radicular fasciculado, abundante e profundo, proporciona ao solo capacidade de estruturação, infiltração de água e aumento do carbono total no perfil do solo (MACEDO, 2013).

A baixa produtividade das pastagens tem sido relacionada ao manejo inadequado da fertilidade do solo e das espécies forrageiras, comprometendo a qualidade física e química do solo. Ações como adubação, calagem e manejo efetivo das espécies forrageiras têm melhorado consideravelmente a produtividade da pastagem (OLIVEIRA et al., 2003; CORRÊA et al., 2007). Haag & Dechen (1986) mencionam que esta produtividade pode ser limitada pelo grau de fertilidade do solo e pela ocorrência de Al<sup>3+</sup> e Mn em níveis tóxicos.

A condição de fertilidade do solo afeta a produção de biomassa aérea e radicular, que por sua vez afeta diretamente a quantidade de resíduos depositados no solo e conseqüentemente o sequestro de carbono. Estudos realizados em diversas partes do mundo afirmam que as práticas de manejo da fertilidade do solo em pastagens podem aumentar de 50 a 150 kg ha<sup>-1</sup> a quantidade de carbono sequestrado (PAULINO & TEIXEIRA, 2009).

Segundo Imhoff et al. (2000) e Giarola et al. (2007) a camada superficial do solo é afetada pela pressão do casco dos animais, que provocam a diminuição da porosidade e o aumento da densidade do solo. Silva et al. (2003) assinalaram que aumentando a taxa de lotação animal principalmente em pastagens de baixa produtividade, ocorre um aumento na pressão de pastejo, pois aumenta diretamente a carga animal sobre o solo, comprometendo ainda mais os atributos do solo. Os primeiros 150 mm de profundidade é a parte mais afetada de solos sob pastagens, onde densidade e porosidade tornam-se as propriedades físicas mais

amplamente utilizadas na avaliação da sua qualidade física (LANZANOVA et al., 2007).

Realizar o pastejo em solos com umidade elevada e com baixa cobertura vegetal não é recomendado, nestas condições, aumenta consideravelmente o efeito do pisoteio dos animais nos atributos físicos do solo, o que releva a importância de realizar um manejo adequado da lotação animal, em relação à quantidade de pastagem e da cobertura vegetal existente (SILVA et al., 2003; SARMENTO et al., 2008). A melhoria da fertilidade do solo aumenta a produtividade das pastagens e permite intensificar a sua utilização com maior taxa de lotação animal (LUGÃO et al., 2003).

Salton et al. (2008) observaram que os sistemas sob pastagem apresentaram, significativamente, maior quantidade de solo na camada de 0 a 5 cm contendo agregados grandes (classe > 4,76 mm), em relação aos sistemas agrícolas, indicando que o sistema radicular da pastagem tem efeito na formação dos macro-agregados do solo. Segundo Gavande (1976) os agregados médios são mais favoráveis ao crescimento das plantas que os agregados excessivamente grandes ou muito pequenos, tornando-se um critério importante para avaliar a estrutura de um solo, mesmo que a estabilidade da estrutura se refira à resistência que os agregados do solo apresentam.

#### 4. Referencias bibliográficas

ALMEIDA, J.C.R. **Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias**. 1998. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

ARAÚJO FILHO, J. A., MESQUITA, R. C. M., LEITE, E. R. Avaliação de pastagem nativa. In: **PUIGNAU, J. P. (Ed.). Dialogo XL; utilização e manejo de pastejais**. Montevideo: IICA, p. 61-70. 1994.

AZEVEDO, A. C., & DALMOLIN, R. S. D. (2004). **Solos e Ambiente: Uma Introdução**. Santa Maria: Palloti. 100 p.

BARDUCCI, R. S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, É.; PUTAROV, T. C.; SARTI, L. M. N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Gênese: Porto Alegre, p. 9-26, 1999.

BERNARDI, A.C. de C. RASSINI, J.B. Produção de matéria seca pelo capim-tanzânia em função de doses e relações de nitrogênio e potássio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28., 2008, Londrina. **Anais...** Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental. Londrina: Embrapa Soja: SBCS, 2008. 1 CD-ROM.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4ª. Coleção Brasil Agrícola. São Paulo, Ícone, 1999. 336 p.

BOGDAN, A.V. **Tropical pasture and fodder plants**. London: Longman, 1977. 475 p.

BRANCO, A. F.; CECATO, U.; MOURO, G. F. Avaliação Técnico econômica da Suplementação de Vacas Leiteiras em Pastagem. In: Antônio Ferriani Branco; Ulysses Cecato; Elir de Oliveira; Maria Lúcia Varenga Parizotto; Geraldo Tadeu dos Santos. (Org.). **Simpósio sobre Sustentabilidade da Pecuária Leiteira na Região Sul do Brasil (II Sul Leite)**. 2 ed. Maringá: 2002, v. 2, p. 123-142.

BRANDÃO, S. L., & LIMA, S. d. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 46-56, 2002.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba. ESALQ, 1997. 132 p.

CANTARUTTI, B.R; MARTINS, E.C; CARVALHO DE, M.M.; Pastagens. In: ALVAREZ. H.V; GUIMARÃES G. T.P; RIBERIO C.A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: Viçosa, MG. 1999. p. 332-341.

CORRÊA, L. A., CANTARELLA, H., PRIMAVESI, A. C., PRIMAVESI, O., FREITAS, A. R., & SILVA, A. Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim-coastcross. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 763-772, 2007.

COSTA, N. L. **Formação, manejo e recuperação de pastagens em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004.

CRUZ, A., PAULETO, E., FLORES, C., & SILVA, J. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 1105-1112, 2003.

CUBILLA, M. M.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. **Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay**. Asunción. 2012. 83 p.

DALEY, C. A.; ABBOTT, A.; DOYLE, P. S.; NADER, G. A.; LARSON, S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 10, 2010.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 179186, 2004.

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. **rev., atual. e ampl.** Belém, PA, 2011.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2014. 36 p. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0513; 402).

DORAN, J. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Appl. Soil Ecol.** v. 5, p. 3-11, 2000.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** v. 26, p.20–26, 1997. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

DORAN, J.; PARKIN, T. D. DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B.A. (Eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, p. 3-21. 1994.

EBANI, R. **Estudo da viabilidade técnica da produção de leite a pasto irrigado em malha na região do Rio Preto DF.** 2009.

ETCHEVERS, B.; JORGE, D. **Técnicas de diagnóstico úteis na medição da fertilidade de solo e o estado nutricional dos cultivos.** Terra Latinoamericana. 1999. 209-219 p.

FAGERIA, N. K. & STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente. Santo Antonio de Goiás;** Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documento/Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644, 197).

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M. DA; GOMIDE, J. A.; et al. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 397–403, 2005.

FATECHA, A. **Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay.** Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaria de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupé, Paraguay, 1999.

FAO. The state of food and agriculture. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/dcsAFD>. Acesso em: 25 jul. 2013. FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FERREIRA, M. M., & DIAS JÚNIOR, M. S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo**. Lavras: UFLA. 1996.

FERTILIDAD de suelos y nutrición de plantas. In: CIAT. **Informe Anual 1981**: Programa de Pastos Tropicales. Cali, 1982. p.171-194. (CIAT. Série, 02STP(2)82).

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal, Uberlândia**, v. 24, n. 3, p. 24-30, July/Sept. 2008.

FILGUEIRAS, T.S. GRAMINEAE (POACEAE). In: Rizzo, J. A., coordenador. **Flora dos Estados de Goiás e Tocantins. Coleção Rizzo**. Goiânia: Editora UFG, 1995. v. 17, 143 p.

FREITAS, L. F.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E. LARRÉ-LARROUY, M. C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 157-170, Jan. 1993.

GAVANDE, S. A. **Física del suelos: principios y aplicaciones**. México: Editorial Limusa. 1976. 351 p.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 863-873, 2007.

GOUVEIA-SANTOS, A. Urochloa. In: LONGHI-WAGNER, H. M.; BITTRICH, V.; WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J. **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Volume 1- Poaceae. São Paulo: Hucitec, 2001. p. 243-245.

GUIMARÃES, R. M. L. **Indicadores quantitativos e semi-quantitativos da qualidade física do solo**. 2011, 102f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

GLIESSMAN, S. Agroecologia: **Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000.

GRISEBACH, A. Gramineae. In: LEDEBOUR, C.F. (Ed.). **Flora Rossica**. 1853. v. 4. 469 p.

HAAG, H. P.; DECHEN, A. R. **Eficiências mineral em plantas forrageiras**. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA V. P. Pastagens fundamento de exploração racional. Piracicaba. FEALQ. 1986. p 51-71.

HEINRICH, R.; SOARES FILHO, C. V. Adubação e manejo de pastagens. II Simpósio de adubação e manejo de pastagens. **Anais...** . p.7-8, 2014. Birigui-SP: Boreal.

HILLEL, D. **Soil and Water: physical principles and processes**. New York: Academic Press. 1972.

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

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B.L.; HANSON, J. Natural variation in Brachiaria and existing germoplasm collections. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. do (Ed.) **Brachiaria: biology, agronomy, and improvement**. Cali: CIAT; Brasília, DF: EMBRAPA-CNPGC, 1996. p. 16-42. (CIAT Publication, n. 259).

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo- planta**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres LTDA, 1979. 263 p.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. **Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 185-223.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

LAL, R. Physical manamegement of soils the tropics: Priorities for the 21 century. **Soil Science**, v.165, n.3, p. 191-207, 2000.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LEITE R. J. C. **Dinâmica sazonal da pastagem e do fósforo no sistema solo-pastagem-animal em campos naturais da Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências. Área do conhecimento: Pastagens) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

LÓPEZ G. O. **Estudo de reconhecimento de solos, capacidade de uso da terra y proposta de ordenamento territorial perliminar da região Oriental do Paraguay**. Asunção: Governo do Paraguay M MAG-SEAM-BM. Projeto de Racionalização do Uso da Tierra (Préstamo N° 3445-PA). 1995.

LUGÃO, S.M.B.; RODRIGUES, L.R. de A.; ABRAHÃO, J.J. dos S.; MALHEIROS, E.B.; MORAIS, A. de. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. (acesso BRA-006998) adubadas com nitrogênio. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 25, p. 371-379, 2003.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros. **Anais...** . p.28-62, 1995. Brasília.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. de; ARAUJO, A. R. de. **Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação**. Embrapa Gado de Corte. 2013.

MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. de. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 415-422, 2010. MAG. **Censo Agropecuário Nacional**. Asunción, Paraguay. v. 5. 2008. 89 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicações de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MORAES, A., PELISSARI, A., LUSTOSA, S. B. C. **Histórico do Desenvolvimento Pecuário na Região Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava. 2008.

MORRONE, O.; ZULOAGA, FILHO Revisión de las especies sudamericanas nativas e introducidas de los géneros *Brachiaria* y *Urochloa* (Poaceae: Panicoideae: Paniceae). **Darwiniana**, v. 31, p. 43-109, 1992.

NASCIMENTO JÚNIOR, D. DO; QUEIROZ, D. S.; SANTOS, M. V. F. DOS. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. Simpósio sobre manejo de pastagem. **Anais...** v. 11, p.107–151, 1994. Piracicaba: FEALQ.

NETTO, L. T. (2008). **Qualidade Física e Química de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Tese (Mestrado em ciências agrárias) - faculdade de agronomia y Medicina Veterinaria. Universidade de Brasília. 2008.

NEVES, C. M. N. das et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, n. 2, p. 45-53, junho 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**. 1. ed. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, P., TRIVELIN, P., & OLIVEIRA, W. Eficiência da fertilização nitrogenada com

uréia (15N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 613-620, 2003.

OLIVEIRA, C. S. **Morfogênese e composição químico-bromatológica da *brachiaria brizantha* cv. Mg4 submetida à adubação nitrogenada e alturas de corte.** 2010. Dissertação (Mestre em Zootecnia) - Área de Concentração em Produção de Ruminantes, Itapetinga – BA. 2010.

PALMIERI, F. & LARACH, J. O. I. **Pedologia e Geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B., orgs. Geomorfologia e Meio Ambiente. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 59-122.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E. M. DE L. C. Sustentabilidade de pastagens–manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa. **PUBVET**, v. 4, p. 872, 2010.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. **Lições de fertilidade de solo: pH.** Londrina: IAPAR, 1997. 47 p. (IAPAR. Circular, 93).

PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Fertilidade do solo para pastagens produtivas.** 2004. Piracicaba, SP: FEALQ. 480 p.

REICHERT, J. M., SUSUKI, L. A., REINERT, D. J., HORN, R., & HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. **Mecânica do solo.** In: van LIER, Q. J., ed. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S. B., & CORREA, G. **Pedologia: Bases para distinção de Ambientes. Núcleo de estudos de planejamento e uso da terra-NEPUT.** 2002. 338 p.

RIBEIRO, K. D., MENEZES, S. M., MESQUITA, M. G., & SAMPAIO, F. M. Propriedades Físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de lavras-MG. Lavras: **Ciencia Agrotécnica**.v. 31, 2007.

RODRIGUES, D. C. **Produção de forragem de cultivares de Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas.** 2004. 94f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

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

SANTOS, F. G. **Aspectos morfológicos e índice climático de crescimento dos capins Brachiaria brizantha cv. Marandu, Cynodon dactylon cv. Tifton 85 e Panicum maximum cv. Tanzânia, para a região agropastoril de Itapetinga-BA.** 2006. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2006

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R. de A.; CRUZ, M.C.P. da; LUGÃO, S.M.B.; CAMPOS, F.P. de; CENTURION, J.F.; FERREIRA, M.E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com Panicum maximum Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 183-193, 2008.

SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., BOENI, M., CONCEIÇÃO, P. C., C., A. F. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; CORSI, M. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil Tillage and Research**, v. 70, p.83-90, 2003.

SILVA, J. J.; CARVALHO, D. M. G.; GOMES, R. A. B.; RODRIGUEZ, A. B. C. Produção de leite de animais criados em pastos no Brasil. **Revista Veterinária e Zootecnia**, v. 17, n. 1, p. 26-36, 2010.

SILVA JÚNIOR, L. C.; LUCAS, F. T.; BORGES, B. M. M. N.; SILVA, W. J. Influência da radiação fotossinteticamente ativa no crescimento e Desenvolvimento de forrageiras tropicais. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 7, p. 63- 67, 2010.

SOARES FILHO, C.V. Recomendações de espécies e variedades de Brachiaria para diferentes condições. **In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM**, 11. 1994, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 25-48.

SOUSA, D.M.G.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L. Adubação fosfatada. In: MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. **Cerrado, uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. 1. ed. Planaltina, 2007, 145-176 p.

SHUKLA, M.K.; LAL, R. & EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil Till. Res.**, v. 87, n. 2, p. 194-204, 2006.

SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil. 2008. 138 f.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TISDALE, S. L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: MacMillan Publishing Company, 1993. 14-44 p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic Matter and Water-Stable Aggregates in Soils. **European Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p.141-161. Jun. 1982.

TRINIUS, C.B. Panicearum genera. **Mem. Acad. Sci. Petersb**, v. 3, p. 194, 1834.

U.S.D.A. **Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy.** Fifth Edition. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia, 1992.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Land degradation in drylands (LADA):** GEF grant request. Nairobi, Kenya, 2004.

VILELA, L., SOUZA, D. M., & SILVA, J. E. **Adubação Potássica** In: Souza, D. M. G.; Lobato, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. Brasília. Embrapa informação e tecnológica. p. 169-182. 2004.

WEBSTER, R.D. **The Australian Paniceae (Poaceae).** Stuttgart: J. Cramer, 1987. 322 p.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens.** Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 1984. (Boletim Técnico, 18).

WERNER, J.C.; HAAG, H.P. Estudos sobre a nutrição mineral de capins tropicais. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, São Paulo: Instituto de Zootecnia, 1986. 49 p. (Boletim Técnico, 18).

WERNER, J. C. Adubação de pastagens. Simpósio sobre calagem e adubação de pastagens. **Anais...**, p. 209-222, 1994. Piracicaba: FEAQ.

## 5. CAPÍTULO 1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DE SOLOS SOB PASTAGEM DE CAPIM-MARANDU

### 5.1 Introdução

Atualmente, a degradação dos solos é um dos problemas mais preocupantes no mundo, por provocar a perda da qualidade ambiental, prejudicando diretamente o crescimento das plantas. Na atividade agropecuária o uso do pastejo intensivo pode provocar a redução da qualidade física e química do solo. Em termos físicos por promover aumento da resistência mecânica à penetração e da densidade do solo, com a redução da macroporosidade (LANZANOVA et al., 2007), enquanto que em termos químicos por diminuir os níveis de cátions trocáveis, matéria orgânica, P-lábil e pH do solo (COSTA et al., 2015).

No Paraguai existe uma grande necessidade de conhecimento básico dos atributos químicos e físicos do solo em sistemas de pastagens, o qual permite planejar mais acertadamente estratégias para o uso sustentável do solo, considerando suas potencialidades e restrições. Sendo assim, as pesquisas devem ser orientadas a fornecer dados consistentes para a implantação de técnicas que garantam a exploração da atividade agropecuária em longo prazo mantendo o correto funcionamento do sistema solo-planta-animal, sem limitações físicas e químicas que provoquem algum tipo de impedimento ao desenvolvimento das pastagens.

Dentro deste contexto, os atributos químicos e físicos são indicadores que podem caracterizar os solos nos diferentes sistemas de manejos e determinar as alterações sofridas ao longo do tempo, sendo a degradação destes as principais causas de perda, tanto da qualidade estrutural como da fertilidade do solo e, conseqüentemente, da produtividade das pastagens.

Entre os indicadores físicos mais utilizados, encontram-se os tradicionais como densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência à penetração e, os propostos por Reynolds et al. (2002) porosidade no domínio dos macroporos (PDmacro %), capacidade de armazenamento de água do solo (CC/PT) e capacidade de armazenamento de ar do solo (CAt/PT). Quanto aos atributos químicos, os teores dos nutrientes, CTC, pH e MO são os indicadores mais comuns da qualidade química dos solos.

A realização de estudos que analisem estes atributos e que forneçam informações é de extrema importância para a recuperação e aumento do potencial produtivo das pastagens. Desta forma, o objetivo do trabalho é caracterizar os atributos químicos e físicos de solo sob

pastagem de capim-Marandu da região de Jasy Cañy-Paraguai.

## **5.2 Material e métodos**

### **5.2.1 Descrição do local de experimento**

O experimento iniciou-se em novembro de 2015 e foi conduzido em quatro propriedades de produtores de leite, localizadas na colônia Nova Aliança, distrito de Jasy Kañy pertencente ao departamento de Canindeyú, Paraguai.

Segundo a classificação de Köppen-Geiger o departamento de Canindeyú é considerado como Cfa, clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

Os solos da região segundo López et al. (1995) são da ordem Alfisol e que conforme Embrapa (2013) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, podem ser classificados como Argissolos, Luvisolos e, ainda, Planossolos, variando em função do horizonte de subsuperfície e das características químicas observadas no perfil de solo. No entanto, ao analisar os solos do local de estudo através da avaliação de perfis de solo e dos dados analíticos, constatou-se que as características observadas não se adequavam a ordem Alfisol proposta por este autor, mas sim, a classificação de Neossolo Quartzarênico. Estes solos são essencialmente quartzosos, desprovidos de materiais primários alteráveis, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A–C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes, a profundidade varia de 150 cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico (Embrapa, 2013).

### **5.2.2 Descrição das áreas utilizadas**

Área 1 - A propriedade possui uma dimensão de 15 ha. Segundo o histórico da área o processo de conversão da floresta para a atividade agropecuária iniciou-se em 1996, retirando a madeira de importância econômica para a utilização na propriedade e para a fabricação de carvão e realizando queima para a limpeza geral da área. Nos anos seguintes foram cultivados milho, mandioca, algodão, gergelim e feijão. A pastagem de capim-Marandu, foi estabelecida há 10 anos de forma manual, e desde então, utilizada continuamente para o pastejo dos

bovinos. Nunca foi adubado ou realizado algum tipo de controle químico durante o cultivo da pastagem.

Área 2 - É uma propriedade formada por 10 ha, em 1991 houve a retirada das árvores e queima da vegetação rasteira. Esta área, antes de ser cultivada com pastagem, foi preparada convencionalmente para cultivar milho, algodão, mandioca e sésamo, durante 10 anos. Teve um descanso de dois anos e, a seguir, um ano de cultivo de sésamo. A partir desta data, iniciou-se a utilização da área pelos animais, tendo o uso do capim-Marandu 12 anos.

Área 3 - Esta área apresenta uma associação de pastagem com árvores e representa um sistema silvopastoril com 13 ha. A pastagem foi estabelecida com capim-Marandu há 15 anos e há oito anos vem sendo utilizada para o pastejo dos bovinos. Não foi realizado nenhum tipo de trato cultural nesta área, somente a implantação da pastagem de forma manual.

Área 4 - Esta propriedade possui 10 ha. Em 1990 a floresta nativa foi retirada utilizando a queima, para realizar o cultivo de algodão durante o primeiro ano. A pastagem de capim-Marandu foi implantada há 25 anos, sendo utilizada para o pastejo dos bovinos desde então.

### **5.2.3 Coleta de amostras de solos**

Em cada propriedade foi definida uma área de estudo de 1500 m<sup>2</sup> para a realização das amostragens de solo.

As amostras para os atributos físicos do solo foram coletadas por meio de abertura de trincheiras em cinco pontos dentro de cada área de estudo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Em cada camada foi coletada uma amostra indeformada utilizando anel de aço com volume interno de 100 cm<sup>3</sup>. Uma vez coletado, o anel foi envolto em papel alumínio, enumerado e colocado em bandejas. As amostras foram levadas para o laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Centro-Oeste para determinar a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, porosidade no domínio dos macroporos, capacidade de armazenamento de água e de ar dos solos. Após estas avaliações, as mesmas amostras foram utilizadas para determinar a granulometria dos solos.

Para determinar os atributos químicos foram coletadas amostras deformadas de solo. Para isto, dentro de cada área de estudo (1500 m<sup>2</sup>) foi selecionado uma área homogênea, tendo-se o cuidado de não realizar coletas próximo de cercas e de caminho dos animais. Cada área foi percorrida em zigue-zague em toda a sua extensão, retirando-se com uso de trado

holandês, aleatoriamente, amostras simples em 10 pontos diferentes e, em cada ponto, em duas camadas (0-10 cm e 10-20 cm). Logo, as amostras individuais de cada camada foram colocadas juntas em um balde plástico limpo, sendo bem misturadas, retirando-se em torno de 300 g de solo e colocadas em um saco plástico limpo e devidamente etiquetado, prontamente, as amostras foram remitidas ao laboratório.

#### **5.2.4 Análises físicas**

##### **5.2.4.1 Granulometria**

Para a determinação granulométrica, foi quantificado o teor de argila, silte e areia pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

##### **5.2.4.2 Densidade de solo**

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas com anéis de aço com volume de 100 cm<sup>3</sup>. No laboratório, as amostras foram retiradas do anel e colocadas em recipientes para logo serem levadas para a estufa a 105°C, por aproximadamente 48 horas, até atingir peso constante, e, posteriormente pesado. Descontando-se o peso do recipiente, tem-se a massa do solo seco para o cálculo da densidade do solo.

##### **5.2.4.3 Porosidade total, macro e microporosidade**

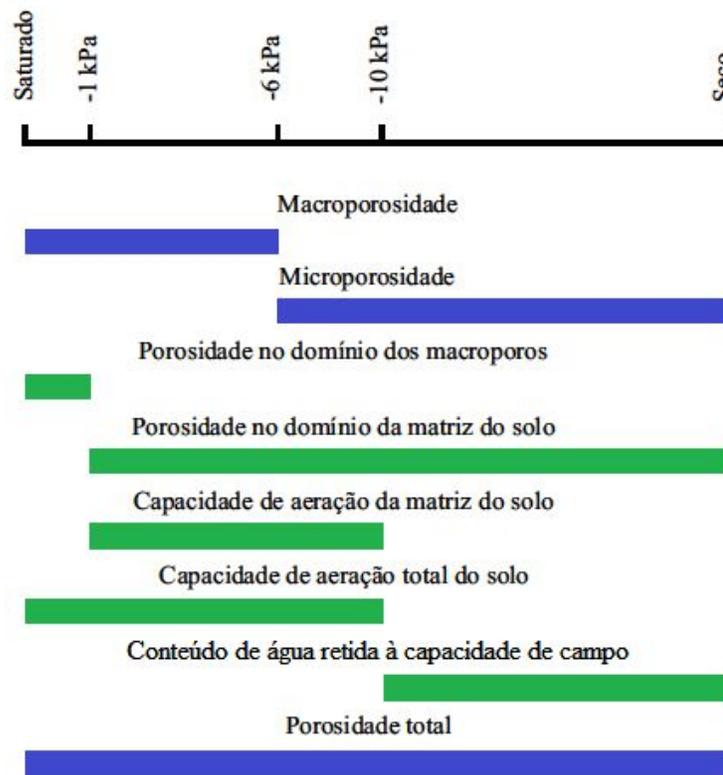
A macroporosidade e microporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). As amostras (anéis) saturadas foram colocadas na mesa de tensão de 6 KPa de coluna de água a qual retira a água dos macroporos. Após pesagem, antes e depois de ir à estufa a 105 °C, foi calculado o volume de macro e microporos contidos nas amostras. Logo foi definido o volume de poros totais do solo ocupado por água e ar, somando os valores de macroporosidade e microporosidade já obtidos (EMBRAPA, 1997).

##### **5.2.4.4 Porosidade no domínio dos macroporos, capacidade de armazenamento de água e capacidade de armazenamento de ar**

Estes atributos foram determinados conforme descrito por Reynolds et al. (2002). Os dados foram obtidos mediante os anéis coletados, utilizando a mesa de tensão, onde a

porosidade no domínio dos macroporos (PDmacro %), foi determinada pelo volume de poros drenados entre a saturação e o potencial mátrico de -1 KPa, equivalente aos poros com diâmetro superior a 300 µm.

A capacidade de armazenamento de água do solo (CC/PT) foi calculada por meio das relações entre o conteúdo de água do solo, retido no potencial matricial equivalente à capacidade de campo, determinada no potencial matricial de -10 KPa, com a porosidade total do solo e o indicador capacidade de armazenamento de ar do solo (CAat/PT) foi avaliado pelo quociente entre o volume de poros drenados entre o solo saturado e o potencial matricial de -10 kPa (CAat), em relação à porosidade total do solo. Na Figura 2, é ilustrada a distribuição dos poros em razão dos indicadores tradicionais e os propostos por Reynolds et al. (2002).



**Figura 2.** Indicadores de qualidade física do solo relativos à porosidade entre o solo saturado e seco, os tradicionais e os propostos por Reynolds et al. (2002). Adaptado de Taubinger, L. (2016).

#### **5.2.4.5 Resistência mecânica dos solos à penetração**

Os níveis de resistência do solo à penetração (RP) foram realizados no mesmo dia da coleta dos anéis. Foram analisados cinco pontos de RP ao redor de cada ponto no qual foram coletados os anéis, totalizando 25 pontos analisados em cada área de estudo. Para esta avaliação foi utilizado um penetrômetro eletrônico, marca Falker, modelo PLG1020.

#### **5.2.5 Análises químicas**

Para as análises químicas do solo, as amostras coletadas foram enviadas ao laboratório para determinar os atributos químicos do solo: teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e P disponível, saturação por bases (V%), saturação por cálcio (Ca%), saturação por potássio (K%), saturação por magnésio (Mg%), saturação por alumínio (m%), acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), CTC, pH e matéria orgânica. O P e  $\text{K}^+$  disponíveis foram obtidos pelo extrator de Mehlich 1. Estas determinações químicas seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (1997).

#### **5.2.6 Análise estatística**

A interpretação dos dados dos atributos físicos dos solos foi realizada por meio da análise de intervalo de confiança das médias, a 95% de confiança, conforme metodologia proposta por Payton et al. (2000).

Para os cálculos estatísticos, bem como para confecção dos gráficos foi utilizado o programa estatístico Sigma Plot for Windows (Sigma Plot; Systat Software Inc) versão 12.0.

Quanto aos atributos químicos não foi realizada análise estatística, somente a descrição das características químicas dos solos.

### **5.3 Resultados e discussão**

#### **5.3.1 Caracterização química de solos sob pastagem de capim-Marandu**

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises químicas do solo realizadas nas quatro áreas experimentais. A média dos valores de pH do solo variaram de 5,1 a 5,2 nas áreas analisadas, com pouca variabilidade entre as camadas resultando em solos medianamente ácido em todas as profundidades conforme a classificação de Alvarez et al.

(1999). Solos ácidos são comuns em condições tropicais onde a precipitação pluviométrica com águas contendo CO<sub>2</sub> provoca a lixiviação das bases das camadas superiores para as inferiores, sendo substituído nos colóides pelos íons H<sup>+</sup> (EMBRAPA, 2010). Outro fator importante sobre o qual são submetidos estes solos e que contribuem para sua acidificação, são as altas temperaturas que ocorrem durante o ano inteiro. Estas aceleram o processo de intemperismo químico, que conforme Lepsch (2002) o aumento de 10 °C na temperatura dobra a velocidade das reações químicas. Portanto, a intensidade de ação do intemperismo químico está diretamente proporcional ao aumento da temperatura.

**Tabela 3.** Análise química de solo sob pastagem de capim-Marandu, Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016.

Atributos do Solo	Áreas				Média
	1	2	3	4	
0 – 10 cm					
pH CaCl <sub>2</sub>	5,3	5,1	5,2	5,1	5,2
MO (g dm <sup>-3</sup> )	12,1	16,1	16,1	10,7	13,8
P mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )	2,4	2,2	4,2	1,4	2,6
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,1	1,0	0,9	1,4	1,1
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,8	2,0	2,2	2,0	2,3
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,15	0,11	0,15	0,12	0,13
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CTC pH 7,0	6,88	5,88	6,04	6,33	6,3
V (%)	58,8	51,8	54,8	54,9	55,1
m (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca%	15,4	16,7	15,6	21,8	17,4
Mg%	41,3	33,3	36,8	31,3	35,7
K%	2,2	1,9	2,5	1,9	2,1
10 – 20 cm					
pH CaCl <sub>2</sub>	5,2	5,0	5,2	5,1	5,1
MO (g dm <sup>-3</sup> )	6,7	12,1	9,4	8,1	9,1
P mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )	1,5	1,6	2,2	1,1	1,6
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,0	0,9	0,7	0,9	0,9
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,8	1,9	1,8	1,7	1,8
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,12	0,10	0,11	0,10	0,11
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CTC pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,51	5,59	4,86	5,27	5,3
V (%)	51,2	51,2	52,7	51,2	51,6
m (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca%	17,2	15,4	13,8	17,4	16
Mg%	31,8	34	36,8	31,9	33,6
K%	2,2	1,8	2,3	1,9	2,1

Embora o pH tenha sido inferior a 5,3, os valores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{m}\%$  foram nulos o que indica que não existem problemas de toxicidade de  $\text{Al}^{3+}$  nas áreas analisadas. O teor médio de saturação por bases ( $\text{V}\%$ ) para a profundidade de 0-10 cm foi de 55,1%, e para 10-20 cm foi de 51,6%. Estes resultados demonstram que a maioria dos solos possuem  $\text{V}\%$  elevado (>50%), podendo ser classificados como eutróficos.

O teor de MO em geral variou de 6,7 a 16,1  $\text{g dm}^{-3}$ , obtendo um teor médio maior na camada superficial de 0-10 cm com 13,8  $\text{g dm}^{-3}$  em relação à camada de 10-20 cm com 9,1  $\text{g dm}^{-3}$ . Segundo EMBRAPA (2010) o teor de matéria orgânica em solos argilosos se consolida em torno de 25 a 30  $\text{g dm}^{-3}$  e em solos de textura média ou arenosa em valores inferiores. Costa et al. (2000) mostram que a maior parte do sistema radicular das gramíneas encontra-se nos primeiros centímetros do solo os quais permitem maior concentração de matéria orgânica nas camadas superficiais.

Os valores de CTC tiveram média geral na camada de 0-10 cm de 6,3  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e na camada de 10-20 cm de 5,3  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , pode-se notar que os solos sob pastagem apresentaram CTC mais elevada na camada superficial onde o teor de MO também é maior, o que demonstra que a MO é relativa à CTC do solo. Os resultados são corroborados por EMBRAPA (2010) a qual menciona que a matéria orgânica pode representar mais de 80% do valor total da CTC. Por outro lado, estes resultados também correspondem a solos característicos de alta percentagem de areia como são os solos da região amostrada, conforme pode-se observar na Tabela 4.

O teor médio de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada de 0-10 cm foi de 1,1  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e na camada de 10-20 cm foi de 0,9  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , valores muito abaixo de 2,1  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (CQFS-RS/SC, 2004). Nesta mesma linha seguem os dados de  $\text{Ca}\%$ , com valor médio geral de 16,6 %, considerado muito abaixo do adequado, uma vez que um solo com boas condições nutricionais para as culturas apresenta saturação de Ca entre 65-85%. Em solo ácido com baixo teor de  $\text{Ca}\%$  o nutriente  $\text{Ca}^{2+}$  não se encontra disponível para a planta, podendo provocar deficiências nutricionais nas plantas.

Quanto aos valores de  $\text{Mg}^{2+}$  pode-se observar que ficou bem acima de 0,6  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (CQFS-RS/SC, 2004), nível crítico deste nutriente. Também é possível verificar que os valores de  $\text{Mg}\%$  variaram de 31,3% a 41,3%, confirmando excesso de  $\text{Mg}^{2+}$  no complexo de troca dos solos, considerando que, saturações adequadas de  $\text{Mg}^{2+}$  segundo Kelling & Peters (2004) se encontram entre 6 e 12%. Ainda, o alto teor de  $\text{Mg}^{2+}$  trocável presente nos solos desta região poderia estar impedindo a nutrição adequada de  $\text{Ca}^{2+}$  para as plantas.

O teor médio de  $K^+$  para a região é de  $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , valor inferior a  $0,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  que segundo Cubilla et al., (2012) dá início à classe de teores elevados. Para os valores de  $K\%$ , com uma média de  $2,08 \%$ , encontra-se no limite de boa disponibilidade de  $K^+$  para as plantas e saturações entre 2 e 5% são avaliadas como apropriadas para que haja uma boa nutrição (Kelling & Peters, 2004).

Os resultados de saturação das bases dão indícios de possível desequilíbrio entre elas. Tendo em conta que, teores mínimos de  $Ca\%$  (65 a 85%),  $Mg\%$  (6 a 12%) e de  $K\%$  (2 a 5%) (Kelling & Peters, 2004) devem ser garantidos para que as culturas possam produzir bem, utilizando uma ampla faixa de variação dessas relações, considerando as necessidades nutricionais específicas de cada uma delas.

O teor médio de P é de  $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$  na camada de 0-10 cm e de  $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$  para a camada de 10-20 cm. Os dados indicam que os solos apresentam baixa disponibilidade de P para essa região, considerando que Cubilla et al. (2007) encontrou nível crítico de  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  de P nos solos do Paraguai. Estes resultados são muito similares aos encontrados no trabalho de monitoramento da fertilidade dos solos da Região Oriental do Paraguai, onde Fatecha (2004) constatou em mais de 80% das análises de solos, que o P se encontrava em níveis baixos ou insuficientes para as plantas. O alto grau de intemperismo e baixos teores de fósforo na forma disponível para as plantas são características muito específicas de solos tropicais (Rocha et al., 2005), isto agregado ao fato da falta de hábito de fertilizar as pastagens agravam ainda mais a situação. De acordo com Santos et al. (2002) cerca de 70% dos solos cultivados com pastagens apresentam alguma limitação quanto à fertilidade, sendo que a baixa disponibilidade de fósforo é um dos fatores que limitam a produtividade de forrageiras em solos de regiões tropicais.

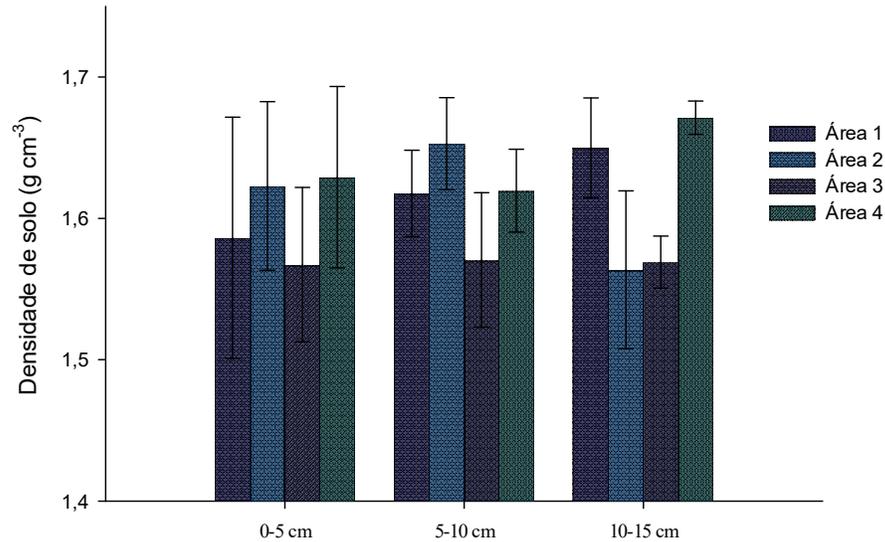
### **5.3.2 Caracterização física de solos sob pastagem de capim-Marandu**

Na Tabela 4 está apresentada à análise granulométrica das áreas avaliadas, demonstrando que não houve variação da classe textural entre as profundidades, sendo classificadas como arenosas. Observa-se um pequeno aumento da argila e silte em profundidade e um comportamento inverso em relação a areia.

**Tabela 4.** Granulometria do Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu, localizado no distrito de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016.

Atributos do solo	Áreas				Média
	1	2	3	4	
0-5 cm					
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	867	910	898	888	890,75
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	123	73	83	92	92,75
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	9	17	19	20	16,25
Classe textural	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	
5-10 cm					
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	849	900	900	914	890,75
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	126	79	89	62	89
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	25	21	11	24	20,25
Classe textural	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	
10-15 cm					
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	848	905	885	878	879
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	125	70	93	92	95
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	28	25	22	30	26,25
Classe textural	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	

Os valores médios de densidade de solo das quatro áreas analisadas estão apresentados na Figura 3. A análise estatística demonstrou diferenças significativa entre as áreas nas profundidades de 5-10 cm e de 10-15 cm. Na camada de 5-10 cm, a área 3 apresentou o valor mais baixo de densidade 1,57 g dm<sup>-3</sup> e a área 2 o valor mais alto 1,65 g dm<sup>-3</sup>, havendo diferenças significativas entre elas. Segundo Bonini et al. (2012) em um mesmo tipo de solo a densidade pode sofrer alterações, variando conforme sua estruturação e pelo manejo inadequado, o qual pode provocar a compactação dos solos, alterando a estruturação.



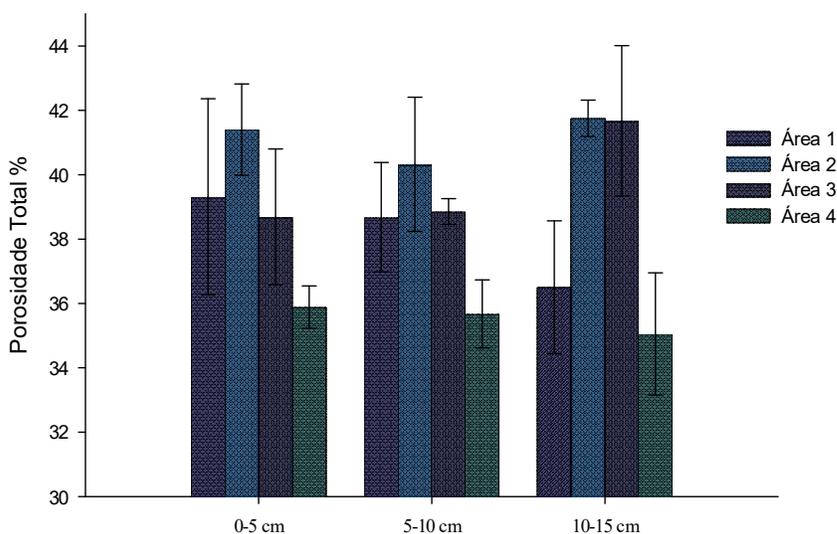
**Figura 3.** Densidades de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

A densidade dos solos na camada de 10-15 cm coincide com o histórico de cada área, havendo uma relação entre a densidade de cada área com o tempo de uso (área 1: 20 anos, área 2: 10 anos, área 3: 15 anos, área 4: 25 anos) destas, quanto maior o tempo de uso da área, maior foi a densidade registrada. Assim, a área 4 com 25 anos de pastagem implantada, sendo utilizada para o pastoreio animal, apresentou a maior densidade de solo, no entanto, Santos et al. (2011) afirmam que existem poucos experimentos de longa duração que permitam identificar alterações na QS devido aos efeitos acumulados do sistema de manejo. O peso das camadas superficiais é um fator que pode ter contribuído para o adensamento da camada mais profunda do perfil do solo desta área, de acordo com Azevedo & Dalmolin (2004) existe uma tendência do aumento da densidade dos solos nas camadas mais profundas do perfil devido ao peso dos horizontes. Estas mudanças interferem nas propriedades físico-hídricas dos solos, como na porosidade de aeração, retenção de água do solo e na resistência mecânica do solo a penetração (KLEIN, 2014).

Por outro lado, o adensamento registrado nessa área não indica necessariamente que os solos da região se encontram em um processo de degradação, uma vez que a densidade do solo analisada isoladamente não fornece informações suficientes para avaliá-lo. Ainda, os

valores encontrados em todas as camadas se encontram dentro da faixa considerada adequada para solos arenosos. Segundo Arshad et al. (1996) densidade acima de 1,70-1,75 g cm<sup>-3</sup> são valores que prejudicam o desenvolvimento de raízes. Portanto, as densidades do solo encontradas neste estudo estão dentro dos níveis de sustentabilidade e não impõe grandes restrições ao desenvolvimento das plantas nas camadas analisadas.

A porosidade total dos solos apresentou diferenças significativas entre as áreas em todas as profundidades. Na Figura 4, observa-se que na camada de 0-5 cm a área 4 diferiu significativamente da área 2, na camada de 5-10 cm a área 4 diferiu de todas as demais áreas, e, na camada de 10-15 cm apresentou diferenças significativas com área 2 e 3, sendo igual a área 1. Nota-se que, a área 4 (Figura 3) foi a que apresentou os valores mais altos de densidade e, conseqüentemente, manifestou os menores valores de porosidade total.

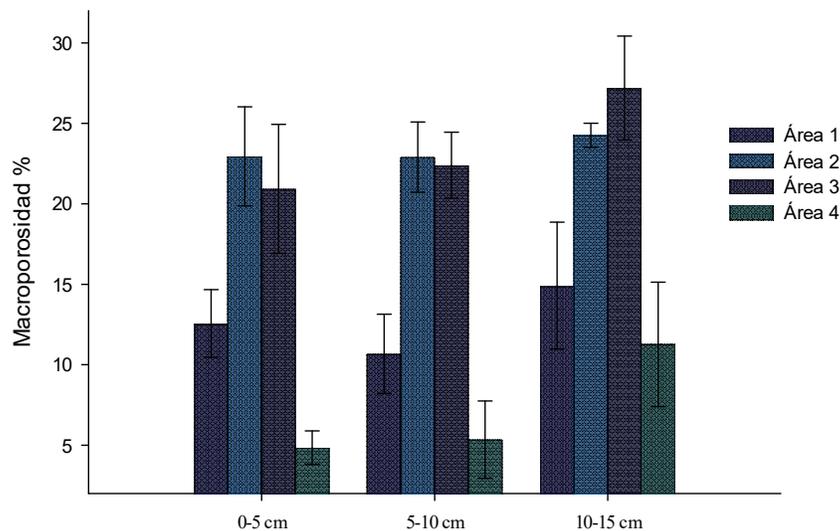


**Figura 4.** Porosidade total de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

No entanto, é possível observar que os dados variaram de 35% a 41%, valores que se encontram dentro da faixa de 35%-50% de porosidade total para solos arenosos de acordo com a classificação de Azevedo & Damolin (2004), demonstrando que não existem limitações associadas à porosidade destes solos. Esta propriedade pode variar conforme a textura, profundidade, teor de matéria orgânica, preparo do solo e sistema de cultivo (FAGERIA &

ESTONE, 2006).

Os resultados de macroporosidade exibiram diferenças significativas entre as áreas em todas as profundidades. Na Figura 5 verifica-se que os valores da macroporosidade foram maiores na camada de 10-15 cm comparados as camadas superiores.



**Figura 5.** Macroporosidade de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

Os menores valores de macroporosidade na superfície do solo são devido ao processo de adensamento do solo, neste caso especificamente, deve-se ao tráfego de animais sobre o campo de pastagem, fazendo com que as camadas mais superficiais apresentem redução de macroporosidade. De acordo com Araújo (2004) a compactação dos solos faz com que esses poros sejam reduzidos, aumentando os microporos e reduzindo a porosidade total, porém em menor proporção que a macroporosidade.

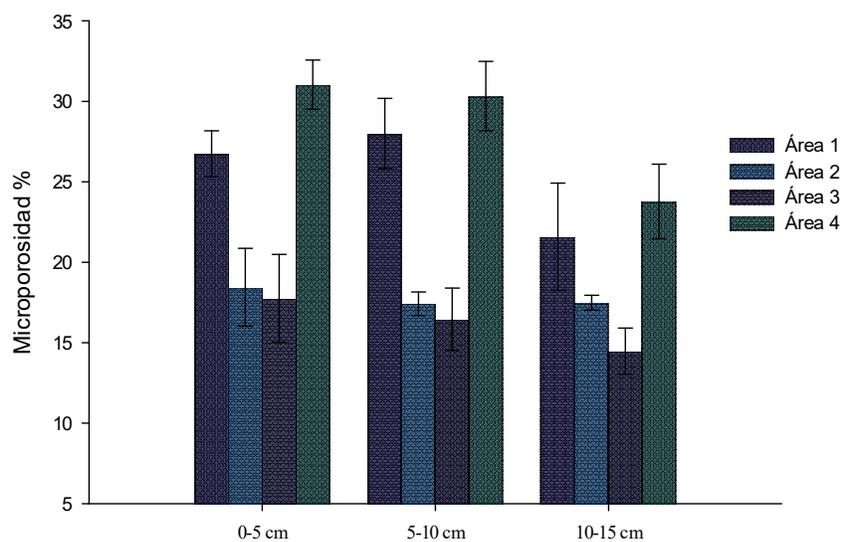
Estes resultados coincidem com os valores encontrados de microporosidade (Figura 6), em que as camadas superiores (0-5 cm e 5-10 cm) apresentaram maiores valores em relação à camada inferior de 10-15 cm.

Porém, apesar dos dados de macroporosidade serem inferiores na camada superficial, os resultados encontrados na maioria das áreas e em todas as camadas estão acima do limite mínimo de 10%, que segundo Grable & Siemer (1968) é considerado ideal para que ocorra a adequada difusão de oxigênio no solo, fator muito importante para o correto desenvolvimento

das plantas, com exceção da área 4, na qual as camadas superiores não alcançaram o mínimo requerido de macroporosidade. Bonini et al. (2015) ressaltam que valores de macroporosidade inferiores a 10% são críticos para o bom desenvolvimento das plantas, inclusive indicam níveis de degradação. Isto provavelmente ocorre em consequência do pastejo intensivo dos animais por tempo prolongado nesta área, o qual também gerou maiores densidades, manifestando-se em baixa porosidade total e baixa macroporosidade e que poderia estar reduzindo a capacidade do sistema radicular de explorar o solo.

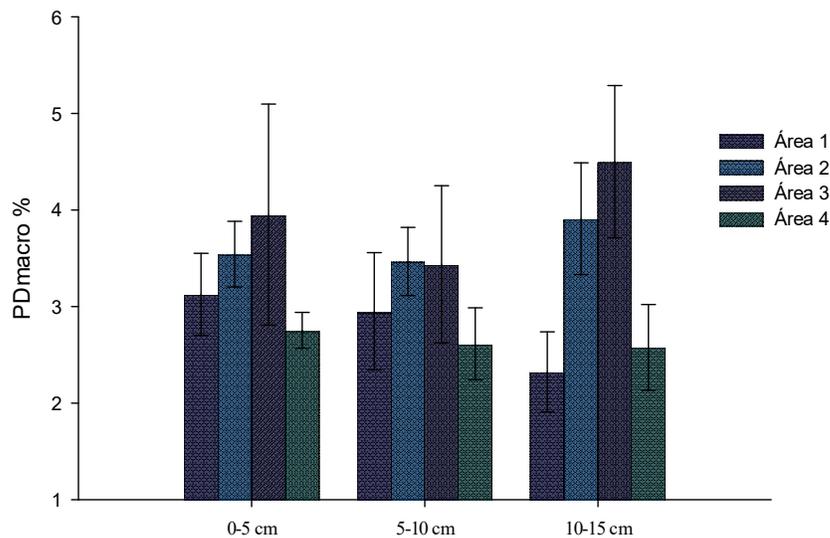
De acordo com Beutler et al. (2003) os solos com macroporosidade reduzida induzem ao crescimento lateral das raízes, as quais diminuem seu diâmetro para poder penetrar nos poros menores. Por outro lado, Lanzanova et al. (2007) menciona que o uso de pastejo intensivo pode implicar a redução da qualidade física e química do solo, principalmente por poder aumentar a resistência mecânica à penetração e a densidade do solo, com a redução da macroporosidade.

A microporosidade dos solos sob pastagem *U. brizantha* apresentou diferenças significativas entre as áreas e em todas as camadas (Figura 6). Os valores das áreas analisadas variaram de 14% a 31%. Sendo que, as áreas 1 e 4 demonstraram os valores mais altos de microporosidade, resultado inversamente proporcional a macroporosidade. Estes valores de microporosidade podem ser considerados benéficos por contribuir com a maior retenção de água nestes solos, os quais apresentam textura arenosa com elevada porosidade e rápida infiltração de água.



**Figura 6.** Microporosidade de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

A porosidade no domínio dos macroporos diferiu significativamente entre as áreas avaliadas (Figura 7). Os resultados desta avaliação coincidem com os resultados da macroporosidade, em que, as áreas que apresentaram os maiores valores de macroporosidade também apresentaram maiores valores de porosidade no domínio dos macroporos, este indicador pode ser correlacionado com a macroporosidade já que expressa a porosidade dos maiores poros que retém água até a tensão de 1 KPa e que representa parte do volume poroso correspondente a macroporosidade.



**Figura 7.** Porosidade no domínio dos macroporos de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

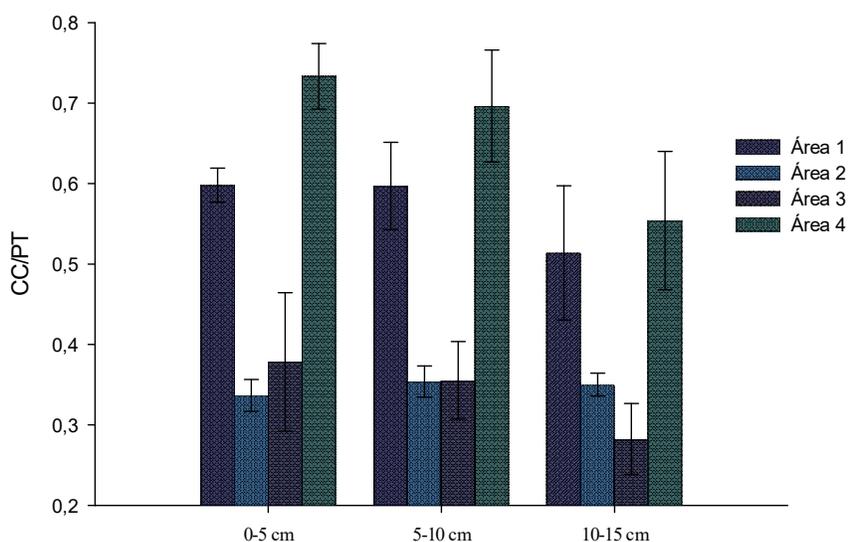
Reynolds et al. (2002) observaram que a porosidade no domínio dos macroporos foi maior em solo de mata em comparação aqueles sob cultivo e concluiu que o resultado obtido foi devido ao maior volume de poros resultantes de fissuras e atividade de raízes e minhocas, condição que também é encontrada no sistema de pastagens, pois, possui um sistema radicular fasciculado, abundante e profundo, proporcionando ao solo maior volume de poros.

Este atributo apresentou valores ao redor de 3% para todas as áreas, principalmente nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, em um solo com a mesma textura dos solos deste trabalho, resultados similares foram encontrados por Fidalski et al. (2008) ao avaliar solos sob pastagem de coastcross e amendoim forrageiro nas camadas 0-7,5 cm e 7,5-15 cm encontrando 3% para ambas camadas. De acordo com Reynolds et al. (2008), não há um consenso estabelecido para utilização de valores ótimos de porosidade no domínio dos macroporos, entretanto, esta propriedade fornece uma visão importante da capacidade de infiltração e aeração do solo logo após a saturação.

A capacidade de armazenamento de água apresentou diferenças significativas em todas as áreas, e também, nas distintas camadas. As áreas que apresentaram maiores valores de microporosidade também apresentaram maior capacidade de armazenamento de água. Em

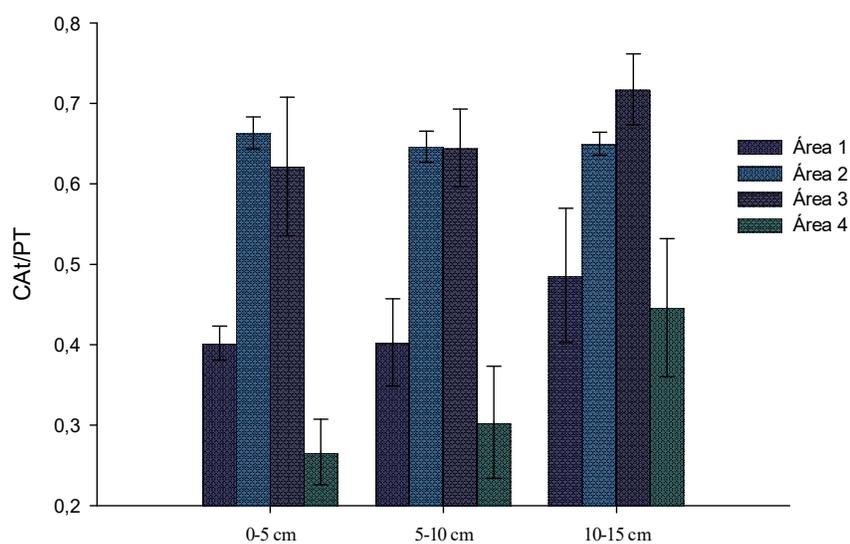
geral, os valores variaram de 0,28 a 0,73, sendo que a área 4 apresentou valores de CC/PT acima de 0,66, em ambas as camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), o que poderia estar comprometendo a relação considerada adequada de 2/3 de água e 1/3 de ar, e consequentemente, prejudicando a adequada difusão de oxigênio necessária para a respiração das raízes.

Na Figura 8 é possível observar que a área que mais se aproximou ao valor ideal de 0,66, foi a área 1, tanto na camada de 0-5 cm como na de 5-10 cm. As áreas 2 e 3 foram as que obtiveram os valores mais baixos de CC/PT, portanto, pode-se indicar que são as que apresentam maior aeração na capacidade de campo, demonstrando que existe predominância da ocupação do espaço poroso com ar nos solos destas áreas.



**Figura 8.** Capacidade de armazenamento de água de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

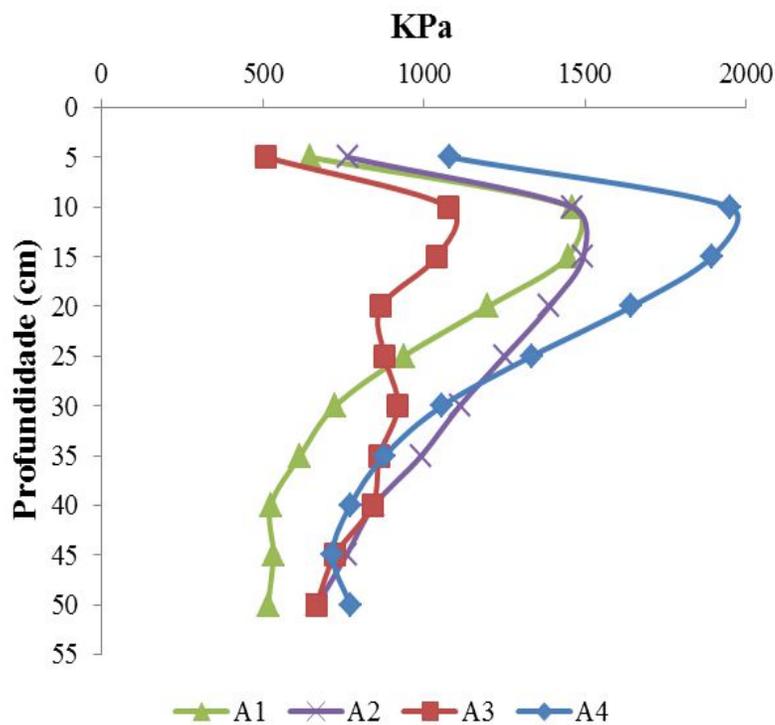
A capacidade de armazenamento de ar diferiu significativamente entre as áreas em todas as camadas. Os valores médios da capacidade de armazenamento de ar estão apresentados na Figura 9, na qual é possível verificar que as áreas 1 e 4 foram as que apresentaram os valores mais baixos deste indicador. No entanto, foram as que mais se aproximaram do valor de 0,34, em que, a área 4 apresentou valores abaixo do ideal.



**Figura 9.** Capacidade de armazenamento de ar de um Neosolo Quartzarênico sob pastagem capim-Marandu nas profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016. As barras representam o intervalo de confiança (95%).

Os atributos capacidade de armazenamento de água e de ar no solo, demonstraram que a área 1 tanto na camada de 0-5 cm como na camada de 5-10 cm, com 0,60 e 0,40, respectivamente, foi a que mais se aproximou da proporção ideal de 0,66 e 0,34, proposta por Reynolds et al. (2002) e que qualificam os solos com boa capacidade de armazenar água e ar, indicando que a porosidade na capacidade de campo se aproxima da relação considerada adequada com 2/3 de água e 1/3 de ar, estabelecendo condições ótimas para o crescimento das pastagens.

Os dados referentes à resistência à penetração dos solos das quatro áreas analisadas, não ultrapassaram o valor de 2000 KPa, ainda pode-se observar (Figura 10) que a maioria delas apresentaram como valor máximo 1500 KPa, sendo a área 4 a única que mais se aproximou a 2000 KPa, esta mesma apresentou os valores mais altos de densidade, os mais baixos de porosidade total e níveis abaixo do ideal para macroporosidade. Conforme Taylor et al. (1966), o valor de 2000 KPa é considerado restritivo para o crescimento das plantas e segundo a classificação de resistência a penetração de solos adaptado por Canarache (1990) e citado por Camargo & Alleoni (1997), estes resultados se encontram dentro da classe com baixa resistência a penetração e com pouca limitação ao crescimento das raízes.



**Figura 10.** Resistência à penetração de solos sob pastagem de capim-Marandu em quatro áreas analisadas na localidade de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016.

A resistência à penetração (RP) é um fator muito importante para o crescimento radicular, comparado à densidade do solo, é o indicador que melhor expressa à capacidade de crescimento das raízes, pois adiciona os efeitos tanto da densidade como da umidade do solo. Altos valores de densidade podem não ser limitantes ao crescimento das raízes quando o solo se encontra úmido, no entanto, quando este se encontra seco, poderá apresentar restrições ao crescimento radicular por apresentar valores elevados de RP (TARDIEU, 1994).

Ao analisar os dados de RP nas distintas camadas, nota-se que os valores mais elevados encontram-se na camada de 10-15 cm, de acordo com o histórico das áreas, o uso destas por um tempo prolongado e com a permanência de muitos animais em pastejo contínuo, foi um dos principais fatores que reduziu drasticamente a cobertura do solo, intensificando o pisoteio dos animais e desta maneira provocando maior pressão sob o solo chegando a atingir as camadas inferiores. Nas primeiras camadas também se identifica o comportamento da RP pela variação no teor de matéria orgânica a qual é maior na camada de 0-10 cm e logo começa a decrescer na camada de 10-20 cm (Tabela 3).

Também, pode-se observar que a partir de 20 cm de profundidade a RP começa a

decrecer, o que poderia estar relacionado ao conteúdo de areia que a partir da camada de 10 a 15 cm de profundidade começa a decrescer (Tabela 7). Em um estudo similar Ferreira (2005) encontrou que a RP diminuía significativamente com a diminuição do conteúdo de areia e aumento no conteúdo de argila em profundidade. A resistência mecânica de solos a penetração está muito relacionada ao tamanho e formato de partículas, mineralogia da argila, teor de matéria orgânica e composição química do solo (GERARD, 1965).

#### 5.4 Conclusões

De acordo com os atributos químicos analisados, os solos sob pastagem de capim-Marandu em Jasy Cañy, departamento de Canindeyú são caracterizados como medianamente ácidos, com ausência de toxicidade por  $Al^{3+}$ , boa saturação por bases, baixo teor de MO e de  $CTC_{pH\ 7,0}$ , carência de  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  e de P disponível e elevado teor de  $Mg^{2+}$  em relação ao  $Ca^{2+}$ .

Os atributos físicos para as áreas 1, 2 e 3 a exceção da área 4 encontram-se dentro das faixas consideradas adequadas para solos arenosos e não apresentam restrições físicas ao crescimento das plantas.

#### 5.5 Referências bibliográficas

ALVAREZ, V. H.; DIAS, L. E. & SANTOS, A. R. Solos corrigidos com doses estimadas a partir de diferentes critérios para definir a necessidade de calagem. 1. Teores de  $Ca^{2+}$  e  $Al^{3+}$ . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 22. Recife, 1989. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1990. p. 276-277.

ARAÚJO, A. G. **Estimativa e classificação da compactação de solo pelo tráfego de máquinas agrícola através da modelagem nebulosa**. 2004. 224 p. Tese (Doutorado em Sistemas digitais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, 1996. p.123-141.

AZEVEDO, A. C., & DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: Uma Introdução**. Santa Maria: Palloti, 2004. 100 p.

BEUTLER, A. N; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 849-856, 2003.

BONINI. C.S.B.; BONINI NETO. A.; HEINRICHS. R.; SOARES FILHO. C.V.; ALVES. M.C.; FEITOSA. D.G. Distribuição do tamanho de poros de um Latossolo cultivado com pastagem em recuperação com estilosantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLOS, 35, 2015, Natal. **Anais...** Natal: [s.n.], 2015.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba. ESALQ, 1997. 132 p.

CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; MIELNICZUK, J. **Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz, y girassol, bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay**. Asunción: CAPECO, 2012. 88 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C. dos S.B.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140269.

COSTA, O.V.; COSTA, L.M.; FONTES, L.E.F.; ARAUJO, Q.R.; KER, J.C. & NACIF, P.G.S. Cobertura do solo e degradação de pastagens em área de domínio de Chernossolos no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.843- 856, 2000.

CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; MIELNICZUK, J. Calibração visando à fertilização com fosforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio diretas no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1463-1474, 2007.

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. rev., atual. e ampl. Belém, PA, 2011.

DOS SANTOS, H. G. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**; Embrapa solos. 2013.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo** (2a.). Rio de Janeiro: Revista atualizada, p. 212. 1997.

FAGERIA, N. K. & STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. Santo Antonio de Goiás; Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documento/Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644, 197).

FATECHA, D. A. **Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay**. Tesis (Graduación como Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2004.

FERREIRA, A. N. J. **Avaliação da qualidade física de solo em pastagens degradadas da Amazônia**. Tese (Mestrado em agronomia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2005.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubação sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1583-1590, nov. 2008.

GERARD, C. J. The influence of soil moisture, soil texture, drying conditions, and exchangeable cations on soil strength. *Soil Science Society of America Journal*. **Anais...** . v. 29, p.641–645, 1965.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, p. 180-186, 1968.

KLEIN, V. A. Física do solo. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014.  
KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo.** EMBRAPA-CNPT, 2000. 36 p.

KELLING, K. A.; PETERS, J. B. The advisability of using cation balance as a basis for fertilizer recommendations. **2004 Wisconsin Fertilizer, Aglime, & Pest Management Conference Proceedings.** Disponível em: <<http://www.soils.wisc.edu/extension/FAPM/2004proceedings/Kelling1.pdf>>. Acesso em: 17/08/2016.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1131-1140, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000500028.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo.** Oficina de Textos, São Paulo, 2002. 178 p.

PAYTON, M.E.; MILLER, A.E. & RAUN, W.R. Testing statistical hypothesis using standard error bars and confidence intervals. *Commun. Soil Sci. Plant*, n. 31, p. 547-551, 2000.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131-146, 2002.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 8/31/ 2008. ISSN 0016-7061. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706108001821>>.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

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

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.

TAUBINGER, L. **Condutividade elétrica aparente, atributos do solo e variabilidade espacial de produtividade das culturas de milho e feijão**. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2016. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and too root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, v. 30, p. 217-243, 1994.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations to coarse textured materials. **Soil Science**, v. 102, n.1, p. 18-22, 1996.

## 6. CAPÍTULO 2. PRODUÇÃO DE CAPIM-MARANDU COM DIFERENTES ADUBAÇÕES

### 6.1 Introdução

Na região de Jasy Cañy-Paraguai a produção de leite constitui uma das principais formas de economia para os pequenos produtores, porém, o uso de insumos agrícolas, como adubos, calcários e outros não é praticado na produção de pastagens, geralmente em razão da falta de informação sobre sua importância principalmente, a adubação com NPK.

Considerando a baixa fertilidade da maioria dos solos tropicais e ao fato de que as gramíneas (C3 e C4) possuem altas taxas de crescimento e sistemas radiculares que são capazes de extrair rapidamente nitrogênio, fósforo e potássio, a falta de reposição destes nutrientes provoca deficiência nutricional das plantas. Esta deficiência acarretará em uma série de perdas econômicas, pois, a redução do vigor da planta compromete sua rebrota e em longo prazo, provoca a degradação das pastagens.

Melhorar a fertilidade do solo é uma das principais ações a ser realizadas para aumentar a produtividade das pastagens e que permitem intensificar a sua utilização com maior taxa de lotação animal (LUGÃO et al., 2003). Dentre os macronutrientes, o nitrogênio, o fósforo e o potássio desempenham papel fundamental nos processos de crescimento e metabolismo das gramíneas forrageiras. O nitrogênio é considerado o principal nutriente para a produção de pastagens, uma vez que acelera a formação e o crescimento de novas folhas e aumenta o vigor de rebrota, melhorando a sua recuperação após a desfolha, resultando em maior produção das pastagens, sempre e quando não ocorra deficiência dos demais nutrientes, necessários para o desenvolvimento das plantas.

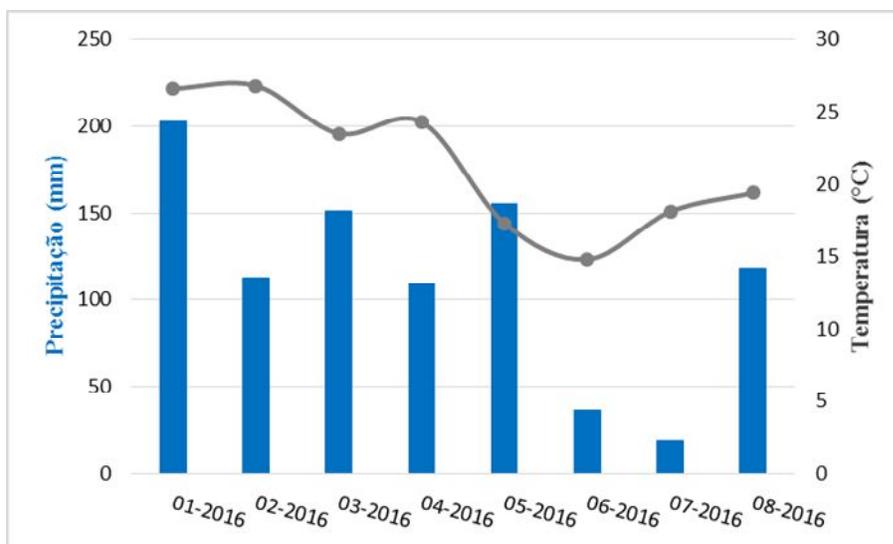
Contudo, a adubação das pastagens representa um grande investimento para o pecuarista e, portanto, entender a dinâmica de crescimento da pastagem em resposta a adubação para a utilização racional dos fertilizantes é de importância para se ter elevada produtividade, por isso, torna-se importante determinar a influência exercida pela adubação nitrogenada ou pela adubação com nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produtividade da pastagem de capim-Marandu.

## 6.2 Materiais e métodos

### 6.2.1 Descrição do local do experimento

As avaliações iniciaram em novembro de 2015 e foram conduzidas em quatro propriedades de produtores de leite, localizadas na colônia Nova Aliança, distrito de Jasy Kañy pertencente ao departamento de Canindeyú, Paraguai.

Segundo Embrapa (2013), os solos desta região podem ser classificados como Neossolo Quartzarênico. O clima apresenta precipitação média anual de 1680 mm e temperatura média de 21,5 °C, o vento predominante da região é o nordeste (DINAC, 2014). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o departamento de Canindeyú é considerado como Cfa, clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. Na figura 13 pode-se observar os dados climáticos referentes ao período do experimento.



**Figura 11.** Registros climáticos (temperatura e precipitação mensal) da estação CEFA de Curuguay observadas durante o período de janeiro de 2016 a agosto de 2016.

As áreas estudadas estão ocupadas com pastagem de capim-Marandu implantadas há mais de 10 anos, submetido ao pastejo bovino contínuo. Conforme a classificação de

degradação de pastagens descrita por Dias-Filho (2011) a pastagem da região se encontra com nível de degradação considerado moderado, com baixa produtividade e presença de plantas daninhas, devido à falta de manejo.

### **6.2.2 Coleta de amostras de solos**

A coleta de solo para análise química foi realizada em novembro de 2015, sendo a amostra composta formada por 10 subamostras coletadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade com trado holandês em cada propriedade, em uma área de 1500 m<sup>2</sup>.

### **6.2.3 Análises químicas**

Para as análises químicas do solo, as amostras coletadas foram enviadas ao laboratório para determinar os atributos químicos do solo: teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e P disponível, saturação por bases (V%), saturação por cálcio (Ca%), saturação por potássio (K%), saturação por magnésio (Mg%), saturação por alumínio (m%), acidez trocável (Al<sup>3+</sup>), CTC, pH e matéria orgânica. O P e K<sup>+</sup> disponíveis foram obtidos pelo extrator de Mehlich 1. Estas determinações químicas seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (1997).

### **6.2.4 Adubação da pastagem**

Após obter os resultados das análises químicas do solo (Tabela 5), cada propriedade foi delimitada em três parcelas de 500 m<sup>2</sup> e no dia 16 de janeiro de 2016, realizou-se a adubação da pastagem, a mesma foi aplicada a lanço utilizando: adubação zero, adubação nitrogenada (100 kg ha<sup>-1</sup>) e adubação com N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (100-40-80 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Como fonte de nitrogênio foi utilizada a ureia, para fósforo o superfosfato simples e para potássio o cloreto de potássio.

**Tabela 5.** Análise química do solo sob pastagem de capim-Marandu nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Yasy Cañy-Canindeyú, Paraguai. 2016.

Área	Prof. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K Ca Mg Al H+Al SB CTC V m Ca Mg K											
					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%					
1	0-10	5,3	12,1	2,4	0,15	1,1	2,8	0,0	2,83	4,05	6,88	58,8	0,0	15,4	41,3	2,2
	10-20	5,2	6,7	1,5	0,12	1,0	1,8	0,0	2,69	2,82	5,51	51,2	0,0	17,2	31,8	2,2
2	0-10	5,1	16,1	2,2	0,11	1,0	2,0	0,0	2,83	3,05	5,88	51,8	0,0	16,7	33,3	1,9
	10-20	5,0	12,1	1,6	0,1	0,9	1,9	0,0	2,73	2,86	5,59	51,2	0,0	15,4	34	1,8
3	0-10	5,2	16,1	4,2	0,15	0,9	2,2	0,0	2,73	3,31	6,04	54,8	0,0	15,6	36,8	2,5
	10-20	5,2	9,4	2,2	0,11	0,7	1,8	0,0	2,3	2,56	4,86	52,7	0,0	13,8	36,8	2,3
4	0-10	5,1	10,7	1,4	0,12	1,4	2,0	0,0	2,85	3,48	6,33	54,9	0,0	21,8	31,3	1,9
	10-20	5,1	8,1	1,1	0,1	0,9	1,7	0,0	2,57	2,7	5,27	51,2	0,0	17,4	31,9	1,9

**Tabela 6.** Tratamentos usados no estudo.

Tratamentos	Adubo	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )
T1	(Sem adubação)	0
T2	N	100
T3	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O	100-40-80

As doses adotadas estão baseadas nas recomendações da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal (ROLAS) 2004.

### 6.2.5 Avaliação da matéria seca da parte aérea e da altura do dossel da pastagem

A avaliação da pastagem foi realizada aos 60, 100, 155 e 223 dias após a adubação, coletando-se amostras dentro das parcelas de cada tratamento para determinar matéria seca e altura do dossel.

A produção de massa seca por ocasião dos cortes foi determinada a partir da forragem verde colhida nos quadrados com 0,25 m<sup>2</sup> (0,50m x 0,50m) de área útil (GARDNER, 1986), tomadas em três pontos dentro de cada unidade experimental. A pastagem foi cortada rente ao solo com uma tesoura. Após, o material verde coletado foi embalado em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60 °C, durante 72 horas, sendo posteriormente esse material pesado para determinar o peso da massa seca.

A altura do dossel foi determinada em 30 pontos aleatórios em toda a parcela, para cada unidade experimental, com o uso de um bastão graduado (sward stick) cujo marcador em

acrílico transparente corre por uma régua e marca a distância entre o topo da superfície do pasto (lâmina foliar mais elevada) e a superfície do solo, conforme metodologia proposta por Barthram (1986).

### **6.2.6 Análise estatística**

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três tratamentos e quatro repetições, totalizando 12 unidades experimentais. As unidades experimentais foram constituídas de parcelas com área de 500 m<sup>2</sup>.

Os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade, pelos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro, e submetidos à análise de variância, utilizando o software ASSISTAT, e ao apresentar significância foram realizadas a comparação de médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## **6.3 Resultados e discussão**

A produção de matéria seca da pastagem capim-Marandu coletada aos 60, 100, 155 e 223 dias após a adubação é apresentada na Tabela 7. Aos 60 dias constata-se uma variação de 2154,8 kg MS ha<sup>-1</sup> a 7112,6 kg MS ha<sup>-1</sup>, indicando uma produção triplicada de MS para os tratamentos com adubação em relação à sem adubação. Ao mesmo tempo observa-se que a produção vai diminuindo ao longo dos dias, encontrando-se aos 223 dias uma variação de 1033,3 kg MS ha<sup>-1</sup> a 2768,5 kg MS ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 7.** Produção de matéria seca e altura do dossel do capim-Marandu após a adubação com N ou NPK.

Tratamentos (kg ha <sup>-1</sup> )	Disponibilidade de forragem (kg MS ha <sup>-1</sup> )			
	60 dias	100 dias	155 dias	223 dias
0 (testemunha)	2154,8 b <sup>1</sup>	3119,7 b	1989,1 b	1033,3 b
N (100)	6376,1 a	5230,1 a	4464,8 a	2841,3 a
NPK (100-40-80)	7112,6 a	6013,0 a	4719,4 a	2768,5 a
Média	5214,5	4787,6	3724,4	2214,4
CV (%)	20,55	16,75	17,37	18,67
Tratamentos (kg ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)			
	60 dias	100 dias	155 dias	223 dias
0 (testemunha)	8,0 b <sup>1</sup>	14,9 b	7,9 b	6,7 b
N (100)	33,6 a	28,1 a	25,3 a	16,2 a
NPK (100-40-80)	36,6 a	27,1 a	25,6 a	14,2 a
Média	26,06	23,3	19,6	12,3
CV (%)	10,1	14,28	15,33	17,63

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A análise de variância mostrou diferenças significativas (P>0,05) dos tratamentos com adubações em relação à testemunha em todas as épocas analisadas. Estes resultados demonstram que a adubação é determinante para a recuperação de pastagens e para conseguir maiores produções ao longo do tempo, uma vez observada à baixa produtividade da testemunha em relação aos tratamentos com adubações.

A baixa produção de forragem no tratamento testemunha está relacionada à condição de degradação em que se encontravam as pastagens analisadas, efeito de um manejo inadequado resultando em uma oferta restringida de forragem, e que conseqüentemente compromete de maneira importante o rendimento dos animais tanto na produção de leite como no ganho de peso. Conforme Santos et al. (2016) o manejo inadequado dos solos nas pastagens tem sido a principal limitação à sustentabilidade da pecuária de corte e de leite. Em outro estudo, Costa et al. (2009) mencionaram que as principais causas da degradação tem sido a queda da fertilidade do solo devido a falta de reposição e ou manutenção de nutrientes extraídos e a falta de manejo. Soares et al. (2005) corroboram que a falta de manejo da forragem é considerada fator fundamental que avalia às pastagens como pouco produtivas.

Mourão da Silva et al. (2015) mencionam que nos trópicos e subtropicais as pastagens geralmente são estabelecidas em solos de baixa fertilidade ou com limitações severas para a

produção de culturas. Nessas condições, e quando as exigências nutricionais das pastagens não são atendidas, não se pode esperar altos níveis de produção.

A maior produção de MS acumulada foi obtida no tratamento com NPK até os 155 dias e no tratamento com N aos 223 dias, porém não houve diferenças significativas entre ambos os tratamentos. A falta de diferença entre os tratamentos N ou NPK podem estar atribuídos a que o nitrogênio era o nutriente mais limitante nas áreas analisadas e uma vez que foi suprido a aplicação do P e K não fizeram diferença na produção, pois de acordo com a “Lei do Mínimo ou de Liebig” a produção é limitada pelo nutriente que se encontra em menor disponibilidade, mesmo que todos os outros estejam disponíveis em quantidades adequadas (Malavolta, 1992).

Este aumento na disponibilidade de forragem é interessante, considerando que a alta produção de MS é importante para o pastejo bovino e, portanto, para o êxito da atividade pecuária. Por outro lado, estes resultados também ressaltam a importância do papel do N sobre a produção de matéria seca de pastagem. Segundo Monteiro (1995) o nitrogênio é o principal nutriente de maior influência na produção de matéria seca, especialmente em pastagens já estabelecidas, como é o caso do presente estudo. Este nutriente é essencial para a manutenção da produtividade e persistência da pastagem, e participa como principal constituinte das proteínas que atuam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura do vegetal (Santos et al., 2012).

Segundo Fagundes et al. (2005) devido a quantidade de N no solo, em muitas ocasiões, não atender as necessidades das gramíneas, estas podem ser mais exploradas em relação à produção e quando as forrageiras *Urochloa* são adubadas com N, ocorrem modificações na taxa de acúmulo de matéria seca ao longo das estações do ano. Kluthcouski & Aidar (2003) mencionam que o N promove aumento imediato e visível na produção de forragem, isso acontece porque a quantidade de N disponibilizada pela matéria orgânica do solo, não tem sido suficiente para abastecer a necessidade das plantas forrageiras.

Ydoyaga et al. (2006) trabalhando com métodos de recuperação de pastagens de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf), verificaram que a adubação nitrogenada propiciou aumento de 34% na produção de massa seca na maior dose de N (100 kg ha<sup>-1</sup>), neste estudo a adubação nitrogenada aos 60 dias promoveu aumento de 66,3 % na produção de matéria seca com a mesma dose de N, sendo observada alta capacidade responsiva do capim-Marandu à adubação nitrogenada. A adubação nitrogenada afeta positivamente o rendimento de forragem e as características morfogênicas e estruturais das gramíneas (Costa

et al., 2016). De acordo com Cecato et al. (2000) o nitrogênio induz processos metabólicos, os quais resultam em benefícios acentuados na produção de matéria seca e energia para as gramíneas, promovendo um crescimento diferenciado de órgãos e sistemas.

Viana Porto et al. (2012) encontraram que a eficiência de utilização do fósforo pelo capim-Marandu foi crescente até a dose máxima avaliada (150 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>). Lima et al. (2007) observaram produção de 3865 kg ha<sup>-1</sup> MS aos 75 dias após a semeadura ao trabalhar com doses e fontes de fosforo no capim-Marandu enquanto Benett et al. (2008) ao estudar a resposta do capim-Marandu a diferentes tipos de adubações observaram que ao aplicar adubações potássicas a quantidade de massa seca acumulada foi influenciada pelas fontes.

Quanto aos dados referentes à altura do dossel do capim-Marandu (Tabela 7) a análise de variância demonstrou diferenças significativas dos tratamentos com adubações em relação à testemunha. Aos 60 dias, a média do tratamento com adubação nitrogenada proporcionou um aumento de 76,2 % e a adubação com NPK 78,2 % em relação ao tratamento controle, os valores obtidos neste estudo são superiores aos encontrados por Silva Filho et al. (2014) que ao avaliarem a pastagem de capim-Marandu encontraram que a média das doses 250 e 350 kg ha<sup>-1</sup> de N, proporcionaram 14,07 % de acréscimo na altura em relação à testemunha.

Estes resultados explicam-se devido ao fato do N encontra-se em maior disponibilidade no solo e, conseqüentemente, para a planta. Segundo Alexandrino et al. (2003) este nutriente atua na zona de divisão celular, estimulando a maior produção de células e influenciando positivamente no alongamento foliar. Barbero et al. (2009) menciona que os fertilizantes nitrogenados aumentam significativamente a altura colaborando desta maneira para o desenvolvimento e produção das forrageiras. Benett et al. (2009) também encontraram que diferentes doses de fósforo aumentaram a produção de massa seca e altura da pastagem de capim-Marandu.

#### **6.4 Conclusão**

A adubação proporciona aumento significativo tanto na matéria seca como na altura do dossel da pastagem capim-Marandu, sendo este um fator fundamental para a produtividade das pastagens. No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos N ou NPK o que pode estar atribuído a que o nitrogênio era o nutriente mais limitante e uma vez que foi suprido a aplicação do P e K não fizeram diferença.

## 6.5 Referências bibliográficas

ALEXANDRINO, E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; REGAZZI, A. J.; et al. Produção de massa seca e vigor de rebrotação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e frequência de cortes. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 40, n. 2, p. 141-147, 2003.

BARBERO, L. M.; CECATO, U.; LUGÃO, S. M. B.; et al. Produção de forragem e componentes morfológicos em pastagem de coastcross consorciada com amendoim forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 788-795, 2009.

BARTHAM G.T. (1986) **Experimental techniques: the HFRO sward stick**. In: Hill farming research. Organisation. Biennial Report. Edinburgh: HFRO. 1985, 30 p.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S. Produtividade e composição bromatológica do capim Marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n.5, p.1629-1636, 2008.

BENETT, C. G. S.; SILVA; SANTIAGO K.; YAMASHITA, O. M.; FILHO, M. C. M. T.; GARCIA, M. de P.; NAKAYAMA, F. T.; BUZETTI, S. Produção de *Brachiaria brizantha* sob doses crescentes de fósforo. **Omnia Exatas**, v. 2, n. 1, p. 17-25, 2009.

CECATO, U. et al. Influência da adubação nitrogenada e fosfatada na produção, na rebrota e no perfilhamento do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* [Hochst] Stapf. cv. Marandu. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 3, p. 817-822, 2000.

CENTRO METEOROLÓGICO NACIONAL. Dirección de Meteorología e Hidrología - DINAC | República del Paraguay. Disponível em: <<http://www.meteorologia.gov.py/>>. Acesso em: 25/4/2017.

COSTA. K.A.P.; FAQUIN. V.; OLIVEIRA. I.P.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, M.A. Doses e fontes de nitrogênio na nutrição mineral do capim-Marandu. **Cienc. Animal Bras.** v.10. p.115-123. 2009.

DOS SANTOS, H. G. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**; Embrapa solos. 2013.

FAGUNDES, J. L. et al. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p.397-403, 2005.

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistema de produção**. Brasília: IICA/ Embrapa-CNPGL, 1986. 197 p.

KLUTHCOUSKI, J., & STONE, L. F. **Manejo sustentável dos solos dos cerrados**. In: AIDAR, H.; STONE, L. F.; KLUTHCOUSKI, J. ed. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Feijão e arroz., p. 59-104. 2003.

LIMA, S. O.; FIDELIS, R.R.; COSTA, S.J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* CV. Marandu no Sul do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p.100-105, 2007.

LUGÃO, S. M. B.; RODRIGUES, L.R. de A.; ABRAHÃO, J.J. dos S.; MALHEIROS, E.B.; MORAIS, A. de. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. (acesso BRA-006998) adubadas com nitrogênio. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, v. 25, p. 371-379, 2003

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MONTEIRO, F. A. Nutrição Mineral e Adubação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 219-244.

MOURÃO DA SILVA, E.; CARVALHO ANDRADE, A.; AVELAR MAGALHÃES, J.; et al. Características morfogênicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a doses de nitrogênio. **Pubvet**, v. 9, n. 6, p. 262–270, 2015.

SANTOS, M. R., FONSECA, D. M., GOMES, V. M., SILVA, S. P., SILVA, G. P. & REIS, M. Correlações entre características morfogênicas e estruturais em pastos de capim-braquiária. **Ciência Animal Brasileira**, v. 13, p. 49-56, 2012.

SANTOS, B. B. C.; LUPATINI, G. C., et al. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1695-1698, set. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900070.

SILVA FILHO A. S.; MOUSQUER, C. J.; CASTRO, W. J. R.; SIQUEIRA, J. V. M.; OLIVEIRA, V. J.; MACHADO, R. J. T. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. v.8, n.1, p. 172-188, 2014.

SOARES, A. B.; CARVALHO, P. C. D. F.; NABINGER, C.; SEMMELMANN, C.; TRINDADE, J. K. D.; GUERRA, E.; FREITAS, T. S. D.; PINTO, C. E.; JÚNIOR, J. A. F.; FRIZZO, A. Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1148-1154, 2005.

VIANA PORTO, E. M.; ALVES, D. D.; TEIXEIRA VITOR, C. M.; DA SILVA, M. F.; SANTOS DE SOUZA DAVID, A. M. Rendimento forrageiro da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a doses crescentes de fósforo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 3, p. 25-34, 2012.

YDOYAGA, D.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SILVA, M.C.; SANTOS, V.F.; FERNANDES, A.P.M. Métodos de recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 699-705, 2006.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Paraguai, grande parte da produção de leite provém de pequenos produtores, esta atividade representa a principal fonte de emprego e ingressos para as famílias paraguaias. No entanto, esta produção depende diretamente do manejo da pastagem, principal fonte de alimentação dos animais, portanto, informações sobre os fatores limitantes ao crescimento das pastagens são indispensáveis para o desenvolvimento deste setor. Desta maneira, tanto a pesquisa como a transferência de tecnologias para os produtores são ações de importância para o empreendimento pecuário.

Sendo assim, este trabalho foi realizado na região de Jasy Cañy-Canindeyú, Paraguai, onde está localizada uma importante colônia de produtores de leite, na qual foi realizada pela primeira vez a caracterização física e química dos solos sob pastagem, evidenciando também a produtividade estacional do capim-Marandu em resposta a adubação nitrogenada ou com NPK.

Com o estudo realizado pode-se determinar que a adubação nitrogenada é eficiente em intensificar a produção da pastagem em pouco tempo. No entanto, foi observado que não houve diferença entre as adubações com N ou NPK, devido a que o nutriente que se encontrava mais limitante a produção era o nitrogênio, desta maneira a aplicação realizada com P e K não fizeram diferença.

E assim como a adubação, a calagem é uma ação necessária e de grande importância para as pastagens, pois, ademais de reduzir a acidez dos solos (aumenta o pH), aumenta a disponibilidade dos nutrientes, e supre as necessidades de cálcio ou cálcio-magnésio, no caso dos solos da região analisada supriria as necessidades de cálcio, permitindo que as pastagens se estabeleçam de forma adequada, permanecendo produtivas por longo tempo.

Pode-se concluir que a baixa produtividade das pastagens das áreas analisadas está intimamente relacionada com a fertilidade do solo, sendo o manejo adequado do solo o fator determinante para conseguir uma ótima produção nessa região. Em relação aos atributos físicos do solo, não foi observado impedimento para o desenvolvimento das plantas, isso a exceção de uma das áreas a qual apresentou baixos níveis de macroporosidade, situação que poderá ser corrigida com o manejo adequado das pastagens (adubação, calagem e controle da carga animal).

Desta maneira, esta publicação contribui com informações úteis, não só para a comunidade científica, mas também para os produtores, mediante as quais, poderão planejar

estratégias a curto e longo prazo para uma produção sustentável.