



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - POSAGRO

LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ JAIME

**INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS NA CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DE
SOLOS COM DIFERENTES TEMPOS DE CULTIVO SUCESSIVO COM ARROZ
IRRIGADO**

BOA VISTA, RR

2018

LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ JAIME

**INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS NA CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DE
SOLOS COM DIFERENTES TEMPOS DE CULTIVO SUCESSIVO COM ARROZ
IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima (POSAGRO), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração, Produção Vegetal.

Orientador

Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo.

BOA VISTA, RR

2018

*Ao meu pai Luis, a minha mãe Enriqueta, ao
meu filho Luis Enrique, a minha avó Cira,
as minhas irmãs Anita, Lorena e Reyna, as
minhas sobrinhas, Dallyana e Paulette e a
todos os que me motivaram sempre a
realizar meus sonhos.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e por ter me mantido firme em suas mãos, dando-me forças e sabedoria para realizar meus sonhos.

Aos meus pais Luis Ernesto Sánchez López e Enriqueta María Jaime Velasteguí, às minhas irmãs, Ana, Lorena e Reyna pelo apoio incondicional durante meu período de aprendizagem em Boa Vista.

Ao Programa de Alianças para a Educação e Capacitação (PAEC) entre a Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB), pela bolsa concedida.

À Universidade Federal de Roraima (UFRR) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (POSAGRO) por brindar-me a oportunidade de ampliar e aprimorar meus conhecimentos.

À Agência Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) por me conceder a licença de estudos e me permitir crescer como profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo, pelo apoio, confiança e incentivo para melhorar no dia a dia no âmbito acadêmico e por todo o aprendizado dentro e fora da sala de aula.

Aos meus grandes amigos Diego Portalanza, Simón Farah e Carlos Angulo pelo apoio na parte estatística.

Agradecimento muito especial aos meus amigos Leidiane, Miguel, Ednalva, Kaio, João, Taline, Luciana, Eduarda, Derline, Jairo e Samuel pela ajuda nos trabalhos em campo e laboratório.

Aos colegas da pós-graduação, especialmente, Ariel, Marcelo, Morieli, Miguel, Leonardo, Williams, Astrid e João, pela aprendizagem durante o primeiro ano de estudo.

Aos professores que contribuíram na minha formação acadêmica.

Aos meus conterrâneos Javier, Oscar, Ricardo, Lisseth e Camila pela sua amizade, apoio e ótima convivência.

Ao meu amigo Ismael Costas pela sua amizade e ajuda.

Aos membros da Banca avaliadora, os professores Dra. Sandra Cátia Pereira Uchoa, Dr. Plínio Henrique Oliveira Gomide, Dr. Roberto Dantas de Medeiros pelas contribuições e sugestões.

“Os três grandes fundamentos para se conseguir qualquer coisa são, primeiro, trabalho árduo; segundo, perseverança; terceiro, senso comum.”

Thomas Edison

RESUMO GERAL.- O arroz (*Oryza sativa* L) é a base alimentar de quase a metade da população global e os maiores produtores desse cereal no mundo são: China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Brasil, USA e Paquistão. No Brasil, o arroz é cultivado em todas as regiões, sendo a região Sul a maior produtora de arroz com 81,4% da produção nacional. Já no estado de Roraima, a produção de arroz é realizada em várzeas irrigadas e nas últimas safras teve uma produtividade média de 7,1 t ha⁻¹, considerada a maior produtividade da região norte. Neste sentido, o estado de Roraima apresenta condições de clima e solos favoráveis para a produção de arroz, sendo de interesse avaliar a qualidade do solo, seja de natureza física, química ou biológica submetido a diferentes sistemas de cultivo, com a finalidade de contribuir na tomada de decisão sobre a utilização da tecnologia mais racional e sustentável de uso do solo. Assim, objetivou-se determinar as alterações dos indicadores físicos e químicos na ciclagem biogeoquímica em solos com diferentes tempos de cultivo sucessivo com arroz irrigado. O experimento foi realizado em áreas de plantio comercial da fazenda Paraíso, localizada no estado de Roraima, Município Bonfim, entre as coordenadas geográficas 3° 19' 01,56'' latitude N e 60° 23' 43,65'' longitude W. Instalado sobre um solo Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de arranjo em faixas, com quatro repetições. As avaliações dos indicadores físicos e químicos e a ciclagem de nutrientes foram realizadas em áreas com 2 anos (A2: plantio convencional), 4 anos (A4: plantio convencional), 9 anos (A9: três anos com cultivo mínimo), 14 anos (A14: três anos com cultivo mínimo), 26 anos (A26: 1 ano com cultivo mínimo) de uso com arroz, nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Para comparar os efeitos do manejo do solo cultivado, se utilizou uma área de floresta nativa como referência. Em relação aos indicadores físicos, evidenciou-se textura mais argilosa, maior estabilidade de agregados, denotados por altos índices de diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) nas áreas A9 e A14 ao longo do perfil avaliado. Em relação aos indicadores químicos, nestas mesmas áreas se obtiveram o maior conteúdo de carbono orgânico total (COT) e evidenciou-se uma relação positiva com os teores de Nitrogênio total (Nt), Fósforo total (Pt), Fósforo inorgânico (Pi), Cálcio (Ca²⁺), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Zinco (Zn²⁺), nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, K⁺ nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e Fósforo orgânico (Po) na camada 0-0,10 m. Além disso, se constatou que independentemente do sistema de manejo do solo, a disponibilidade de P aumenta com os anos de cultivo. Por outro lado, o manejo das áreas A9, A14 e A26, favoreceram na produção de grãos, alcançando assim, os maiores índices de colheitas. Condições adversas foram observadas nas áreas A2, A4 e A26 em relação aos indicadores físicos e químicos avaliados. Neste sentido, evidenciou-se que a conversão de áreas nativas para áreas de produção de arroz sob condições alagadas, altera os atributos físicos e químicos do solo. No entanto, o preparo reduzido e a manutenção dos resíduos de colheita na superfície do solo, contribui no armazenamento do carbono orgânico, melhorando a qualidade do solo ao longo do tempo.

Palavras-chaves: Atributos físicos. Atributos químicos. Carbono orgânico do solo. Várzeas irrigadas.

ABSTRACT- Rice (*Oryza sativa* L.) is the base food for almost half-global population. China, India, Indonesia, Vietnam, Thailand, Brazil, USA and Pakistan are the largest rice producers in the world. In Brazil, rice is grown in all regions, being the southern region the largest rice producer with 81.4% of the national production. In the state of Roraima, rice production is carried out in irrigated floodplains and last yields showed an average productivity of 7.1 t ha⁻¹, considered the highest productivity in the northern region. In this sense, the state of Roraima presents favorable climatic and soil conditions for rice production, making it important to evaluate soil quality, being of whether physical, chemical or biological nature submitted to a different cultivation system, in order to contribute to the decision-making process on the use of most rational and sustainable technology for land use. The objective of this study was to determine the changes in physical and chemical indicators in biogeochemical cycling in irrigated rice soils with different successive cultivation times. The experiment was carried out in commercial plantation areas of the Paraíso farm, located in Roraima, Bonfim Municipality, between 3 ° 19 '01.56' 'N and 60 ° 23' 43.65 " W coordinates. Installed in "Gleissolo Háplico Distrófico Tb" (Typic Fluvaquent – Soil Taxonomy, USA). The experimental design used was a complete randomized block design with four replications. The evaluations were performed in areas with 2 years (A2: conventional planting), 4 years (A4: conventional planting), 9 years (A9: three years No-tillage system), 14 years (A14: three years No-tillage system), and 26 years (A26: one year of No-tillage system) of rice development; and 0-0.10 m; 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m soil layers. To compare the effects of cultivated soil management, a native forest area was used as a control. In relation to physical indicators, A9 and A14 areas presented more clay texture, greater stability of aggregates, implied by high indexes of geometric mean diameter (GDM) and weighted mean diameter (WMD) along the assessed profile. In relation to chemical indicators, same areas showed the highest total organic carbon (TOC) content and a positive relation with total Nitrogen, total Phosphorus (Pt), inorganic Phosphorus (Pi), Calcium (Ca²⁺), Base Sum (SB), Cation Exchange Capacity (CEC) and Zinc (Zn²⁺) in the 0-0.10 m layers; 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m, K + in the 0-0.10 m layers; 0.10-0.20 m and Organic phosphorus (Po) in the 0-0.10 m layer. Furthermore, regardless of the soil management system, the availability of P increases with cultivation years. On the other hand, the management of areas A9, A14 and A26 favored the production of grains, reaching the highest harvest rates. Adverse conditions were observed in areas A2, A4 and A26 in relation to the physical and chemical indicators evaluated. In this sense, it was shown that the conversion of native areas to areas of rice production under flooded conditions, changes the physical and chemical attributes of the soil. However, reduced preparation and maintenance of crop residues on the soil surface contributes to the storage of organic carbon, improving soil quality over time.

Keywords: Physical Attributes. Chemical attributes. Organic soil carbon. Irrigated floodplains.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Cultura do arroz.....	16
3.2	Qualidade do solo	17
3.2.1	Indicadores físicos do solo	18
3.2.2	Indicadores químicos do solo	20
3.3	Matéria orgânica em solos de várzeas	22
4	REFERÊNCIAS	24
CAPITULO 01 -		29
5	INTRODUÇÃO	31
6	MATERIAL E MÉTODOS	32
6.1	Área Experimental.....	32
6.2	Manejo da área experimental	33
6.3	Delineamento experimental.....	33
6.4	Coleta de amostras de solo	34
6.5	Análises físicas e matéria orgânica do solo	34
6.6	Análise estatística	35
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
7.1	Composição textural e densidade do solo	36
7.2	Agregados do solo e matéria orgânica	41
7.3	Diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico	45
7.4	Análises de correlação de Pearson	48
7.5	Análise de Componentes Principais (ACP).....	50
8	CONCLUSÃO	54
9	REFERÊNCIAS	55
CAPITULO 02		59
10	INTRODUÇÃO	61
11	MATERIAL E MÉTODOS	62
11.1	Área Experimental.....	62
11.2	Manejo da área experimental	63
11.3	Delineamento experimental.....	64
11.4	Avaliação da produtividade.....	64
11.5	Coleta de amostras.....	65
11.5.1	Coleta de amostras da palhada de arroz.....	65
11.5.2	Coleta de amostras de solo	65
11.6	Análises do solo e tecido vegetal	65
11.7	Análise estatística	66

12	RESULTADOS E DISCUSÃO	67
12.1	Acidez ativa (pH), Acidez trocável (Al^{3+}), Acidez potencial ($H+Al$), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio total (Nt), Fósforo disponível (Pdisp), Fósforo inorgânico (Pi), Fósforo orgânico (Po) e Fósforo total (Pt).....	67
12.2	Potássio trocável (K^+), Cálcio trocável (Ca^{2+}), Magnésio trocável (Mg^{2+}), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica total (CTCt), Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTCe), Saturação por Bases (V), Saturação por Alumínio (m).	75
12.3	Micronutrientes (Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+})	77
12.4	Produtividade e Ciclagem de Nutrientes	83
12.5	Correlação de Pearson	88
12.6	Análises de Componentes Principais (ACP)	93
13	CONCLUSÃO	97
14	REFERÊNCIAS	98

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 01

- Tabela 1. Histórico do manejo do solo nas áreas experimentais nas últimas seis safras..... 33
- Tabela 2. Valores de areia, silte e argila e classe textural em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso e diferentes camadas. 36
- Tabela 3. Coeficiente de correlação e a probabilidade entre os diferentes indicadores: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Macroagregados (Mac), Microagregados (Mic), Partículas Simples (Ps), areia, silte, argila, Densidade do solo (Ds), Matéria Orgânica do Solo (MOS), estudados em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz. 48

CAPITULO 02

- Tabela 4. Histórico do manejo do solo nas áreas experimentais nas últimas seis safras..... 63
- Tabela 5. Densidade de semeadura, doses de adubação em kg ha^{-1} e histórico de calagem do solo nas áreas avaliadas. 64
- Tabela 6. Indicadores químicos e métodos de determinação. 66
- Tabela 7. Valores de Acidez ativa (pH), Acidez trocável (Al^{3+}), Acidez potencial (H+Al), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio total (Nt), Fósforo disponível (Pdisp), em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz. 67
- Tabela 8. Valores de Fósforo inorgânico (Pi), Fósforo orgânico (Po) e Fósforo total (Pt) em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz..... 73
- Tabela 9. Potássio trocável (K^+), Cálcio trocável (Ca^{2+}), Magnésio trocável (Mg^{2+}), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica total (CTCt), Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTCe), Saturação por Bases (V), Saturação por Alumínio (m) em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz. 76
- Tabela 10. Conteúdo de nutrientes na palha de arroz em áreas com diferentes anos de uso e manejo..... 85
- Tabela 11. Dose de fertilizantes incorporados ao solo e retorno de nutrientes na palha de arroz em áreas com diferentes anos de uso e manejo. 87

Tabela 12. Correlação de Pearson entre os indicadores químicos do solo e teores de argila, estudados na camada 0-0,10 m em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com diferentes anos de uso e manejo.	89
Tabela 13. Correlação de Pearson entre os indicadores químicos do solo e teores de argila, estudados na camada 0,10-0,20 m em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com diferentes anos de uso e manejo.	90
Tabela 14. Correlação de Pearson entre os indicadores químicos do solo e teores de argila, estudados na camada 0,20-0,30 m em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com diferentes anos de uso e manejo.	91

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 01

- Figura 1. Localização da área de estudo..... 32
- Figura 2. Densidade do solo em diferentes profundidades de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma camada (linha horizontal) não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 39
- Figura 3. Porcentuais macroagregados, microagregados, partículas simples e conteúdo de matéria orgânica (gráfico pequeno à direita) na camada 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B), 0,20-0,30 m (C) de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. Médias seguidas da mesma letra minúscula (comparada horizontalmente) não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 42
- Figura 4. Diâmetro médio ponderado (A), e diâmetro médio geométrico (B), nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma camada (linha horizontal) não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 46
- Figura 5. Relação entre as variáveis originais dos indicadores físicos e matéria orgânica do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0-0,10 m. Onde, Mic = Microagregados, Mac= Macroagregados, Ps= Partículas simples, DMP= Diâmetro médio ponderado, DMG= Diâmetro médio geométrico, MOS= Matéria orgânica do solo..... 50
- Figura 6. Relação entre as variáveis originais dos indicadores físicos e matéria orgânica do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,10-0,20 m. Onde, Mic = Microagregados, Mac= Macroagregados, Ps= Partículas simples, DMP= Diâmetro médio ponderado, DMG= Diâmetro médio geométrico, MOS= Matéria orgânica do solo..... 51
- Figura 7. Relação entre as variáveis originais dos indicadores físicos e matéria orgânica do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,20-0,30 m. Onde, Mic = Microagregados, Mac= Macroagregados, Ps= Partículas simples, DMP= Diâmetro médio ponderado, DMG= Diâmetro médio geométrico, MOS= Matéria orgânica do solo..... 52

CAPITULO 02

- Figura 8. Localização da área de estudo..... 62
- Figura 9. Valores de Zinco, nas camadas 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C), de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na barra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 78
- Figura 10. Valores de Ferro, nas camadas 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C), de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na barra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 80
- Figura 11. Valores de Manganês nas camadas 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C), de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na barra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 82
- Figura 12. Produção de biomassa aérea e índice de colheita (gráfico pequeno à direita) em áreas com diferentes anos de uso e manejo do solo de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)..... 83
- Figura 13. Relação entre as variáveis originais dos indicadores químicos do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0-0,10 m..... 94
- Figura 14. Relação entre as variáveis originais dos indicadores químicos do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,10-0,20 m..... 95
- Figura 15. Relação entre as variáveis originais dos indicadores químicos do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,20-0,30 m..... 96

1 INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é a base alimentar de quase a metade da população global e os maiores produtores desse cereal no mundo são: China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Brasil, USA e Paquistão. O Brasil teve uma produção anual entre 11 e 13 milhões de toneladas nas últimas safras, participando com 79,3% da produção do MERCOSUL, seguido pelo Uruguai, Argentina e Paraguai (SOSBAI, 2014).

No Brasil, a região Sul é a maior produtora de arroz com 81,4% da produção nacional na safra 2017 - 2018, seguido pela região Norte com 9,2%, Centro Oeste com 5,5%, Nordeste com 3,5% e Sudeste com 0,4% (CONAB, 2018). Contudo, o sistema de produção de terras altas, que considera o cultivo em sequeiro, concentra-se nas regiões Centro-Oeste e Norte (LANNA *et al.*, 2012).

No estado de Roraima na safra 2017 – 2018, a área dedicada à cultura do arroz foi de 12,3 mil hectares e produção de 87,3 mil toneladas (t), atingindo uma produtividade de 7,1 t ha⁻¹, sendo a maior produtividade da região Norte (CONAB, 2018). O cultivo desse cereal no estado de Roraima é realizado em várzeas (70 - 80%) por 30 produtores associados, estabelecidos nos municípios de Boa Vista, Cantá, Bonfim, Normandia e Pacaraima (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008).

O arroz é cultivado em diferentes agroecossistemas, sendo os fatores ambientais favoráveis para obter alta produtividade o regime de água, temperatura, textura do solo e topografia (BARRIGOSSI *et al.*, 2004). Portanto, 40% da oferta mundial de arroz é produzida sob o sistema de monocultura, em que pode ser realizada em até três colheitas durante o ano.

A produção intensiva pode alterar os processos biogeoquímicos no solo, influenciando no armazenamento de carbono, ciclagem de nutrientes e na produtividade da cultura (BURESH; HAEFELE, 2010). Além disso, os sistemas convencionais de produção aumentam os riscos de degradação do solo, já que os teores de matéria orgânica são reduzidos (SANTOS *et al.*, 2012).

No cultivo do arroz o solo é submetido a regimes de drenagem e de alagamento que ocasionam modificações periódicas no ambiente em função das alterações na microbiota e nos processos químicos que se alternam entre uma condição aeróbia e outra anaeróbia; tais mudanças podem resultar numa dinâmica da matéria orgânica, em relação aos produtos formados quanto à velocidade de decomposição (ROSA *et al.*, 2011).

Neste contexto, é necessária atenção aos atributos do solo que interferem na sua qualidade. Assim, o termo qualidade do solo refere-se à capacidade do solo em sustentar a

produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal, dentro dos limites do ecossistema (DORAN; PARKIN, 1994). Entretanto, a avaliação das alterações na qualidade do solo em função do clima e uso agrícola, requer a integração de um conjunto de indicadores físicos, químicos e biológicos, uma vez que estes indicadores controlam o processo biogeoquímico e a sua variação no tempo, espaço e intensidade (DORAN; PARKIN, 1994; DEXTER, 2004).

Dentre os atributos de qualidade do solo, o teor de matéria orgânica é o principal indicador da sustentabilidade de um sistema de cultivo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005). Não obstante, a avaliação dos efeitos da incorporação de resíduos culturais, na ciclagem e nos acúmulos de carbono (C), nitrogênio (N) e de outros nutrientes é importante para a adoção de técnicas que melhorem as características físicas, químicas e biológicas do solo e maximizem a produtividade do arroz em sucessão reduzindo impactos ao ambiente (CORREIA, 2013).

Dentre os indicadores físicos que assumem função essencial no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo estão a textura, estrutura, resistência à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível e condutividade hidráulica. Contudo, os indicadores químicos que apresentam relevância desde o ponto de vista agrônomo e ambiental, são os que indicam os processos do solo ou de comportamento (pH, carbono orgânico), os que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions (tipo de argila, CTC, CTA, Óxidos de Ferro, Óxidos de Alumínio), os que indicam as necessidades nutricionais das plantas (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e micronutrientes) e aqueles que indicam contaminação (metais pesados, nitrato, fosfato, agrotóxicos) (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Atualmente tem-se maior interesse em se avaliar a qualidade do solo, seja de natureza física, química ou biológica submetido a diferentes sistemas de cultivo, com a finalidade de contribuir na tomada de decisão sobre a utilização da tecnologia mais racional e sustentável de uso do solo (COSTA *et al.*, 2006; GODOY, 2013).

Nesse contexto, o estado de Roraima apresenta condições de clima e solos favoráveis para a produção de arroz, sendo assim de interesse o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à avaliação das características dos solos com diferentes tempos de uso no cultivo de arroz, vislumbrando a adoção de técnicas que melhorem os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, para uma produção sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar as alterações dos indicadores físicos e químicos na ciclagem biogeoquímica em solos com diferentes tempos de cultivo sucessivo com arroz irrigado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorar o efeito do tempo do uso da terra e práticas de manejo nos atributos físico e químicos do solo e na ciclagem de nutrientes em áreas cultivadas com arroz
- Avaliar o efeito do tempo do solo cultivado com arroz e as práticas de manejo na produtividade
- Estabelecer correlações entre os atributos e produção

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais importante para a nutrição humana, depois do milho é o cereal mais cultivado no mundo, ocupando cerca de 158 milhões de ha, dos quais são obtidas 746,7 milhões de t de arroz em casca, aproximadamente, correspondendo aos 29% do total de grãos usados na alimentação do homem. Entretanto, o consumo percapita de arroz na América Latina é 30 kg por ano, destacando-se Brasil como grande consumidor (45 kg ano⁻¹) (SOSBAI, 2014).

No Brasil, a área estimada para a produção de arroz na safra 2017 - 2018 foram 1.945,2 milhões de ha, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor com 1.247,9 milhões de ha, e uma produtividade de 7,6 t ha⁻¹ (CONAB, 2018). Como resultado do eficiente nível tecnológico que alcançou a cadeia de produção de arroz, ano a ano registra-se incremento na produtividade nas lavouras irrigadas, permitindo abastecer o consumo interno e os excedentes posicioná-los no mercado internacional (SANTOS *et al.*, 2016).

O arroz é cultivado sob diferentes condições de solo e clima (SANTOS; SOARES; RAMALHO, 2001), portanto, a cultura apresenta ampla estabilidade ecológica, pois além de ser cultivada em diferentes partes do mundo é cultivada sob condições de sequeiro, várzeas úmidas e irrigação controlada (GUIMARÃES; FAGERIA; FILHO, 2002), chegando a alcançar duas ou três colheitas durante o ano (LINH *et al.*, 2015).

No cultivo irrigado, o arroz é produzido preferencialmente em solos caracterizados por ter topografia plana até levemente ondulada, com horizonte argiloso e condutividade hidráulica baixa (mal drenados), o que facilita a conservação da água no solo (RAUBER, 2004). A lâmina de água é definida em função dos requerimentos hídricos pela cultura de arroz, seja para seu consumo (suprir água para os processos fisiológicos) ou facilitar as práticas de manejo. No entanto, ao manter-se o solo quase todo seu ciclo alagado, as perdas por percolação profunda e drenagem superficial aumentam, principalmente se a textura do solo é franca (MORANO, 2014).

No Brasil, o arroz é cultivado em todas as regiões (SAKASAKI; ALVES; LOPES, 2008), sob ecossistema de várzeas ou sequeiro, sendo o sistema de cultivo predominante o sequeiro de terras altas, com a desvantagem de apresentar riscos de perda pela chuva (ARF *et al.*, 2002). No entanto, no estado de Roraima a produção é realizada em várzeas, apresentando como vantagem o plantio realizado no período seco, sob condições de irrigação, obtendo qualidade e boa produtividade. Em razão das altas temperaturas e disponibilidade de água, torna-se possível produzir arroz praticamente os 12 meses do ano (GARÓFALO, 2007).

O clima favorável para o desenvolvimento da cultura do arroz e grandes várzeas irrigáveis presente no estado de Roraima possibilitam ampliar a área e volume de produção. O Estado possui 124.888 ha de solos em áreas de várzeas, nesses ecossistemas, em especial os localizados na região de savana, os solos apresentam topografia plana que facilita as lavouras de mecanização e irrigação (CORDEIRO *et al.*, 2004).

Em Roraima, em torno de 40% da produção é suficiente para abastecer o consumo interno, o excedente (60%) abastece o mercado dos estados do Amazonas e Pará. Somente o mercado de Manaus ostenta uma demanda anual de 90.000 t de arroz beneficiado (SAKASAKI; ALVES; LOPES, 2008). Neste contexto, a cadeia de produção de arroz irrigado contribui consideravelmente na geração de emprego, renda e no Produto Interno Bruto (PIB), portanto, é considerada uns dos agronegócios efetivamente estabilizados no Estado (CORDEIRO; MEDEIROS, 2010).

3.2 Qualidade do solo

O solo é um recurso natural e a qualidade depende do manejo sustentável. A boa qualidade do solo não só favorece a produtividade das culturas, mas também mantém a qualidade ambiental, por conseguinte a saúde vegetal, animal e humana (SHARMA *et al.*, 2005). Nortcliff (2002) manifesta que o solo para desempenhar esta função, deve fornecer as seguintes características básicas:

- Suprir um ambiente biológico, físico e químico para os organismos vivos;
- Regular o fluxo da água, armazenamento e ciclagem de nutrientes e outros elementos;
- Suporte da atividade biológica, diversidade de plantas e a produção animal;
- Filtrar, tamponar, degradar, imobilizar e desintoxicar substâncias orgânicas e inorgânicas;
- Fornecer suporte mecânico para os organismos vivos e suas estruturas de crescimento.

Nos últimos anos, a qualidade do solo ganhou maior atenção em resposta a questões ambientais relacionadas com a degradação do solo e busca por alcançar sustentabilidade na produção sob diferentes sistemas de cultivo (GALANTINI; ROSELL, 2006).

Assim, tem havido uma tendência em classificar os indicadores do solo em físicos, químicos e biológicos, e para a escolha de um deles, Doran; Parkin (1996) sugerem alguns critérios:

- Que apresentem correlação com os processos naturais do entorno,
- Que sejam de fácil utilização no campo para avaliar a qualidade do solo,
- Que apresentem susceptibilidade às variações de clima e manejo,
- Ser componente, quando possível, de uma base de dados.

De modo geral, os indicadores da qualidade do solo são aqueles que têm relação direta com a produção agrícola ou funções ambientais, sendo os mais sensíveis ao manejo do solo mais desejáveis como indicadores. Porém, em uma determinada zona agroclimática, os indicadores do solo são: profundidade, matéria orgânica, respiração, agregação, textura, densidade, infiltração, disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção da água, entretanto, para avaliar as alterações da qualidade do solo, resultado das práticas agrícolas empregadas pelo produtor é necessário medir um número mínimo de indicadores (ARSHAD; MARTIN, 2002).

3.2.1 Indicadores físicos do solo

Os atributos físicos do solo assumem importância na avaliação do grau de degradação e na identificação de práticas de uso sustentáveis, embora se admita que a maior preocupação seja a qualidade física, essa interage com a química e biológica, já que são interdependentes e indispensáveis (ANDRADE; STONE, 2009).

Os solos com boas propriedades físicas têm a capacidade de armazenar e fornecer água, ar e nutrientes, garantindo o máximo desenvolvimento das culturas. Por outro lado, um solo com baixa qualidade, não dispõe dos atributos necessários para uma boa produção

agrícola e pode estar sujeito à degradação ambiental por meio da erosão (REYNOLDS *et al.*, 2007). Portanto, as propriedades físicas do solo como: textura, tamanho de partículas, distribuição e dinâmica de macro e micro agregados, são consideradas determinantes da qualidade do solo. Em geral, a variação na distribuição do tamanho das partículas produzidas por processos de agregação e desagregação, influem na porosidade do solo, alterando assim, o conteúdo da água, disponibilidade de nutrientes e a taxa de trocas gasosas (SPACCINI; PICCOLO, 2013).

A produção intensiva de arroz pode levar ao aumento da compactação como resultado do uso de máquinas pesadas sob o solo úmido, além disso, a produção sob condições de alagamento pode apresentar problemas para o cultivo seguinte, devido à decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Logo, a monocultura com três colheitas por ano, diminui a produtividade, embora os agricultores incorporem anualmente mais fertilizantes ao solo (BA *et al.*, 2016).

O uso excessivo de maquinarias para o preparo do solo sob condições de alagamento ocasiona a quebra dos agregados o que ocasiona a formação de “hardpans” pelas mudanças na porosidade e como resultado o aumento da densidade (ZHOU *et al.*, 2014). Por sua vez, o aumento da densidade do solo afeta negativamente o desenvolvimento radicular, principalmente pelo aumento da resistência mecânica à penetração (PEDROTTI *et al.*, 2001), resultando na diminuição da absorção de N, P, K e na produção total de massa seca das plantas (MEDEIROS; SOARES; GUIMARÃES, 2005).

A estrutura do solo tem sido relacionada às condições físicas favoráveis à emergência de plântulas, desenvolvimento das raízes, aeração, infiltração e movimento de água no perfil do solo (LIMA *et al.*, 2003). No entanto, essa propriedade pode ser alterada pelo sistema de manejo, sendo dependente da intensidade de uso do solo, do trânsito de máquinas, tipo de equipamento utilizado, manejo da matéria orgânica e das condições de umidade no momento da lavoura (LORENSI, 2011).

Enquanto que, a redução do tráfego de maquinarias pesadas contribui para a estabilidade estrutural, formação dos agregados, densidade, resistência e distribuição da água no solo, o preparo reduzido combinado com a conservação dos resíduos da colheita melhora a longo prazo a concentração de C no solo por meio da formação de macroagregados (KAHLON; LAL; VARUGHESE, 2013), de modo que a matéria orgânica age como agente de ligação para a estabilizar os agregados do solo (TRIPATHI *et al.*, 2014).

Segundo Bronick; Lal (2005), a estrutura do solo é um fator chave na ciclagem de nutrientes, disponibilidade da água, redução da erosão, fixação do Carbono Orgânico no Solo (COS), que pode reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera. A estrutura do solo e a estabilidade dos agregados, ainda, influenciam diretamente na melhoria da fertilidade, aumentam a porosidade e favorecem a produtividade agrônômica.

A textura e profundidade do solo são necessários para determinar a qualidade entre tipos de solo e dentro de um solo, antes e depois de alguma prática de manejo. A textura é importante no controle da água, nutrientes, troca de oxigênio, retenção e absorção de nutrientes. Além disso, da textura do solo dependem outras propriedades e processos (SCHOENHOLTZ; MIEGROET; BURGER, 2000). O mesmo autor afirma que a profundidade do solo é uma propriedade que estabelece a quantidade dos recursos disponível para as plantas.

3.2.2 Indicadores químicos do solo

A fertilidade do solo depende da capacidade de suprir água e nutrientes para o adequado desenvolvimento das plantas, sendo esta influenciada pelos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (VARALLO *et al.*, 2010). Assim, dentre os atributos químicos, os indicadores mais utilizados para avaliar a fertilidade do solo encontram-se: pH, conteúdo de matéria orgânica, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de troca aniônica (CTA), saturação por bases (V) e micronutrientes (REICHARD; TIMM, 2004; GOMES; FILIZOLA, 2006).

Entretanto, os solos inundados apresentam uma série de alterações que afetam os processos biogeoquímicos (SCHMIDT *et al.*, 2013), entre essas alterações, as mais pronunciadas encontram-se sobre o sistema oxi-redutor, no qual o potencial de oxi-redução (E_H) apresenta-se como o indicador mais importante do estado de oxidação ou redução destes solos. Assim, este potencial caracteriza-se a través de uma ampla faixa de variações, que permite determinar as mudanças ocorridas no solo e os impactos sobre o desenvolvimento das culturas sob condições alagadas (CAMARGO; SANTOS; ZONTA, 1999).

Associados às alterações do E_H, verificam-se o aumento ou diminuição do pH em solos ácidos e alcalinos, respectivamente, atingindo usualmente um equilíbrio de 6,5 a 7,5. Essa mudança no pH é decorrente da depleção do oxigênio e o aumento do CO₂, produzido pela respiração microbiana, desse modo, o oxigênio livre é rapidamente consumido em função da necessidade de energia pelos microrganismos aeróbios para os processos biológicos. Na

ausência de oxigênio, os microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios utilizam NO_3^- , Mn (IV), Fe (III), SO_4^{2-} , CO_2 , N_2 e até íons H^+ como eletroaceptores em sua respiração, reduzindo assim, NO_3^- para N_2O e N_2 , Fe^{3+} para Fe^{2+} , Mn^{4+} para Mn^{2+} , $(\text{SO}_4)^{2-}$ para SO^{2-} e acumulação de CO_2 ou sua redução a CH_4 (WANG *et al.*, 1993; CAMARGO; SANTOS; ZONTA, 1999; NOVAIS *et al.*, 2007).

Em termos de nutrição, elementos como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} , aumentam a sua disponibilidade, devido ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^+ (ASSIS *et al.* 2000; SOUSA *et al.*, 2006; SCIVITTANO; GONÇALVES, 2011).

Neste sentido, a deficiência de P é mais comum sob as condições de sequeiro, devido à reação do P, predominante, para formar complexos poucos solúveis com o Fe e Al em solos ácidos, e Ca no caso de solos neutros e alcalinos. No entanto, sob condições de solos alagados, com a mudança no E_H , a disponibilidade de fósforo aumenta (ROSE *et al.*, 2013), devido à sua liberação da matéria orgânica, redução de fosfatos férricos a formas ferrosas mais solúveis, hidrólise de fosfatos de ferro e alumínio (SCIVITTANO; GONÇALVES, 2011).

Por tanto, um dos efeitos negativos das mudanças no E_H , ocorre com o aumento da solubilidade do Fe^{2+} , assim, o acúmulo deste elemento no solo pode atingir níveis tóxicos para a cultura de arroz, afetando diretamente mediante absorção excessiva ou indiretamente por deficiência nutricional múltipla, uma vez que o Fe diminui a absorção de outros elementos (N, Ca, Mg, K, Si, Na e Mn) (SOSBAI, 2014). Além disso, a deficiência de Zn é mais comum sob condições anaeróbias, devido à formação de compostos de baixa solubilidade, como: sulfeto de zinco, carbonato de zinco ou hidróxido de zinco, enquanto que nos solos aeróbios o Zn^{2+} está disponível para as plantas (IMPA; SARAH; BEEBOUT, 2012).

Os solos alagados apresentam condições propícias para intensas perdas de N por vários mecanismos, especialmente por desnitrificação e volatilização de NH_3 . As perdas de N por desnitrificação em solos inundados podem ser aumentadas se houver NO_3^- disponível, embora parte do N em forma de NO_3^- possa ser reduzida a NH_4^+ , absorvida por microrganismos ou incorporada à MOS. Em condições de inundação, a maior parte de NO_3^- desaparece em poucos dias dependendo da desnitrificação, e em alguns casos, metade do NO_3^- pode ser desnitrificado em curto período de tempo, isso se explica pelo fato de que a inundação desloca o ar do solo e o pouco O_2 dissolvido na água é consumido rapidamente.

Assim na ausência de O_2 e baixo E_H , o NO_3^- é o composto presente no meio que é reduzido mais facilmente a N_2O ou a N_2 (NOVAIS *et al.*, 2007).

Em solos dedicados à produção de arroz, o N está disponível para as plantas em forma de NH_3 e NH_4^+ , no entanto, a assimilação de NH_4^+ demanda menor gasto de energia em relação ao NH_3 . Dessa forma, a fonte de N na forma de NH_4^+ é recomendada quando as plantas são submetidas a estresse nutricional (GAUR *et al.*, 2012).

3.3 Matéria orgânica em solos de várzeas

Solos submetidos a regimes de alagamento e drenagem, durante o ciclo de cultivo de arroz, tem alteração periódica no ambiente em decorrência das mudanças na microbiota e nos processos químicos que se alternam entre uma condição e outra, podendo afetar negativamente a dinâmica da matéria orgânica, em relação aos produtos formados e quanto à velocidade de decomposição (ROSA *et al.*, 2011).

Quanto a isso, a troca de gases entre o solo e a atmosfera é basicamente por difusão, sendo que a difusão do O_2 na água é cerca de 10 mil vezes mais lenta do que no ar. Logo, após o alagamento o fornecimento de O_2 para o solo torna-se extremamente lento e inferior a demanda microbiológica, ocasionando inativação ou morte dos microrganismos aeróbios (SCHMIDT; BORTOLON; SOUZA, 2007). Por esse motivo, vários autores relatam que sob as mesmas condições edafoclimáticas, a matéria orgânica permanece mais tempo nos solos alagados em comparação com a decomposição sob condições aeróbicas (oxigênio é o receptor de elétrons), entretanto, sob condições anaeróbicas, a decomposição depende de receptores de elétrons alternativos (Ferro ou Sulfato) que são relativamente lentos e ineficientes na destruição da matéria orgânica em relação ao oxigênio e conseqüentemente, a decomposição é mais lenta (SAHRAWAT, 2005; ROSA *et al.*, 2008).

No entanto, a decomposição anaeróbica de resíduos vegetais produz uma série de compostos intermediários de baixo peso molecular, dos quais se destacam o ácido fórmico, acético, propiônico e butírico. Contudo, a produção desses ácidos é lenta nos primeiros dias de alagamento e aumenta conforme vai se incrementando a atividade dos microrganismos anaeróbios (SOUSA *et al.*, 2006), além disso, a formação dos ácidos é diretamente proporcional à disponibilidade de C facilmente decomponível. Assim, naqueles solos em que forem incorporados resíduos vegetais próximos ao período de alagamento apresentam maior produção de ácidos orgânicos e são mais propensos a proporcionar toxidez às plantas (SOSBAI, 2014).

Schmidt; Bortolon; Souza (2007), determinaram que o crescimento da raiz e da parte aérea da planta de arroz foram reduzidos com o aumento da concentração dos ácidos orgânicos, sendo que o sistema radicular apresentou maior sensibilidade aos ácidos. De fato, esses compostos interferem em processos responsáveis na produção de energia na raiz e conseqüentemente na redução da absorção de nutrientes, resultando na menor produção de perfilhos e diminuição dos rendimentos.

Além disso, como resultado da dinâmica dos solos inundados, pode ocorrer a emissão de gases de efeito estufa como o N_2O (óxido nitroso) pela desnitrificação de nitrato e emissão de CH_4 (metano), como consequência da degradação de compostos orgânicos (SOSBAI, 2014).

A liberação dos gases (CH_4 e N_2O) do solo para a atmosfera ocorre por ebulição, difusão molecular e transporte por meio da planta de arroz, entretanto, o mecanismo de liberação dos gases de maior importância se dá através do aerênquima das plantas de arroz, em que o CH_4 e o N_2O entram pelas raízes e são liberados na parte aérea, enquanto que, o processo de ebulição ocorre quando existe aumento de pressão como resultado da contínua produção de gases e a deficiência da liberação pelo alagamento do solo, sendo os gases liberados posteriormente sob forma de bolhas (REDDY; DELAUNE, 2008).

4 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R.; STONE, L. Índice S como Indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- ARF, O.; RODRIGUES, A.; SÁ, M.; CRUSCIOL, C.; PEREIRA, J. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho do arroz de terras altas. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 321-326, Abril 2002.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, n. 88, p. 153-160, 2002.
- BA, L.; VAN, K.; ELSACKER, S.; CORNELIS, W. Effect of cropping system on physical properties of clay soil under intensive rice cultivation. **Land Degradation & Development**, n. 27, p. 937 - 982, 2016.
- BARRIGOSI, J.; LANNA, A, C.; FERREIRA, E. Agrotóxicos do Cultivo do Arroz no Brasil: análise do consumo e medidas para reduzir o impacto ambiental negativo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004, 8 p. (Circular Técnica, 67).
- BRONICK, C.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, n. 124, p. 3-22, April 2005.
- BURESH, R.; HAEFELE, S. "Changes in paddy soils under transition to water-saving and diversified cropping systems." Soil solutions for a changing world. Proceedings of 19th world congress of soil science: working group. Vol. 3. 2010.
- CAMARGO, F. A. DE O.; SANTOS, G. DE A.; ZONTA, E. Electrochemical changes in wetland soils. **Ciência Rural**, v. 29, n. 1, p. 171-180, mar. 1999.
- CONAB. Monitoramento Agrícola. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, v. 5, n. 5, p. 140, Fevereiro, 2018. ISSN 2318-6852.
- CONCEIÇÃO, P.; AMADO, T.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Manejo e conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 777 - 788, p. 12, Agosto 2005.
- CORDEIRO, A, C.; MEDEIROS, R. BRS Jaçanã e BRS Tropical: cultivares de arroz irrigado para os sistemas de produção de arroz em várzeas de Roraima. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 67-73, Julho 2010.
- CORDEIRO, A.; MEDEIROS, R.; GIANLUPPI, D; PEREIRA, P. O cultivo do arroz irrigado em Roraima. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 19p. (Embrapa Roraima. Documentos, 01).
- CORREIA, S, L. Desempenho agrônômico de arroz irrigado em sucessão a coberturas do solo. 2013. 81p. dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre. 2013.

COSTA, E.; GOEDERT, W.; SOUSA, D. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185 - 1191, Julho 2006.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Defining soil quality, p. 1–21, 1994.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. Methods for assessing soil quality/editors, John W. Doran and Alice J. Jones; editorial committee, Richard P. Dick...[et al.]; editor-in-chief SSSA, Jerry M. Bigham; managing editor, David M. Kral; associate editor, Marian K. Viney, 1996.

GALANTINI, J.; ROSELL, R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soil. **Soil & Tillage Research**, n. 40, p. 523-528, 2006.

GARÓFALO, G. Arroz em Roraima - conjuntura desfavorável. **Norte Científico**, Dezembro 2007. 15.

GAUR, V.; SHING, U.; GUPTA, A.; KUMAR, A. Understanding the differential nitrogen sensing mechanism in rice genotypes through expression analysis of high and glow affinity ammonium transporter genes. **Molecular Biology Reports**, n. 39, p. 2233-2241, 2012.

GODOY, S. Atributos do solo em áreas sob cultivo sucessivo de arroz de terras altas em semeadura direta: efeitos sobre a produtividade. 2013. 73f. Tese (Doutorado). Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2013.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, p. 6, 2006.

GUIMARÃES, C.; FAGERIA, N.; FILHO, M. **Como a planta de arroz se desenvolve**. [S.l.], p. 12. 2002.

IMPA, S.; SARAH, E.; BEEBOUT, J. Mitigating zinc deficiency and achieving high grain Zn in rice through integration of soil chemistry and plant physiology research. **Plant Soil**, n. 361, p. 3-41, 2012.

KAHLON, M.; LAL, R.; VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil & Tillage Research**, n. 126, p. 151-158, 2013.

LANNA, A.; CARVALHO, M.; HEINEMANN, A.; STEIN, V. Panorama ambiental fisiomolecular do arroz de terras altas. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Santo Antônio de Goiás, p. 32, Abril 2012. ISSN 1678-9644.

LIMA, C.; PAULETTO, E.; GOMES, A.; SILVA, J. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 27, p. 199-205, 2003.

LINH, T.; SLEUTEL, S.; GOUNG, V.; KHOA, L.; CORNELIS, W. Deeper tillage and root growth in annual rice-upland cropping systems result in improved rice yield and economic profit relative to rice monoculture. **Soil & Tillage Research**, n. 154, p. 44-52, 2015.

LORENSI, R. P. Relações entre Atributos do Solo e uso de Água em Arroz Irrigado. 2011. 126f. Tese (Doutorado). Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2011.

MEDEIROS, R.; SOARES, A.; GUIMARÃES, R. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciênc. agrotec**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 940 - 947, 2005.

MORANO, R. P. Manejos da irrigação e adubação na cultura de arroz (*Oryza sativa* L.) visando incrementar a eficiência do uso da água e do nitrogênio. 2014. 312f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2014.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 88, p. 161-168, 2002.

NOVAIS, R.; ALVAREZ, V.; BARROS, N.; FONTES, R.; CANTARUTTI, R.; NEVES, J. **Fertilidade do Solo**. In: NOVAIS, R.; SMYTH, T.; NUNES, F. Fósforo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 471-532.

PEDROTTI, A.; PAULETO, E.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.; DIAS, J. M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, 2001.

RAUBER, A. L. Ordenamento Territorial: A cultura do Arroz Irrigado no Município de Rio Pardo, RS, Brasil. 2004. 104f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional). Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2004.

REDDY, K.R., DELAUNE, R.D. Wetlands and Global Climate Change. In: Biogeochemistry of Wetlands: **Science and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2008. p.599-623.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 1.ed. 2004. 500p.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.; YANG, X.; FOX, C.; TAN, C.; ZHANG, T. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, n. 96, p. 316 - 330, 2007.

ROSA, C.; CASTILHOS, R.; PAULETO, E.; PILLON, C.; LEAL, O. Conteúdo de Carbono Orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1769 – 1776. 2011.

ROSA, C.; CASTILHOS, R.; PAULETO, E.; PILLON, C.; LEAL, O. Conteúdo de Carbono Orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1769 – 1776. 2011.

ROSE, T.; IMPA, S.; ROSE, M.; TANAKA, J.; MORI, A.; HEUER, S.; BEEBOUT, S.; WISSUWA, M. Enhancing phosphorus and zinc acquisition efficiency in rice: a critical review of root traits and their potential utility in rice breeding. **Annals of Botany**, n. 112, p. 331-345, 2013.

SAHRAWAT, K. L. Fertility and organic matter in submerged rice soil. **Current Science**, v. 88, n. 5, 2005.

SAKAZAKI, R.; ALVES, J. M.; LOPES, G. M. Arroz Irrigado em Roraima. **Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 2, n. 1, p. 8p, Janeiro 2008.

SANTOS, C. E.; TREICHEL, M.; BELING, R. R. Anuário Brasileiro do Arroz 2016, Santa Cruz, p. 112p, 2016.

SANTOS, D.; LIMA, C.; KUNDE, R.; CARVALHO, J.; ABEIJON, L.; PILLON, C. Agregação e proteção física da matéria orgânica em planossolo háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 54 - 63, Março 2012.

SANTOS, P.; SOARES, A.; RAMALHO, M. Predição do potencial genético de populações segregantes de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 659-670, Abril 2001.

SCHMIDT, F.; FORTES, M.; WESZ, J.; BUSS, G.; SOUZA, R. Impacto do manejo da água na toxicidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1226-1235, 2013.

SCHMIDT, F.; BORTOLON, L.; SOUZA, R. Toxidez pelos ácidos propiônico e butírico em plântulas de arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 720-726, 2007.

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H.; BURGER, J. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, n. 138, p. 335-356, 2000.

SCIVITTANO, W.; GONÇALVES, D. **Estado Nutricional do Arroz em resposta à variação na altura da lâmina da água**. EMBRAPA. Pelotas, p. 30. 2011. (1678-2518).

SHARMA, K.; MANDAL, U.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K.; MANDAL, B.; GRACE, J.; RAMESH, V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. **Soil&Tillage Research**, n. 83, p. 246-259, 2005.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz Irrigado**. XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Santa Maria: Palloti. 2014. p. 189.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. de O.; VAHL, L. C. Solos alagados: reações de redox. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 185-211.

SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Effects of field managements for soil organic matter stabilization on water-stable aggregate distribution and aggregate stability in three agricultural soils. **Journal of Geochemical Exploration**, n. 129, p. 45-51, 2013.

TRIPATHI, R.; NAYAK, A.; BHATTACHARYYA, P.; SHUKLA, A.; SHAHID, M.; RAJA, R.; PANDA, B.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; THILAGAM, V. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions after 41 years long-term fertilizer experiment in tropical rice–rice system. **Geoderma**, n. 213, p. 280-286, 2014.

VARALLO, A.; CARVALHO, L.; SANTORO, B.; SOUZA, C. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-Amerelho irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 372-377, 2010.

ZHOU, W.; TENG-FEI, LV.; CHEN, Y.; WESTBY, A.; REN, W. Soil Physicochemical and Biological Properties of paddy-upland rotation: A review. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-8, 2014.

CAPITULO 01 - INDICADORES FISICOS DO SOLO COM DIFERENTES TEMPOS DE CULTIVO SUCESSIVO COM ARROZ IRRIGADO

Resumo.- O incremento da produtividade de arroz para manter a demanda em níveis atuais no mundo, promoveu a busca de alternativas de manejo da cultura, incluindo a intensificação da produção. Contudo, a avaliação do ambiente em que a planta se desenvolve se tornou em um fator chave na determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados. Assim, objetivou-se avaliar o efeito do tempo de uso do solo com cultivos sucessivo de arroz irrigado e diferentes práticas de manejo do solo nas propriedades físicas. O experimento foi realizado em áreas de plantio comercial da fazenda Paraíso, localizada no estado de Roraima, Município Bonfim. Instalado sobre um solo Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de arranjo em faixas, com quatro repetições. As avaliações dos indicadores físicos foram realizadas em áreas com 2 anos (A2: plantio convencional), 4 anos (A4: plantio convencional), 9 anos (A9: três anos com cultivo mínimo), 14 anos (A14: três anos com cultivo mínimo), 26 anos (A26: 1 ano com cultivo mínimo) de uso com arroz, nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Para comparar os efeitos do manejo do solo cultivado, se utilizou uma área de floresta nativa como referência. Evidenciou-se nas áreas A9 e A14 maior conteúdo da fração argila, matéria orgânica do solo (MOS) e correlações significativas positivas entre os valores de MOS com diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e correlações negativas com a densidade do solo nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Condições adversas foram observadas nas áreas A2, A4 e A26 em relação à estabilidade de agregados. A áreas mais antiga cultivada com arroz, apresentou maior densidade nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Em termos gerais, a conversão de áreas nativas para áreas de produção de arroz sob condições alagadas, afeta negativamente os atributos físicos do solo. No entanto, o preparo reduzido e a manutenção dos resíduos de colheita na superfície do solo, favorece na recuperação da sua qualidade ao longo do tempo.

Palavras-chaves: Agregados do solo. Cultivo mínimo. Matéria orgânica do solo.

CHAPTER 01 - PHYSICAL INDICATORS IN AREAS WITH VARIOUS CONSECUTIVE YEARS OF IRRIGATED RICE CULTIVATION

Abstract.- The increasing demand to maintain current world per capita consumption has promoted the exploration of crop management alternatives, including intensification of production. Yet, the evaluation of the environment in which the plant develops has become a key factor in determining the sustainability of the management systems used. The objective of this work was to evaluate the effects of different soil management practices over time in rice-cultivated areas. The experiment was carried out in commercial plantation areas of the Paraíso farm, located in Roraima, Bonfim Municipality. Installed in “Gleissolo Háplico Distrófico Tb” (Typic Fluvaquent – Soil Taxonomy, USA). The experimental design used was a complete randomized block design with four replications. The evaluations were performed in areas with 2 years (A2: conventional planting), 4 years (A4: conventional planting), 9 years (A9: three years No-tillage system), 14 years (A14: three years No-tillage system), and 26 years (A26: one year of No-tillage system) of rice development; and 0-0.10 m; 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m soil layers. To compare the effects of cultivated soil management, a native forest area was used as a control. A9 and A14 showed higher content of clay fraction, soil organic matter (SOM) and significant positive correlations between SOM values with weighted mean diameter (WMD), geometric mean diameter (DMG) and negative correlations with density of the soil in 0-0.10 m; 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m layers. Adverse conditions were observed in areas A2, A4 and A26 in relation to the stability of aggregates. The oldest cultivated rice’s areas, presented higher density in the layers 0,10-0,20 m and 0,20-0,30 m. In general terms, the conversion of native areas to areas of rice production under flooded conditions negatively affects the physical attributes of the soil. Still, the reduced preparation and maintenance of crop residues on the soil surface favors the recovery of its quality over time.

Keywords: Soil aggregates. Minimal cultivation. Soil organic matter.

5 INTRODUÇÃO

O incremento da produtividade para manter o consumo percapita em níveis atuais no mundo tornou-se em grande desafio devido a fatores como: escassez dos recursos hídricos, aumentos nos custos de produção, baixos rendimentos e outros, restringem a capacidade de atender à crescente demanda de alimentos para a população global (PENG; TANG; ZOU, 2009). Esses desafios promoveram a exploração de alternativas de manejo das culturas incluindo a intensificação da produção de arroz, que exige frequentemente a construção ou modernização da infraestrutura e uma maior dependência de insumos como agrotóxicos (TONG, 2017), adubos e corretivos (LINH *et al.*, 2015).

Assim, a produção intensiva e o uso contínuo de maquinarias agrícolas para eliminar ervas daninhas e remover as camadas superficiais do solo, além de promover a rápida decomposição da matéria orgânica, promove a compactação das camadas mais profundas, e ocasiona a deterioração da estrutura do solo, alterando a densidade e a resistência mecânica à penetração. Em tais circunstâncias o desenvolvimento do sistema radicular é afetado, o que repercute consideravelmente na produtividade, embora se incorporem anualmente mais fertilizantes ao solo (PEDROTTI *et al.*, 2001). Isso indica que a depleção da MOS pelo constante revolvimento do solo é considerada uma das ameaça mais graves para uma produção sustentável de arroz (ZHOU *et al.*, 2014).

Contudo, o tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo e as condições de umidade do solo em que são realizadas as operações de campo determinaram a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo, uma vez que tais efeitos são dependentes da textura e mineralogia, as quais influenciam na resistência e resiliência do solo (COSTA *et al.*, 2003). Neste sentido, a avaliação do ambiente em que a planta se desenvolve, considerando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo é um fator chave na determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados (PARFITT; PINTO; TIMM, 2014) assim, grande número de pesquisas foram focadas em desenvolver estratégias de manejo a fim de melhorar a qualidade do solo e a maximizar os rendimentos (ZHOU *et al.*, 2014).

Nesse contexto, as práticas de manejo que objetivam em manter os resíduos de colheita, na superfície do solo, resultam em melhoras da sua qualidade, devido ao constante suprimento de substratos e energia para a atividade microbiana, o que contribui na formação e estabilidade de agregados. Assim, qualquer alteração positiva que ocorra na estrutura, provocará mudanças nas relações solo-ar-água, na resistência mecânica e na temperatura do

solo e, em consequência, fornecimento de condições favoráveis para o crescimento das plantas (PEDROTTI *et al.*, 2001; BLAINSKI *et al.*, 2012) podendo alcançar os patamares de produção na cultura de arroz (SALAHIN *et al.*, 2017).

Neste cenário, o estado de Roraima apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para a produtividade de arroz em várzeas irrigadas, sendo de interesse a avaliação das características do solo com diferentes tempos de uso e manejo, vislumbrando na utilização das técnicas mais racionais e sustentável de uso do solo.

Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito do tempo de uso do solo com cultivos sucessivo de arroz irrigado e diferentes práticas de manejo do solo nas propriedades físicas.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Área Experimental

O estudo foi realizado em campo, em uma área de plantio comercial da Fazenda Paraíso, localizada no estado de Roraima, Município Bonfim, entre as coordenadas geográficas 3° 19' 01,56'' latitude N e 60° 23' 43,65'' longitude W e 68 m de altitude (Figura).

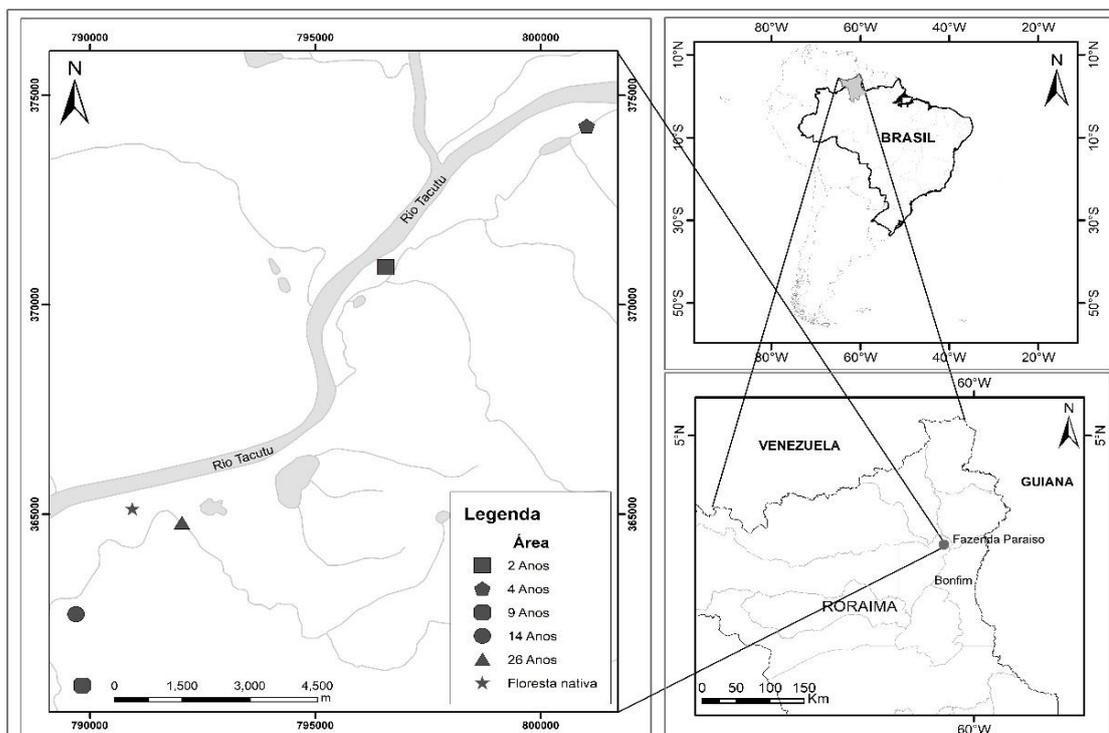


Figura 1. Localização da área de estudo.

O clima predominante na região Nordeste do estado de Roraima, segundo a classificação de Köppen, é tropical chuvoso (Aw), apresentando temperatura média anual de 27,2 °C e regime hídrico bem definido durante o ano, com uma época seca (outubro – março) e outra chuvosa de seis meses (abril – setembro), com precipitação em torno de 1500 a 2000 mm. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013), o tipo de solo classificado como Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico.

6.2 Manejo da área experimental

A avaliação foi realizada depois da safra 2016 - 2017, em áreas com 2 anos (A2), 4 anos (A4), 9 anos (A9), 14 anos (A14) e 26 (A26) anos do uso do solo com arroz. Os cultivares semeados foram: IRGA 429 nas áreas A2, A4 e IRGA 424 nas áreas A9, A14 e A26. Os sistemas de plantio foram, sistema convencional e cultivo mínimo. Nas áreas com manejo convencional, houve aração do solo com arado de disco numa profundidade de 0,20 m, seguido do nivelamento com plaina niveladora e passagem de rolo para o destorroamento, concluindo com a elaboração de curvas de níveis e construção de taipas. Este sistema de preparo foi realizado para viabilizar a semeadura em áreas com grandes irregularidades superficiais ocasionadas durante a colheita sob condições de umidade do solo.

Nas áreas com cultivo mínimo foram realizadas operações de preparo do solo após da colheita, neste sistema o revolvimento do solo foi reduzido em relação ao sistema de preparo convencional.

Na Tabela 1, são apresentados os históricos do manejo do solo das áreas avaliadas.

Tabela 1. Histórico do manejo do solo nas áreas experimentais nas últimas seis safras.

SAFRA	Tempo de uso do solo com arroz				
	2 anos	4 anos	9 anos	14 anos	26 anos
	Manejo do solo				
2016 – 2017	Convencional	Convencional	C. Mínimo	C. Mínimo	C. Mínimo
2015 – 2016	Convencional	C. Mínimo	C. Mínimo	C. Mínimo	Convencional
2014 – 2015	-	Convencional	C. Mínimo	C. Mínimo	Convencional
2013 – 2014	-	Convencional	Convencional	Convencional	C. Mínimo
2012 – 2013	-	-	Convencional	Convencional	Convencional
2011 – 2012	-	-	Convencional	Convencional	Convencional

6.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de arranjo em faixas, com quatro repetições. As parcelas consistiram em 5 áreas cultivadas com arroz

com diferentes manejos do solo e como referência utilizou-se uma área de floresta nativa, localizada próxima às áreas cultivadas. As avaliações foram realizadas nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Constituinto um total de 72 unidades experimentais.

6.4 Coleta de amostras de solo

Antes da amostragem do solo, foram identificadas as áreas de acordo com os diferentes tempos de uso da terra com arroz (2, 4, 9, 14 e 26 anos) e posteriormente se demarcaram os sítios de estudo em quadrantes de 100 x 100 m (10,000 m²) e estes quadrantes, foram subdivididos em quatro parcelas de 50 m por 50 m (2,500 m²), constituindo assim as repetições para cada tratamento.

Foram abertas três minitrincheiras de 0,30 m de profundidade com auxílio de uma pá de corte em cada unidade experimental e seguidamente realizou-se a amostragem do solo, para as análises de textura e matéria orgânica, as sub amostras foram misturadas, quarteadas e reduzidas a amostra composta.

Nas mesmas trincheiras foram realizadas amostragens para determinar a densidade do solo utilizando o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), e também se coletaram amostras indeformadas para determinar a estabilidade de agregados (SALTON *et al.*, 2012).

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e posteriormente transportadas ao laboratório de solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima.

6.5 Análises físicas e matéria orgânica do solo

Previa análises textural, as amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm (TFSA). A determinação da distribuição granulométrica foi realizada utilizando o método da pipeta, detalhadamente descrito em EMBRAPA (1997).

A densidade do solo (Ds) foi determinada mediante peso seco das amostras coletadas junto com os anéis de Kopecky de volume conhecido, segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), onde:

$$Ds \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \text{Peso seco do solo} / \text{Volume do anel.}$$

As amostras indeformadas foram passadas pela peneira de 8 mm e o material retido na peneira de 4 mm, foi utilizado para a determinação da estabilidade de agregados em água, segundo a metodologia descrita por Salton *et al.* (2012). Os agregados separados foram

classificados em macroagregados (agregados > 0,25 mm), microagregados (agregados <0,25–0,05 mm) e partículas simples (< 0,05 mm) de acordo com Edwards; Bremner (1967).

O Diâmetro médio ponderado (DMP) e Diâmetro médio geométrico (DMG), foram calculados de acordo com a equação proposta por Mazurak (1950).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi.wi)$$

$$DMG = \frac{\exp \sum_{i=1}^n (wp.logxi)}{\sum_{i=1}^n wi}$$

Onde:

xi= diâmetro médio das classes de agregados;

wi= proporção de cada classe em relação ao total.

Para a determinação de matéria orgânica (MO), foram macerados aproximadamente 5,0 g de solo, passados em peneira de 0,149 mm e analisadas no laboratório de solo da Universidade Federal de Viçosa mediante análise elementar.

6.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados em planilhas eletrônicas e seguidamente, para cada indicador do solo analisado foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos erros. Para determinar os efeitos de manejo do solo nos indicadores físicos, os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foram realizadas análises de correlação de Pearson e de componentes principais.

As análises foram realizadas com o auxílio do programa R Studio (R CORE TEAM, 2015).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Composição textural e densidade do solo

A distribuição espacial de partículas de areia, silte e argila nas áreas e camadas estudadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de areia, silte e argila e classe textural em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso e diferentes camadas.

Área	Areia -----g kg ⁻¹ -----	Silte	Argila	Classe textural
A2	52,69 c	603,62 a	343,69 c	Franco argiloso siltosa
A4	25,28 c	478,97 bc	495,75 b	Argilo siltosa
A9	35,49 c	309,89 d	654,62 a	Muito argilosa
A14	29,86 c	363,01 cd	607,13 ab	Muito argilosa
A26	312,02 b	530,10 ab	157,88 d	Franca
F. Nat	522,50 a	365,88 cd	111,62 d	Franco arenosa
CV (%)	8,80	11,99	13,31	--
0,10-0,20 m				
A2	34,26 c	540,99 a	424,75 b	Franco argiloso siltosa
A4	19,28 c	408,04 abc	572,68 a	Argilo siltosa
A9	29,13 c	306,99 c	663,88 a	Muito argilosa
A14	30,82 c	312,43 c	656,75 a	Muito argilosa
A26	363,58 b	448,55 ab	187,87 c	Franca
F. Nat	523,62 a	371,38 abc	105,00 c	Franco arenosa
CV (%)	12,89	15,20	13,08	--
0,20-0,30 m				
A2	25,96 c	513,16 a	460,88 b	Argilo siltosa
A4	15,20 c	357,05 ab	627,75 a	Muito argilosa
A9	35,38 c	281,31 b	683,31 a	Muito argilosa
A14	45,01 c	284,93 b	670,06 a	Muito argilosa
A26	298,38 b	379,37 ab	322,25 b	Franco argilosa
F. Nat	519,62 a	387,13 ab	93,25 c	Franco arenosa
CV (%)	14,89	19,91	15,00	--

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A interação entre tempo de uso do solo com arroz e as camadas avaliadas foi significativa ($p \leq 0,05$). Assim, observou-se que na camada 0-0,10 m, os teores de areia variaram de 25,28 a 522,50 g kg⁻¹ entre as áreas estudadas, sendo o maior valor observado na área de floresta nativa, seguido por A26 com 312,02 g kg⁻¹, estes valores diferiram significativamente entre si. Em relação ao silte, os valores estiveram entre 309,89 e 603,62 g kg⁻¹. A área A2 apresentou o maior valor e deferiu significativamente dos valores observados nas áreas A4, floresta nativa A14 e A9.

Referente aos teores de argila, encontraram-se variações entre 111,62 e 654,62 g kg⁻¹. A área A9 apresentou valor diferente estatisticamente com os resultados encontrados nas áreas A4, A2, A26 e floresta nativa, sendo esta última área a que apresentou o menor teor de argila.

Esta mesma amplitude na distribuição nos teores de areia, silte e argila foi observado na camada 0,10-0,20 m. Assim, constatou-se que os valores de areia variaram de 19,28 g kg⁻¹ a 523,63 g kg⁻¹, sendo a área de floresta nativa a que apresentou o maior valor, e foi diferente significativamente com os teores das demais áreas. Enquanto ao silte, as áreas com maiores teores foram A2, A26, A4 e floresta nativa, com 540,99 g kg⁻¹; 448,55 g kg⁻¹; 408,04 g kg⁻¹ e 408,04 g kg⁻¹ respectivamente, estes resultados foram iguais estatisticamente entre si, e os valores encontrados nas áreas A14 e A9, diferiram apenas da área A2 e A26.

As áreas A9, A14 e A4, apresentaram 663,88 g kg⁻¹, 656,75 g kg⁻¹ e 572,69 g kg⁻¹ de argila, respectivamente, e são iguais estatisticamente entre si, contudo, diferiram dos valores observados nas demais áreas.

Na camada 0,20-0,30 m, observou-se a mesma tendência observada nas camadas mais superficiais, assim, o maior valor de areia observou-se na área de floresta nativa. Já para os teores de silte, as áreas A2 com 513,16 g kg⁻¹, floresta nativa com 387,13 g kg⁻¹, A26 com 379,37 g kg⁻¹ e A4 com 357,05 kg⁻¹, apresentaram os maiores valores e não diferiram significativamente entre si. Contudo, o valor encontrado na área A2, foi diferente apenas dos obtidos nas áreas A14 e A9. Enquanto a argila, foi observada a mesma sequência encontrada na camada 0,20-0,30 m.

Os resultados da distribuição espacial das frações areia, silte e argila, obtidos neste estudo, refletem a natureza multivariada dos sedimentos depositados e forma de deposição em cada uma das camadas avaliadas, portanto, estes fatores tornam-se indispensáveis para a definição dos processos pedogenéticos que agiram promovendo a formação do solo com variabilidade na textura e na fertilidade.

Assim, essas variações das frações (areia, silte e argila) foram observadas consideravelmente na área de floresta nativa com os valores de areia em relação com as áreas dedicadas à produção de arroz, enquanto que os maiores valores de silte foram observados na área A2, e evidenciou-se um decréscimo nas camadas mais profundas em todas as áreas de produção e apenas apresentou significância estatística a área A26, entanto que na área de floresta nativa foi observado aumento dos teores na camada 0,10-0,20 m e redução na camada mais profunda, essas variações não foram significativas. Em relação aos teores de

argila, todas as áreas dedicadas à cultura de arroz apresentaram aumento a maior profundidade, sendo apenas a áreas A26 a que mostrou incrementos significativos na camada 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Tavares *et al.* (2013) encontraram em perfis de Gleissolos, variações da textura desde a classe argilosa até arenosa, com predominância das frações mais finas nos horizontes superficiais, essa distribuição granulométrica reflete a natureza sedimentar recente das partículas minerais que formam os solos desse ambiente, evidenciando menor grau de desenvolvimento dos perfis na paisagem de várzea.

Por outro lado, Khan; Hussain e Ottner (2012), observaram em três solos da planície aluvial de Meghna, em Bangladesh, que os solos de várzeas predominantemente são de textura média a fina e a distribuição vertical das partículas indicam a heterogeneidade e a descontinuidade litológica dos sedimentos e a condição turbulenta sob a qual foram depositados. Decorrente disso, estes solos se caracterizam pela saturação periódica e drenagem deficiente e como resultado dos processos oxi-redução exibem coloração escura proeminente na zona intermedia dos perfis devido à acumulação de ferro, portanto os solos de várzea apresentam condições favoráveis para o cultivo de arroz irrigado (COUTO; OLIVEIRA, 2011; PARFITT; PINTO; TIMM, 2014).

Assim, a superfície natural dos solos de várzeas, desde o ponto de vista do macro relevo, apresenta-se como um terreno plano, contudo, seu micro relevo geralmente é irregular, formado por pontos altos e depressões, neste sentido, a sistematização das terras baixas para a produção de arroz, é uma prática muito utilizada mundialmente e visa a otimizar o uso do solo, facilitando o manejo da água, as operações das maquinarias agrícolas tanto no processo de semeadura, tratos culturais e colheita. Durante o processo de sistematização ocorrem significativos movimentos de terra pelos cortes nas partes altas e aterros nas partes relativamente baixas, provocando alterações na distribuição espacial das partículas e do espaço poroso do solo, repercutindo principalmente na dinâmica dos nutrientes, crescimento radicular, emergência das plântulas, infiltração e/ou movimento da água no interior do perfil do solo e à disponibilidade de água às plantas (PARFITT; PINTO; TIMM, 2014).

As diferentes classes texturais observadas em função da distribuição espacial das frações de areia, silte e argila em cada uma das áreas estudadas, permitem estabelecer práticas de manejo diferenciado, especialmente nas áreas com textura mais arenosa, pois estes solos tem maior macroporosidade (OBIA *et al.*, 2016), e as perdas de água por percolação é ao redor de 6 mm dia^{-1} (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2011).

Neste contexto, os solos tem que se considerar como um meio heterogêneo, uma vez que a textura tem grande influência no uso eficiente da água, visto que nos solos arenosos as perdas de água pelo fluxo vertical (percolação) e evapotranspiração é de 27 mm dia⁻¹, em solos siltosos 14 mm dia⁻¹ e em solos com textura argilosa 10 mm dia⁻¹, entretanto, a produção de arroz em solos com mal drenagem ou também chamados de textura pesada (argilosos, siltosos e argilo-siltosos) são os que apresentam condições favoráveis na eficiência de água, com a desvantagem que o sistema radicular pode ser severamente afetado fisicamente ou ter o seu crescimento impedido à medida que o solo seca abaixo da zona de saturação (STONE, 2005).

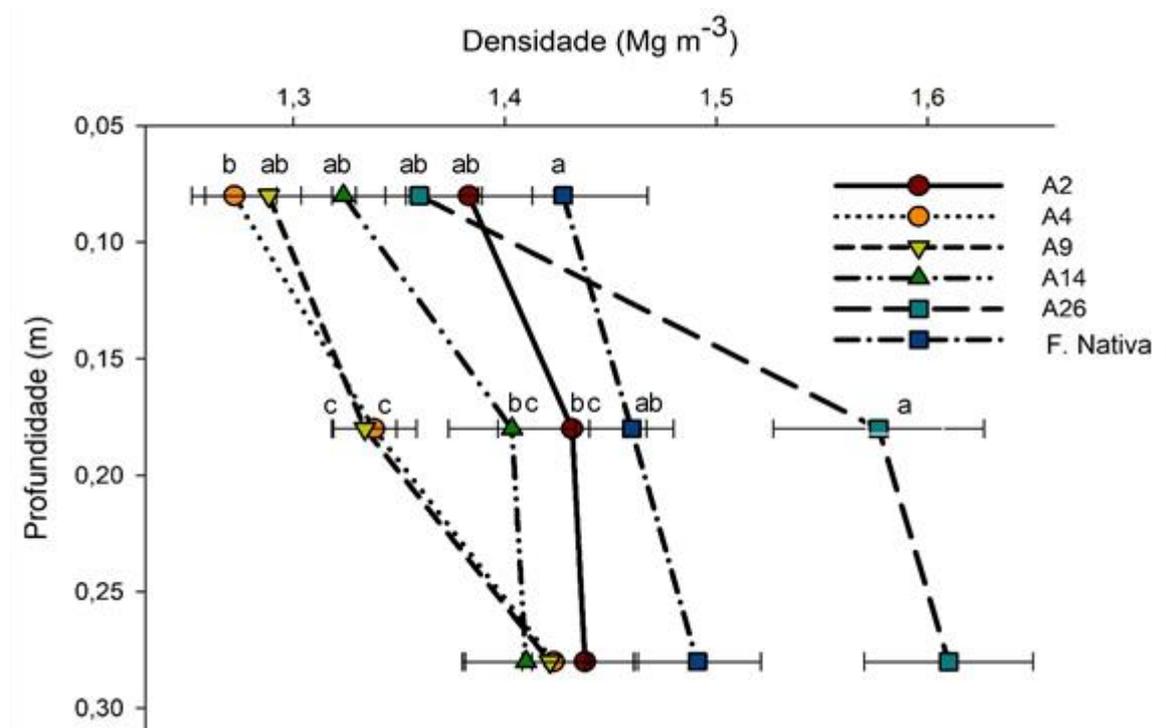


Figura 2. Densidade do solo em diferentes profundidades de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma camada (linha horizontal) não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação à densidade do solo (Figura 2), foram observadas médias de 1,27 a 1,43 Mg m^{-3} , de 1,34 a 1,58 Mg m^{-3} e de 1,41 a 1,61 Mg m^{-3} nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente. Na camada 0-0,10 m, a maior densidade foi observada na área de floresta nativa, sendo este estatisticamente igual das demais áreas a exceção da área A4. Na camada 0,10-0,20 m o maior valor foi observado na área A26 e em comparação com os outros tratamentos, diferiu das densidades encontradas nas áreas A2 (1,43 Mg m^{-3}), A14 (1,40 Mg m^{-3}), A9 (1,34 Mg m^{-3}) e A4 (1,34 Mg m^{-3}), enquanto na camada 0,20-0,30 m, evidenciou-se

que a área A26 manteve a maior densidade do solo, contudo, os valores apresentados não diferiram estatisticamente.

Assim, observou-se que as densidades do solo apresentadas na área A26 nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m foram 1,36, 1,58 e 1,61 Mg m^{-3} , respectivamente. Sendo a maior variação da densidade verificada na camada 0,10-0,20 m, esse aumento pode estar relacionado aos baixos conteúdos de argila encontrados nessa área e às inúmeras passagens de maquinarias agrícolas para os tratos culturais, uma vez que estes solos sob condições de alta umidade são os mais sensíveis ao aumento da densidade por apresentar menor sensibilidade ao efeito de expansão e contração (PEIGNÉ *et al.*, 2018).

No entanto, as maiores densidades observadas na área de floresta nativa nas camadas avaliadas, em comparação com as densidades das áreas cultivadas com arroz, a exceção de A26, está relacionada com a textura do solo, uma vez que os solos arenosos apresentam maior densidade em relação a solos com maiores teores de argila e silte (CHAUDHARI *et al.*, 2013).

Em áreas cultivadas com preparo convencional, o aumento da densidade também ocorre quando a camada arável é revolvida e as partículas finas se situam nos espaços porosos ocupados pelo ar, reduzindo assim, a porosidade do solo a maior profundidade (MOTSCHENBACHER; BRYE; ANDERS, 2011), uma vez que a densidade é inversamente proporcional à porosidade do solo (CHAUDHARI *et al.*, 2013).

As densidades observadas nas áreas A4 e A9, mostraram que as práticas de manejo alteraram a densidade do solo ao longo do perfil avaliado, assim observou-se que a área A4 manejada com preparo convencional do solo e A9 com três anos consecutivos com cultivo mínimo, apresentaram a maior densidade na camada 0,20-0,30 m, este fato poderia estar relacionado com os decréscimos da matéria orgânica nas camadas mais profundas. (MOTSCHENBACHER; BRYE; ANDERS, 2011; DOMÍNGUEZ; BEDANO, 2016).

Nesse cenário, Martín *et al.* (2017) e Jorbenadze *et al.* (2017), relataram que, fatores como a textura, profundidade, matéria orgânica e porosidade do solo estão relacionados com a densidade, de modo que, o conhecimento dos valores deste indicador é fundamental para a implementação das práticas de manejo do solo, uma vez que foram estimados os limites para solo muito argiloso (1,25 a 1,3 Mg m^{-3}), argiloso (1,30 a 1,40 Mg m^{-3}), franco siltoso (1,58 Mg m^{-3}) e arenoso (1,7 a 1,8 Mg m^{-3}).

Assim, evidenciou-se que as áreas cultivadas com arroz apresentaram densidades do solo dentro dos limites estabelecidos. Já na área de floresta nativa, embora apresentou os

maiores teores de areia, os valores observados encontram-se abaixo do limite considerado restritivo ao normal desenvolvimento do sistema radicular, que para solos de textura arenosa é maior de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$, isto reflete a integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, como resultado de processos essenciais de ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica (CARDOSO *et al.*, 2011).

7.2 Agregados do solo e matéria orgânica

Os sistemas de manejo influenciaram a dinâmica da matéria orgânica e resultaram em diferentes graus de organização da massa do solo em agregados, como está demonstrado na Figura 3, que apresenta a distribuição da massa do solo agrupados em três classes macroagregados: agregados $> 0,250 \text{ mm}$; microagregados entre $0,250$ e $0,053 \text{ mm}$ e partículas simples $< 0,053 \text{ mm}$.

Na camada $0-0,10 \text{ m}$ (Figura 3A) os maiores valores de macroagregados foram observados na área A9 e A14 com $78,75$ e $72,58\%$ respectivamente, pois estes valores encontrados não diferem estatisticamente entre si, porém, diferem dos observados nas outras áreas estudadas. O valor encontrado na área de floresta nativa foi $57,59\%$ e difere significativamente de $44,00\%$, $28,90\%$ e $23,63\%$, encontrados na área A26, A4 e A2 nessa ordem.

Para microagregados, foi verificado o maior valor na área de floresta nativa com $28,01\%$, portanto, difere dos observados nas outras áreas estudadas. A área A4 apresentou $22,51\%$ e foi diferente significativamente de $18,37\%$, $18,14\%$, $16,89\%$ e $12,09\%$ encontrados na área A26, A2, A14 e A9 respectivamente.

Em relação aos teores de partículas simples, foram observados os maiores percentuais na área A2 com $58,23\%$, seguido da área A4 com $48,59\%$, sendo o primeiro diferente estatisticamente dos observados nas demais áreas, o valor da área A4 diferiu de $37,63\%$; $14,41\%$; $10,53\%$ e $9,16\%$ encontrados na área A26, floresta nativa, A14 e A9, respectivamente.

A variação da distribuição dos diferentes tamanhos de agregados nas áreas estudadas pode estar intimamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica no solo (MOS), pois foram verificados os maiores valores para a área A9 com $2,43\%$, seguido por A14 com $2,15\%$, portanto, verificou-se o valor encontrado em A9 foi diferente estatisticamente dos observados nas demais áreas. O conteúdo de MOS das áreas A4, A26 e floresta nativa foram $1,93\%$, $1,83\%$ e $1,77\%$ respectivamente, sendo estes valores diferentes apenas de $1,27\%$ encontrado na área A2.

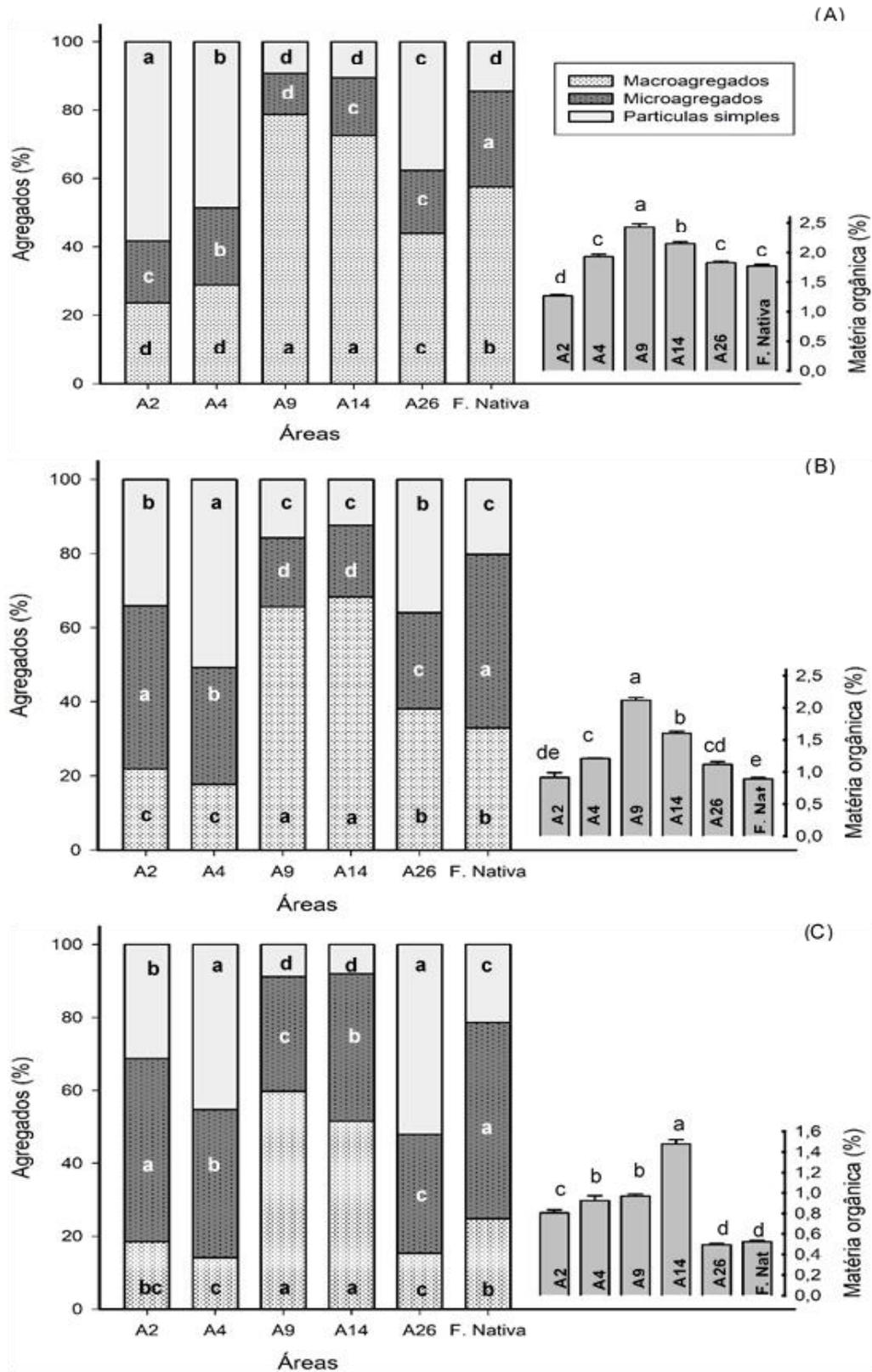


Figura 3. Porcentuais macroagregados, microagregados, partículas simples e conteúdo de matéria orgânica (gráfico pequeno à direita) na camada 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B), 0,20-0,30 m (C) de um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. Médias seguidas da mesma letra minúscula (na horizontal) não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os maiores percentuais de macroagregados na camada 0,10 - 0,20 m (Figura 3B) foram observados nas áreas A14 e A9, com 68,30% e 65,59% respectivamente, estes valores diferem significativamente dos demais. Na área A26 o teor de agregados mais estáveis na água foi de 38,13% e na área de floresta nativa 32,98%, portanto, diferiram dos percentuais encontrados nas áreas A2 e A4 respectivamente.

A área de floresta nativa e A2 apresentaram as maiores porcentagens de microagregados com 46,86 % e 44,01% respectivamente, e foram diferentes com os outros observados. Na área A4 verificou-se 31,52% e foi diferente da área A26, A14 e A9 que apresentaram 25,88%, 19,34% e 18,71% respectivamente, assim o valor da área A26 difere dos obtidos na área A14 e A9. Em relação a partículas simples o maior percentual foi observado na área A4 com 50,73%, sendo este estatisticamente diferente dos apresentados nas outras áreas estudadas, nas áreas A26 e A2 evidenciou-se 36,00% e 34,07% respectivamente e diferem de 20,16%, 15,70% e 12,35% encontrados na área de floresta nativa, A9 e A14 nessa ordem.

Os maiores teores de MOS foram encontrados na área A9 e A14 com 2,12% e 1,60% respectivamente, pois estes valores diferem entre si e dos demais. Já nas outras áreas foram observados 1,21%, 1,12%, 0,91% e 0,89% que correspondem a A4, A26, A2 e floresta nativa na devida ordem, portanto, o valor achado na área A4 foi diferente do valor observado na área A26 e A2.

Já para a camada 0,20-0,30 m (Figura 3C), as áreas A9 e A14 mantiveram os maiores valores de macroagregados com 59,77% e 51,53% respectivamente, sendo estes diferentes de 24,83%, 18,50%, 15,29% e 14,16% encontrados na área de floresta nativa, A2, A26 e A4 nessa ordem.

Em relação aos microagregados, foram observados os maiores percentuais na área de floresta nativa e A2 com 53,82% e 50,28% respectivamente, portanto, diferem dos demais. A área A4 apresentou 40,58% e a área A14 40,48%, sendo estes diferentes de 32,68% da área A26 e 31,44% da área A9.

Por outro lado, a área A26 e A4 apresentaram os maiores teores de partículas simples com 52,03% e 45,26%, respectivamente. Portanto, estes resultados diferiram significativamente dos observados nas outras áreas estudadas. Já na área A2 foi apresentado 31,22% e foi diferente de 21,35%, 8,79% e 7,99% encontrados na área de floresta nativa, A9 e A14, portanto, o percentual observado na área de floresta nativa difere dos encontrados na área A9 e A14.

Já na camada mais profunda o maior conteúdo de MOS foi observado na área A14 com 1,48%, sendo este diferente dos outros valores encontrados. Na área A9 e A4 evidenciou-se 0,97 e 0,93% respectivamente, portanto, não apresentaram diferenças significativas entre si, pois, estes diferiram dos percentuais observados na área A2, floresta nativa e A26.

Assim, os maiores percentuais de macroagregados encontrados nas áreas A9, A14 e floresta nativa na camada 0-0,10 m, e A9 e A14 nas camadas mais profundas, podem estar relacionados com a menor perturbação do solo e a manutenção dos resíduos plantas nas camadas superficiais. Já nas áreas A2 e A4 observou-se as maiores porcentagens de partículas simples na camada 0-0,10 m e acréscimos dos teores de microagregados nas camadas mais profundas, este fato pode ser decorrente da ruptura dos macroagregados e a exposição das frações da MOS aos microorganismos do solo como resultado do continuo revolvimento da camada arável (GUPTA *et al.*, 2014; YAO; TENG; ZHANG, 2015).

Neste cenário, as diferenças entre os percentuais dos agregados nas diferentes áreas e camadas estudadas, pode também estar relacionada com a distribuição espacial das partículas do solo, uma vez que foram apresentadas diferenças significativas nos teores de areia, silte e argila entre as áreas dedicadas à produção de arroz e a área de floresta nativa, além do conteúdo de matéria orgânica e manejo do solo. Assim, Bastos *et al.* (2005) e Peng *et al.* (2015), manifestaram que a estabilidade dos agregados pode ser influenciada por fatores como substâncias orgânicas resultantes da ação dos microorganismos, exsudatos de plantas, tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, deste modo, a matéria orgânica, os óxidos e os hidróxidos atuam como agentes cimentantes, tanto das partículas primárias quanto das partículas secundárias do solo.

Neste estudo, verificou-se que todas as áreas apresentaram decréscimos nos percentuais de macroagregados e conteúdo de matéria orgânica, entanto que os percentuais de microagregados foram aumentando ao longo do perfil estudado. Assim, a união de microagregados originam os macroagregados, como resultado da ligação por agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos, entre partículas primárias livres e agregados de tamanho de silte (SALTON *et al.*, 2008).

Neste contexto, os teores de matéria orgânica encontrados na área A9 e A14 nas camadas avaliadas, possivelmente influenciaram na formação de agregados mais estáveis, como o indicado por Yu *et al.* (2017), que o aumento considerável nos teores de MOS pode alterar em grande parte as propriedades da superfície da partícula do solo, como o número de

carga da superfície, a área de superfície específica e a densidade de carga da superfície, tais mudanças, por sua vez, aumenta a força atrativa e diminui a força repulsiva entre duas partículas adjacentes dentro dos agregados, provavelmente pelas interações organo-minerais, o que favorece na estabilidade dos agregados do solo. Neste sentido, tem sido comprovado que a adição de matéria orgânica influi direta ou indiretamente nos indicadores da qualidade do solo, fornecendo maior resistência a processos erosivos (DAS *et al.*, 2016).

Estudos realizados por Tripathi *et al.* (2014) para determinar os efeitos a longo prazo da incorporação de adubos orgânicos (esterco) e inorgânicos na distribuição dos agregados estáveis na água, demonstraram que as misturas destes adubos influenciaram no armazenamento de COT nos microagregados e na relação C: N, o que reduz a decomposição. Neste sentido, segundo Das *et al.* (2014) a adição contínua de matéria orgânica no solo e uma menor proporção de microagregados implica que a incorporação desse material contribuiu na formação de macroagregados através da ligação de microagregados, portanto, não é possível encontrar esgotamento de carbono nos macros e microagregados do solo, mesmo envolvendo sistemas edáficos contrastantes (produção de arroz irrigado seguido de lavoura sob condição de sequeiro), uma vez que o solo é estruturalmente estável, assim, a não remoção e os contínuos períodos de umedecimento e secagem do solo possivelmente consolidam a agregação (BERTOL *et al.*, 2004).

Entretanto, na área de floresta nativa embora os teores de areia foram consideravelmente alto em relação com as demais áreas, apresentou maior equilíbrio entre macro e microagregados, provocado pela constante cobertura do solo devido à ciclagem da matéria orgânica e diminuição da ação direta das gotas de chuva, permitindo maior uniforme da umidade e a temperatura, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade microbiana e na agregação do solo (WENDLING *et al.*, 2005; BANDYOPADHYAY *et al.*, 2010).

7.3 Diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico

A estabilidade da estrutura varia com as características intrínsecas do solo e com os sistemas de manejo e cultivo. O diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados é um dos índices que indica a estabilidade da estrutura quando submetidos a forças externas, normalmente associadas à água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo à erosão hídrica. A estabilidade estrutural do solo também foi representada pelos índices diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), representados na Figura 4.

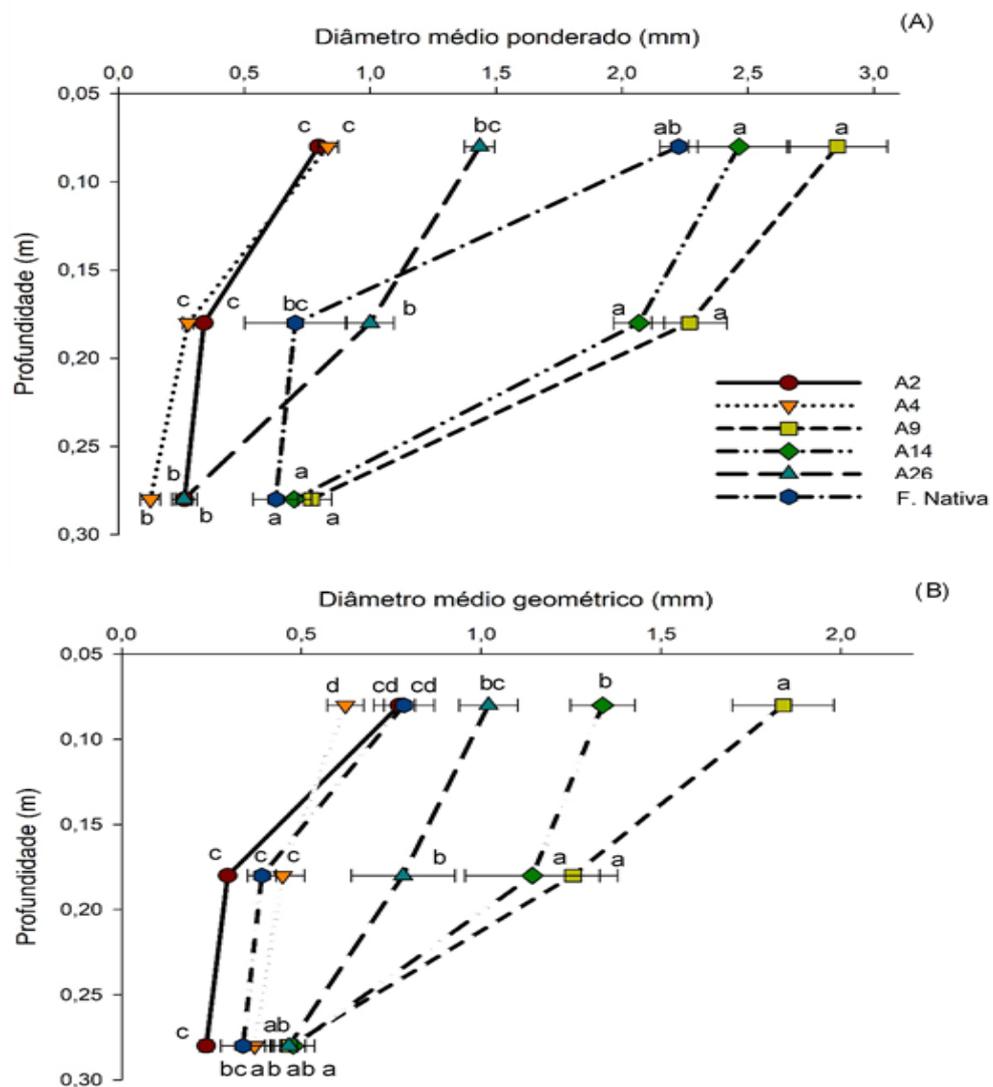


Figura 4. Diâmetro médio ponderado (A), e diâmetro médio geométrico (B), nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma camada (linha horizontal) não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para DMP (Figura 4A) os melhores resultados na camada 0-0,10 m, foram encontrados na área A9, A14 e floresta nativa com 2,86; 2,47 e 2,23 mm, respectivamente, sendo estes diferentes estatisticamente dos demais, a exceção do valor de floresta nativa que não diferiu significativamente apenas da área A26 (1,44 mm), assim, demonstrou-se que a estabilidade da estrutura varia com as características intrínsecas e com os sistemas de manejo do solo.

Na camada 0,10-0,20 m, os resultados se assemelham aos encontrados na camada superficial, pois a área A9 e A14 com 2,27 e 2,07 mm, apresentaram os melhores DMP, diferindo dos demais valores observados, já na camada 0,20-0,30 m foi observado o mesmo

comportamento, entanto que a área A9 (0,77 mm), A14 (0,70 mm) e floresta nativa (0,63), mantiveram os melhores resultados.

Constatou-se uma relação inversamente proporcional entre DMP e a profundidade do solo, assim, as áreas A9 e A14 apresentaram maior estabilidade dos agregados na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, sendo esta diferente na camada mais profunda, comportamento distinto foi observado na área de floresta nativa, a maior estabilidade se apresentou apenas na camada 0-0,10m, deste modo, verificou-se um decréscimo significativo na camada 0,10-0,20 m, assim, este não diferiu do encontrado na camada 0,20-0,30 m. No entanto, nas áreas mais novas, a estabilidade dos agregados decresceu em cada uma das camadas estudadas.

Em relação a DMG (Figura 4B), foi observada na camada 0-0,10 m, a mesma tendência do DMP, de modo que o melhor resultado foi observado na área A9 com 1,84 mm, sendo este diferente significativamente dos demais. Já na área A14 apresentou-se 1,34 mm, portanto este não diferiu de 1,02 mm obtido na área A26, más verificou-se diferencia com os encontrados na área de floresta nativa (0,79 mm), A2 (0,77 mm) e A4 (0,62 mm).

Já para a camada 0,10-0,20 m, a área A9 (1,26 mm) e A14 (1,14 mm) obtiveram os melhores valores e diferiram significativamente de 0,78 mm, 0,45 mm, 0,39 mm e 0,30 mm encontrados nas áreas A26, A4, floresta nativa e A2, respectivamente, entanto que o valor observado na área A26 foi diferente.

Contudo, comportamento distinto foi apresentado na camada 0,20-0,30 m, onde o melhor valor foi reportado na área A14 (0,48 mm) e apresentou diferencia significativa apenas com a área A2 e floresta nativa.

Neste contexto, segundo Wohlenberg *et al.* (2004), as variações na percentagem de agregados por classe de tamanho e no DMG são dinâmicas e dependem da interação contínua e simultânea de fatores físicos, químicos e biológicos, sendo estas interações intimamente relacionadas ao sistema de cultivo.

Assim, os valores do DMP e DMG encontrados nas áreas A9 e A14 ao longo do perfil estudado e DMP observado na área de floresta nativa na camada 0-0,10 m, são decorrentes dos teores de matéria orgânica obtidos nessas áreas, e também devido à ausência da remoção do solo durante três safras consecutivas, dessa forma, há um acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo que juntamente com os altos teores de argila (área A9 e A14) atuam como agentes cimentantes, aumentando a agregação do solo e a sua estabilidade, especialmente na superfície do solo, diminuindo com a profundidade em todas as áreas (BERTOL *et al.*, 2004).

7.4 Análises de correlação de Pearson

Na tabela 3, são apresentadas as análises de correlação dos indicadores físicos para os diferentes sistemas de manejo e tempos de uso do solo com arroz.

Tabela 3. Coeficiente de correlação e a probabilidade entre os diferentes indicadores: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Macroagregados (Mac), Microagregados (Mic), Partículas Simples (Ps), areia, silte, argila, Densidade do solo (Ds), Matéria Orgânica do Solo (MOS), estudados em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz.

	DMP	DMG	Mac	Mic	Ps	Areia	Silte	Argila	Ds	MOS
DMP	-									
DMG	0,79**	-								
Mac	0,92**	0,80**	-							
Mic	-0,30ns	-0,78**	-0,36ns	-						
Ps	-0,90**	-0,65**	-0,97**	0,12ns	-					
Areia	0,12ns	-0,30ns	0,04ns	0,68**	-0,22ns	-				
Silte	-0,77**	-0,61**	-0,80**	0,12ns	0,82**	-0,08ns	-			
Argila	0,30ns	0,59**	0,39ns	-0,67**	-0,24ns	-0,85**	-0,46*	-		
Ds	0,01ns	-0,14ns	-0,07ns	0,32ns	-0,01ns	0,52*	0,18ns	-0,56**	-	
MOS	0,56**	0,50*	0,60**	-0,30ns	-0,56**	-0,16ns	-0,68**	0,50*	-0,59**	-
Camada 0,10-0,20 m										
DMP	-									
DMG	0,92**	-								
Mac	0,96**	0,91**	-							
Mic	-0,77**	-0,88**	-0,75**	-						
Ps	-0,76**	-0,61**	-0,84**	0,27ns	-					
Areia	-0,23ns	-0,29ns	-0,20ns	0,45*	-0,08ns	-				
Silte	-0,69**	-0,60**	-0,61**	0,53*	0,46*	-0,02ns	-			
Argila	0,50*	0,52*	0,44*	-0,63**	-0,12ns	-0,90**	-0,44*	-		
Ds	-0,24ns	-0,26ns	-0,16ns	0,26ns	0,02ns	0,69**	0,41ns	-0,80**	-	
MOS	0,73**	0,69**	0,66**	-0,72**	-0,37ns	-0,43*	-0,57**	0,63**	-0,44*	-
Camada 0,20-0,30 m										
DMP	-									
DMG	0,40ns	-								
Mac	0,85**	0,47*	-							
Mic	-0,08ns	-0,72**	-0,38ns	-						
Ps	-0,87**	-0,15ns	-0,89**	-0,09ns	-					
Areia	0,14ns	-0,05ns	-0,29ns	0,36ns	0,14ns	-				
Silte	-0,49*	-0,55ns	-0,57**	0,46*	0,38ns	0,08ns	-			
Argila	0,10ns	0,29ns	0,51*	-0,52*	-0,29ns	-0,89**	-0,52*	-		
Ds	-0,25ns	0,02ns	-0,27ns	-0,15ns	0,37ns	0,30ns	0,23ns	-0,36ns	-	
MOS	0,33ns	0,21ns	0,55*	-0,18ns	-0,50*	-0,57**	-0,36ns	0,65**	-0,51*	-

n.s. - não significativo ($p > 0,05$); * - significativo em nível de 5% ($p \leq 0,05$); ** - significativo em nível de 1% ($p \leq 0,01$).

É marcante como a matéria orgânica do solo (MOS) contribuiu na formação e estabilização dos agregados do solo, isto se evidenciou pelos altos coeficientes de correlação encontrados ao comparar os valores dos indicadores físicos com os teores de MOS, assim, se observou uma relação significativa e positiva entre a MOS com a fração argila, diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e macroagregados (Mac).

As correlações observadas, estão estreitamente relacionadas com áreas A9 e A14, uma vez que foram observados os maiores teores da fração argila em todas as camadas avaliadas, além disso, a redução da perturbação do solo e a manutenção dos resíduos de colheita, favoreceram na formação de macroagregados, devido ao constante suprimento de substratos para a atividade microbiana (BLAINSKI *et al.*, 2012), no entanto, além que estes compostos orgânicos fornecem energia para a microbiota do solo, atuam como agentes cimentantes das partículas minerais (BASTOS *et al.*, 2005; PENG *et al.*, 2015), podendo ser consolidada a agregação sob condições de contínuos de humedecimentos e secagem do solo durante o desenvolvimento da cultura de arroz (BERTOL *et al.*, 2004).

Situação adversa foi observada em áreas com prepara convencional do solo, uma vez que foram observadas correlações significativas negativas entre a MOS com partículas simples (Ps) e densidade do solo (Ds) ($r = 0,59$ ($p \leq 0,01$) na camada 0-0,10 m, e com Mic ($r = -0,72$ ($p \leq 0,01$), Areia ($r = -0,43$ ($p \leq 0,05$), silte ($r = -0,57$ e Ds ($r = -0,44$ ($p \leq 0,05$) na camada 0,10-0,20 m.

Esse fato está relacionado com as áreas mais recentes cultivadas com arroz, visto que se observou predominância de partículas simples em todas as camadas avaliadas, o que demonstra menor estabilidade de agregados nas áreas mais novas, assim, sob condições de alagamento resulta na formação de uma suspensão enlameada com partículas dispersas com pouca resistência ao fluxo de água, decorrente do revolvimento das camadas superficiais do solo e conseqüentemente a aceleração do processo de composição dos resíduos de colheita (YAO; TENG; ZHANG, 2015).

Neste contexto, a abertura de áreas nativas para a produção intensiva de arroz, altera os processos envolvidos com a estabilidade de agregados, isto foi demonstrado uma vez que foram observadas correlações significativas ($p \leq 0,01$) negativas entre macroagregados e partículas simples nas camadas 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30. Assim, os solos cultivados com arroz sob condições de contínuos períodos de alagamento e drenagem, sofrem uma série de transformações como consequência das reações físicas entre o solo e a água, além de processos químicos e biológicos provocados pela saturação do solo (CAMPOS; MAMEDOV;

HUANG, 2009) e a diminuição consideravelmente da matéria orgânica na superfície do solo (MOTSCHENBACHER *et al.*, 2011).

7.5 Análise de Componentes Principais (ACP)

As análises de componentes principais foram realizadas de forma conjunta para as áreas com diferentes anos de uso com arroz e área referência (A2, A4, A9, A14, A26 e floresta nativa), apenas separadas pelas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m (Figuras 5, 6, 7).

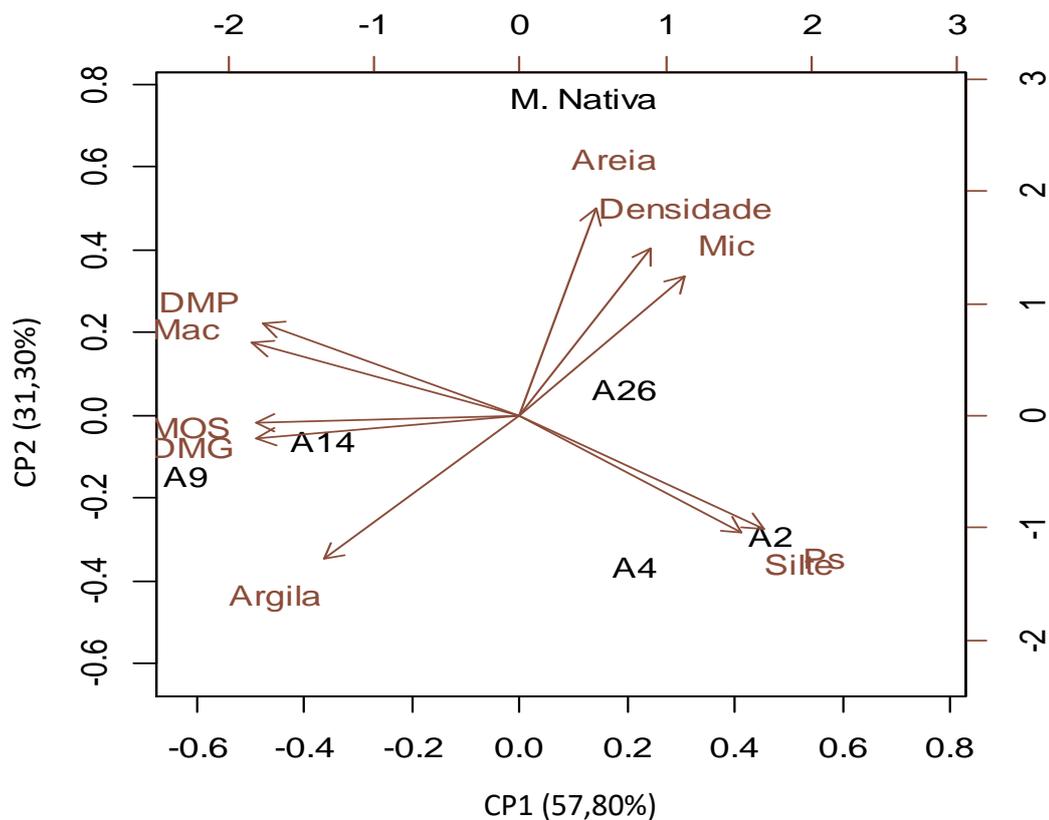


Figura 5. Relação entre as variáveis originais dos indicadores físicos e matéria orgânica do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0-0,10 m. Onde, Mic = Microagregados, Mac= Macroagregados, Ps= Partículas simples, DMP= Diâmetro médio ponderado, DMG= Diâmetro médio geométrico, MOS= Matéria orgânica do solo.

A soma dos Componentes Principais (CP1 e CP2) expressa que os tratamentos foram responsáveis por 89,10% da variabilidade dos dados, o CP1 explica 57,80% dessa variabilidade, o que confere robustez aos resultados (Figura 5).

Estes resultados indicam que as variáveis fortemente relacionadas (expressado pelo afastamento das setas do centro do plano) com a área de floresta nativa foram, densidade do solo, microagregados (Mic) e areia, e no sentido oposto evidenciou-se que as variáveis argila,

diâmetro médio geométrico (DMG) e matéria orgânica do solo (MOS), associadas às áreas A9 e A14 contribuíram em forma negativa.

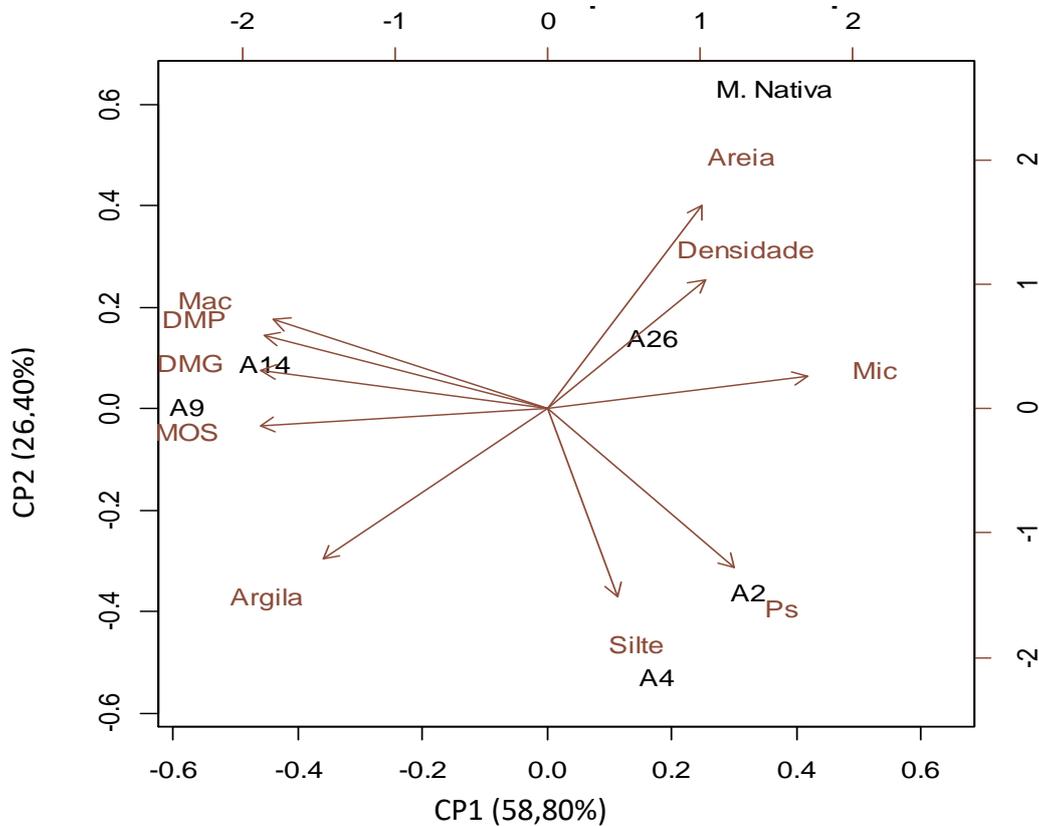


Figura 6. Relação entre as variáveis originais dos indicadores físicos e matéria orgânica do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,10-0,20 m. Onde, Mic = Microagregados, Mac= Macroagregados, Ps= Partículas simples, DMP= Diâmetro médio ponderado, DMG= Diâmetro médio geométrico, MOS= Matéria orgânica do solo.

Isto explica que a diminuição de MOS nesse ecossistema, torna-se vulnerável à perda da qualidade do solo (HERBERT; WILLIAMS; RASTETTER, 2003), uma vez que a interação da matéria mineral entre si nesses ambientes é reduzida e o nível estrutural do solo é limitado, deste modo é observado predominância de microagregados (SALTON *et al.*, 2008).

O CP2 explicou que as variáveis MOS, macroagregados (Mac) e diâmetro médio ponderado (DMP) se projetaram positivamente em relação a silte e partículas simples (Ps), sendo, as áreas A9 e A14 as mais associadas, e a área A26 a menos afetada, portanto, as variáveis que se projetaram negativamente (silte e partículas simples) estão relacionadas com as áreas A2 e A4, assim, evidenciou-se que a continua remoção e desproteção do solo, cria um ambiente desfavorável que alteram os processos físicos, químicos e biológicos responsável pela agregação do solo (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

A Figura 6 apresenta os resultados para os indicadores avaliados na camada 0,10-0,20 m, as análises de componentes explicam 85,20% da variabilidade original dos dados. O CP1 contribuiu com 58,80% da variância total, contudo, evidenciou-se sequência similar à observada na camada superficial (Figura 5), onde as variáveis densidade, Mic e areia, associadas às áreas de floresta nativa e A26, contribuíram positivamente, assim, no sentido oposto se projetaram as variáveis MOS e argila relacionadas com a área A9.

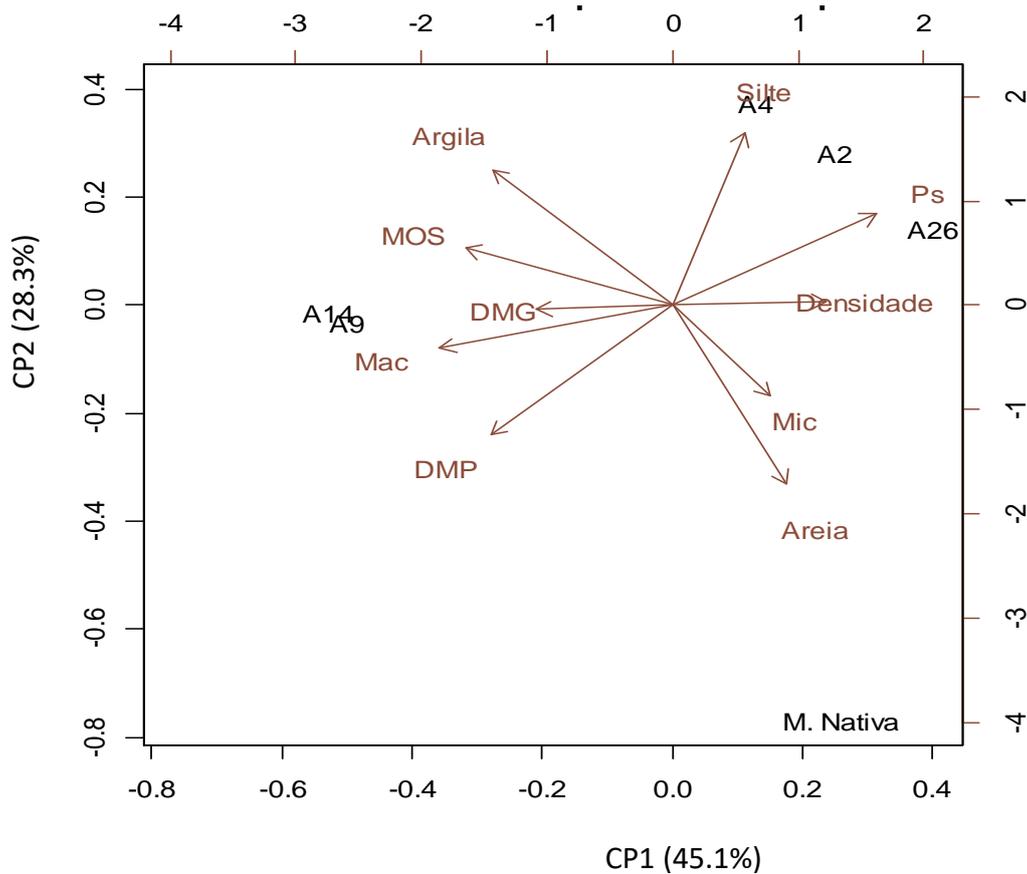


Figura 7. Relação entre as variáveis originais dos indicadores físicos e matéria orgânica do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,20-0,30 m. Onde, Mic = Microagregados, Mac= Macroagregados, Ps= Partículas simples, DMP= Diâmetro médio ponderado, DMG= Diâmetro médio geométrico, MOS= Matéria orgânica do solo.

No CP2 observou-se as variáveis Mac, DMP e DMG, associadas à área A14, contribuindo positivamente, com uma relação contrária as variáveis silte e partículas simples afetaram às áreas A4 e A2.

Os resultados das análises dos componentes principais da camada 0,20-0,30 (Figura 7) explicam 73,4% da variabilidade, assim, o CP1 fornece 45,1% da variância total, porém, foi observado que o silte e partículas simples nas áreas A4 e A2, e a densidade afetaram a área

A26, e opostamente com Mac, DMG e DMP, associadas às áreas A14 e A9. Já para o CP2, as variáveis como MOS e argila relacionadas com as áreas A9 e A14 se apresentaram positivamente em relação com areia e Mic influenciadas com a floresta nativa.

Os resultados das análises de componentes principais observados ao longo do perfil avaliado demonstraram que os valores de partículas simples e silte, estiveram estreitamente relacionados com as áreas mais recentes cultivadas com arroz, este fato pode ser decorrente do intenso revolvimento das camadas superficiais ocasionado pelo processo de sistematização do solo, em razão de alcançar o manejo eficiente da água e facilitar as operações das maquinarias agrícolas durante o ciclo de cultivo, além do manejo convencional do solo realizado nessas áreas. Assim, a conversão de floresta nativa para a produção de arroz irrigado, resulta na depleção da MOS e alteração dos processos envolvidos na estabilidade dos agregados, uma vez que estes solos são submetidos a períodos de alagamento e drenagem restrito (COUTO; OLIVEIRA, 2011; PARFITT; PINTO; TIMM, 2014).

No entanto, essas alterações que afetam a qualidade do solo podem ser minimizadas significativamente com a redução do revolvimento da camada arável e a manutenção dos resíduos de colheita nas camadas superficiais do solo, melhorando assim a interação das frações da MOS com as partículas minerais, originando desse modo agregados mais estáveis na água ao longo do tempo (BASTOS *et al.*, 2005; PENG *et al.*, 2015; YU *et al.*, 2017), como o observado nas áreas A9 e A14.

8 CONCLUSÃO

A conversão de áreas nativas a áreas de produção de arroz sob condições alagadas, afeta negativamente os atributos físicos do solo. No entanto, o preparo reduzido e a manutenção dos resíduos de colheita na superfície do solo, favorece na recuperação da sua qualidade ao longo do tempo.

9 REFERÊNCIAS

- BANDYOPADHYAY, P, K.; SAHA, S.; MANI, P, K.; MANDAL, B. Effect of organic inputs on aggregate associated organic carbon concentration under long-term rice–wheat cropping system. **Geoderma**, v. 154, n. 3, p. 379–386, 2010.
- BASTOS, R, S.; MENDOÇA, E, S.; ÁLVAREZ, V, H.; CORRÊA, M, M.; COSTA, L, M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 21–31, 2005.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J, A.; LEITE, D.; AMARAL, A, J.; ZOLDAN, J, W. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, 2004.
- BLAINSKI, É.; TORMENA, C, A.; MUYLAERT L.; NANI, M, R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, 2012.
- CAMPOS, A.; MAMEDOV, A.; HUANG, C. Short-term reducing conditions decrease soil aggregation. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 73, n. 2, p. 550-559, 2009.
- CARDOSO, E.; NAVES, S, M.; CURI, N.; MARTINS, F.; FRANÇA, D. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, 2011.
- CHAPAGAIN, A.; HOEKSTRA, A. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics**, v. 70, n. 4, p. 749–758, 2011.
- CHAUDHARI, P.; AHIRE, D.; AHIRE, V.; CHKRAVARTY, M.; MAITY, S. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 3, n. 2, p. 1–8, 2013.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J, A.; BAYER, C.; FONTUORA, S.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, 2003.
- COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. The soil diversity of the Pantanal. **The Pantanal of Mato Grosso: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonall wetland: Sofia Pensoft**, p. 71–102, 2011.
- DAS, B.; CHAKRABORTY, D.; SINGH, V.; AGGARWAL, P.; SINGH, R.; DWIVEDI, B, S.; MISHRA, R, P. Effect of integrated nutrient management practice on soil aggregate properties, its stability and aggregate-associated carbon content in an intensive rice–wheat system. **Soil and Tillage Research**, v. 136, n. Supplement C, p. 9–18, 1 mar. 2014.

DAS, B.; CHAKRABORTY, D.; SINGH, V.; AHMED, M.; SINGH, A.; BARMAN, A. Evaluating Fertilization Effects on Soil Physical Properties Using a Soil Quality Index in an Intensive Rice-Wheat Cropping System. **Pedosphere**, v. 26, n. 6, p. 887–894, 1 dez. 2016.

DOMÍNGUEZ, A.; BEDANO, J. C. The adoption of no-till instead of reduced tillage does not improve some soil quality parameters in Argentinean Pampas. **Applied Soil Ecology**, v. 98, n. Supplement C, p. 166–176, 1 fev. 2016.

EDWARDS, A.; BREMNER, J. Dispersion of soil particles by sonic vibration. *Journal Soil Science*. 18:47-63, 1967.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3rd. Ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013, 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GUPTA, C, S.; SRIVASTAVA, S.; SINGH, R.; CHAUDHARI, S, K.; SHARMA, D, K.; SHINGH, S, K.; SARKAR, DIPAK. Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice–wheat cropping system under reclaimed sodic soil. **Soil and Tillage Research**, v. 136, n. Supplement C, p. 76–83, 1 mar. 2014.

HERBERT, D. A.; WILLIAMS, M.; RASTETTER, E. B. A model analysis of N and P limitation on carbon accumulation in Amazonian secondary forest after alternate land-use abandonment. **Biogeochemistry**, v. 65, n. 1, p. 121–150, 1 ago. 2003.

JORBENADZE, L, T.; URUSHADZE, T, F; URUSHADZE, T, T.; KUNCHULIA, I. Physical properties of the soils of Georgia. **Annals of Agrarian Science**, v. 15, n. 2, p. 224–234, 1 jun. 2017.

KHAN, Z. H.; HUSSAIN, M. S.; OTTNER, F. Morphogenesis Of Three Surface? Water Gley Soils from The Meghna Floodplain Of Bangladesh. **Dhaka University Journal of Biological Sciences**, v. 21, n. 1, p. 17–28, 2012.

LINH, T.; SLEUTEL, S.; GOUNG, V.; KHOA, L.; CORNELIS, W. Deeper tillage and root growth in annual rice-upland cropping systems result in improved rice yield and economic profit relative to rice monoculture. **Soil & Tillage Research**, n. 154, p. 44-52, 2015.

MARTÍN, M. Á.; REYES, M.; TAGUAS, F. J. Estimating soil bulk density with information metrics of soil texture. Structure and function of soil and soil cover in a changing world: characterization and scaling, v. 287, n. Supplement C, p. 66–70, 1 fev. 2017.

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil science**, v. 69, n. 2, p. 135–148, 1950.

MOTSCHENBACHER, J.; BRYE, K. R.; ANDERS, M. M. Long-term rice-based cropping system effects on near-surface soil compaction. **Agricultural Sciences**, v. 02, n. 02, p. 117, 20 maio 2011.

OBIA, A.; MULDER, J.; MARTINSEN, V.; CORNELISSEN, G.; BORRESEN, T. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 155, n. Supplement C, p. 35–44, 1 jan. 2016.

PARFITT, J. M. B.; PINTO, M. A. B.; TIMM, L. C. Efeito da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológicos de um solo de várzea no Rio Grande do Sul. **Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2014.

PEDROTTI, A.; PAULETO, E.; CRESTANA, S.; FERREIRTA, M.; DIAS, J. M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, 2001.

PEIGNÉ, J.; VIAN, J.; PAYET, V.; SABY, N. Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 194–204, 2018.

PENG, S.; TANG, Q.; ZOU, Y. Current Status and Challenges of Rice Production in China. **Plant Production Science**, v. 12, n. 1, p. 3–8, 2009.

PENG, X.; YAN, X.; ZHOU, H.; ZHANG, Y. Z.; SUN, H. Assessing the contributions of sesquioxides and soil organic matter to aggregation in an Ultisol under long-term fertilization. **Soil and Tillage Research**, Soil Structure and its Functions in Ecosystems: Phase matter & Scale matter. v. 146, n. Part A, p. 89–98, 1 mar. 2015.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. <http://www.R-project>.

SALAHIN, N.; ALAM, K.; MONDOL, A.; ISLAM, M.; RASHID, Md.; HOQUE, M. Effect of Tillage and Residue Retention on Soil Properties and Crop Yields in Wheat-Mungbean-Rice Crop Rotation under Subtropical Humid Climate. **Open Journal of Soil Science**, v. 07, n. 01, p. 1–17, 2017.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. 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, 2008.

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C. **Determinação da agregação do solo-Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Comunicado Técnico 184. Dourados, MS: Dezembro, 2012. 8p.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. [s.l.] Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

TAVARES, G. S.; LIMA, H. N.; GERALDES, T. W.; FERREIRA, N.; ROCHA, S.; SANTANA, M.; WORSLEY, S. K. Caracterização e classificação de Gleissolos da Várzea do Rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, 2013.

TONG, Y. D. Rice Intensive Cropping and Balanced Cropping in the Mekong Delta, Vietnam — Economic and Ecological Considerations. **Ecological Economics**, v. 132, n. Supplement C, p. 205–212, 1 fev. 2017.

TRIPATHI, R.; NAYAK, A.; BHATTACHARYYA, P.; SHUKLA, A.; SHAHID, M.; RAJA, R.; PANDA, B.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; THILAGAM, V. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions after 41 years long-term fertilizer experiment in tropical rice–rice system. **Geoderma**, n. 213, p. 280-286, 2014.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDOÇA, E.; NEVES, J. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487–494, 2005.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 891–900, 2004.

YAO, S.; TENG, X.; ZHANG, B. Effects of rice straw incorporation and tillage depth on soil puddlability and mechanical properties during rice growth period. **Soil and Tillage Research**, v. 146, n. Part B, p. 125–132, 1 mar. 2015.

YU, Z.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; XIN, X.; LI, H. The coupling effects of soil organic matter and particle interaction forces on soil aggregate stability. **Soil and Tillage Research**, v. 174, n. Supplement C, p. 251–260, 1 dez. 2017.

ZHOU, W.; TENG-FEI, LV.; CHEN, Y.; WESTBY, A.; REN, W. Soil Physicochemical and Biological Properties of paddy-upland rotation: A review. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-8, 2014.

CAPITULO 02 - INDICADORES QUIMICOS E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SOLOS COM CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO COM VARIOS ANOS SUCESSIVOS

RESUMO.- Nos últimos anos, a qualidade do solo ganhou maior atenção em resposta a questões ambientais relacionadas com a sua degradação e a busca por alcançar sustentabilidade na produção sob diferentes sistemas de cultivo. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito do tempo de uso do solo com cultivos sucessivo de arroz irrigado e diferentes práticas de manejo do solo nas propriedades químicas e ciclagem de nutrientes. O experimento foi realizado em áreas de plantio comercial da fazenda Paraíso, localizada no estado de Roraima, Município Bonfim. Instalado sobre um solo Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de arranjo em faixas, com quatro repetições. As avaliações dos indicadores químicos e ciclagem de nutrientes foram realizadas em áreas com 2 anos (A2: plantio convencional), 4 anos (A4: plantio convencional), 9 anos (A9: três anos com cultivo mínimo), 14 anos (A14: três anos com cultivo mínimo), 26 anos (A26: 1 ano com cultivo mínimo) de uso com arroz, nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, e para comparar os efeitos do manejo do solo cultivado, se utilizou uma área de floresta nativa como referência. As áreas A9 e A14 apresentaram maiores conteúdos de carbono orgânico do solo (COT) em relação às demais áreas cultivadas e floresta nativa. Evidenciaram-se assim, correlações significativas positivas entre o conteúdo de COT e os teores de Nitrogênio total (Nt), Fósforo total (Pt), Fósforo inorgânico (Pi), cálcio (Ca^{2+}), Soma de Bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e zinco (Zn^{2+}), nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, K^+ nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e Po na camada 0-0,10 m. Além disso, se constatou que independentemente do sistema de manejo do solo, a disponibilidade de P aumenta com os anos de cultivo. Por outro lado, o manejo do solo das áreas A9, A14 e A26, favoreceram na produção de grãos, alcançando assim, os maiores índices de colheitas. Situação adversa foi evidenciado nas áreas A2 e A4. Em termos gerais, a conversão de ecossistemas nativos para áreas de produção de arroz irrigado, afeta significativamente a fertilidade do solo. Porém, a produção de arroz com menor perturbação da camada arável e a manutenção da palhada nas camadas superficiais, contribui no armazenamento do carbono orgânico, melhorando a fertilidade do solo ao longo do tempo.

Palavras-chaves: Carbono orgânico do solo. Resíduos de colheita. Solos de várzeas.

CHAPTER 02 - CHEMICAL INDICATORS AND NUTRIENT CYCLING IN SOILS WITH VARIOUS CONSECUTIVE YEARS OF IRRIGATED RICE CULTIVATION

Abstract.- In recent years, soil quality has gained greater attention in response to environmental issues related to its degradation and the quest to achieve sustainability in production under different cropping systems. In this context, the objective of this work was to evaluate the effects of different soil management practices and different times with successive irrigated rice crops over chemical properties and nutrient cycling. The experiment was carried out in commercial plantation areas of the Paraíso farm, located in Roraima, Bonfim Municipality. Installed in “Gleissolo Háplico Distrófico Tb” (Typic Fluvaquent – Soil Taxonomy, USA). The experimental design used was a complete randomized block design with four replications. Chemical indicators and nutrient cycling were evaluated in: 2-year areas (A2: conventional planting), 4-years (A4: conventional planting), 9-years (A9: three years with minimal cultivation), 14-years (A14: three years with minimal cultivation), 26 years (A26: 1 year with minimal cultivation) of rice planting, in the 0-0.10 m; 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m layers. To compare the effects of cultivated soil management, a native forest area was used as a reference. A9 and A14 presented higher total organic carbon content (TOC) in relation to the other cultivated areas and native forest. Consequently, significant positive correlations between TOC content and total nitrogen (Nt), total phosphorus (Pt), inorganic phosphorus (Pi), calcium (Ca²⁺), base sum (SB) Cation Exchange Capacity (CEC) and zinc (Zn²⁺) in the 0-0.10 m; 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m layers, K⁺ in the 0-0.10 m layers; 0.10-0.20 m and Po in the 0-0.10 m layer. Furthermore, it was found that regardless of the soil management system, the availability of P increases with the years of cultivation. Instead, the soil management of areas A9, A14 and A26 favored the production of grains, hence achieving the highest harvest rates. Adverse situation was demonstrated in areas A2 and A4. In general terms, the conversion of native ecosystems to areas of irrigated rice production suggestively affects soil fertility. Nevertheless, the production of rice with less disturbance of the arable layer and the maintenance of the straw in the superficial layers contributes to the storage of the organic carbon, improving fertility of soil over time.

Keywords: Organic soil carbon. Harvest residues. Floodplains soils.

10 INTRODUÇÃO

Para satisfazer a demanda do arroz para as próximas gerações, tem-se que elevar em 40% a produção de arroz até 2030 sem afetar negativamente os recursos disponíveis. No entanto, para atingir essa necessidade, se precisa de solos que sustentem a produtividade biológica, que mantenham a qualidade ambiental, e promova a saúde vegetal, animal e humana (KHUSH, 2005).

Assim, o solo apresenta uma série de processos, os quais garantem a produtividade das culturas e sustentabilidade do solo. Porém, todos os processos envolvidos com a aplicação de fertilizantes, bem como a exportação, outorgam ao solo mudanças que podem induzir, no tempo, o acúmulo de nutrientes ou leva-lo à exaustão, com reflexos diretos sobre a produtividade e sustentabilidade do sistema solo (MOREIRA; KASUYA, 2016).

Neste cenário, a conversão de áreas nativas para a produção agrícola intensiva, pode levar ao esgotamento da matéria orgânica do solo (MOS), e afetar a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, uma vez que o grau de depleção das frações da MOS depende do saldo líquido entre as entradas e as saídas de carbono (FRANZLUEBBERS, 2004).

Assim, o preparo convencional do solo e o plantio direto associado a sistemas de cultura com baixo aporte de resíduos vegetais apresentam balanço negativo de entradas orgânicas (SOUZA *et al.*, 2008). Entretanto, a produção contínua de arroz irrigado, a remoção total ou parcial dos resíduos de colheitas e a substituição inadequada dos nutrientes perdidos através da erosão, lixiviação ou emissões gasosas, provocam o declínio dos teores de matéria orgânica do solo (TILMAN *et al.*, 2002), reduzindo assim, a única fonte de reserva de nitrogênio, grande parte do fósforo, enxofre (SANCHEZ; PALM; BUOL, 2003), a capacidade de troca catiônica (CTC), as bases trocáveis, e a disponibilidade de nutrientes, enquanto aumenta o potencial redox (MOREIRA; KASUYA, 2016).

Tem-se demonstrado que a não perturbação e a proteção do solo com restos vegetais, pode fortalecer a interação das frações de carbono com as superfícies de partículas minerais e melhorar a sua estabilidade e acumulação na camada superficial (MOREIRA; KASUYA, 2016; BRIEDIS *et al.*, 2018).

Neste cenário, a manutenção da palha de arroz e a redução do revolvimento da camada arável, além de favorecer no armazenamento de COS e melhorar a qualidade do solo, resulta na diminuição do uso de fertilizantes minerais pelo aproveitamento dos nutrientes prontamente disponíveis para a safra seguinte (TILMAN *et al.*, 2002; BYOUS *et al.*, 2004; MOHANTY *et al.*, 2007). Assim, a manutenção da palha de arroz e os efeitos sobre os

atributos do solo deve ser explorado, uma vez que, a alta relação C: N, e a presença de polímeros como celulose e lignina na palha pode atuar como barreira natural e retardar a sua mineralização (GAIND; NAIN, 2007).

Com base no exposto, são escassos os estudos dos efeitos da manutenção dos resíduos de colheita nos indicadores químicos do solo e o retorno de nutrientes em áreas cultivadas com arroz irrigado, sob as condições edafoclimáticas no estado de Roraima. Nesse contexto, objetivou-se com este estudo, determinar os efeitos do tempo de uso do solo com cultivos sucessivo de arroz irrigado e diferentes práticas de manejo do solo nas propriedades químicas e ciclagem de nutrientes.

11 MATERIAL E MÉTODOS

11.1 Área Experimental

O estudo foi realizado em campo, em uma área de plantio comercial da Fazenda Paraiso, localizada no estado de Roraima, Município Bonfim, entre as coordenadas geográficas 3° 19' 01,56'' latitude N e 60° 23' 43,65'' longitude W e 68 m de altitude (Figura 8).

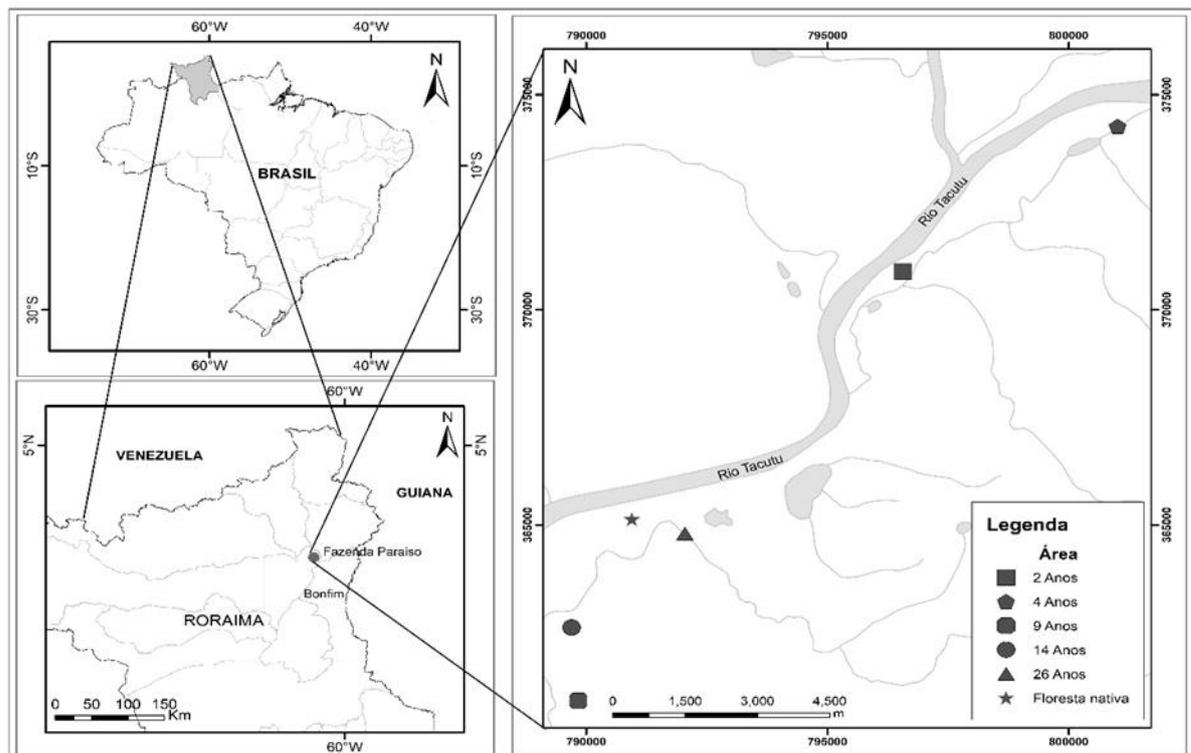


Figura 8. Localização da área de estudo.

O clima predominante na região Nordeste do estado de Roraima, segundo a classificação de Köppen, é tropical chuvoso (Aw), apresentando temperatura média anual de 27,2 °C e regime hídrico bem definido durante o ano, com uma época seca (outubro – março) e outra chuvosa de seis meses (abril – setembro), com a precipitação em torno de 1500 a 2000 mm. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013), o tipo de solo classificado como Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico.

11.2 Manejo da área experimental

A avaliação foi realizada depois da safra 2016 - 2017, em áreas com 2 anos (A2), 4 anos (A4), 9 anos (A9), 14 anos (A14) e 26 (A26) anos do uso do solo com arroz. Os sistemas de plantio foram, sistema convencional e cultivo mínimo. Nas áreas com manejo convencional, houve aração do solo com arado de disco numa profundidade de 0,20 m, seguido do nivelamento com plaina niveladora e passagem de rolo para o destorroamento, concluindo com a elaboração de curvas de níveis e construção de taipas. Este sistema de preparo foi realizado para viabilizar a semeadura em áreas com grandes irregularidades superficiais ocasionadas durante a colheita sob condições de umidade do solo.

Nas áreas com cultivo mínimo foram realizadas operações de preparo do solo após da colheita, neste sistema o revolvimento do solo foi reduzido em relação ao sistema de preparo convencional.

Na Tabela 4 são apresenta os históricos do manejo do solo das áreas avaliadas.

Tabela 4. Histórico do manejo do solo nas áreas experimentais nas últimas seis safras.

SAFRA	Tempo de uso do solo com arroz				
	2 anos	4 anos	9 anos	14 anos	26 anos
	Manejo do solo				
2016 – 2017	Convencional	Convencional	C. Mínimo	C. Mínimo	C. Mínimo
2015 – 2016	Convencional	C. Mínimo	C. Mínimo	C. Mínimo	Convencional
2014 – 2015	-	Convencional	C. Mínimo	C. Mínimo	Convencional
2013 – 2014	-	Convencional	Convencional	Convencional	C. Mínimo
2012 – 2013	-	-	Convencional	Convencional	Convencional
2011 – 2012	-	-	Convencional	Convencional	Convencional

As variedades cultivadas foram a IRGA 424 e IRGA 429, a semeadura foi realizada em condições meteorológicas distintas e a densidade variou de acordo com o sistema de plantio (Tabela 5), simultaneamente com a semeadura foi realizada a adubação com fertilizante completo (com a formulação 5 % N - 25 % P₂O₅ - 25 % K₂O) e em cobertura se utilizou ureia, sendo parcelada em três épocas de desenvolvimento da cultura do arroz. A

primeira, no início do perfilhamento (V4), a segunda no máximo perfilhamento (V8) e a última no início do desenvolvimento da panícula (R0).

Tabela 5. Densidade de sementeira, doses de adubação em kg ha⁻¹ e histórico de calagem do solo nas áreas avaliadas.

Área	Variedade	Data de sementeira	Densidade de sementeira	Adubação inicial (5% N, 25 % P ₂ O ₅ , 25 % K ₂ O)	Adubação de cobertura (ureia)
2 anos	IRGA 429	15/12/2016	80	450	330
4 anos	IRGA 429	29/11/2016	80	450	330
9 anos	IRGA 424	16/11/2016	135	450	330
14 anos	IRGA 424	17/10/2016	142	475	340
26 anos	IRGA 424	27/09/2016	132	468	340
SAFRA	2 anos	4 anos	14 anos	14 anos	26 anos
-----Calagem (calcário dolomítico PRNT 85%) (2 Mg ha ⁻¹)-----					
2016 – 2017	-	-	-	-	-
2015 – 2016	-	-	-	-	-
2014 – 2015	Calagem	-	Calagem	Calagem	Calagem
2013 – 2014	-	-	-	-	-
2012 – 2013	-	Calagem	-	-	-
2011 – 2012	-	-	-	-	-

11.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de arranjo em faixas, com quatro repetições. As parcelas consistiram em 5 áreas cultivadas com arroz com diferentes manejos do solo e como referência utilizou-se uma área de floresta nativa, localizada próxima às áreas cultivadas. As avaliações foram realizadas nas camadas 0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Constituindo um total de 72 unidades experimentais.

11.4 Avaliação da produtividade

Os dados de colheita de grãos foram fornecidos pelo produtor. A colheita foi realizada de forma similar em todas as áreas avaliadas mediante colheitadeira com sistema de orientação via satélite.

Para determinar a relação grão – palha, foi calculado o índice de colheita pelo quociente entre produtividade de grãos (Mg ha⁻¹) e produtividade de matéria seca total da parte aérea (YOSHIDA, 1981).

11.5 Coleta de amostras

11.5.1 Coleta de amostras da palhada de arroz

Antes da amostragem, foram identificadas as áreas de acordo com os diferentes tempos de uso da terra com arroz (2, 4, 9, 14 e 26 anos) e posteriormente se demarcaram as áreas de estudo que compreenderam 1 ha (100 x 100 m), cada área foi subdividida em quatro parcelas de 2500 m² (50 x 50 m), constituindo assim as repetições para cada tratamento. A amostragem se realizou um dia após da colheita do arroz, e com ajuda de um quadrado de madeira de 1m por 1m (m²) (NETO *et al.*, 2015), que foi lançado ao acaso em três pontos diferentes por cada repetição, se coletaram os resíduos de biomassa aérea existente dentro dessa área, seguidamente as amostras foram acondicionadas em sacos de fibra devidamente identificados e levados imediatamente até o laboratório de solo da Universidade Federal de Roraima.

11.5.2 Coleta de amostras de solo

Foram abertas minitrincheiras com o auxílio de uma pá de corte nas áreas que inicialmente foram colhidas as amostras da palha do arroz. A amostragem do solo se realizou nas camadas 0 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m. Foram colhidas três sub amostras por camada dentro de cada repetição e depois misturadas, quarteadas e reduzidas a amostra composta. Seguidamente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e levados imediatamente até o laboratório de solo da Universidade Federal de Roraima.

Para efeito de comparação dos atributos químicos das áreas com diferentes usos com arroz, se utilizou como referência uma área de floresta nativa localizada próxima à área cultivada.

11.6 Análises do solo e tecido vegetal

Na Tabela 6, são apresentadas as variáveis estudadas, as metodologias utilizadas e suas respectivas referencias.

Para a determinação de P disponível, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺, as amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm (TFSA), homogeneizada e após armazenadas em sacos plásticos.

As amostras da palhada foram colocadas em estufa a 60 °C até alcançar o peso constante, uma vez que as amostras estiveram a temperatura ambiente se determinou o peso

da biomassa aérea, seguidamente foram moídas em moinho de faca e logo submetidas a digestão úmida para a caracterização de N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, MnO e ZnO.

A quantidade de nutrientes acumuladas na palhada foi determinada pelo produto dos teores de nutrientes nos resíduos de colheita e a quantidade de palha, e a taxa de retorno de nutrientes na palha foi calculada mediante a seguinte equação:

Taxa de retorno (%) = (Concentração de nutriente na palha / total de nutriente incorporado na fertilização mineral)*100

Tabela 6. Indicadores químicos e métodos de determinação.

Indicador	Extrator	Método	Referência
Indicadores químicos do solo			
Nitrogênio Total	Digestão seca	Método de Dumas	--
Carbono Total			
Fósforo disponível	Extrator Mehlich ⁻¹	Espectrofotometria UV-Visível	Tedesco <i>et al.</i> (1995)
Potássio disponível	Extrator Mehlich ⁻¹	Fotometria de chama	Tedesco <i>et al.</i> (1995)
Cálcio e Magnésio (trocáveis)	KCL 1mol L ⁻¹	Complexometria com EDTA	Embrapa (1999)
Alumínio + Hidrogênio	Acetato de cálcio	Titulometria	Tedesco <i>et al.</i> (1995)
Alumínio (trocável)	KCL 1mol L ⁻¹	Titulometria	Tedesco <i>et al.</i> (1995)
Ferro, Zinco e Manganês	Extrator Mehlich ⁻¹	Absorção Atômica	Embrapa (2009)
pH (H₂O)	H ₂ O (1:2,5)	Potenciometria	Tedesco <i>et al.</i> (1995)
Fósforo total	H ₂ SO ₄ 18 mol L ⁻¹	Murphy; Riley (1962)	Bowman (1989)
Fósforo orgânico	NaOH 0,5 mol L ⁻¹	Dick; Tabatabai, (1977)	modificado por
Fósforo orgânico			Guerra (1993).
Indicadores químicos da palhada			
Nitrogênio	Digestão sulfúrica + catalisadores	Kjeldahl	Tedesco <i>et al.</i> (1995)
Fósforo	Digestão HNO ₃ + HClO ₄ (3:1)	Espectrofotometria com amarelo de vanadato	Embrapa (2009)
Potássio	Digestão HNO ₃ + HClO ₄ (3:1)	Fotometria de chama	Embrapa (2009)
Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês, Zinco	Digestão HNO ₃ + HClO ₄ (3:1)	Absorção Atômica	Embrapa (2009)

11.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados em planilhas eletrônicas e seguidamente, para cada indicador do solo analisado foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos erros. Para determinar os efeitos de manejo do solo nos indicadores químicos e a ciclagem de nutrientes, os resultados foram submetidos à análise de variância aplicando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foram realizadas análises de correlação de

Pearson e de componentes principais. As análises foram realizadas com o auxílio do programa R Studio (R CORE TEAM, 2015).

12 RESULTADOS E DISCUSÃO

12.1 Acidez ativa (pH), Acidez trocável (Al^{3+}), Acidez potencial (H+Al), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio total (Nt), Fósforo disponível (Pdisp), Fósforo inorgânico (Pi), Fósforo orgânico (Po) e Fósforo total (Pt).

Nas Tabelas 7 e 8 se pode verificar que houve diferencia significativa dos indicadores químicos entre as áreas estudadas.

Tabela 7. Valores de Acidez ativa (pH), Acidez trocável (Al^{3+}), Acidez potencial (H+Al), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio total (Nt), Fósforo disponível (Pdisp), em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz.

Área	pH (H_2O)	Al^{3+} ---- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ----	H+Al	COT ----- g kg^{-1} -----	Nt	Pdisp mg dm^{-3}
A2	4,30	1,36 bc	5,90 bc	7,35 d	0,60 b	5,50 e
A4	4,14	1,83 b	9,60 a	11,20 c	0,90 ab	13,74 d
A9	4,08	1,26 bc	9,93 a	14,10 a	1,10 a	31,25 c
A14	4,15	2,84 a	9,08 ab	12,48 b	1,00 a	42,25 b
A26	4,19	1,16 bc	5,82 c	10,60 c	0,90 ab	80,29 a
F. Nat	4,32	0,69 c	3,58 c	10,28 c	0,78 ab	9,56 d
CV (%)	ns	19,83	21,29	4,77	16,69	9,15
0,10-0,20 m						
A2	4,19	1,80 bc	5,67 b	5,30 d	0,45 bc	2,32 e
A4	4,10	1,96 b	9,32 a	7,03 c	0,58 bc	6,94 d
A9	4,15	1,76 bc	9,94 a	12,30 a	0,95 a	16,31 c
A14	4,00	3,94 a	9,14 a	9,30 b	0,70 ab	21,98 b
A26	4,29	1,25 c	4,07 bc	6,50 c	0,55 bc	45,34 a
F. Nat	4,35	0,34 d	2,15 c	5,18 d	0,35 c	7,91 d
CV (%)	ns	16,92	22,71	5,70	22,64	10,12
0,20-0,30 m						
A2	4,17	2,16 b	6,83 b	4,68 c	0,40 bc	0,91 d
A4	4,00	2,36 b	9,35 ab	5,38 bc	0,43 bc	3,36 cd
A9	4,00	2,63 b	10,50 a	5,63 b	0,48 ab	3,52 c
A14	4,00	3,93 a	9,12 ab	8,58 a	0,70 a	13,25 b
A26	4,15	0,90 c	2,09 c	2,88 d	0,18 c	19,11 a
F. Nat	4,19	0,30 c	1,28 c	3,05 d	0,23 bc	1,65 cd
CV (%)	ns	19,51	21,43	8,22	28,26	15,74

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No caso da acidez ativa (pH), os valores encontrados nas diferentes áreas e camadas avaliadas, não diferiram significativamente. Enquanto a acidez trocável (Al^{3+}) os valores variaram de $0,69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ até $2,84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na camada 0-0,10 m. A área A14 apresentou o maior valor, portanto, foi estatisticamente diferente dos demais. Seguidamente, se evidenciou que a área A4 mostrou teores de Al^{3+} similares aos obtidos nas áreas A2, A9 e A26, diferindo apenas do valor encontrado na área de floresta nativa. Nas camadas mais profundas, se observou a mesma sequência encontrada na camada 0-0,10 m. Deste modo, a área A14 demonstrou o maior valor e diferiu significativamente dos demais.

Os valores encontrados nas áreas A4, A2 e A9 não diferiram entre si. Portanto, houve diferença significativa entre o valor da área A4 com os obtidos nas áreas A26 e floresta nativa. Já na camada 0,20-0,30 m, a área A14 manteve o maior teor.

Os valores de Al^{3+} variaram significativamente ao longo do perfil estudado. Assim, se evidenciou acréscimos nas áreas A2, A4 e A9, sendo apenas A9 a que apresentou incrementos significativos entre as camadas. Já na área A14, foi observado aumento significativo entre a camada 0-0,10 m e 0,10-0,20 m. A área A26 demonstrou a maior concentração de Al^{3+} na camada 0,10-0,20 m, o mesmo que diminuiu significativamente na camada mais profunda. Já na área de floresta nativa, ocorreu um efeito contrário do observado nas áreas de produção de arroz, evidenciou-se redução significativa do valor na camada 0,10-0,20 m.

Em relação à acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), os maiores valores corresponderam às áreas A9, A4 e A14 com $9,93 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; $9,60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $9,08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente. Contudo, os teores obtidos nas áreas A9 e A4 diferiram significativamente com os teores encontrados nas demais áreas. Deste modo, para as camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, observou-se a mesma sequência encontrada na camada 0-0,10 m. Por outro lado, os valores de $\text{H}+\text{Al}$ nas áreas A2, A4, A9 e A14, diferiram em relação à profundidade. Entretanto, as áreas A26 e floresta nativa, apresentaram redução significativa nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

Todas as áreas cultivadas com arroz apresentaram níveis altos de Al^{3+} ($> 1,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), enquanto que a floresta nativa está no nível crítico ($\leq 0,51 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (CFSEMG, 1999).

Isto é decorrente da liberação das formas iônicas à solução do solo, que imediatamente passam a ocupar as posições de troca catiônica na superfície eletronegativa dos colóides, em substituição aos cátions removidos pela lixiviação. Assim, a toxicidade por Al^{3+}

é a principal limitante da produção nos solos ácidos ($\text{pH} \leq 5$), especialmente sob condições aeróbicas, uma vez que as altas concentrações de Al^{3+} inibe o normal desenvolvimento radicular das plantas. Contudo, os solos sob condições de alagamento sofrem uma série de alterações nos processos físicos, químicos e biológicos (CAMPOS; MAMEDOV; HUANG, 2009), e decorrente dessas mudanças, o pH do solo aumenta, reduzindo assim o efeito tóxico do Al^{3+} (KAMINSKI *et al.*, 2002).

Além disso, as frações humificadas da matéria orgânica do solo (MOS) podem formar complexos de estabilidade variada com as formas de Al monomérico, perdendo desse modo perder o efeito tóxico para as plantas (NOVAIS *et al.*, 2007).

Já para o carbono orgânico total (COT), os melhores resultados foram apresentados nas áreas A9 e A14 com $14,10 \text{ g kg}^{-1}$ e $12,48 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente. Estes valores a sua vez diferiram estatisticamente entre si, porém, foram observadas diferenças significativas quando comparadas com os demais. As concentrações de COT encontradas nas áreas A4 ($11,20 \text{ g kg}^{-1}$), A26 ($10,60 \text{ g kg}^{-1}$) e floresta nativa ($10,28 \text{ g kg}^{-1}$), não diferiram entre si. Portanto, estes variaram com o valor encontrado na área A2 ($7,35 \text{ g kg}^{-1}$).

Na camada 0,10-0,20 m, a área A9 apresentou $12,30 \text{ g kg}^{-1}$ e foi diferente dos demais. Seguidamente observou-se que A14 com $9,30 \text{ g kg}^{-1}$ diferiu de A4 ($7,03 \text{ g kg}^{-1}$), A26 ($6,50 \text{ g kg}^{-1}$), A2 ($5,30 \text{ g kg}^{-1}$) e floresta nativa ($5,18 \text{ g kg}^{-1}$). Os valores encontrados nas áreas A4 e A26 foram iguais entre si e diferentes com A2 e floresta nativa. Já na camada 0,20-0,30 m, os melhores resultados foram obtidos nas áreas A14 com $8,58 \text{ g kg}^{-1}$, A9 com $5,63 \text{ g kg}^{-1}$ e A4 com $5,38 \text{ g kg}^{-1}$. Entretanto, A14 foi diferente estatisticamente. Assim, A9 e A4 não diferiram, e somente A9 mostrou diferença significativa com A2 ($4,68 \text{ g kg}^{-1}$), floresta nativa ($3,05 \text{ g kg}^{-1}$) e A26 ($2,88 \text{ g kg}^{-1}$). Os valores de COT diminuíram significativamente em todas as áreas em relação com a profundidade, a exceção da área A14 que apresentou decréscimo apenas na camada 0,20-0,30 m.

A baixa concentração de COT observada na área mais recente cultivada com arroz, é atribuído à conversão da vegetação natural para uso agrícola, o que resulta geralmente em maior liberação de C para a atmosfera, inicialmente através da queima da vegetação e o menor acúmulo de matéria orgânica na superfície, resultando na depleção significativa do COT como resultado dos contínuos revolvimentos do solo (BRIEDIS *et al.*, 2018). Contudo, com a implementação de estratégias de manejo que se fundamentam na redução significativa do revolvimento do solo e a conservação dos resíduos de colheita, favorecem na melhora da qualidade do solo ao longo do tempo, como foi evidenciado nas áreas A9 e A14 que

apresentaram as maiores concentrações de COT, provavelmente pela proteção das frações da matéria orgânica nos agregados e pelo maior período de interação do material particulado com os minerais do solo.

Neste contexto, segundo Briedis *et al.* (2018), as maiores concentrações de COT são decorrentes da reduzida perturbação e proteção da camada superficial do solo com resíduos de colheita, o que melhora a interação das frações de COT com a superfície das partículas coloidais do solo. Essa interação resulta na formação de complexos altamente estáveis entre grupos funcionais orgânicos e grupos funcionais presentes na superfície dos minerais, que impede ou limita o acesso dos microorganismos e enzimas a compostos orgânicos localizados no interior dos agregados, o qual favorece no aumento das frações de carbono lábeis e estabilizadas, resultando em sequestro a longo prazo (ZOTARELLI *et al.*, 2007).

A floresta nativa não apresentou os maiores conteúdos de COT na camada superficial em relação as áreas de produção de arroz, contudo, o valor baixo de COT encontrado na área de floresta nativa também foi observado por Evald (2016) em estudos realizados na mesma localidade. Entretanto, se evidenciou que a maior porcentagem de COT (55,54%) ocorreu na camada 0-0,10 m, sendo este reduzido consideravelmente (27,97%) na camada 0,10-0,20 m. Isto é decorrente dos acúmulos da matéria orgânica na superfície, o que resulta na alteração da estratificação de COT ao longo do perfil do solo (HERNANZ *et al.*, 2009).

Em relação às áreas utilizadas com arroz, observou-se uma distribuição mais uniforme no perfil estudado, em resposta da incorporação de resíduos de colheitas e sua rápida mineralização, favorecendo a diluição de frações de carbono mais lábil a maior profundidade (MACHADO *et al.*, 2011). Essa homogeneidade de COT a maior profundidade (0-0,30 m), também foi observada nas áreas A9 e A14, este fato se explica pela incorporação de calcário para a correção do solo prévio à implementação do cultivo mínimo.

No entanto, frações de carbono lábil nas camadas mais reduzidas (0,05 – 0,10 m) determina uma condição potencial de maior emissão de metano para a atmosfera no solo de plantio convencional em relação com o solo menos perturbado (NASCIMENTO *et al.*, 2009). Uma vez que a decomposição dos resíduos de colheita envolve principalmente a degradação por microorganismos do solo, e fatores abióticos que podem influenciar diretamente nesse processo (QIU *et al.*, 2018). Assim, solos com regime de alagamento e de drenagem contínuo, alteram o ambiente e os processos bioquímicos entre uma condição aeróbia e outra aeróbia (MACHADO *et al.*, 2011).

Entretanto, um eficiente manejo do solo, regime de água, resíduos de colheita e fertilizantes orgânicos ou minerais, favorece a produção de massa seca e melhora a atividade da biomassa microbiana do solo, resultando no aumento das frações de carbono orgânico particulado grosso, carbono orgânico particulado leve e o carbono orgânico particulado intra-microagregado (YANG; YANG; OUYANG, 2005; ZHONG; CAI, 2007; BRIEDIS *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2018) e nitrogênio total (Nt), uma vez que estes elementos são os principais componentes da matéria orgânica do solo (DAMACENA *et al.*, 2009). Nesse contexto, foram observados os maiores valores de Nt nas áreas A9 (1,10 g kg⁻¹) e A14 (1,00 g kg⁻¹), evidenciando-se uma relação direta com os teores de COT. Nesse sentido, a MOS é considerada a fonte de N mais importante da cultura do arroz irrigado, independentemente da adubação nitrogenada. (POCOJESKI, 2011).

Rhoden *et al.* (2006) demonstraram que a liberação do N mineral em diferentes velocidades, depende da recalcitrância e resistência da MOS ao ataque microbiano. Portanto, cada solo apresenta capacidades intrínsecas de fornecer N às plantas a partir da decomposição da MOS, em função do tipo e manejo do solo, atividade microbiana e condições ambientais.

Nesse contexto, a adição contínua de resíduos de colheita na superfície do solo ao longo do tempo, apresenta benefícios na fertilidade em termos de armazenamento de carbono orgânico do solo (COS) e Nt (MAZZONCINI *et al.*, 2016).

Para o fósforo disponível (P_{disp}), o melhor resultado se observou na área A26 com 80,29 mg kg⁻¹, sendo este diferente estatisticamente com os demais.

No entanto, observou-se um acréscimo significativo nos valores em relação aos anos de uso com arroz, deste modo na área mais nova (A2) com 5,50 mg kg⁻¹, apresentou o menor valor. Os resultados encontrados, podem estar relacionados com o sistema de cultivo e a quantidade de adubos fosfatados adicionados em cada safra.

Pesquisa similar realizada por Evald (2016) no mesmo sitio de estudo, evidenciou na camada 0-0,10 m, uma correlação linear da disponibilidade do P com os anos de uso do solo com arroz. Neste sentido, Colpo *et al.* (2007) determinaram que a adição de fertilizantes fosfatados em quantidades suficientes ao longo do tempo, as frações orgânicas e inorgânicas de P têm a capacidade de fornecer este elemento para as plantas, conseqüentemente aumentando a disponibilidade de P no solo.

Valh (2004) em experimentos realizados durante 12 anos em vários sistemas de cultivo, com adubações fosfatadas em função das análises de solo, observou que o efeito residual e a eficiência da adubação em sistemas de culturas de solos de várzeas que incluem o

arroz na rotação são muitos diferentes dos observados em cultivos de sequeiro. Neste estudo, os resultados demonstraram uma taxa de recuperação que superou 76%. Entretanto, em solos altos raramente ultrapassa 30%. Isto pode significar que os períodos frequentes de alagamento e drenagem aumenta a retenção do P no solo complexado com o Fe.

Contudo, a dinâmica do P em solos de várzeas é fortemente influenciada pelos regimes de alagamento e drenagem do solo durante o ciclo da cultura. Quando o solo é inundado e as condições anóxicas são estabelecidas, uma fração dos óxidos e dos fosfatos férricos é solubilizada, assim, a capacidade de adsorção do P diminui, e as concentrações de P na solução do solo aumentam durante o período de redução (NEGASSA; LEINWEBER, 2009).

No processo da decomposição da matéria orgânica são liberados os ácidos que aumentam a solubilidade de fosfato de cálcio, assim, com a adição de grandes quantidades de matéria orgânica no solo, a disponibilidade de P para as plantas aumenta. Desse modo, em solos cultivados, a adição contínua de resíduos de plantas acompanhado com fertilizantes fosfatados, resulta na maior disponibilidade de P (TROE e THOMPSON, 2007).

Em relação ao fósforo inorgânico (Pi) (Tabela 8), os melhores resultados foram encontrados na área A9 com 609,50 mg kg⁻¹ e A14 com 566,28 mg kg⁻¹, estes valores não diferiram entre si. Por conseguinte, o valor da área A9 diferiu dos resultados observados na área A4 (485,11 mg kg⁻¹), A26 (426,12 mg kg⁻¹), A2 (330,16 mg kg⁻¹) e floresta nativa (158,18 mg kg⁻¹).

Na camada 0,10-0,20 m, os maiores valores obtiveram-se nas áreas A9 e A14 com 501,38 mg kg⁻¹ e 422,17 mg kg⁻¹ nessa ordem. Portanto, o valor da A9 foi diferente com A4 (373,90 mg kg⁻¹), A2 (279,29 mg kg⁻¹), A26 (267,98 mg kg⁻¹) e floresta nativa (153,77 mg kg⁻¹), assim, A14 foi igual com A4 e estes diferentes de A2, A26 e floresta nativa. Já na camada 0,20-0,30 m, A4 apresentou o melhor resultado com 270,43 mg kg⁻¹ e não se verificou diferenças significativas com A14 (254,19 mg kg⁻¹), A9 (233,87 mg kg⁻¹) e A2 (206,14 mg kg⁻¹), portanto, foi diferente de A26 (177,71 mg kg⁻¹) e floresta nativa (159,38 mg kg⁻¹).

Essa amplitude observada nos teores de Pi pode ser decorrente do conteúdo de argila e a constituição mineralógica do solo, uma vez que estes apresentam relevante importância na adsorção de P em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas, óxidos, (COLPO *et al.*, 2007), e inclusive com a MOS, através de pontes de cátions, entre outros. (RHEINHEIMER; COLPO; KAMINSKI, 2008). Assim, os teores de Pi observados nas áreas A9 (609,50 mg kg⁻¹) e A14 (566,28 mg kg⁻¹), podem estar atribuídos, possivelmente a maiores teores de óxidos de Fe e

Al nesses solos. Entretanto, a área A26 apresentou valores inferiores de Pi na camada 0-0,20 m, em relação aos encontrados nas áreas A9 e A14. Este fato aconteceu possivelmente pela predominância dos constituintes minerais com menor superfície específica de adsorção, desse modo, favorecendo o aumento a labilidade do Pi, à medida que foi adicionado fertilizante fosfatado, devido à saturação dos sítios de adsorção (TOKURA *et al.*, 2011).

Tabela 8. Valores de Fósforo inorgânico (Pi), Fósforo orgânico (Po) e Fósforo total (Pt) em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz.

Área	mg kg ⁻¹		
	Pi	Po	Pt
A2	330,16 d	74,95 c	405,11 c
A4	485,11 bc	95,63 c	580,74 b
A9	609,50 a	157,07 b	766,57 a
A14	566,28 ab	174,40 b	740,68 a
A26	426,12 c	235,43 a	661,54 ab
F. Nat	158,18 e	211,44 a	369,62 c
CV (%)	9,51	16,53	8,05
0,10-0,20 m			
A2	279,29 c	45,98 c	325,27 d
A4	373,90 b	68,55 bc	442,45 bc
A9	501,38 a	96,19 ab	597,57 a
A14	422,17 ab	95,96 ab	518,12 ab
A26	267,98 c	136,32 a	404,31 cd
F. Nat	153,77 d	154,34 a	308,11 d
CV (%)	11,86	24,14	10,57
0,20-0,30 m			
A2	206,14abc	21,05 b	227,18 cd
A4	270,43 a	45,56 ab	315,99 a
A9	233,87 ab	47,53 a	281,39 abc
A14	254,19 a	40,43 ab	294,62 ab
A26	177,71 bc	54,91 a	232,63 cd
F. Nat	159,38 c	36,92 ab	196,30 d
CV (%)	14,08	27,15	11,52

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Nesse contexto, em estudos realizados em solos de várzeas encontraram correlação positiva e significativa entre o teor de argila e a capacidade máxima de adsorção de P, o que demonstra a dependência do processo de adsorção com a presença do colóide. Do mesmo modo foi observada uma correlação direta com os teores de óxidos e hidróxidos de ferro, sendo provavelmente ferridrita e lepidocrita os que predominam em solos mal drenados (RANNO *et al.*, 2007).

Resultados de pesquisa realizada por Guilherme *et al.* (2000) encontraram que solos com maiores valores de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e índice de tamponamento do P, apresentaram menor dessorção deste elemento retido para a solução do solo. Além disso, evidenciaram correlação positiva entre o índice de tamponamento do P com altos teores de acidez potencial. Nesse contexto, na camada 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, as áreas A9 e A14 apresentaram os maiores valores de P_i e possivelmente a labilidade dessa fração de P está relacionada com os altos valores de acidez potencial encontrados nessas áreas.

Em relação ao P_o , esta fração está associado a moléculas orgânicas de rápida e lenta decomposição, tais como ácidos nucleicos, fosfolipídios, fosfato de açúcar, fosfato de inositol e substâncias húmicas recalcitrantes, e o acúmulo de P_o é propiciado pela conversão do P_i em formas orgânicas desse elemento, em decorrência da adição de adubos fosfatados ou da queima dos resíduos da colheita (VALH, 2004).

Os resultados encontrados neste estudo, apresentaram uma sequência similar à encontrada com os teores de P_{disp} , os valores foram acrescentando em relação aos anos de uso com arroz. Assim, a disponibilidade do P para as plantas depende da transformação do P_o em P_i , esse processo envolve um grupo de enzimas (fosfatases), produzidas por plantas e microrganismos. Portanto, esse processo de transformação de P_o para P_i para a planta, tem importância reduzida nos solos cultivados, uma vez que nesses solos são adicionadas grandes doses de P solúvel (NOVAIS *et al.*, 2007).

Nesse contexto, estes resultados podem estar relacionados com os encontrados em estudos similares na mesma localidade por Evald (2016), em áreas com 13 e 25 anos cultivados com arroz, apresentaram maior atividade das enzimas fosfatase ácida, em relação com áreas de 1, 3 e 8 anos de uso. Isto pode ser influenciado pela incorporação contínua de resíduos de colheita e fertilizantes fosfatados.

Por outro lado, as áreas A2 e A4, apresentaram menores teores de P_o , possivelmente pode estar relacionado pelo sistema de manejo do solo e o conteúdo de MOS. Neste cenário, foi determinado que em solos removidos, a mineralização do P_o aumenta, e decorrente disso, a transformação do P_i é mineralizado em formas não lábeis, resultando na exaustão do P em curto período do tempo, se não são incorporadas doses de fertilizantes fosfatados (NOVAIS *et al.*, 2007).

Mesmo que os teores de P_t sejam relativamente altos, apenas uma pequena fração possui baixa energia de ligação, que possibilite sua dessorção dos coloides, seja disponível para as plantas. Contudo, a dinâmica do P no solo está relacionada com fatores ambientais que

controlam a atividade dos microrganismos, os quais influem na mobilidade ou liberação dos íons ortofosfato, e as propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo.

Os resultados obtidos de Pt, demonstram diferenças significativas, provavelmente influenciadas pelas características físicas e químicas das áreas estudadas. Assim, as áreas usadas com arroz, apresentaram as maiores percentagens de P na fração inorgânica, isso pode ser decorrente das contínuas adubações fosfatadas. Entretanto, a área de floresta nativa apresentou maior valor de Po em relação a Pi, isto pode ser explicado pelo fato que o Po é originário de resíduos vegetais e tecido microbiano (RHEINHEIMER; COLPO; KAMINSKI, 2008).

12.2 Potássio trocável (K^+), Cálcio trocável (Ca^{2+}), Magnésio trocável (Mg^{2+}), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica total (CTCt), Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTCe), Saturação por Bases (V), Saturação por Alumínio (m).

Os valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 9) encontrados nas áreas cultivadas com arroz e floresta nativa foram considerados baixos (CFSEMG (1999). Contudo, na camada 0-0,10 m, observaram-se os maiores valores de K^+ (0,19 $cmol_c kg^{-1}$ e 0,14 $cmol_c kg^{-1}$), Ca^{2+} (1,01 $cmol_c kg^{-1}$ e 0,99 $cmol_c kg^{-1}$), e Mg^{2+} (0,25 $cmol_c kg^{-1}$ e 0,22 $cmol_c kg^{-1}$) nas áreas A9 e A14. Do mesmo modo, apresentou-se uma sequência similar nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

A Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica total (CTCt) e a Capacidade de Troca efetiva (CTCe), apresentaram a mesma tendência observada com as bases trocáveis. Neste cenário, estudos de diferentes grupos de solos do estado de Roraima realizados por Melo; Gianluppi e Uchôa (2004), determinaram que a maior parte dos solos caracterizados apresentaram níveis baixos e muito baixos de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Portanto, estes valores refletem a natureza e o grau de intemperismo resultante de pluviosidade e temperatura elevada. Também se evidenciou que estes solos (70% dos perfis estudados) apresentaram teores de Al^{3+} próximos ao limite de toxidez até níveis muito altos. Assim, como os teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do complexo de troca são extremadamente baixos, os valores de Al^{3+} e H^+ tornam-se dominantes no complexo para a manutenção da neutralidade. Essa situação compromete o normal desenvolvimento da cultura do arroz sob condições de sequeiro. Portanto, o uso adequado de corretivos como calcário e adubos, resulta numa das práticas mais efetivas na correção da acidez do solo.

Tabela 9. Potássio trocável (K^+), Cálcio trocável (Ca^{2+}), Magnésio trocável (Mg^{2+}), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica total (CTCt), Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTCe), Saturação por Bases (V), Saturação por Alumínio (m) em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico em diferentes camadas e anos de uso do solo com arroz.

Área	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	CTCt	CTCe	V	m
	-----cmolc kg ⁻¹ -----						-----%-----	
A2	0,08 d	0,66 b	0,10 b	0,84 b	6,74 b	2,20 b	12,64 b	61,61 ab
A4	0,10 cd	0,40 bc	0,15 b	0,73 b	10,32 a	2,55 b	7,15 c	70,48 a
A9	0,19 a	1,01 a	0,22 a	1,42 a	11,35 a	2,69 b	12,56 b	46,83 d
A14	0,14 b	0,99 a	0,25 a	1,37 a	10,45 a	4,21 a	13,18 ab	67,38 a
A26	0,11 cd	0,65 b	0,10 b	0,86 b	6,67 b	2,02 bc	12,80 b	57,46 bc
F. Nat	0,12 bc	0,43 c	0,17 b	0,68 b	4,25 c	1,36 c	15,84 a	50,51cd
CV (%)	9,67	12,12	18,21	9,41	11,73	13,16	10,13	7,36
0,10-0,20 m								
A2	0,07 c	0,55 bc	0,07 c	0,69 b	6,36 b	2,49 bc	11,20 cd	72,23 a
A4	0,10 b	0,40 bc	0,14 b	0,64 b	9,96 a	2,60 bc	6,47 d	74,94 a
A9	0,16 a	0,94 a	0,20 a	1,29 a	11,23 a	3,06 b	11,49 c	57,53 b
A14	0,17 a	0,91 a	0,17 ab	1,25 a	10,39 a	5,19 a	12,14 c	75,93 a
A26	0,09 bc	0,63 b	0,15 ab	0,87 b	4,94 bc	2,12 c	17,46 b	59,20 a
F. Nat	0,11 ab	0,40 c	0,16 b	0,62 b	2,77 c	0,96 d	22,71 a	35,19 c
CV (%)	8,73	16,37	17,04	12,34	15,57	12,79	15,79	5,80
0,20-0,30 m								
A2	0,07 c	0,46 b	0,06 d	0,59 bc	7,42 b	2,75 b	8,02 c	78,08 ab
A4	0,09 bc	0,30 c	0,11 cd	0,51 c	9,85 ab	2,87 b	5,29 c	81,72 a
A9	0,12 a	0,67 a	0,18 ab	0,98 a	11,47 a	3,60 b	8,48 c	72,94 b
A14	0,11 ab	0,72 a	0,13 bc	0,96 a	10,08 ab	4,89 a	9,70 c	80,32 ab
A26	0,08 c	0,43 bc	0,21 a	0,72 b	2,81 c	1,61 c	26,05 b	55,48 c
F. Nat	0,11 ab	0,39 bc	0,13 bc	0,71 b	1,98 c	1,01 c	35,75 a	29,82 d
CV (%)	12,21	12,04	19,89	10,60	17,90	15,52	14,03	5,03

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Enquanto que, nos solos de várzeas, principalmente naqueles que periodicamente passam por regimes de alagamento e drenagem restrito durante o ciclo da cultura do arroz, ocorrem mudanças sobre o sistema oxi-redutor e associado a essas alterações, verificam-se aumento do pH em valores próximos à neutralidade em solos ácidos devido à sua redução. Decorrente disso, nutrientes como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , aumentam a sua disponibilidade sob condições reduzidas, devido ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^+ (ASSIS *et al.* 2000; KÖGEL-KNABNER *et al.* 2010).

O valor de K^+ apresentado na A9 foi superior na camada 0-0,10 m, e deferiu estatisticamente com os observados nas camadas mais profundas, entanto que na A14, o maior

valor evidenciou-se na camada 0,10-0,20 m. Assim, as áreas A2, A4 e floresta nativa não apresentaram diferenças nos valores obtidos ao longo do perfil estudado.

Em relação a Ca^{2+} , as áreas cultivadas com arroz, apresentaram valores diferentes entre as camadas 0-0,10 m e 0,20-0,30 m., entretanto, a floresta nativa apresentou um perfil homogêneo.

Cenário diferente foi observado na área A26 com Mg^{2+} , o maior valor apresentou-se na camada mais profunda e diferiu estatisticamente com o valor encontrada na camada 0-0,10 m.

Assim, essa estratificação dos valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , decorrente da decomposição e mineralização da matéria orgânica e adubação mineral, resulta numa vantagem em termos de absorção desses elementos pelas plantas. Desse modo, a adição contínua de resíduos de colheita contribui na disponibilidade dos nutrientes, incluído os cátions trocáveis, reduzindo assim os efeitos da acidez do solo (BEHERA; SHUKLA, 2015). Entanto que, as áreas que apresentaram valores similares nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, podem estar relacionadas com as propriedades do material de origem, manejo do solo ou de percolação de nutrientes ao longo do tempo.

12.3 Micronutrientes (Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+})

Referente ao Zn^{2+} (Figura 9A), na camada 0-0,10 m, os maiores valores foram observados nas áreas A14 e A9 com $12,61 \text{ mg kg}^{-1}$ e $11,88 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Estes valores apresentaram diferenças significativas quando comparados com os demais. Entretanto, evidenciou-se que a área floresta nativa, A26, e A2, apresentaram os menores valores com $3,01 \text{ mg kg}^{-1}$, $2,95 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2,92 \text{ mg kg}^{-1}$, na sua ordem.

Na camada 0,10-0,20 m (Figura 9B), verificou-se sequência similar com a camada 0-0,10 m, a área A14 e A9 mantiveram os melhores resultados com $7,66 \text{ mg kg}^{-1}$ e $6,12 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. O valor apresentado na A14 diferiu significativamente dos demais. Já na camada 0,20-0,30 m (Figura 9C), observou-se que A14 apresentou os maiores valores ao longo do perfil estudado.

Os valores de Zn^{2+} apresentados nas áreas A14 e A9, reduziram significativamente nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. situação diferente verificou-se nas áreas mais novas, os valores diminuíram entre as camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Já nas áreas A26 e floresta nativa, foi encontrado um perfil mais homogêneo. Também evidenciou-se que as áreas

cultivadas com arroz e floresta nativa, apresentaram teores $> 2,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn^{2+} , sendo considerado alto (CFSEMG, 1999).

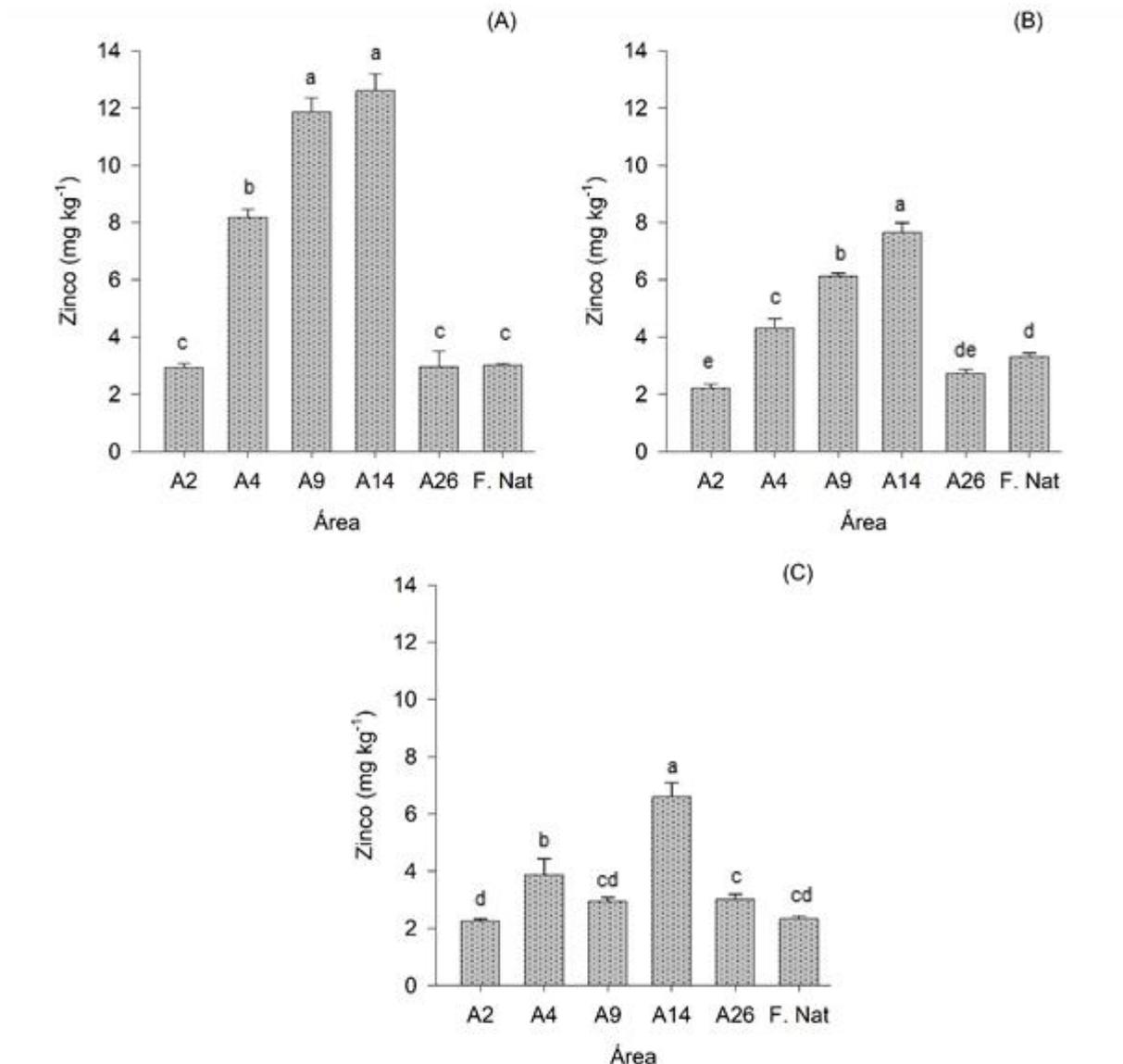


Figura 9. Valores de Zinco, nas camadas 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C), de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na barra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Esse fato é explicado, uma vez que a maior disponibilidade desse micronutriente é apresentada em solos com pH ácidos.

Durante o ciclo de cultivo, o solo passa por longos períodos de inundação. Nestas condições, ocorrem mudanças químicas, incluindo alterações no potencial redox (Eh) e pH do solo que podem tornar as frações do Zn lábil em frações menos lábeis, resultando numa

diminuição abrupta da solubilidade do Zn^{2+} dentro dos 20 dias sob condições anóxicas (KASHEM; SINGH, 2001).

Além disso, a deficiência do Zn^{2+} pode ser induzida uma vez que são aplicadas doses de calcário para a correção do solo, assim, este elemento forma compostos insolúveis e precipita como $Zn\ Fe_2O_4$ e/ou $Zn\ SiO_4$, decorrente disso, a disponibilidade deste micronutriente para as plantas será limitada, devido à sua solubilidade (HAVLIN *et al.*, 2005), afetando assim, o normal desenvolvimento das plantas e conseqüentemente a produção de grãos é reduzida, uma vez que o Zn é o precursor do ácido indolacético (AIA), hormônio promotor de crescimento das plantas (DOBERMANN, 2000; IMPA; SARAH; BEEBOUT, 2012).

Observou-se uma amplitude entre os valores de Zn^{3+} encontrados nas áreas A14 e A9, em relação com as demais áreas ao longo do perfil estudado. Essas diferenças entre valores podem estar relacionadas com pH, potencial redox, conteúdo de matéria orgânica do solo, atividade microbiana na rizosfera, concentrações de macro nutrientes (especialmente P), umidade do solo, e outros fatores que controlam a disponibilidade de Zn^{2+} para as plantas (ALLOWAY, 2009).

Para o Fe^{3+} (Figura 10A), os maiores teores foram observados nas áreas A14 (774,94 $mg\ kg^{-1}$) e A26 (758,97 $mg\ kg^{-1}$), o valor da A14, diferiu significativamente com os valores encontrados nas áreas A9 (724,50 $mg\ kg^{-1}$), A4 (629,72 $mg\ kg^{-1}$), A2 (591,81 $mg\ kg^{-1}$) e floresta nativa (482,86 $mg\ kg^{-1}$).

Na camada 0,10-0,20 m (Figura 10B), A26 manteve o maior valor com 724,66 $mg\ kg^{-1}$, e houve diferença significativa quando comparados com os demais. Já nas áreas A9 (445,16 $mg\ kg^{-1}$), A14 (439,23 $mg\ kg^{-1}$) e floresta nativa (417,66 $mg\ kg^{-1}$), os valores observados, não diferiram entre si, no entanto, A14 e A9 foram diferentes de A4 (382,42 $mg\ kg^{-1}$) e A2 (333,37 $mg\ kg^{-1}$).

Para a camada 0,20-0,30 m (Figura 10C), a área A26 com 492,08 $mg\ kg^{-1}$, variou estatisticamente dos demais. Assim, os valores encontrados nas áreas A14 (398,73 $mg\ kg^{-1}$) e floresta nativa (394,28 $mg\ kg^{-1}$), foram iguais entre si. Portanto, estes comparados com A4 (277,88 $mg\ kg^{-1}$), A9 (250,72 $mg\ kg^{-1}$) e A2 (234,58 $mg\ kg^{-1}$), foram significativamente diferentes.

Os teores de Fe^{3+} foram superiores na camada 0-0,10 m, em todas as áreas. Contudo, A2, A4 e A9, os teores diminuíram significativamente entre as camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Nas áreas floresta nativa e A14, os valores decresceram significativamente apenas

entre as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m. Já na área A26, o teor de Fe^{3+} diminuiu na camada 0,20-0,30 m. Em todas as áreas, os valores de Fe^{3+} são considerados altos ($> 45 \text{ mg kg}^{-1}$), (CFSEMG, 1999).

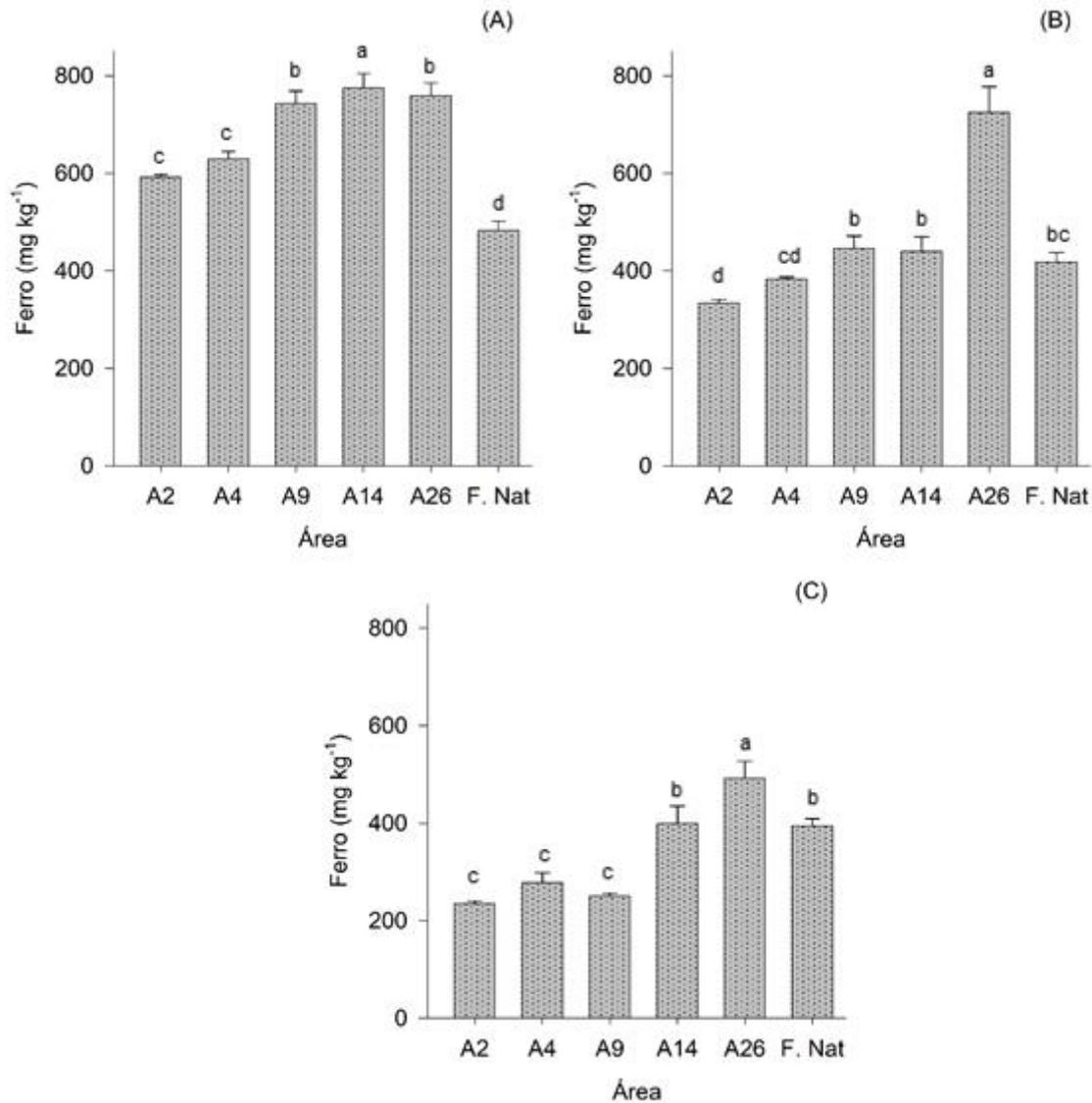


Figura 10. Valores de Ferro, nas camadas 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C), de um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na barra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Assim, nos solos cultivados, a severidade da expressão de toxicidade do Fe^{3+} nas plantas de arroz tem sido relacionada a vários fatores (material de origem, teores de Fe^{3+} , pH do solo, conteúdo de matéria orgânica no solo, entre outros) entre esses fatores, o material de origem desempenha um papel fundamental na retenção do Fe^{3+} na superfície dos minerais, isso explica porque em solos de várzeas com predominância de argila caulinita (menor CTC),

os sintomas de toxidez ocorrem com maior frequência que em solos com predominância de argila esmectita (maior CTC) (FAVRE *et al.*, 2002; BECKER; ASCH, 2005).

As altas concentrações de Fe^{3+} , observadas neste estudo, podem estar relacionadas com o tipo de argila e conteúdo de matéria orgânica das áreas e camadas avaliadas. Neste sentido, tem sido reportada concentrações de Fe de até 5000 mg kg^{-1} . Sendo, para o cultivo de arroz o limite crítico até 300 mg kg^{-1} de Fe^{3+} . Já em maiores concentrações, após do alagamento do solo, a solubilidade deste elemento pode alterar mediante interações antagônicas a disponibilidade de outros nutrientes (Mn^{2+} , Zn^{2+} , K^+) ou pelo acúmulo de Fe^{2+} no sistema radicular, como também pela excessiva absorção deste elemento pela planta, afetando o normal desenvolvimento (BECKER; ASCH, 2005).

Assim, um dos mecanismos que as plantas de arroz desenvolveram para sobreviver em solos com altas concentrações de Fe^{2+} é a oxidação da rizosfera (precipitação do Fe como Fe^{3+}) via aerênquimas. Outros mecanismos como a seletividade e retenção da membrana da raiz e caule, permitem o normal desenvolvimento das plantas de arroz (NAVA; BOHNEN, 2002; BECKER; ASCH, 2005). Assim, como estratégia para produzir arroz sob condições alagadas, os cultivares empregados nas áreas avaliadas foram IRGA 424 e IRGA 429, estes materiais apresentam nível de tolerância e resistência respectivamente, à toxidez por Fe^{2+} .

Em relação a Mn^{2+} , na camada 0-0,10 m (Figura 11A), os melhores resultados foram observados nas áreas A9 com $90,59 \text{ mg kg}^{-1}$ e A4 com $81,49 \text{ mg kg}^{-1}$, estes não diferiram entre si. Contudo, A9 apresentou diferenças significativas com os teores de floresta nativa, A2, A14 e A26. Também se evidenciou que A2, A14 e 26, apresentaram valores iguais entre si, e estes foram inferiores em relação com as demais áreas usadas com arroz e com a floresta nativa.

Os valores de Mn^{2+} observados em todas as áreas e camadas avaliadas foram $> 12 \text{ mg kg}^{-1}$, considerados altos (CFSEMG, 1999).

Os teores de Mn total no solo geralmente varia entre 20 e 3000 mg kg^{-1} . Assim, o Mn^{2+} encontra-se ligado a óxidos e hidróxidos revestidos em partículas de solo, e misturados com óxidos de Fe e outros constituintes. A maior disponibilidade do Mn^{2+} é encontrada em solos extremamente ácidos ($\text{pH} < 5$), e decresce significativamente para cada aumento de uma unidade de pH. Isto justifica os resultados encontrados neste trabalho, uma vez que os solos avaliados apresentaram valores de pH menores a 5, e o conteúdo de matéria orgânica nas áreas, podem ter contribuído na maior disponibilidade Mn^{2+} nas áreas A9 e A4 e floresta nativa. Já na área A26, a maior disponibilidade foi apresentada na camada 0,20-0,30 (Figura

11C) m, cenário diferente em relação com os valores apresentados nas demais áreas ao longo do perfil estudado.

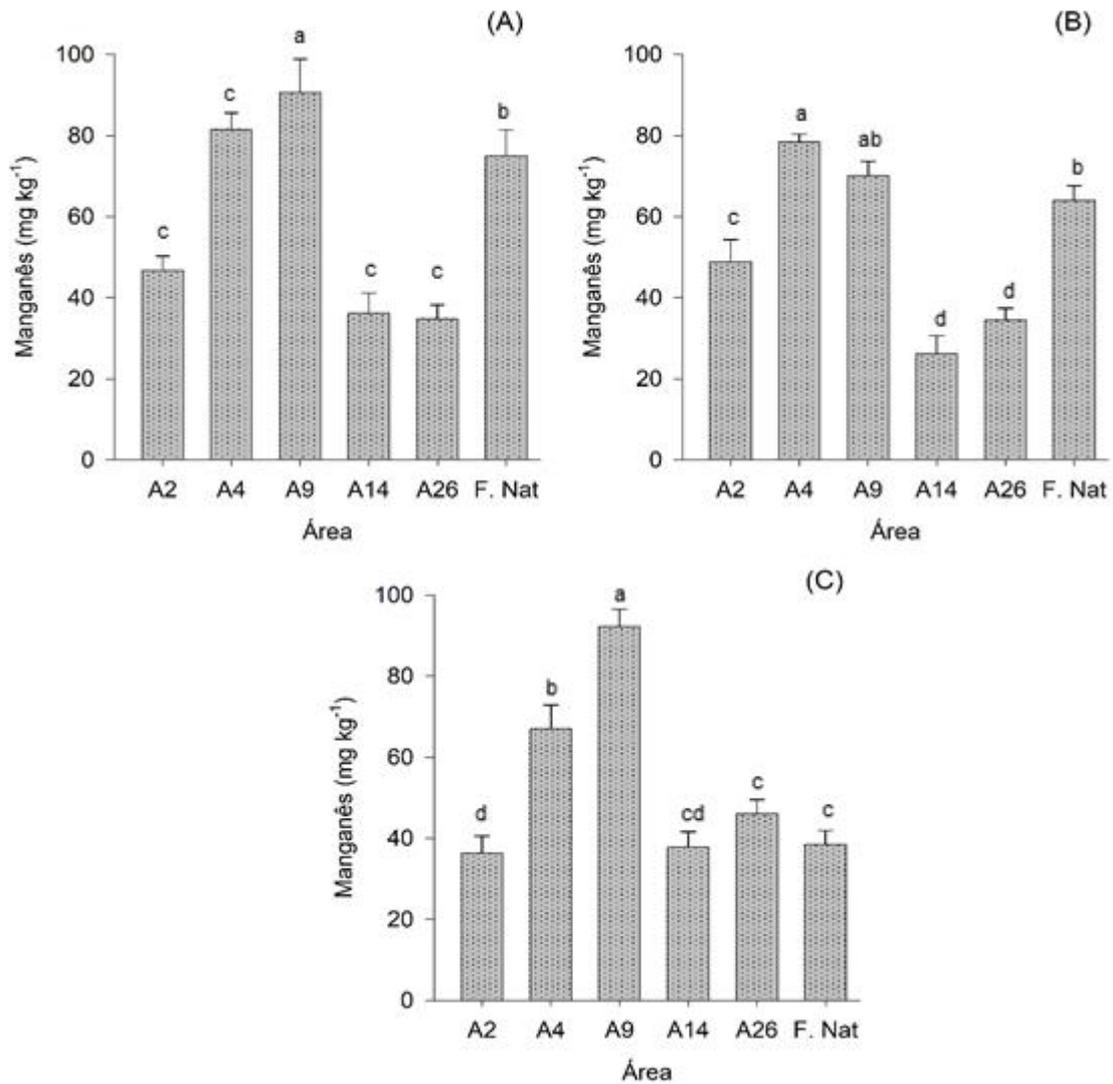


Figura 11. Valores de Manganês nas camadas 0-0,10 m (A), 0,10-0,20 m (B) e 0,20-0,30 m (C), de um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com vários anos de uso com arroz. As barras de erro demonstram o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula na barra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Assim, a baixa disponibilidade de Mn^{2+} está atribuído à lixiviação deste micronutriente para camadas mais profunda, principalmente ocorre em solos com textura arenosa com baixos conteúdos de MOS (HAVLIN *et al.*, 2005).

12.4 Produtividade e Ciclagem de Nutrientes

Na Figura 12, são apresentados os dados de produção de grãos, e palhada encontrados nas áreas avaliadas.

Em relação à produtividade, foram encontrados os melhores resultados nas áreas A14, A9 e A26 com $8,00 \text{ Mg ha}^{-1}$, $7,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $7,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente. Esses valores não diferiram entre si, e comparados com A4 ($7,00 \text{ Mg ha}^{-1}$) e A2 ($6,80 \text{ Mg ha}^{-1}$), foram diferentes significativamente. Assim, verificou-se que A14 foi superior com $1,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $1,00 \text{ Mg ha}^{-1}$ em relação com A2 e A4 respectivamente.

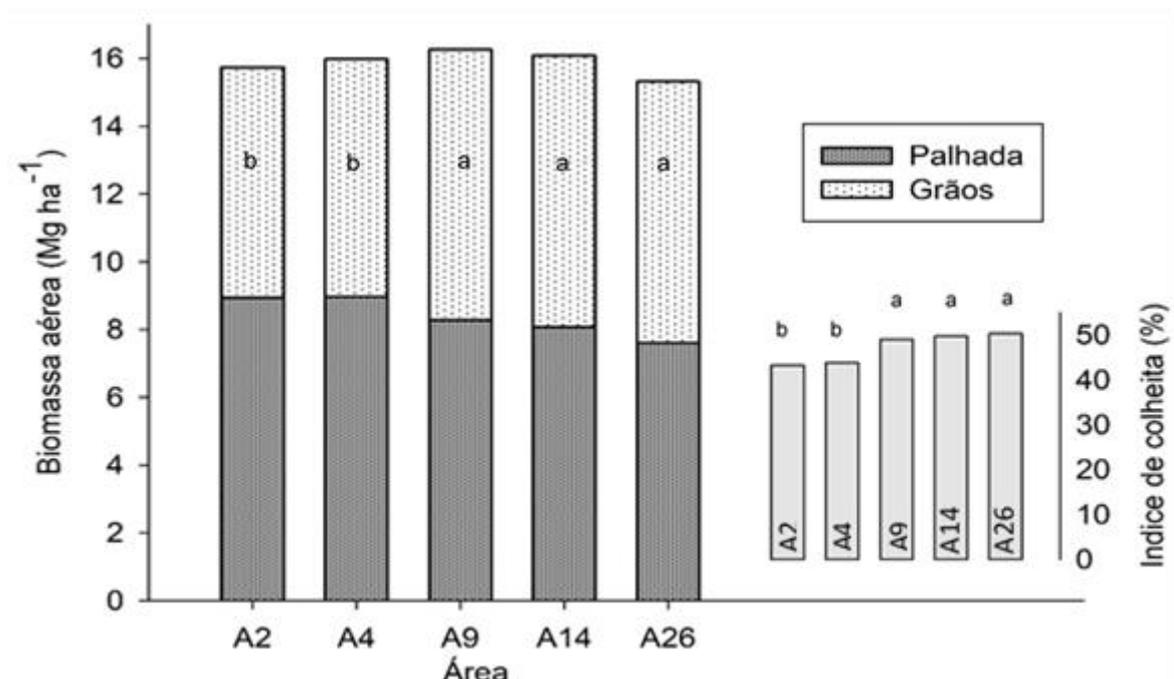


Figura 12. Produção de biomassa aérea e índice de colheita (gráfico pequeno à direita) em áreas com diferentes anos de uso e manejo do solo de um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Huang *et al.* (2013) verificaram que a manutenção dos resíduos de colheita na superfície do solo ao longo do tempo, a produtividade poderia aumentar ao redor de 10%. No entanto, as respostas de rendimento à retenção de resíduos de culturas são afetadas pela combinação de clima, condições do solo e práticas de manejo. Nesse sentido, os resultados apresentados em nosso estudo, possivelmente foram influenciados pelo manejo e data de semeadura de cada uma das áreas. Assim, evidenciou-se que as áreas mais antigas cultivadas com arroz (A9, A14 e A26) foram plantadas mais cedo em relação com as áreas recentes (A4 e A2), além disso, foram semeadas diretamente sem remoção dos resíduos de colheita.

Enquanto que, nas áreas A2 e A4 foram realizados preparos convencionais durante o tempo de uso do solo com arroz.

Nesse contexto, a produção de palhada nas áreas estudadas variou de 7,61 Mg ha⁻¹ até 8,94 Mg ha⁻¹, sendo A2 a que apresentou maior valor em relação com as demais, portanto essas variações não foram significativas. Contudo, observou-se que as áreas A9 e A14 apresentaram uma produção de biomassa aérea total (grãos mais palhada) de 16,26 Mg ha⁻¹ e 16,08 Mg ha⁻¹ respectivamente, sendo superior às encontradas nas áreas A4 (15,98 Mg ha⁻¹), A2 (15,74 Mg ha⁻¹) e A26 (15,31 Mg ha⁻¹), portanto, essas variações não foram significativas.

O rendimento da cultura do arroz está em função da proporção grão-palha, e pode ser aumentado alcançando maior produção de biomassa total, ou o índice de colheita, ou ambos. Assim, constatou-se que a relação grão-palha nas áreas avaliadas variou entre 43,20% e 50,29% (Figura 12, gráfico pequeno à direita), sendo a área mais antiga a que apresentou o maior índice de colheita, contudo, esse valor encontrado não diferiu de A14 (49,75%) e A9 (49,08%). Os índices de colheita constatados em A4 (43,80 %) e A2 (43,20 %) foram diferentes significativamente com os encontrados nas áreas mais antigas. Nesse cenário, o índice de colheita de variedades modernas é de cerca de 50%, o que significa que a biomassa compreende 50% de grãos e 50% de palha (KHUSH, 1995).

O potencial de alto rendimento do arroz irrigado resulta de radiação solar intensa devido a uma eficiência similar na produção de matéria seca por unidade de radiação incidente e das técnicas de manejo de culturas (KATSURA *et al.*, 2008). Em termos geral, a ocorrência da radiação solar acima do normal, propicia condições energéticas para a plena atividade fotossintética, condicionando o aproveitamento do N aplicado anteriormente ao estágio de emborrachamento (RABAIOLI *et al.*, 2008).

Portanto, avaliar as respostas das variedades a fatores climáticos, pode levar a uma melhoria do potencial de produção de cultivares de alto rendimento, (OHSUMI; FURUHATA; MATSUMURA, 2014) uma vez que o cultivo de arroz apresenta sensibilidade às variações de temperatura e radiação solar no período de anteses, o que pode resultar no excesso da capacidade de assimilação sobre o aumento da massa seca de grãos no período de enchimento tardio, ocasionando a acumulação significativa de matéria seca na palha (NTANOS; KOUTROUBAS, 2002).

As áreas plantadas mais cedo, possivelmente apresentaram uma maior translocação de N na fase de anteses para a formação de grãos. Assim, constatou-se que a área A2 com 7,82 g kg⁻¹ (Tabela 10) apresentou o maior conteúdo de N na palha, e foi diferente

significativamente dos demais. Os valores encontrados nas áreas A9, A26 e A4 foram 6,57 g kg⁻¹, 6,18 g kg⁻¹, e 5,85 g kg⁻¹ respectivamente, e estes não apresentaram diferenças entre si, e apenas A9 e A26 variaram de A14 que obteve 5,25 g kg⁻¹.

A quantidade de N acumulado apresentado na área A2, pode estar relacionada, além do manejo do cultivo, a data de semeadura em que foram estabelecidas as culturas, uma vez que os valores médios de temperatura acumulada e horas de radiação solar variaram (INMET, 2016) entre outubro e dezembro, meses em que foram plantadas as áreas avaliadas. Portanto, a exigência de radiação solar pela cultura do arroz varia de uma fase fenológica para a outra (KLERING *et al.*, 2008). Nesse sentido, fazer coincidir o período reprodutivo da cultura do arroz com as melhores condições de temperatura e radiação solar (MENEGETTI *et al.*, 2013), contribui no suprimento adequado de assimilados para preenchimento de grãos, devido a uma maior taxa fotossintética (KATSURA *et al.*, 2008).

Enquanto que a área A14, apresentou menor acúmulos de N na palha, isto pode ser explicado pelo fato que os teores de N das partes vegetativas diminuem significativamente entre a fase da antes e maturidade (NTANOS; KOUTROUBAS, 2002).

Já para o P, os melhores resultados foram demonstrados nas áreas A9 com 1,19 g kg⁻¹ e A26 com 1,14 g kg⁻¹, assim, estes valores foram iguais entre si, e diferentes significativamente quando foram comparados com demais. Seguidamente, observou-se que o valor de A4 (0,97 g kg⁻¹) foi superior aos encontrados em A14 (0,85 g kg⁻¹) e A2 (0,72 g kg⁻¹). Portanto, o teor mais baixo de P na palha de arroz foi encontrado na área mais nova.

Tabela 10. Conteúdo de nutrientes na palha de arroz em áreas com diferentes anos de uso e manejo.

Área	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹		C/N
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	
A2	7,82 a	0,72 d	11,60 b	0,15 b	0,03	110,00	52,50	20,93	60,78c
A4	5,85 bc	0,97 b	17,18 a	0,09 c	0,03	97,50	47,50	20,49	81,77b
A9	6,57 b	1,19 a	11,58 b	0,15 b	0,03	120,00	60,00	20,97	72,41b
A14	5,25 c	0,85 c	15,78 a	0,13 b	0,04	137,50	55,00	20,78	96,02a
A26	6,18 b	1,14 a	11,83 b	0,18 a	0,03	102,50	55,00	21,11	81,77b
CV (%)	5,22	5,47	8,81	6,70	ns	ns	ns	ns	5,80

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). ns, não significativo.

Os acúmulos de P na palha depende da disponibilidade oportuna deste elemento e o estado nutricional das plantas, assim, uma nutrição equilibrada e condições de crescimento favoráveis, contribuem a um melhor aproveitamento do P, promove bom desenvolvimento inicial das plantas e na etapa reprodutiva, a translocação de elaborados para a formação de

grãos fornece melhores rendimentos, uma vez que para produzir 1 Mg de grãos, a planta extrai entre 2,5 e 3,5 kg de P (DOBERMANN, 2000). Neste sentido, o acúmulo de P apresentado na palha da área A14, foram menores, em relação com os demais, isto demonstra uma maior eficiência na absorção e translocação de assimilados para a formação dos grãos.

Em relação ao K, A4 com 17,18 g kg⁻¹ e A14 com 15,78 g kg⁻¹, apresentaram as maiores concentrações desse elemento na palhada. Os valores encontrados nessas áreas, diferiram estatisticamente de A26 (11,83 g kg⁻¹), A2 (11,60 g kg⁻¹) e A9 (11,58 g kg⁻¹). Assim, demonstrou-se que as áreas A4 e A9, apresentaram maior aproveitamento do K disponível no solo, embora a quantidade deste elemento absorvido seja grande, ao redor de 20% é retida para os grãos, retornando o restante para o solo.

Para Ca, evidenciou-se que A26 demonstrou a maior concentração com 0,18 g kg⁻¹ e diferiu significativamente dos demais, seguidamente A2, A9 e A13 apresentaram 0,15 g kg⁻¹, 0,15 g kg⁻¹ e 0,13 g kg⁻¹ respectivamente, estes valores não foram diferentes entre si, estes comparados com A4 (0,09 g kg⁻¹), houve diferença significativa.

Embora os teores de Ca foram considerados baixos em todas as áreas avaliadas, observou-se um melhor aproveitamento deste elemento na área mais antiga cultivada com arroz, isso é decorrente do aumento do fluxo difusivo de Ca²⁺ no sistema radicular em solos sob condições alagadas. Contudo, esse aproveitamento não foi observado com o Mg, uma vez que os valores encontrados não apresentaram diferenças significativas entre as áreas avaliadas.

Em relação aos acúmulos de micronutrientes na palha de arroz, foram observadas variações entre 97,50 mg kg⁻¹ e 137,50 g kg⁻¹ de Fe, 47,50 g kg⁻¹ e 60,00 g kg⁻¹ de Mn e 20,49 g kg⁻¹ e 21,11 g kg⁻¹ de Zn. Porém, essas diferenças encontradas não foram significativas entre as áreas avaliadas. Portanto, os valores encontrados refletem a eficiência na absorção destes nutrientes, uma vez que os conteúdos apresentados na palha estiveram sobre o nível crítico de deficiência. Assim, Dobermann (2000), determinou que o nível crítico de Fe na etapa do perfilhamento e iniciação da panícula é < 70 mg kg⁻¹, sendo os níveis ótimos entre 75 e 150 mg kg⁻¹. Enquanto que para o Mn, concentrações < a 40 mg kg⁻¹ na folha durante o perfilhamento e desenvolvimento da panícula, e concentrações < 20 mg kg⁻¹ de Zn na etapa de perfilhamento, são consideradas prejudiciais para os processos fisiológicos da planta. Em relação à ciclagem de nutrientes, na Tabela 11, são apresentadas as doses de fertilizantes minerais adicionadas nas diferentes áreas e a quantidade de nutrientes retidos na palha.

A manutenção dos resíduos de colheita, além de melhorar a qualidade do solo, pode servir como fonte de nutrientes para a seguinte safra, uma vez que muitos dos minerais absorvidos pelas plantas, permanecem na palha após a colheita, recuperando ao redor de 35% do N, 30% de P, 85% de K e 45% de enxofre (S). Grande parte destes elementos podem ser reciclado para o crescimento subsequente após a decomposição. (BYOUS *et al.*, 2004).

Neste contexto, a taxa de retorno de N nas áreas avaliadas variou de 23,55 % a 40,04%. Assim, observou-se que A2, apresentou maior retorno de N com 69,91 kg ha⁻¹. Entretanto, a acumulação e distribuição de N nos órgãos vegetativos e reprodutivos do arroz são um processo importante na determinação do rendimento de grãos (NTANOS; KOUTROUBAS, 2002). Já para o P, considerando a eficiência de absorção deste elemento, foi determinado que por cada kg de P removido é produzido 340 kg de grão de arroz (DOBERMANN, 2000).

Assim, determinou-se que para a produção de grãos nas áreas avaliadas (Figura 12) se removeram 20,00 kg ha⁻¹; 20,59 kg ha⁻¹; 22,65 kg ha⁻¹; 23,47 kg ha⁻¹ e 23,53 kg ha⁻¹ de P nas áreas A2, A4, A26, A9 e A14, respectivamente, dos quais, foram retidos na palha 24, 59% (A14), 28,62% (A2), 32,76% (A26), 37,30% (A9) e 37,61% (A4). Essa taxa de retorno de P na palha concorda com o encontrado por Dobermann (2000) e Byous *et al.* (2004).

Tabela 11. Dose de fertilizantes incorporados ao solo e retorno de nutrientes na palha de arroz em áreas com diferentes anos de uso e manejo.

Área	Adubação Mineral			Retorno de nutrientes na palha (kg ha ⁻¹)							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	ZnO
	-----kg ha ⁻¹ -----			-----kg ha ⁻¹ -----							
A2	174,60	112,50	112,50	69,91	6,44	103,70	1,34	0,27	0,98	0,45	0,18
A4	174,60	112,50	112,50	52,53	8,71	154,28	0,81	0,27	0,81	0,45	0,18
A9	174,60	112,50	112,50	54,40	9,85	95,88	1,24	0,25	0,99	0,50	0,17
A14	180,15	118,75	118,75	42,42	6,87	127,50	1,05	0,32	1,13	0,48	0,16
A26	179,80	117,00	117,00	47,03	8,68	90,03	1,37	0,23	0,76	0,46	0,15

Para o K, observou-se que o retorno deste elemento em relação à quantidade de adubo aplicado superou o 76% (A26), alcançando em umas áreas até 137% (A4). Isso pode estar relacionado, com o aumento da disponibilidade de K, ou aumento da difusividade na solução (mobilidade) sob condições alagadas. Embora a exportação deste elemento para a formação de grãos seja pequena, a demanda pela planta é grande, sendo a maior entre os nutrientes minerais (YAMADA; ROBERTS, 2005). Assim, estudos realizados por Dobermann; Cruz; Cassman (1996), determinaram que entre 80 e 85% do K absorvido pelo arroz, permaneceu nas partes vegetativas na maturidade e 50% de todas as amostras de palha

analisadas contidas entre 14-20 kg K por tonelada de palha em matéria seca. Portanto, a manutenção dos resíduos de colheita resulta num recurso de grande impacto na disponibilidade de K a longo prazo, particularmente em solos com concentrações relativamente baixas (BYOUS *et al.*, 2004).

Em termo geral, um efeito negativo da retenção de resíduos sobre o rendimento das culturas é devido à imobilização microbiana do N durante o estabelecimento do cultivo (antes do perfilhamento), que poderia reduzir a absorção de N e afetar o crescimento da cultura. No entanto, o prejuízo da imobilização de N pode ser evitado quando os fertilizantes nitrogenados são aplicados em doses suficientes (HUANG *et al.*, 2013), ou em alguns casos, a aplicação antecipada de adubos nitrogenados pode resultar numa prática mais eficiente, referente aos aumentos da produtividade da cultura de arroz (NASCENTE *et al.*, 2011).

Entretanto, Huang *et al.* (2013) mostraram que a retenção de resíduos de colheita na superfície do solo poderia substituir quantidades significativas de fertilizantes nitrogenados e potássicos sem efeitos negativos sobre a produtividade. Neste sentido, as práticas de manejos relacionadas à retenção de resíduos devem ser específicas à localidade, a fim alcançar a eficiência no uso de fertilizantes e melhorar a rentabilidade na produção de arroz.

12.5 Correlação de Pearson

As Tabelas 12, 13 e 14, apresentam às análises de correlação dos indicadores químicos com a fração argila do solo realizados em forma conjunta para os diferentes sistemas de manejo e tempo de uso com arroz.

Comparando os valores da fração argila com carbono orgânico do solo (COS), se observou uma relação significativa ($p \leq 0,01$) positiva com coeficiente (r) 0,58; (r) 0,72; (r) 0,74, para as camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. Isto pode estar relacionado pelos altos teores de COS e fração argila encontrados nas áreas A9 e A4.

Assim, a interação do COS com as partículas minerais, permite que este funcione como um reservatório de nutrientes e energia para as plantas (BANDYOPADHYAY *et al.*, 2010). Neste sentido, o COS e os indicadores químicos avaliados aumentaram de forma linear. Se evidenciou relação significativa ($p \leq 0,01$) positiva entre COS com Nitrogênio total (Nt), Fósforo total (Pt) e Fósforo inorgânico (Pi), para as camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m., no entanto, o COS e Fósforo orgânico (Po) se correlacionaram ($p \leq 0,05$) apenas na camada 0-0,10 m.

Tabela 12. Correlação de Pearson entre os indicadores químicos do solo e teores de argila, estudados na camada 0-0,10 m em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com diferentes anos de uso e manejo.

	pH	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCt	CTCe	V	M	Nt	Pd	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	COS	Pt	Pi	Po	Argila	
pH	-																					
Al³⁺	-0,30ns	-																				
H+Al	-0,51*	0,65**	-																			
SB	0,42*	0,49*	0,64**	-																		
CTCt	-0,52*	0,65**	0,99**	0,71**	-																	
CTCe	-0,38ns	0,96**	0,73**	0,73**	0,76**	-																
V	0,32ns	-0,53*	-0,64**	0,14ns	-0,58**	-0,22ns	-															
m	-0,13ns	0,73**	0,32ns	-0,18**	0,28ns	0,52*	-0,61**	-														
Nt	-0,31ns	0,39ns	0,64**	0,58**	0,66**	0,51*	-0,17ns	0,00ns	-													
Pd	-0,24ns	0,11ns	0,06ns	0,26ns	0,08ns	0,18ns	0,08ns	-0,05ns	0,35ns	-												
K⁺	-0,40ns	0,11ns	0,49*	0,79**	0,54*	0,35ns	0,20ns	-0,50*	0,62**	0,16ns	-											
Ca²⁺	-0,37ns	0,39ns	0,41ns	0,98**	0,68**	0,72**	0,12ns	-0,15ns	0,50*	0,32ns	0,69**	-										
Mg²⁺	-0,37ns	0,39ns	0,41ns	0,63**	0,57**	0,64**	0,10ns	-0,06ns	0,61**	-0,03ns	0,68**	0,58**	-									
Fe³⁺	-0,51*	0,60**	0,67**	0,77**	0,71**	0,73**	-0,20ns	0,17ns	0,61**	0,66**	0,50*	0,80**	0,43*	-								
Mn²⁺	-0,11ns	-0,37ns	0,25ns	-0,01ns	0,23ns	-0,30ns	-0,22ns	-0,40ns	0,17ns	-0,52*	0,42*	-0,13ns	0,22ns	-0,3ns	-							
Zn²⁺	-0,52*	0,66**	0,83**	0,82**	0,86**	0,80**	-0,23ns	0,13ns	0,63**	0,05ns	0,72**	0,73**	0,84**	0,67**	0,24ns	-						
COS	-0,51*	0,29ns	0,64**	0,69**	0,67**	0,46*	-0,09ns	-0,21ns	0,82**	0,31ns	0,84**	0,56**	0,77**	0,60**	0,37ns	0,80**	-					
Pt	-0,52*	0,49*	0,72**	0,77**	0,75**	0,65**	-0,23ns	0,02ns	0,66**	0,60**	0,65**	0,75**	0,52*	0,92**	-0,03ns	0,76**	0,76**	-				
Pi	-0,53*	0,54*	0,85**	0,78**	0,87**	0,69**	-0,36ns	0,08ns	0,64**	0,34ns	0,66**	0,75**	0,61**	0,85**	0,16ns	0,87**	0,77**	0,94**	-			
Po	-0,28ns	0,18ns	0,15ns	0,42*	0,19ns	0,28ns	0,15ns	-0,10ns	0,44*	0,91**	0,34ns	0,45*	0,11ns	0,69**	-0,42*	0,19ns	0,42*	0,70**	0,43*	-		
Argila	-0,48*	0,66**	0,91**	0,76**	0,92**	0,78**	-0,40ns	0,22ns	0,52*	-0,12ns	0,59**	0,73**	0,65**	0,62**	0,25ns	0,90**	0,58**	0,64**	0,79**	0,04ns	-	

n.s. - não significativo ($p > 0,05$); * - significativo em nível de 5% ($p \leq 0,05$); ** - significativo em nível de 1% ($p \leq 0,01$).

Tabela 13. Correlação de Pearson entre os indicadores químicos do solo e teores de argila, estudados na camada 0,10-0,20 m em um Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico com diferentes anos de uso e manejo.

	pH	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCt	CTCe	V	m	Nt	Pd	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	COS	Pt	Pi	Po	Argila	
pH	-																					
Al³⁺	-0,57**	-																				
H+Al	-0,55*	0,69**	-																			
SB	-0,26ns	0,58**	0,59**	-																		
CTCt	-0,54*	0,70**	0,99**	0,65**	-																	
CTCe	-0,55*	0,98**	0,72**	0,72**	0,74**	-																
V	0,47*	-0,54*	-0,82**	-0,13ns	-0,79**	-0,49*	-															
m	-0,50*	0,78**	0,64**	0,16ns	0,62**	0,70**	-0,83**	-														
Nt	-0,45*	0,37ns	0,71**	0,73**	0,74**	0,48*	-0,41ns	0,21ns	-													
Pd	0,06ns	0,08ns	-0,13ns	0,34ns	-0,10ns	0,14ns	0,27ns	-0,03ns	0,19ns	-												
K⁺	-0,39ns	0,36ns	0,61**	0,82**	0,65**	0,66**	-0,14ns	0,06ns	0,69**	0,09ns	-											
Ca²⁺	-0,26ns	0,38ns	0,56**	0,98**	0,62**	0,71**	-0,13ns	0,20ns	0,71**	0,32ns	0,74**	-										
Mg²⁺	-0,03ns	0,25ns	0,42*	0,67**	0,45*	0,37ns	-0,07ns	-0,03ns	0,49*	0,41ns	0,66**	0,54*	-									
Fe³⁺	0,34ns	-0,35ns	-0,45*	0,03ns	-0,42*	-0,29ns	0,52*	-0,37ns	-0,08ns	0,08ns	-0,20ns	0,01ns	0,27ns	-								
Mn²⁺	0,04ns	-0,47*	0,17ns	-0,31ns	0,13ns	-0,47*	-0,22ns	-0,25ns	0,07ns	-0,58*	-0,07ns	-0,36ns	-0,02ns	-0,33ns	-							
Zn²⁺	-0,49*	0,74**	0,69**	0,78**	0,72**	0,80**	-0,28ns	0,29ns	0,61**	0,07ns	0,94**	0,70**	0,63**	-0,28ns	-0,14ns	-						
COS	-0,38ns	0,45*	0,74**	0,84**	0,77**	0,57**	-0,36ns	0,18ns	0,87**	0,17ns	0,82**	0,78**	0,70**	-0,10ns	0,08ns	0,79**	-					
Pt	-0,38ns	0,48*	0,72**	0,75**	0,75**	0,57**	-0,40ns	0,26ns	0,79**	0,21ns	0,75**	0,67**	0,73**	-0,08ns	0,03ns	0,76**	0,91**	-				
Pi	-0,43*	0,51*	0,78**	0,69**	0,79**	0,59**	-0,50*	0,33ns	0,74**	-0,04ns	0,74**	0,62**	0,60**	-0,32ns	0,18ns	0,77**	0,89**	0,95**	-			
Po	0,05ns	0,01ns	0,01ns	0,35ns	0,04ns	0,09ns	0,19ns	-0,13ns	0,32ns	0,78**	0,19ns	0,30ns	0,55*	0,68**	-0,43*	0,16ns	0,29ns	0,39ns	0,08ns	-		
Argila	-0,62**	0,76**	0,94**	0,61**	0,94**	0,79**	-0,77**	0,68**	0,67**	-0,22ns	0,61**	0,60**	0,35ns	-0,36ns	0,10ns	0,73**	0,72**	0,67**	0,78**	-0,15ns	-	

n.s. - não significativo ($p > 0,05$); * - significativo em nível de 5% ($p \leq 0,05$); ** - significativo em nível de 1% ($p \leq 0,01$).

Tabela 14. Correlação de Pearson entre os indicadores químicos do solo e teores de argila, estudados na camada 0,20-0,30 m em um Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico com diferentes anos de uso e manejo.

	pH	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCt	CTCe	V	m	Nt	Pd	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	COS	Pt	Pi	Po	Argila	
pH	-																					
Al³⁺	-0,13ns	-																				
H+Al	-0,26ns	0,86**	-																			
SB	-0,12ns	0,42*	0,30ns	-																		
CTCt	-0,26ns	0,86**	0,99**	0,34ns	-																	
CTCe	-0,13ns	0,99**	0,84**	0,54*	0,85**	-																
V	0,24ns	-0,80**	-0,90**	-0,01ns	-0,88**	-0,74**	-															
m	-0,19ns	0,84**	0,84**	0,01ns	0,82**	0,78**	-0,96**	-														
Nt	-0,09ns	0,84**	0,76**	0,43*	0,77**	0,84**	-0,66**	0,64**	-													
Pd	-0,11ns	0,08ns	-0,22ns	0,31ns	-0,20ns	0,12ns	0,19ns	0,00ns	-0,03ns	-												
K⁺	-0,20ns	0,26ns	0,28ns	0,67**	0,31ns	0,34ns	0,06ns	-0,13ns	0,31ns	-0,09ns	-											
Ca²⁺	-0,06ns	0,39ns	0,43*	0,94**	0,47*	0,69**	-0,20ns	0,21ns	0,62**	0,21ns	0,55*	-										
Mg²⁺	-0,18ns	-0,34ns	-0,31ns	0,49*	-0,28ns	-0,25ns	0,53*	-0,52*	-0,39ns	0,48*	0,35ns	0,18ns	-									
Fe³⁺	0,01ns	-0,37ns	-0,64**	0,15ns	-0,62**	-0,32ns	0,67**	-0,53*	-0,30ns	0,09ns	-0,01ns	-0,03ns	0,57**	-								
Mn²⁺	-0,35ns	0,21ns	0,57**	0,24ns	0,58**	0,23ns	-0,41ns	0,29ns	0,14ns	-0,21ns	0,37ns	0,14ns	0,27ns	-0,44*	-							
Zn²⁺	-0,19ns	0,71**	0,43*	0,43*	0,45*	0,72**	-0,36ns	0,45*	0,71**	0,45*	0,30ns	0,50*	-0,04ns	0,24ns	-0,12ns	-						
COS	-0,23ns	0,90**	0,75**	0,46**	0,76**	0,91**	-0,68**	0,69**	0,90**	0,07ns	0,34ns	0,62**	-0,32ns	-0,23ns	0,10ns	0,84**	-					
Pt	-0,26ns	0,61**	0,67**	0,19ns	0,67**	0,59**	-0,65**	0,64**	0,52*	0,06ns	0,18ns	0,22ns	-0,09ns	-0,26ns	0,40ns	0,58**	0,65**	-				
Pi	-0,16ns	0,67**	0,73**	0,15ns	0,72**	0,65**	-0,72**	0,70**	0,58**	-0,09ns	0,16ns	0,23ns	-0,24ns	-0,38ns	0,31ns	0,55*	0,68**	0,96**	-			
Po	-0,34ns	-0,14ns	-0,11ns	0,15ns	-0,10ns	-0,10ns	0,16ns	-0,10ns	-0,15ns	0,50*	0,09ns	0,00ns	0,49*	0,39ns	0,36ns	0,16ns	-0,06ns	0,25ns	-0,04ns	-		
Argila	-0,26ns	0,89**	0,93**	0,32ns	0,93**	0,88**	-0,88**	0,89**	0,67**	0,04ns	0,23ns	0,44*	-0,22ns	-0,39ns	0,53*	0,53*	0,74**	0,68**	0,69**	0,03ns	-	

n.s. - não significativo ($p > 0,05$); * - significativo em nível de 5% ($p \leq 0,05$); ** - significativo em nível de 1% ($p \leq 0,01$).

Também foram apresentadas relações significativas ($p \leq 0,01$) positivas entre COS com Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Zinco (Zn^{2+}) na camada 0-0,10 m, e 0,10-0,20 m. Já na camada 0,20-0,30 m, apenas se correlacionou com Ca^{2+} e Zn^{2+} .

COS e Ferro (Fe^{3+}) se correlacionaram na camada 0-0,10 m. COS e Manganês (Mn^{2+}) não demonstraram correlação.

Embora a predominância mineral do solo avaliado seja de baixa atividade na fração argila, se observou uma linearidade significativa entre COS com a capacidade de troca catiônica total (CTCt) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

Por outro lado, foram observadas correlações significativas ($p \leq 0,01$) positivas entre os teores de argila com Alumínio (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), Pt e Pi, com coeficientes (r) 0,66; (r) 0,91; (r) 0,64; (r) 0,79 para a camada 0-0,10 m, (r) 0,76; (r) 0,94; (r) 0,67; (r) 0,78 para a camada 0,10-0,20 m, e (r) 0,89; (r) 0,93; (r) 0,68; (r) 0,69 para a camada 0,20-0,30 m respectivamente.

Contudo, se evidenciou que os teores de argila com os teores de Fe^{3+} apresentaram correlação (r) 0,62 ($p \leq 0,01$) apenas na camada 0-0,10 m.

Relações significativas ($p \leq 0,01$) positivas foram observadas entre os valores de Pt com Fósforo disponível (Pd) (r) 0,60; Pi (r) 0,94 e Po (r) 0,70 na camada 0-0,10 m. Já nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m o Pi apresentou correlação significativa ($p \leq 0,01$) com coeficientes (r) 0,95 e (r) 0,96, respectivamente. Os valores de Pt não demonstraram correlações significativas com Pd e Po a maior profundidade.

Po e Pd se correlacionaram significativamente com coeficientes (r) 0,91 ($p \leq 0,01$); (r) 0,78 ($p \leq 0,01$); (r) 0,50 ($p \leq 0,05$), nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, respectivamente. Entanto que, teores de Pi demonstraram uma tendência linear significativa com os teores de Al^{3+} e (H+Al) com coeficientes (r) 0,54 ($p \leq 0,05$); (r) 0,85 ($p \leq 0,01$) para a camada 0-0,10 m, (r) 0,51 ($p \leq 0,05$); (r) 0,78 ($p \leq 0,01$) para a camada 0,10-0,20 m e (r) 0,67 ($p \leq 0,01$); (r) 0,73 ($p \leq 0,01$) para a camada 0,20-0,30 na sua ordem.

Também se apresentou uma relação significativa ($p \leq 0,01$) positiva entre Pi e Fe^{3+} (r) 0,85, apenas na camada 0-0,10 m.

Neste cenário, estima-se que grande parte do fósforo solúvel adicionado ao solo como fertilizante, seja adsorvido através de ligações eletrostáticas ou covalentes com

formação de compostos insolúveis, e uma pequena parte seja disponibilizado para as plantas (FALCÃO; SILVA, 2004).

Referente à acidez do solo, foram observadas relações significativas ($p \leq 0,01$) positivas entre os teores de Al^{3+} com os teores de (H+Al), CTCt, CTCe, e saturação por alumínio (m) nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

Também se evidenciou uma relação inversamente proporcional entre os teores de Al^{3+} e saturação por bases (V) em todo o perfil estudado.

Esse fato reflete a dominância do Al^{3+} no complexo de troca e os baixos teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} na matriz do solo (MELO; GIANLUPPI; UCHÔA, 2004).

Neste sentido, se apresentou correlação significativa ($p \leq 0,05$) positiva entre o pH do solo com a soma de bases (SB) (r) 0,42 na camada 0-0,10 e na 0,10-0,20 m o pH e (V) se correlacionaram (r) 0,47 ($p \leq 0,05$). Relações ($p \leq 0,05$) negativas se apresentaram entre o pH com (H+Al) (r) -0,51 e CTCt (r) -0,52 na camada 0-0,10 m.

Na camada 0,10-0,20 m se observou uma correlação significativa negativa entre os teores de pH com Al^{3+} e (m), com coeficientes (r) -0,57 ($p \leq 0,01$) e (r) -0,50 ($p \leq 0,05$), respectivamente. Correlações significativas ($p \leq 0,01$) positivas foram encontradas entre os valores de SB com K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} com coeficientes (r) 0,79; (r) 0,98; (r) 0,63 para a camada 0-0,10 m, (r) 0,82; (r) 0,98; (r) 0,67 para a camada 0,10-0,20 m e (r) 0,67; (r) 0,94; (r) 0,49 ($p \leq 0,05$) para a camada 0,20-0,30 m.

Além disso, também foram observadas relações significativas ($p \leq 0,01$) positivas entre a fração argila com os teores de K^+ (r) 0,59; Ca^{2+} (r) 0,73 e Mg^{2+} (r) 0,65 na camada 0-0,10 m. K^+ (r) 0,61; Ca^{2+} (r) 0,60 na camada 0,10-0,20 m, e Ca^{2+} (r) 0,44 ($p \leq 0,05$) na camada 0,20-0,30 m.

Os teores entre K^+ com Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram uma relação linear significativa ($p \leq 0,01$) nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, já na camada 0,20-0,30 m, apenas o Ca^{2+} apresentou correlação significativa ($p \leq 0,05$) positiva. Desse modo, se observou que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} se correlacionaram significativamente com coeficiente (r) 0,58 ($p \leq 0,01$) e (r) 0,54 ($p \leq 0,05$), nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m respectivamente.

12.6 Análises de Componentes Principais (ACP)

As análises de componentes principais foram realizadas de forma conjunta para as áreas com diferentes anos de uso com arroz e uma área de floresta nativa como referência

(A2, A4, A9, A14, A26 e floresta nativa), apenas separadas pelas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m (Figuras 13, 14 e 15).

A soma dos Componentes Principais (CP1 e CP2) expressa que os tratamentos foram responsáveis por 78,9% da variabilidade dos dados, o CP1 explica 53,60% dessa variabilidade, o que confere robustez aos resultados (Figura 13).

Os resultados apresentados indicam que as variáveis fortemente relacionadas com as áreas A9 e A14 foram, Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Soma de Bases (SB), Ferro (Fe), Carbono Orgânico do Solo (COS), Nitrogênio total (Nt), Potássio (K), Fósforo total (Pt), Fósforo disponível (Pd) e Fósforo orgânico (Po), e no sentido oposto evidenciou-se que estes indicadores não estão associados à área mais nova cultivada com arroz.

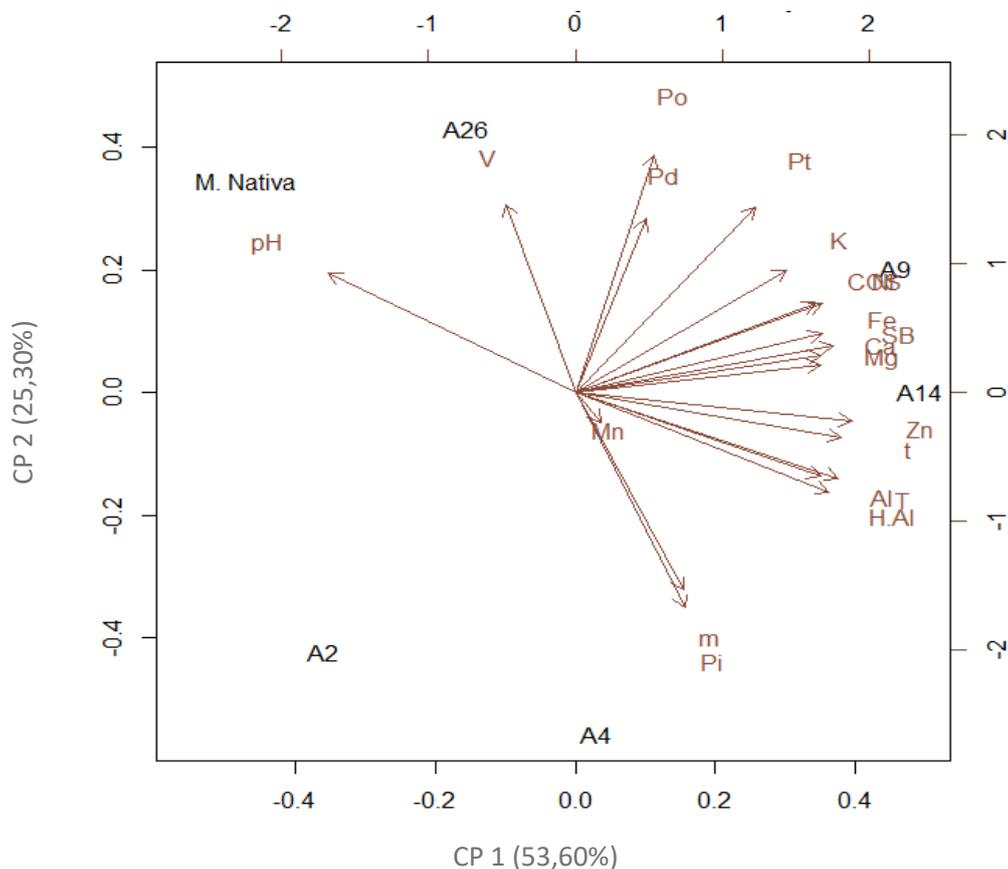


Figura 13. Relação entre as variáveis originais dos indicadores químicos do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0-0,10 m.

O CP 2 explicou que as variáveis saturação por bases (V) e pH associadas às áreas A26 e M. Nativa se projetaram positivamente em relação a Zinco (Zn), Capacidade de Troca Catiônica efetiva (t), Alumínio (Al), Capacidade de Troca Catiônica total (T), acidez potencial

(H+Al), saturação por Alumínio (m), Fósforo inorgânico (Pi) e Manganês (Mn) relacionadas com as áreas A9, A14 e A4.

A Figura 14 apresenta os resultados para os indicadores avaliados na camada 0,10-0,20 m, as análises de componentes explicam 77,50% da variabilidade original dos dados.

O CP1 demonstrou 54,70% da variância total, contudo, se evidenciou sequência similar à observada na camada 0-0,10 m (Figura 13), onde as variáveis Po, Pd, Pt, Mg, K, SB, Ca, COS, Nt e Zn associadas às áreas A9 e A14, contribuíram positivamente, e no sentido oposto se projetou a variável Mn relacionada com a área A2.

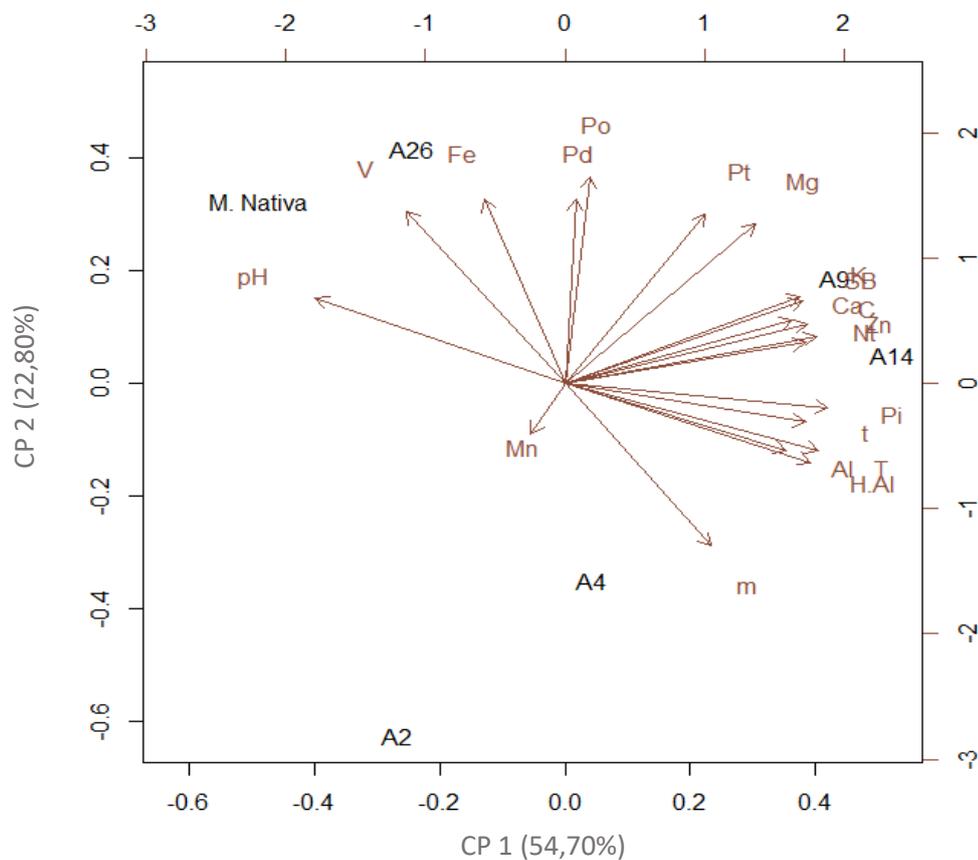


Figura 14. Relação entre as variáveis originais dos indicadores químicos do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,10-0,20 m.

No CP2 se observou as variáveis Fe, V e pH associadas às áreas A26 e M. Nativa, contribuindo positivamente, e as variáveis Pi, t, Al, T, H+Al e m, relacionadas às áreas A14 e A9 e A4, se projetaram negativamente.

Os resultados das análises dos componentes principais da camada 0,20-0,30 m (Figura 15) explicam 76,40% da variabilidade, assim, o CP1 forneceu 53,50% da variância total, porém, se observou que m, H+Al, T, Al e Mn, relacionadas às áreas A4, A9 e A14, se apresentaram opostamente com pH, V, Fe, Mg e Pd, associadas às áreas A14 e A9. Já para o CP2, se demonstrou que a área A2 se projetou no sentido oposto às variáveis Nt, COS, Pi, Zn, Ca, Pt, SB, K e Po, associadas às áreas A14 e A9.

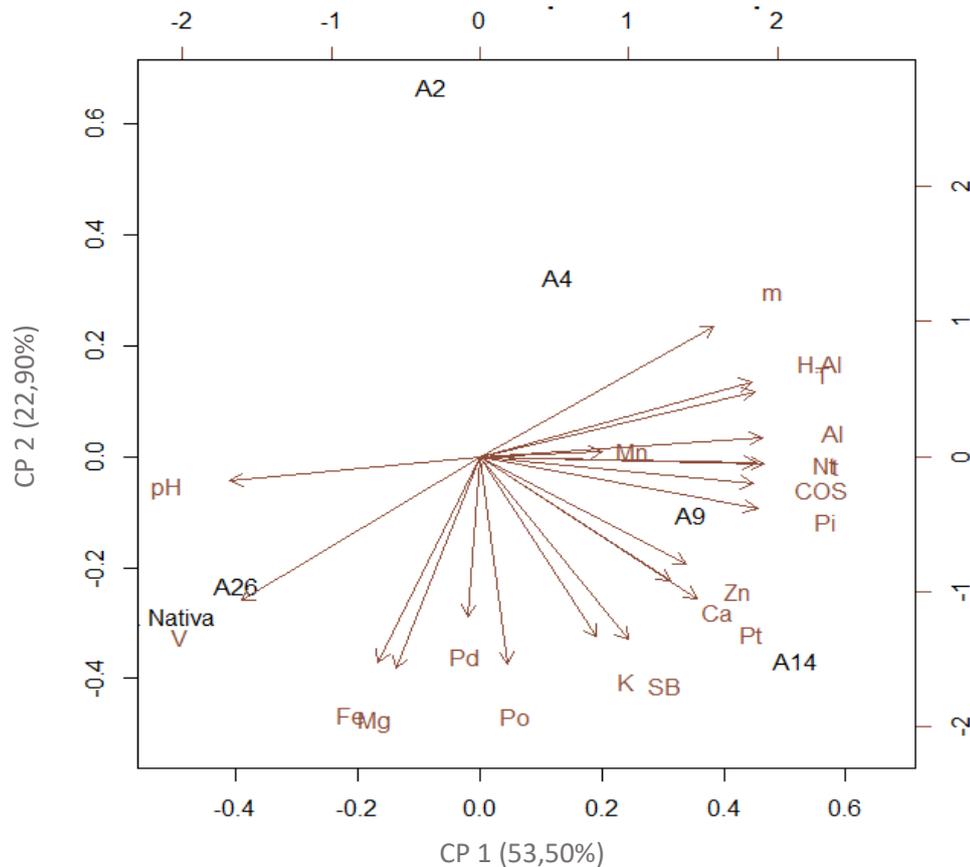


Figura 15. Relação entre as variáveis originais dos indicadores químicos do solo na Componente Principal 1 (CP1) e 2 (CP2), discriminando as áreas com diferentes anos de uso com arroz e floresta nativa na camada 0,20-0,30 m.

As componentes principais demonstraram que as áreas mais recentes cultivadas com arroz irrigado, apresentaram declínio da fertilidade do solo, decorrente do constante revolvimento da camada arável. Contudo, a implementação do cultivo mínimo e a conservação dos resíduos de colheita, resultou numa estratégia efetiva para promover o aumento dos estoques de carbono, melhorando assim, a fertilidade do solo ao longo do tempo (YANG; YANG; OUYANG, 2005; WANG *et al.*, 2014; QIU *et al.*, 2018).

13 CONCLUSÃO

A conversão de ecossistemas nativos para áreas de produção de arroz irrigado, afeta significativamente a fertilidade do solo. Porém, a produção de arroz com menor perturbação da camada arável e a manutenção da palhada nas camadas superficiais, contribui no armazenamento do carbono orgânico, melhorando a fertilidade do solo ao longo do tempo.

14 REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 31, n. 5, p. 537–548, 2009.
- ASSIS, M.; CRAVALHO, J.; CURI, N.; BERTONI, J.; ANDRADE, W. Limitações nutricionais para a cultura do arroz em solos orgânicos sob inundação. I. **Crescimento. Ciênc. agrotec**, v. 24, p. 87–95, 2000.
- BANDYOPADHYAY, P, K.; SAHA, S.; MANI, P, K.; MANDAL, B. Effect of organic inputs on aggregate associated organic carbon concentration under long-term rice–wheat cropping system. **Geoderma**, v. 154, n. 3, p. 379–386, 2010.
- BECKER, M.; ASCH, F. Iron toxicity in rice - conditions and management concepts. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, n. 4, p. 558–573, 1 ago. 2005.
- BEHERA, S.; SHUKLA, A. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 1, p. 71–79, 2015.
- BOWMAN, R, A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53. 1989.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J, C.; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? **CATENA**, v. 163, p. 13–23, 2018.
- BYOUS, E, W.; WILLIAMS, J, F.; JONES, G.; HORWATH, W. Nutrient requirements of rice with alternative straw management. **Better Crops**, v. 36, p. 6–11, 2004.
- CAMPOS, A.; MAMEDOV, A.; HUANG, C. Short-term reducing conditions decrease soil aggregation. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 73, n. 2, p. 550-559, 2009.
- CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. In: Apresentação dos resultados das análises de solos. 5a Aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 310.
- COLPO, G, L.; KAMINSKI, J.; SANTOS, R, D.; CASSOL, F. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, 2007.
- DAMACENA, E.; GIGANTE, S.; ANGHINONI, I.; FACCIO, P.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, 2009.

DICK, W.; TABATABAI, M. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **J. Environ. Qual.**, n. 6, p 82-85. 1977.

DOBERMANN, A. **Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management**. [s.l.] Int. Rice Res. Inst., 2000.

DOBERMANN, A.; CRUZ, P.; CASSMAN, K. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. I. Potassium uptake and K balance. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 46, n. 1, p. 1–10, 1 jan. 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3rd. Ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013, 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1999. 370p.

EVALD, A. Qualidade do solo na cultura do arroz cultivado em várzea roraimense. 2016. 84p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Roraima. Boa Vista. 2016.

FALCÃO, N. P.; SILVA, J. R. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. v. 34, n. 3. 2004.

FAVRE, F.; TESSIER, D.; ABDELMOULA, M.; GÉNIN, J. M.; GATES, W. P.; BOIVIN, P. Iron reduction and changes in cation exchange capacity in intermittently waterlogged soil. **European Journal of Soil Science**, v. 53, n. 2, p. 175–183, 1 jun. 2002.

FRANZLUEBBERS, A. Tillage and Residue Management Effects on Soil Organic Matter. In: **Soil organic matter in sustainable agriculture**. [s.l.] CRC press, 2004.

GAIND, S.; NAIN, L. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants. **Biodegradation**, v. 18, n. 4, p. 495–503, 1 ago. 2007.

GUERRA, J. G. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf. Conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. 1993. 234 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Itaguaí – RJ. 1993.

GUILHERME, L.; CURI, N.; SILVA, M.; RENÓ, N.; MACHADO, R. Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, 2000.

HAVLIN, J.; BEATON, J.; TISDALE, S.; NELSON, W. **Soil Fertility and Fertilizers**. 7.ed. NJ. Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

HERNANZ, J. L.; SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; NAVARRETE, L. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 133, n. 1, p. 114–122, 2009.

HUANG, S.; ZENG, Y.; WU, J.; SHI, Q.; PAN, X. Effect of crop residue retention on rice yield in China: A meta-analysis. **Field crops research**, v. 154, p. 188–194, 2013.

IMPA, S.; SARAH, E.; BEEBOUT, J. Mitigating zinc deficiency and achieving high grain Zn in rice through integration of soil chemistry and plant physiology research. **Plant Soil**, n. 361, p. 3-41, 2012.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso em: 21 jan. 2018.

KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; MARTINS, J. R.; SANTOS, E.; TISSOT, C. A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, 2002.

KASHEM, M. A.; SINGH, B. R. Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, n. 3, p. 247–255, 1 nov. 2001.

KATSURA, K.; MAEDA, S.; LUBIS, I.; HORIE, T.; CAO, W.; SHIRAIWA, T. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China: ‘a cross-location analysis’. **Field Crops Research**, v. 107, n. 1, p. 1–11, 2008.

KHUSH, G. S. What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. **Plant molecular biology**, v. 59, n. 1, p. 1–6, 2005.

KLERING, E. V.; FONTANA, D.; BERLATO, M.; FILHO, A. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 549–558, 21 out. 2008.

KÖGEL-KNABNER, I.; AMELUNG, W.; CAO, Z.; FIEDLER, S.; FRENZEL, P. Biogeochemistry of paddy soils. **Geoderma**, v. 157, n. 1, p. 1–14, 2010.

MACHADO, R. C.; VARGAS, C. R.; PAULETTO, E.; PILLON, C.; DOS ANJOS, L. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háptico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, 2011.

MAZZONCINI, M.; ANTICHI, D.; DI BENE, C.; RISALITI, R.; PETRI, M.; BONARI, E. Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 77, p. 156–165, 2016.

MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S. C. P. **Características edafológicas dos solos do estado de Roraima**. Valdinar Ferreira Melo, Daniel Gianluppi, Sandra Cátia Pereira Uchôa. DSI/UFRR, Boa Vista, 2004. 46p.

MENEGHETTI, S.; MARCHESAN, E.; FERNANDES, A, C.; STRECK, N, A.; ROSO, R.; LOPES, C, L.; LIMBERGER, O, M. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, 2013.

MOHANTY, M.; PAINULI, D.; MISRA, A.; GHOSH, P. Soil quality effects of tillage and residue under rice–wheat cropping on a Vertisol in India. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1, p. 243–250, 1 jan. 2007.

MOREIRA, F.; KASUYA, M. **Fertilidade e biologia do solo: Integração e tecnologia para todos** - 1.ed. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 592 p. il.

MURPHY, J.; RILEY, J, P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytical Chemistry Acta**, Amsterdam, v.27, p.31-36. 1962.

NASCENTE, A.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, 2011.

NASCIMENTO, P.; BAYER, C.; NETTO, S.; FRANÇA, L. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1821–1827, dez. 2009.

NAVA, G.; BOHNEN, H. Oxidação de ferro em raízes de dois cultivares de arroz em solução de solo inundado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, 2002.

NEGASSA, W.; LEINWEBER, P. How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 3, p. 305–325, 2009.

NETO, T.; TAKETOMI, Y.; JUNIOR, R.; OLIVEIRA, D.; GALLO, J.; TANABE, C.; MARTINS, I.; DA-SILVA, A. Quantificação de restos culturais e concentração de nutrientes na cultura do milho no Município de Belterra. **Espaço Científico**. Santarém. v. 14, n. 1. p. 60-68, 2015.

NOVAIS, R.; ALVAREZ, V.; BARROS, N.; FONTES, R.; CANTARUTTI, R.; NEVES, J. **Fertilidade do Solo**. In: NOVAIS, R.; SMYTH, T.; NUNES, F. Fósforo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 471-532.

NTANOS, D. A.; KOUTROUBAS, S. D. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 74, n. 1, p. 93–101, 2002.

OHSUMI, A.; FURUHATA, M.; MATSUMURA, O. Climatic responses of biomass production and grain yield in Japanese high-yielding rice cultivars under different transplanting times. **Field Crops Research**, v. 168, p. 38–47, 2014.

POCOJESKI, E. Disponibilidade do nitrogênio em solos de várzea e parâmetros da planta para avaliação nutricional da cultura do arroz irrigado. 2011. 85p. Tese (Doutorado) Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 31 ago. 2011.

QIU, H.; GE, T.; LIU, J.; CHEN, X.; HU, Y.; WU, J.; SU, Y.; KUZYAKOV, Y. Effects of biotic and abiotic factors on soil organic matter mineralization: Experiments and structural modeling analysis. **European Journal of Soil Biology**, v. 84, p. 27–34, 2 jan. 2018.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. <http://www.R-project>.

RABAIOLI, C. E.; MERCHESAN, E.; ROSSATO, T.; TELÓ, G.; AROSEMENA, D. Influência da aplicação de nitrogênio e fungicida no estágio de emborrachamento sobre o desempenho agrônômico do arroz irrigado. **Bragantia**, v. 67, n. 1, 2008.

RANNO, S. K.; SOUZA, S. L.; COLPO, G. L.; CLAYTON, R. A. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de Várzeas do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, 2007.

RHEINHEIMER, S.; COLPO, G. L.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

RHODEN, A.; SOUZA, L.; OLIVEIRA, F.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E. Mineralização anaeróbica do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, 2006.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; BUOL, S. W. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma**, The assessment of soil quality. v. 114, n. 3, p. 157–185, 1 jun. 2003.

SOUZA, C.; F.; BARYER, C.; ACORDI, J.; MIELNICZUK, J. Estoque de Carbono Orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, 2008.

TEDESCO, M.J, GIANELLO, C, BISSANI, C.A, BOHNEN, H, VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.; MATSON, P.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671, 2002.

TOKURA, M, A.; FURTINI, N, A.; CARNEIRO, L.; CURI, N.; LOPES, S. ALOVISI, A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivados com arroz. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, 2011.

TROE, F.; THOMPSON, L. **Solos e fertilidade do Solo**. In: Fósforo. Oxford. Andrei. p. 717.

VALH, L. O Fósforo na cultura do arroz irrigado. In: YAMADA, T; STIPP, S; ABDALLA. Fósforo na agricultura Brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 419-433.

WANG, H.; GUAN, D.; ZHANG, R.; CHEN, Y.; HU, Y.; XIAO, L. Soil aggregates and organic carbon affected by the land use change from rice paddy to vegetable field. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 206–211, 2014.

WANG, Y.; WANG, Z.; ZHANG, Q.; HU, N.; LI, Z. Long-term effects of nitrogen fertilization on aggregation and localization of carbon, nitrogen and microbial activities in soil. **Science of The Total Environment**, v. 624, p. 1131–1139, 2018.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. Anais do Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba, 2005. 841 p. il.

YANG, C.; YANG, L.; OUYANG, Z. Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes. **Geoderma**, v. 124, n. 1, p. 133–142, 2005.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Los Baños: International Rice Research. Institute, 1981.

ZHONG, W. H.; CAI, Z. C. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay. **Applied Soil Ecology**, v. 36, n. 2, p. 84–91, 1 jun. 2007.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**, v. 95, n. 1, p. 196–206, 2007.