

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da
Água



Tese

MANEJO DAS ADUBAÇÕES FOSFATADA E POTÁSSICA E DA
COBERTURA VEGETAL PARA A ROTAÇÃO SOJA/ARROZ IRRIGADO EM
TERRAS BAIXAS

Cristiano Weinert

Pelotas, 2025

Cristiano Weinert

**MANEJO DAS ADUBAÇÕES FOSFATADA E POTÁSSICA E DA
COBERTURA VEGETAL PARA A ROTAÇÃO SOJA/ARROZ IRRIGADO EM
TERRAS BAIXAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Professor Dr. Filipe Selau Carlos
Coorientador: Professor Dr. Rogério Oliveira de Sousa

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

W423m Weinert, Cristiano

Manejo das adubações fosfatada e potássica e da cobertura vegetal para a rotação soja/arroz irrigado em terras baixas [recurso eletrônico] / Cristiano Weinert ; Filipe Selau Carlos, orientador ; Rogério Oliveira de Sousa, coorientador. — Pelotas, 2025.
155 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Antecipação da adubação. 2. Liberação de nutrientes. 3. Potássio. 4. Fósforo. 5. Plantas de cobertura. I. Carlos, Filipe Selau, orient. II. Sousa, Rogério Oliveira de, coorient. III. Título.

CDD 631.85

Cristiano Weinert

MANEJO DAS ADUBAÇÕES FOSFATADA E POTÁSSICA E DA
COBERTURA VEGETAL PARA A ROTAÇÃO SOJA/ARROZ IRRIGADO EM
TERRAS BAIXAS

Tese aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 25 de fevereiro de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Filipe Selau Carlos
(Orientador)
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Pesq. (a) Dra. Walkyria Bueno Scivittaro
Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo

Pesq. Dr. Pablo Lacerda Ribeiro
Doutor em Ciências Agrárias pela Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Pesq. Dr. Fabiano Daniel de Bona
Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo

Resumo

WEINERT, C. **Manejo das adubações fosfatada e potássica e da cobertura vegetal para a rotação soja/arroz irrigado em terras baixas.** 2025, 155 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

Nas terras baixas no Sul do Brasil, utiliza-se, predominantemente, o sistema convencional de adubação, onde o fósforo (P) e o potássio (K) são aplicados próximo a semeadura das culturas. Contudo, recentemente houve a introdução de culturas de sequeiro nessas áreas (soja, milho, trigo), o que possibilitou o uso de diferentes culturas de coberturas no período hibernal, viabilizando a adoção de diferentes estratégias de adubação. Neste estudo, será usado o modelo de antecipação de adubação, que consiste no posicionamento dos fertilizantes fosfatado e potássico no inverno nas culturas de azevém, aveia-preta e trevo-persa antecedendo o cultivo de soja e arroz irrigado (capítulo 1 e 2). Assim, o objetivo desses trabalhos foram: avaliar a disponibilidade de nutrientes, atividade enzimática do solo, estado nutricional, produtividade de grãos de soja e arroz cultivados sob a antecipação da adubação fosfatada e potássica. Os manejos da adubação fosfatada foram: 0P – sem adição de P; 100P – 100% do P aplicado na cultura de cobertura; 50P – 50% do P na cultura de cobertura e 50% na cultura de grão; e ACP – 100% do P aplicado na cultura de grão. Os manejos da adubação potássica foram: 0K – sem adição de K; 100K – 100% do K aplicado na cultura de cobertura; 50K – 50% do K aplicado na cultura de cobertura e 50% do K aplicado na cultura de grão; e ACK – 100% do K aplicado na cultura de grão. No capítulo 3, o objetivo foi avaliar os teores de nutrientes na solução do solo, parâmetros fisiológicos e matéria seca de arroz, sob diferentes manejos químicos do trevo-persa em casa de vegetação, sob doses de 0 e 150 kg de nitrogênio (N) ha⁻¹. Os tratamentos foram: Pousio – sem plantas de cobertura; Trevo 0 – dessecação do trevo-persa no momento da semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz; e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz. Os manejos da adubação fosfatada e potássica, aumentam o teor de nutrientes (P e K) nos tratamentos 100P e 100K respectivamente. Também aumentam a produção de matéria seca das coberturas hibernais, teores de nutrientes na matéria seca (coberturas e culturas), atividade enzimática do solo e a produtividade da soja, e não reduzem a produtividade do arroz irrigado. O manejo químico do trevo-persa mais próximo da semeadura do arroz, aumenta os teores de N, K, carbono orgânico dissolvido na solução do solo, como também o índice de clorofila, balanço de N e a matéria seca de arroz cultivado em sucessão. Os resultados indicam que a antecipação da adubação fosfatada e potássica não compromete a produtividade de grãos, sendo uma alternativa para o produtor otimizar o uso do maquinário e equipe de funcionários, aplicando esses nutrientes próximo à semeadura das culturas de coberturas. Assim como o manejo químico de dessecação do trevo-persa próximo da semeadura, que aumenta os teores de nutrientes na solução do solo, disponibilizando-os para cultura cultivada em sucessão.

Palavras chave: Antecipação da adubação, liberação de nutrientes, potássio, fósforo, plantas de cobertura, rotação de culturas, solução do solo.

Abstract

WEINERT, C. **Management of phosphate and potassium fertilization and plant cover for irrigated soybean/rice rotation in lowland areas.** 2025, 155 p. Thesis (Doctorate in Sciences) – Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

In the lowlands of southern Brazil, conventional fertilizer systems are predominantly used, with phosphorus (P) and potassium (K) applied close to crop planting. However, the recent introduction of rainfed crops (soybean, corn, and wheat) in these areas has enabled the use of different cover crops during the winter season, enabling the adoption of different fertilization strategies. This study uses the early fertilization model, which consists of placing phosphate and potassium fertilizers in winter on ryegrass, black oat, and Persian clover crops, preceding soybean and irrigated rice (chapters 1 and 2). Therefore, the objectives of these studies were to evaluate nutrient availability, soil enzyme activity, nutritional status, and grain yield of soybeans and rice grown under early phosphate and potassium fertilization. The phosphate fertilization management systems were: 0P – no added P; 100P – 100% of P applied to the cover crop; 50P – 50% of P applied to the cover crop and 50% to the grain crop; and ACP – 100% of P applied to the grain crop. The potassium fertilization management systems were: 0K – no added K; 100K – 100% of K applied to the cover crop; 50K – 50% of K applied to the cover crop and 50% of K applied to the grain crop; and ACK – 100% of K applied to the grain crop. In chapter 3, the objective was to evaluate the nutrient contents in the soil solution, physiological parameters, and dry matter of rice under different chemical management systems of Persian clover in a greenhouse, at rates of 0 and 150 kg of nitrogen (N) ha⁻¹. The treatments were: Fallow – no cover crops; Clover 0 – Persian clover desiccation at the time of rice sowing; Clover 15 – Persian clover desiccation 15 days before rice sowing; Clover 30 – Persian clover desiccation 30 days before rice sowing; and Clover 45 – Persian clover desiccation 45 days before rice sowing. Phosphate and potassium fertilization increased nutrient content (P and K) in the 100P and 100K treatments, respectively. They also increased dry matter production of winter cover crops, nutrient content in dry matter (cover crops and crops), soil enzyme activity, and soybean productivity, but did not reduce irrigated rice productivity. Chemically managing Persian clover closer to rice planting increases the levels of N, K, and dissolved organic carbon in the soil solution, as well as the chlorophyll index, N balance, and dry matter of succession-grown rice. The results indicate that advancing phosphate and potassium fertilization does not compromise grain yield, offering producers the opportunity to optimize the use of machinery and staff by applying these nutrients close to cover crop planting. Chemically managing Persian clover desiccation close to planting increases nutrient levels in the soil solution, making them available to the succession-grown crop.

Keywords: Fertilization anticipation, nutrient release, potassium, phosphorus, cover crops, crop rotation, soil solution.

Lista de Figuras

- Figura 1 – Locais onde foram instalados os experimentos nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023 42
- Figura 2 – Temperatura média e precipitação nas áreas experimentais, Dom Pedrito e Camaquã, Rio Grande do Sul, Brasil 43
- Figura 3 – Croqui do experimento de manejos da adubação fosfatada, com quatro blocos e parcelas com 4m x 8m conduzidos nas cidades de Dom Pedrito e Camaquã nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023 45
- Figura 4 – Local onde foi realizado a coleta de material vegetal 46
- Figura 5 – Coleta de solo estratificadas em 4 profundidades, para determinação de fósforo e potássio no solo 47
- Figura 6 – Matéria seca de aveia preta em Dom Pedrito (a), azevém em Camaquã (b) e trevo-persa em Dom Pedrito (c) e Camaquã (d) no final do ciclo, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) de fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) de fósforo na semeadura da cultura de grão. Tukey ($p < 0,05$) 52
- Figura 7 – Fósforo disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta em Dom Pedrito (a) e azevém Camaquã (b) e trevo-persa Dom Pedrito (c) e Camaquã (d), sob diferentes manejos de adubação fosfatada em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 56
- Figura 8 – Potássio disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta em Dom Pedrito (a) e azevém Camaquã (b) e trevo-persa Dom Pedrito (c) e Camaquã (d), sob diferentes manejos de adubação fosfatada em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do

fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 57

Figura 9 – Carbono da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 58

Figura 10 – Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 59

Figura 11 – Atividade da fluoresceína diacetato (FDA) em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 61

Figura 12 – Atividade da urease em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional

com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 62

Figura 13 – Matéria seca de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c), e em Camaquã (b) e (d) sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). ns – não significativo. 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. Matéria seca do arroz Camaquã 2022/2023 foi coletada em R₂. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 63

Figura 14 – Estatura de plantas de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 66

Figura 15 – Número de panículas por metro quadrado de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 67

Figura 16 – Produtividade de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional

com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$). 68

Figura 17 – Correlação de Pearson entre os atributos de solo e planta em experimento de manejo da adubação fosfatada em rotação de azevém, aveia preta e soja no ano 2021/2022 e de trevo-persa e arroz no ano 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluoresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos 71

Figura 18 – Análise de componentes principais entre os atributos de solo e planta em experimento sob diferentes manejos da adubação fosfatada em rotação de aveia preta, azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz em 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluoresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos. 72

Figura 19 – Croqui do experimento de antecipação da adubação potássica, com quatro blocos e parcelas com 4m x 8m conduzidos nas cidades de Dom Pedrito e Camaquã nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023 82

Figura 20 – Matéria seca de aveia preta em Dom Pedrito (a), azevém em Camaquã (b) e trevo-persa em Dom Pedrito e Camaquã (c) e (d) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão 85

Figura 21 – Fósforo disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta/azevém e trevo-persa (pré dessecação) sob diferentes manejos de adubação potássica em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja e trevo-

persa e arroz irrigado em Dom Pedrito-RS e Camaquã-RS. 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 89

Figura 22 – Potássio disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta/azevém e trevo-persa (pré dessecação) sob diferentes manejos de adubação potássica em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja e trevo-persa e arroz irrigado em Dom Pedrito-RS e Camaquã-RS. 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 91

Figura 23 – Teor de carbono da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 92

Figura 24 – Teor de carbono da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 93

Figura 25 – Atividade da fluoresceína diacetato (FDA) em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do

potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 94

Figura 26 – Atividade da urease em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 95

Figura 27 – Matéria seca de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c), e em Camaquã (b) e (d) sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Matéria seca do arroz em Camaquã coletada em R_2 . ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 97

Figura 28 – Estatura de plantas de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$) 99

Figura 29 – Número de panículas por metro quadrado de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação

convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$). 100

Figura 30 – Produtividade de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$). 101

Figura 31 – Correlação de pearson entre os atributos de solo e planta em experimento de manejo da adubação fosfatada em rotação de azevém, aveia preta e soja no ano 2021/2022 e de trevo-persa e arroz no ano 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos 103

Figura 32 – Análise de componentes principais entre os atributos de solo e planta em experimento de manejo da adubação fosfatada avaliada sob diferentes manejos da adubação fosfatada em rotação de aveia preta, azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz em 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos 104

Figura 33 – Corte e pesagem do trevo-persa no momento da semeadura 113

Figura 34 – Avaliação dos parâmetros fisiológicos realizada com o clorofilômetro 115

Figura 35 - Vasos após o corte das plantas do arroz irrigado para determinação da matéria seca 116

Figura 36 – Matéria seca da parte aérea do trevo-persa cultivado em um Planossolo nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 em casa de vegetação sob 2 doses de adubação nitrogenada (0 e 150 kg N ha⁻¹) e 4 diferentes épocas de manejo químico, Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz. ** p<(0,05). Capão do Leão – RS. 118

Figura 37 – Teores de COD da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de COD em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de COD em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de COD em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 120

Figura 38 – Teores de N-amônio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de N-amônio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de N-amônio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de N-amônio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no

período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 122

Figura 39 – Teores de N-nitrato da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de N-nitrato em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de N-nitrato em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de N-nitrato em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 124

Figura 40 – Teores de fósforo da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de fósforo em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de fósforo em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de fósforo em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 126

Figura 41 – Teores de potássio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de potássio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o

alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de potássio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de potássio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 128

Figura 42 – Teores de cálcio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de cálcio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de cálcio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de cálcio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 130

Figura 43 – Teores de magnésio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de magnésio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de magnésio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de magnésio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-

persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo 132

Lista de tabelas

- Tabela 1 – Resultados da análise química dos solos das áreas previamente ao estabelecimento do experimento do manejo de adubação fosfatada em Dom Pedrito e Camaquã 43
- Tabela 2 – Tratamentos de adubação fosfatada em sistema de produção de terras baixas nos municípios de Camaquã e Dom Pedrito e as proporções de aplicação de P_2O_5 nas diferentes culturas nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023 45
- Tabela 3 – Teores de macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca no final do ciclo de aveia preta (Dom Pedrito 2021/22), azevém (Camaquã 2021/22) e trevo-persa (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação fosfatada 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.) 54
- Tabela 4 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação fosfatada 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. D.P. Dom Pedrito, Cam. Camaquã 65
- Tabela 5 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) nos grãos de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação fosfatada, 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.) 70
- Tabela 6 – Tratamentos de adubação potássica em sistema de produção de terras baixas nos municípios de Camaquã e Dom Pedrito e as proporções de aplicação de K_2O nas diferentes culturas nos anos agrícolas 2020/21 e 2021/2022 81
- Tabela 7 – Teores de macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca no final do ciclo de aveia preta (Dom Pedrito 2021/22), azevém (Camaquã 2021/22) e trevo-

persa (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação potássica 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.) 87

Tabela 8 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação potássica 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.) 98

Tabela 9 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) nos grãos de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação potássica 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.) 102

Tabela 10 – Atributos do Panossolo háplico, na camada 0-20 cm previamente ao estabelecimento do experimento em casa de vegetação. Capão do Leão-RS 111

Tabela 11 – Nutrientes da parte aérea do trevo-persa cultivado em um Planossolo nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 em casa de vegetação sob 2 doses de adubação nitrogenada (0 e 150 kg N ha⁻¹) e 4 diferentes épocas de manejo químico; Trevo 0 – dessecação do trevo-persa no momento da semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz. Tukey (p<0,05)119

Tabela 12 – Índice de clorofila, flavonoide, antocianina e balanço de nitrogênio em arroz irrigado nas doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹ nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021, cultivado com solo em pousio e trevo-persa sob diferentes épocas de manejo químico de trevo-persa: Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do

arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz;
Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e
Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno 134

Tabela 13 – Matéria seca, estatura e perfilhos de arroz irrigado nos anos agrícolas 2019/2020 e N-amônio e N-nitrato do solo em 2020/2021, nas doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹, em um solo cultivado com pousio e trevo-persa sob diferentes épocas de manejo químico de trevo-persa: Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz; e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno 135

Tabela 14 – Nutrientes da parte aérea do arroz irrigado, nas doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹ nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021, cultivado com solo em pousio e trevo-persa sob diferentes épocas de manejo químico de trevo-persa: Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. 136

<u>1 INTRODUÇÃO</u>	27
<u>2 HIPÓTESES</u>	29
<u>3 OBJETIVOS</u>	30
<u>3.1 Geral</u>	30
<u>3.2 Específicos</u>	30
<u>4 REVISÃO DE LITERATURA</u>	31
<u>4.1 Contexto da diversificação de culturas em terras baixas: arroz, soja e forrageiras hibernais</u>	31
<u>4.2 Fósforo no solo</u>	34
<u>4.3 Potássio no solo</u>	35
<u>4.4 Adubação de sistemas</u>	36
<u>4.6 Atividade enzimática do solo</u>	38
<u>5 CAPÍTULO 1: MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA ROTAÇÃO DE AVEIA PRETA E AZEVÉM/SOJA E TREVO-PERSA/ARROZ IRRIGADO</u>	39
<u>5.1 Introdução</u>	39
<u>5.2 Material e métodos</u>	41
<u>5.2.1 Local</u>	41
<u>5.2.2 Tratamentos</u>	44
<u>5.2.3 Produção de matéria seca das culturas de cobertura</u>	46
<u>5.2.4 Determinação de fósforo no solo</u>	47
<u>5.2.5 Determinação de potássio no solo</u>	47
<u>5.2.6 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo</u>	48
<u>5.2.7 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo</u>	48
<u>5.2.8 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo</u>	49
<u>5.2.9 Atividade da urease do solo</u>	49
<u>5.2.10 Matéria seca em soja e arroz irrigado</u>	49
<u>5.2.11 Determinação da estatura em plantas de arroz irrigado</u>	50

<u>5.2.12 Determinação do número de panículas por metro quadrado no arroz irrigado</u>	50
<u>5.2.13 Teores de nutrientes em plantas de soja e arroz irrigado</u>	50
<u>5.2.14 Produtividade de grãos</u>	50
<u>5.2.15 Análise estatística</u>	51
<u>5.3 Resultados</u>	51
<u>5.3.1 Produção de matéria seca das culturas de cobertura</u>	51
<u>5.3.2 Macronutrientes na matéria seca das culturas de cobertura</u>	53
<u>5.3.3 Teor de fósforo no solo</u>	54
<u>5.3.4 Teor de potássio no solo</u>	56
<u>5.3.5 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo</u>	57
<u>5.3.6 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo</u>	59
<u>5.3.7 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo</u>	60
<u>5.3.8 Atividade da urease do solo</u>	61
<u>5.3.9 Matéria seca da soja e do arroz irrigado</u>	62
<u>5.3.10 Teor de nutrientes na matéria seca das culturas de grãos</u>	63
<u>5.3.11 Estatura de plantas no arroz irrigado</u>	65
<u>5.3.12 Número de panículas no arroz irrigado</u>	66
<u>5.3.13 Produtividade de grãos</u>	67
<u>5.3.14 Nutrientes nos grãos de soja e arroz irrigado</u>	68
<u>5.3.15 Correlação de Pearson</u>	70
<u>5.3.16 Análise de componentes principais</u>	71
<u>5.4 Discussão</u>	72
<u>5.4.1 Resposta das culturas de inverno e teor de fósforo e potássio no solo</u>	72
<u>5.4.2 Atividades microbiana e enzimática do solo</u>	74
<u>5.4.3 Resposta das culturas da soja e do arroz</u>	75
<u>5.5 Conclusões</u>	77

<u>6 CAPÍTULO 2: MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA ROTAÇÃO DE AVEIA PRETA E AZEVÉM/SOJA E TREVO-PERSA/ARROZ IRRIGADO</u>	78
<u>6.1 Introdução</u>	78
<u>6.2 Material e métodos</u>	80
<u>6.2.1 Local</u>	80
<u>6.2.2 Tratamentos</u>	80
<u>6.2.3 Produção de matéria seca das culturas de cobertura</u>	82
<u>6.2.4 Determinação de fósforo no solo</u>	82
<u>6.2.5 Determinação de potássio no solo</u>	82
<u>6.2.6 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo</u>	82
<u>6.2.7 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo</u>	82
<u>6.2.8 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo</u>	83
<u>6.2.9 Atividade da urease do solo</u>	83
<u>6.2.10 Matéria seca em soja e arroz irrigado</u>	83
<u>6.2.11 Determinação da estatura em plantas de arroz irrigado</u>	83
<u>6.2.12 Determinação do número de panículas por metro quadrado no arroz irrigado</u>	83
<u>6.2.11 Teores de nutrientes em plantas de soja e arroz irrigado</u>	83
<u>6.2.12 Produtividade de grãos</u>	83
<u>6.2.13 Análise estatística</u>	83
<u>6.3 Resultados</u>	84
<u>6.3.1 Produção de matéria seca das culturas de cobertura</u>	84
<u>6.3.2 Macronutrientes na matéria seca das culturas de cobertura</u>	85
<u>6.3.3 Determinação de fósforo no solo</u>	87
<u>6.3.4 Determinação de potássio no solo</u>	89
<u>6.3.5 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo</u>	91
<u>6.3.6 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo</u>	92
<u>6.3.7 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo</u>	93

6.3.8 Atividade da urease do solo	95
6.3.9 Matéria seca de soja e arroz irrigado	96
6.3.10 Teores de nutrientes na matéria seca das culturas de grãos	97
6.3.11 Estatura de plantas de arroz irrigado	99
6.3.12 Número de panículas no arroz irrigado	99
6.3.13 Produtividade de grãos	100
6.3.14 Teor de nutrientes nos grãos de soja e arroz irrigado	101
6.3.15 Correlação de Pearson	102
6.3.16 Análise de componentes principais	103
6.4 Discussão	104
6.4.1 Resposta das culturas de inverno	104
6.4.2 Teor de fósforo, potássio e atividades microbiana e enzimática do solo105
6.4.3 Resposta das culturas de soja e arroz	106
6.5 Conclusão	108
7 CAPÍTULO 3: TERMINAÇÃO DA CULTURA DE COBERTURA LEGUMINOSA (TREVO-PERSA) PRÓXIMO À SEMEADURA AUMENTA OS TEORES DE NITROGÊNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO	109
7.1 Introdução	109
7.2 Material e métodos	110
7.2.1 Local	110
7.2.2 Tratamentos	111
7.2.3 Matéria seca do trevo-persa	112
7.2.4 Teores de nutrientes na matéria seca do trevo-persa e arroz	113
7.2.5 Coleta de solução do solo	113
7.2.6 Parâmetros fisiológicos	114
7.2.7 Estatura, perfilhos e matéria seca do arroz	115

<u>7.2.8 Determinação de N-amônio e N-nitrato no solo</u>	116
<u>7.2.9 Análise estatística</u>	117
<u>7.3 Resultados</u>	117
<u>7.3.1 Matéria seca do trevo-persa</u>	117
<u>7.3.2 Nutrientes da matéria seca do trevo-persa</u>	118
<u>7.3.3 Teor de carbono orgânico dissolvido na solução do solo</u>	119
<u>7.4.4 Teor de N-amônio da solução do solo</u>	121
<u>7.4.5 Teor de N-nitrato da solução do solo</u>	123
<u>7.4.6 Teor de fósforo da solução do solo</u>	125
<u>7.4.7 Teor de potássio da solução do solo</u>	127
<u>7.4.8 Teor de cálcio da solução do solo</u>	129
<u>7.4.9 Teor de magnésio da solução do solo</u>	131
<u>7.4.10 Parâmetros fisiológicos</u>	133
<u>7.4.11 Matéria seca, perfilhos e estatura do arroz irrigado e nitrato e amônio do solo</u>	134
.....	134
<u>7.4.12 Nutrientes da matéria seca do arroz irrigado</u>	135
<u>7.5 Discussão</u>	137
<u>7.5.1 Matéria seca e nutrientes da matéria seca do trevo-persa</u>	137
<u>7.5.2 Teor de carbono orgânico dissolvido na solução do solo</u>	137
<u>7.5.3 Teor de N-amônio da solução do solo</u>	138
<u>7.5.4 Teores de N-nitrato da solução do solo</u>	140
<u>7.5.5 Teores de fósforo da solução do solo</u>	140
<u>7.5.6 Teores de potássio na solução do solo</u>	141
<u>7.5.7 Teores de cálcio na solução do solo</u>	141
<u>7.5.8 Teores de magnésio na solução do solo</u>	142
<u>7.5.9 Parâmetros fisiológicos</u>	142
<u>7.6 Conclusão</u>	144

1 INTRODUÇÃO

As terras baixas do Rio Grande do Sul (RS) têm passado por uma recente (~ 15 anos) modificação em sistemas de produção, com a inserção significativa de sucessão/rotação de culturas, adoção de tecnologias como a suavização do solo, melhorias no sistema de drenagem e irrigação do solo, e o uso de plantas de cobertura como azevém, aveia preta e trevo-persa. Dentro das mudanças de processos, tem-se adotado a adubação de sistemas, onde se aplica a adubação das culturas de verão [fósforo (P) e potássio (K)] no período de outono-inverno, contudo, sem saber o impacto na dinâmica desses nutrientes no solo, no crescimento das plantas de cobertura e na nutrição e no rendimento das culturas de verão.

O P é o principal macronutriente que limita altos rendimentos em solos oxidados, devido ao seu baixo teor e à dinâmica complexa em ambientes tropicais e subtropicais (Vitti & Trevisan, 2000). Em solos bem drenados, a sua disponibilidade é frequentemente baixa devido à formação de compostos provenientes de alta energia de ligação e baixa solubilidade (complexos de esfera interna), que se associam à fase mineral sólida do solo, especialmente a óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (Sposito, 2008). Por outro lado, em ambientes sazonalmente alagados, a alternância entre condições de oxidação e redução provoca intensas modificações na fase sólida mineral do solo, influenciando sua interação com elementos reativos (Ponnamperuma, 1972; Guilherme et al., 2000).

Nos solos de terras baixas, o P tem menor capacidade de adsorção do que nos solos de terras altas do RS. No entanto, essa capacidade varia entre os diferentes tipos de solo, resultando num comportamento distinto na disponibilidade desse nutriente para a cultura do arroz irrigado (Ranno, 2004). Sua concentração aumenta no início do alagamento, isso ocorre através da redução dos fosfatos férricos para forma ferrosa (+ solúvel), liberação dos fosfatos pela redução dos óxidos de Fe, deslocamento do fosfato adsorvido na superfície de óxidos de Fe e Al e argilas (Vahl, 1991).

O K é o elemento mais móvel no sistema solo-planta. Nas terras baixas, em condições aeróbicas, pode ficar retido em argilas e óxidos de ferro, sendo liberado conforme as condições redox após o alagamento (fixação e liberação), e pode ser facilmente perdido por lixiviação devido sua fraca ligação (complexo de esfera externa). Sua solubilidade aumenta após o alagamento, mesmo não participando

diretamente das reações de oxirredução, à medida que o manganês e principalmente Fe deslocam-se para a solução do solo, sendo que, o Fe devido sua alta concentração, e ocupar proporção considerável dos sítios de troca (CTC), influencia diretamente no comportamento do K na solução do solo (Sousa *et al.*, 2010).

Com a recentemente introdução de culturas de sequeiro nessas áreas em maior intensidade, passou-se a adotar mais o uso de diferentes culturas de coberturas no período hibernar, a partir desse momento, passou-se a verificar a possibilidade da adoção da adubação de sistemas.

A adubação convencional das culturas está baseada, em geral, no posicionamento dos fertilizantes fosfatados e potássicos no estabelecimento das culturas. Já a adubação de sistemas, considera o posicionamento da adubação de uma sucessão de cultivos sendo aplicada em uma cultura agrícola. Os manejos de adubação de sistemas podem ser vários. O mais utilizado no Sul do RS é o posicionamento dos fertilizantes demandados pelas culturas de verão sendo aplicados antecipadamente no inverno nas pastagens em dose integral ou parcial. Em geral, como requisito desse manejo de adubação, é que os teores de P e K no solo não sejam de grande limitação para o desempenho agrônomo das culturas (teores muito baixo e baixo).

Essa prática consiste no posicionamento da adubação das culturas de verão próximo a semeadura das culturas de inverno: azevém, aveia preta e trevo-persa (utilizadas no estudo) com cultivo em sucessão de soja e arroz irrigado. Essa técnica considera o aporte de nutrientes, principalmente P e K, das culturas agrícolas inseridas em um sistema de produção, diferentemente da adubação convencional, que considera os requerimentos nutricionais de cada cultura isoladamente, sem considerar o efeito residual das fertilizações e as modificações que estas podem causar no sistema em geral. Na adubação de sistemas o solo deve ser mantido permanentemente coberto, com o maior tempo possível com plantas vivas, que potencializa a ciclagem de nutrientes e permite maior aporte de carbono ao solo.

A adubação de sistemas é mais difundida em áreas de terras altas e apresenta um desenvolvimento ainda incipiente em terras baixas. Este sistema de adubação pode trazer vantagens como por exemplo, a potencialização do desenvolvimento das culturas de inverno, aumento da atividade microbiana do solo,

disponibilidade de nutrientes no solo e, conseqüentemente, reflexos na nutrição, desenvolvimento e produtividade de grãos das culturas de verão.

Outra prática que deve ser levada em consideração, é o manejo de dessecação das culturas de cobertura, que dependendo da espécie utilizada, pode ser realizado mais próximo da semeadura das culturas de grãos, como é o caso do trevo-persa. Esta planta é utilizada como cobertura em terras baixas e possui composição bioquímica da biomassa e baixa relação C:N diferente, e seu manejo de dessecação vem sendo utilizado conforme o manejo químico do azevém (30 a 40 dias antes da semeadura). Nesse sentido, esse estudo originou-se a partir da escassez de trabalhos sobre as repostas agronômicas da adoção do manejo de adubação fosfatada e potássica e dessecação do trevo-persa em terras baixas. Muitos produtores rurais estão adotando esses sistemas, porém ainda sem respaldo de experimentos agronômicos avaliando a dinâmica de liberação de P e K em áreas de terras baixas e o impacto no desenvolvimento das culturas de inverno, disponibilidade de nutrientes após dessecação e o reflexo no rendimento agrônômico das culturas da soja e do arroz.

2 HIPÓTESES

A antecipação da adubação fosfatada e potássica promovem a produção e absorção de nutrientes das coberturas hibernais, assim como o aumento da produtividade das culturas da soja e do arroz irrigado cultivados em sucessão, através da ciclagem de nutrientes em terras baixas.

A terminação do trevo-persa mais próximo da semeadura da cultura do arroz irrigado aumenta a concentração de nitrogênio na solução do solo, no tecido das plantas de arroz proporcionando maior produção de matéria seca, a taxa de liberação de nutrientes, assim como pode ser reduzida a taxa de mineralização pelas condições de hipóxia, liberando de forma mais lenta os nutrientes para a cultura do arroz cultivado em sucessão.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar o efeito da antecipação da adubação fosfatada e potássica envolvendo a rotação de culturas em terras baixas sobre atributos de solo, ciclagem de nutrientes, atividade microbiológica e a nutrição, produtividade de grãos de arroz irrigado e soja.

Avaliar a disponibilidade de nutrientes na solução de solo, atributos fisiológicos, nutrição de plantas e a produção de matéria seca de arroz irrigado em diferentes terminações do trevo-persa no período outono/inverno em casa de vegetação.

3.2 Específicos

I. Avaliar o desenvolvimento, a produção de matéria seca e o conteúdo de nutrientes das culturas hibernais azevém, aveia preta e trevo-persa, sob a antecipação da adubação potássica e fosfatada e a produtividade de grãos da soja e arroz irrigado cultivados em terras baixas.

II. Analisar a atividade de enzimas extracelulares do solo responsáveis pela mineralização e conseqüente ciclagem de nutrientes pela antecipação da adubação fosfatada e potássica.

III. Avaliar o desenvolvimento, nutrição e a produtividade de grãos de arroz e soja submetidos a antecipação da adubação fosfatada e potássica.

IV. Avaliar a disponibilidade de amônio, nitrato, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e carbono orgânico dissolvido na solução do solo sob diferentes terminações do trevo-persa.

V. Avaliar os índices de clorofila, flavonoides, antocianinas e balanço de nitrogênio em plantas de arroz cultivadas após diferentes terminações do trevo-persa.

VI. Avaliar os teores de macronutrientes, bem como a produção de matéria seca de arroz irrigado cultivado em sucessão ao trevo-persa submetido a diferentes terminações.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Contexto da diversificação de culturas em terras baixas: arroz, soja e forrageiras hibernais

O RS possui aproximadamente 5,4 milhões de hectares (ha) de terras baixas aptas para o cultivo do arroz irrigado (Pinto *et al.*, 1999). Esses solos apresentam má drenagem, densidade e relação micro/macroporos naturalmente elevadas, baixa capacidade de armazenamento de água superficial e, em alguns casos, combinadas a uma fertilidade natural de baixa a média, o que dificulta a utilização de uma agricultura diversificada (Gomes *et al.*, 2002). Essas áreas são caracterizadas pela topografia plana e de difícil drenagem que está relacionada não apenas a essa topografia, mas principalmente à ocorrência de solos com horizontes subsuperficiais argilosos de baixa condutividade hidráulica, que dificulta a infiltração de água no perfil, o que permite a manutenção da lâmina d'água superficial para o cultivo de arroz irrigado (Streck *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2018).

Por décadas, essas áreas foram cultivadas com o arroz irrigado no verão e no inverno permaneciam em pousio ou em rotação com pecuária extensiva (Anghinoni & Carlos, 2018) o que resultou na degradação física e química do solo. Somando-se ao sucessivo preparo ao longo dos anos, problemas como má drenagem e compactação subsuperficial dificultam a aeração e a movimentação da água desses solos (Gubiani *et al.*, 2018). Esse sistema de monocultivo pode proporcionar, ainda, problemas de degradação do solo, intensificação de ocorrência de pragas, doenças, plantas invasoras e, conseqüentemente, diminuição da produtividade de grãos (Denardin *et al.*, 2020).

Apesar da área semeada de arroz se manter estabilizada nos últimos 30 anos no RS (cerca de 1 milhão de ha), a produção de arroz quase dobrou nesse período, passando de cerca de 4 milhões de toneladas na safra agrícola 1989/90 para 7,2 milhões de toneladas na safra agrícola 2023/2024 (IRGA, 2025) devido ao aumento da produtividade nas lavouras. Esse fato está relacionado com o melhoramento genético e o aprimoramento de práticas de manejo que foram essenciais no aumento da produtividade de arroz irrigado (Menezes *et al.*, 2012).

Dentre essas técnicas, destaca-se a rotação com a cultura da soja, que é a principal cultura de grãos do Brasil, com área semeada de 44,5 milhões de ha na safra 2022/23 e produção de 154,6 milhões de toneladas (CONAB, 2023), que vem ganhando espaço pela possibilidade de aumentar a rentabilidade econômica dos produtores ou para melhorar aspectos do sistema de cultivo.

A soja se tornou a principal opção de cultivo de grãos de sequeiro para a rotação com o arroz irrigado no RS nos últimos anos, devido ao seu alto valor comercial e benefícios gerados ao sistema como, por exemplo, a rotação de mecanismos de ação química dos herbicidas, o cultivo em sequeiro (interrompendo os ciclos biológicos de pragas e doenças do arroz) (Goulart *et al.*, 2020). As melhorias agronômicas ocasionadas pela rotação com a soja possibilitam 26% de aumento do nitrogênio (N) mineral no solo devido a fixação biológica de N (FBN), maior atividade microbiana do solo (Denardin *et al.*, 2020) o que impacta no aumento de 26% na produtividade de grãos de arroz (Ribas *et al.*, 2021). Em um levantamento realizado pelo IRGA, desde a safra 2009/10, até a safra passada (2023/24), a área cultivada de soja em sucessão com o arroz irrigado cresceu cerca de 40 vezes, passando de 11.150 ha para 451.334 ha. Atualmente, essa área representa 50,1% da área dedicada ao cultivo de arroz (IRGA, 2025).

A rotação com a soja nas terras baixas só foi possível porque foram realizados trabalhos de pesquisa e avaliações a campo de identificação de algumas cultivares com adaptação e tolerância a condições de excesso hídrico que é recorrente em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado (Oliveira *et al.*, 2017). Para obter sucesso na implantação de culturas de sequeiro nos solos de várzea, é fundamental a utilização de técnicas agrícolas que melhoram a drenagem superficial, como a sistematização das lavouras (Winkler *et al.*, 2018) e a construção de canais de drenagem, que permitem escoar mais rapidamente a água da chuva em superfície e subsuperfície com o objetivo de evitar condições de anaerobiose na região do sistema radicular das culturas.

Outra técnica que está sendo difundida e adotada nos últimos anos pelos agricultores é a introdução de culturas hibernais. O cultivo dessas espécies, logo após a colheita do arroz, soja ou pastagens de verão, é uma prática eficiente de ciclagem de nutrientes. Porém, há uma grande dificuldade de encontrar plantas com características de adaptação aos solos hidromórficos, principalmente com tolerância ao excesso hídrico (Verneti Junior *et al.*, 2009a). A utilização da rotação de culturas

em solos de várzea visa ainda diminuir a infestação de plantas daninhas, melhorar o uso do solo e sua qualidade, diversificar a renda, otimizar o uso das máquinas e da mão de obra, romper ciclos de pragas e doenças e aumentar a rentabilidade do produtor (Verneti Junior *et al.*, 2009 b). As coberturas hibernais devem possuir algumas características desejáveis em sistemas que visam o estabelecimento das culturas em sucessão, como, produção de fitomassa, capacidade de acumular N ((FBN) ou absorção do nutriente do solo), especialmente pré cultivo de arroz, e se possível, com baixa relação carbono/nitrogênio (C:N).

Existem algumas espécies de coberturas/forageiras que podem ser usadas em sistemas de produção em terras baixas, como é o caso do azevém, que é a espécie mais utilizada devido à disponibilidade de sementes e por sua facilidade de adaptação aos ambientes mais úmidos, servindo tanto para o pastejo como para a proteção do solo. Outra cultura adaptada as terras baixas é o trevo-persa, que, pelo fato de ser uma leguminosa, tem potencial de aportar N ao solo via FBN e beneficiar as culturas em sucessão, especialmente a cultura do arroz. Mais recentemente, com a melhoria da drenagem do solo, a cultura da aveia preta também está sendo utilizada com mais frequência nessas áreas, devido seu crescimento vigoroso, tolerância à acidez nociva do solo causada pela presença de alumínio (Al), alta produção de MS, pela grande capacidade de ciclar e liberar uma quantidade significativa de K para as culturas estabelecidas em sucessão (Assmann *et al.*, 2017).

Essas condições de maior intensificação de uso dessas áreas passam a viabilizar a adubação de sistemas, que considera o aporte de nutrientes, principalmente P e K, das culturas agrícolas inseridas em um sistema de produção, diferentemente da adubação convencional que considera os requerimentos nutricionais de cada cultura isoladamente, sem considerar o efeito residual das fertilizações e as modificações que estas podem causar no sistema em geral. Na adubação de sistemas o solo deve ser mantido permanentemente coberto, com o maior tempo possível com plantas vivas, que potencializa a ciclagem de nutrientes e permite maior aporte de carbono ao solo.

A adubação de sistemas é mais difundida em áreas de terras altas e apresenta um desenvolvimento ainda incipiente em terras baixas. Este sistema de adubação pode trazer vantagens, como, por exemplo, a potencialização do desenvolvimento das culturas de inverno, aumento da atividade microbiana do solo,

disponibilidade de nutrientes no solo e, conseqüentemente, reflexos na nutrição, desenvolvimento e produtividade de grãos das culturas de verão.

Nesse sentido, há uma lacuna, científica e técnica, do impacto da antecipação da adubação no desenvolvimento de culturas hibernais, na atividade microbiana do solo, disponibilidade de P e K no solo e os reflexos na nutrição, desenvolvimento e produtividade das culturas de soja e arroz irrigado.

4.2 Fósforo no solo

O P é um macronutriente essencial às plantas, exercendo importante função, especialmente na divisão celular dos ápices da parte aérea e raízes, metabolismo e reprodução. Sua deficiência diminui o crescimento e rendimento das plantas, promove maior aborto de flores. O sintoma característico da deficiência deste nutriente em plantas é o arroxamento das folhas (Malavolta, 2006).

Em solos pobres e ácidos, é o elemento que frequentemente mais limita a produção das culturas por estar em formas pouco disponíveis para os vegetais. Os principais atributos do solo que podem influenciar a adsorção do P são: o tipo e o teor de argila, de coloides amorfos (óxidos de ferro e alumínio) e MO. Além disso, parte do P encontrado na forma orgânica está imobilizado no solo e torna-se disponível através da mineralização da MO, outra parte ainda, está adsorvido, disponível através de trocas com raízes, e possui alta taxa de adsorção em solos de regiões tropicais (Santos *et al.*, 2008).

Esse nutriente possui fortes interações com a fração sólida do solo especialmente com óxido e hidróxidos de ferro, o que, de maneira geral, reduz a mobilidade desse elemento no perfil do solo (Costa *et al.*, 2014). Em razão da importância do P na fase inicial de crescimento das plantas e da baixa mobilidade do elemento, indica-se a aplicação integral do nutriente no momento da semeadura (CQFS-RS/SC, 2016).

Na semeadura das culturas, o fertilizante fosfatado pode ser aplicado a lanço ou em linha, preferencialmente ao lado e abaixo do sulco de semeadura. Contudo, em áreas já estabelecidas em sistema de plantio direto e com teor de P acima do nível crítico, resultados satisfatórios são obtidos apenas com a aplicação superficial dos fosfatos (Scivittaro & Gomes, 2007). Em trabalho realizado no Cerrado segundo Eberhardt *et al.* (2017), o residual disponível do P aplicado antecipadamente em

uma pastagem de gramínea é mais eficiente do que o fertilizante de P aplicado na semeadura da soja, sugerindo que a fertilização precoce na pastagem pode ser uma estratégia eficaz para a fertilização da soja. Em solos terras altas existem alguns trabalhos sobre antecipação da adubação fosfatada para algumas culturas, porém em solos de terras baixas não se tem conhecimento de qual benefício esta prática irá trazer para o sistema de produção.

4.3 Potássio no solo

O K é um nutriente de extrema importância para os cultivos agrícolas. Apesar de não fazer parte estrutural dos vegetais, é o segundo macronutriente mais requerido, participa de vários processos metabólicos, é regulador osmótico e desempenha diversas funções na planta (Malavolta *et al.*, 1997), sendo o elemento mais móvel no sistema solo-planta. Porém, a falta deste nutriente prejudica tanto a produtividade como também a qualidade do produto, além de implicar em maior suscetibilidade da planta a doenças e ao acamamento, tendo também como sintomas visíveis a clorose branca nas folhas mais velhas, seguida de necrose e posterior queda prematura das folhas (Sengik, 2003).

Apesar de ser o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre (Schroeder, 1978), apenas uma pequena parcela do K presente no solo está prontamente disponível às plantas. A grande maioria participa da parte estrutural dos minerais primários e secundários. Sua disponibilidade difere muito com o tipo de solo e é afetada por propriedades físico-químicas. É classificado, conforme sua disponibilidade no solo às plantas, como: K solúvel em água (diretamente disponível a plantas, microrganismos e potencialmente sujeito à lixiviação); K trocável (ligado eletrostaticamente com um complexo de esfera externa com as superfícies de minerais de argila e substâncias húmicas (Barré *et al.*, 2008); K não trocável e K estrutural que são consideradas fontes de K lentamente ou indisponíveis para as plantas (Zörb, *et al.*, 2014).

A capacidade de troca de cátions (CTC) do solo está diretamente relacionada com a disponibilidade de K às plantas. Baixos valores de CTC significam que o solo apresenta pouca capacidade de reter cátions na forma trocável e, nestes casos, em solos que apresentam baixos teores de argila e MO, este nutriente pode ser facilmente perdido via lixiviação (Meurer & Anghinoni, 1993). Sendo assim, não é

correta a adubação única, mas sim parceladamente, com o propósito de evitar perdas por lixiviação (CQFS-RS/SC, 2016). Pavinato & Ceretta 2004, em trabalho realizado com antecipação da adubação potássica em um Latossolo no RS com alto teor de K, não encontraram resposta na produtividade de grãos na sucessão de trigo com milho nessa condição. Porém os solos de terras baixas do RS apresentam de maneira geral, baixa fertilidade natural (Streck *et al.*, 2018) e, conseqüentemente, baixa disponibilidade desse nutriente. Nestas áreas com baixa fertilidade natural, a antecipação da adubação potássica poderá ser uma alternativa para o produtor melhorar o sistema de produção, porém há uma lacuna no entendimento sobre o impacto desse manejo ao sistema, sendo necessários estudos para compreender melhor a dinâmica desse nutriente nessas áreas.

4.4 Adubação de sistemas

Recentemente, novas estratégias de adubação têm apresentado relevância em relação as práticas tradicionais, destacando-se a adubação de sistemas, que considera o aporte de nutrientes de um grupo de culturas agrícolas inseridas em um sistema de produção, diferentemente da adubação convencional que considera os requerimentos nutricionais de cada cultura isoladamente (Anghinoni *et al.*, 2013).

A adubação de sistemas segue alguns requisitos de solo e de manejo da adubação. Primeiramente, o solo deve ter sua fertilidade construída, ou seja, os teores de nutrientes devem estar acima dos níveis críticos e o solo deve ficar permanentemente coberto por forrageiras, plantas de cobertura ou culturas produtoras de grãos. Em geral, a adubação de sistemas está baseada na utilização da adubação de manutenção, extração mais perdas, das culturas mais exigentes em nutrição (Carlos *et al.*, 2023). A aplicação dos fertilizantes, em geral, é feita nas culturas de inverno, que na região Sul do Brasil são, na sua grande maioria plantas de cobertura de solo, pastagens ou trigo, que têm menor potencial de extração de nutrientes e possuem sistema radicular fasciculado que possibilita maior volume de solo explorado e maior ciclagem de nutrientes (Assmann & Soares, 2016).

O grande benefício da adubação de sistemas está baseado no estímulo nutricional para o crescimento das plantas utilizadas no período entre safras de culturas produtoras de grãos. Dessa forma, há um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas utilizadas no inverno, que apresentam maior

exsudação de compostos orgânicos ao solo e alocação de nutrientes em profundidade, tanto em formas minerais quanto em formas orgânicas lábeis, facilmente mineralizáveis e prontamente disponíveis para as culturas de grãos subsequentes (Carlos *et al.*, 2020).

A adubação de sistemas, que é mais difundida em áreas de terras altas, apresenta um desenvolvimento ainda incipiente em terras baixas, principalmente pela dificuldade de um adequado estabelecimento de pastagens nos sistemas de cultivo tradicionalmente utilizados, principalmente em função das dificuldades de drenagem apresentada nessas áreas no período de outono/inverno. Nos últimos anos, a introdução do trevo-persa nas áreas de terras baixas trouxe uma nova perspectiva de cultivo dada a boa adaptação que esta espécie tem apresentado nesses ambientes. O trevo-persa apresenta precocidade e mantém alta capacidade de FBN, mesmo em ambientes encharcados, constituindo-se na melhor alternativa de cultivo de inverno como cobertura de solo em relação as gramíneas, pois além de disponibilizar N permite a semeadura do arroz na época adequada (Weinert, 2021).

No Sul do Brasil, em ambientes de terras baixas, lavouras de alto nível tecnológico tem adotado sistemas de produção onde há utilização de pastagens sob pecuária de corte no período de outono inverno com exploração de soja e arroz irrigado no período de primavera verão (Martins *et al.*, 2017). Porém, há uma grande lacuna de informações relacionada a adubação de sistemas, quais nutrientes que podem ser utilizados, a contribuição do fertilizante posicionado no período hibernal, taxa de ciclagem das culturas, impacto na atividade microbiana do solo, além de todos os possíveis benefícios da adubação de sistemas, como a realização da semeadura das culturas de verão sem a necessidade de aplicação de fertilizantes, o que possibilita operacionalmente a semeadura mais rápida e permite o estabelecimento de uma maior proporção das lavouras na época preferencial (Carmona *et al.*, 2016).

Em sistemas de terras baixas predominam no período estival culturas de grãos como arroz irrigado e soja e no período de outono inverno azevém e em menor proporção o cultivo de trevo solteiro ou em consórcio com azevém. Nesses sistemas, em razão da alta demanda de N pela cultura do arroz e pelos inúmeros processos de perdas que esse nutriente está submetido, o manejo da adubação nitrogenada é feito de forma parcelada no período de desenvolvimento do arroz, embora uma parte do N que foi utilizado pela cultura antecessora possa ser

disponibilizada durante a mineralização de seus resíduos. Por outro lado, o P e o K, são elementos na qual há potencial de antecipação de aporte no período de outono inverno em razão da sua menor mobilidade no solo. O P possui fortes interações com a fração sólida do solo, especialmente com óxido e hidróxidos de ferro, o que de maneira geral reduz a mobilidade desse elemento no perfil do solo (Costa *et al.*, 2014). Por outro lado, o K possui interações mais fracas, de natureza eletrostáticas, com os sítios de sorção da CTC do solo e podem gerar implicações de potenciais perdas e reduzir a disponibilidade até o momento do cultivo do arroz (Carlos *et al.*, 2020).

Nesse sentido, há uma lacuna no entendimento dos benefícios da adubação de sistemas e a compreensão de como pode haver impacto no desenvolvimento de culturas hibernais, seus reflexos no solo, desenvolvimento do sistema radicular e a contribuição dessas culturas hibernais, sob adubação de sistemas, na mineralização e ciclagem de nutrientes. Quais são os impactos da adubação de sistemas na atividade e biomassa microbiana do solo e quanto realmente esses compartimentos podem contribuir na ciclagem e como reserva temporária de nutrientes. Por fim, há ainda falta de entendimento do real impacto da adubação de sistemas, especificamente de P e K no desenvolvimento, nutrição, produtividade e qualidade de grãos de arroz e soja.

4.6 Atividade enzimática do solo

As enzimas presentes no solo desempenham um papel essencial na medição da resposta do ecossistema às mudanças ambientais (Wu *et al.*, 2025), pois catalisam uma ampla variedade de reações, sendo fundamentais para processos como a degradação de microrganismos, decomposição e síntese da MO, ciclagem de nutrientes e a formação de agregados no solo (Dick, 1992). Os compostos orgânicos provenientes de plantas, microrganismos e animais, ricos em carbono e N, apresentam estruturas complexas e diversificadas. Por isso, sua decomposição demanda a atuação conjunta de consórcios microbianos, que primeiro realizam a despolimerização e, em seguida, a mineralização desses compostos (Burns *et al.*, 2013).

A quantificação das enzimas geralmente é feita de maneira indireta, através da medição de sua atividade, pois as concentrações presentes no solo são baixas.

Normalmente, essa atividade é avaliada observando a quebra de substratos específicos para cada enzima, em condições controladas de pH e temperatura, sendo utilizadas frequentemente a urease e o método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) na avaliação da atividade microbiana do solo (Burns *et al.*, 2013).

A urease é uma enzima que pode ter origem vegetal ou microbiana, e sua função principal é transformar a ureia em amônia e gás carbônico. Essa enzima é muito importante no solo porque ela realiza a hidrólise da ureia, que é o principal fertilizante nitrogenado usado nas culturas agrícolas, especialmente nas gramíneas (Balota, 2017). Quando a atividade da urease está muito alta, a produção de amônia também é elevada, o que pode levar a perdas significativas, já que a amônia é volátil. Por outro lado, uma atividade muito baixa da urease também não é desejável, pois reduz a disponibilidade de amônio e o suprimento de N para as plantas (Balota, 2017).

O método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) avalia indiretamente enzimas como proteases, lipases e esterases, e é utilizado como indicador de qualidade do solo (Taylor *et al.*, 2002; Martins *et al.*, 2017) e sua atividade é determinada a partir da emissão de fluoresceína gerada pela hidrólise do diacetato (Adam e Duncan, 2001).

5 CAPÍTULO 1: MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NA ROTAÇÃO DE AVEIA PRETA E AZEVÉM/SOJA E TREVO-PERSA/ARROZ IRRIGADO

5.1 Introdução

As terras baixas do Sul do Brasil por muito tempo foram cultivadas com arroz irrigado no período de primavera/verão, permanecendo em pousio, com o desenvolvimento de plantas espontâneas (tolerantes ao alagamento) no período outono-inverno (Carlos *et al.*, 2023). Entretanto, recentemente houveram mudanças significativas no sistema de produção em terras baixas através da introdução da cultura da soja a qual se tornou a principal opção de cultivo de grãos de sequeiro para a rotação com o arroz irrigado no Sul do Brasil, devido ao seu alto valor comercial e benefícios agrônômicos gerados ao sistema, como por exemplo a rotação de mecanismos de ação química dos herbicidas (Goulart *et al.*, 2020) e aumento da FBN e da disponibilidade de nutrientes através da maior eficiência do

uso do carbono microbiano de seus resíduos (Denardin *et al.*, 2020; Carlos *et al.*, 2022).

Contudo, essa cultura apresenta características fisiológicas diferentes, sendo pouco adaptada ao cultivo em terras baixas, dado que os solos apresentam características físicas de menor infiltração de água, drenagem deficiente, compactação e baixa porosidade. Além disso, o solo apresenta limitações químicas que dizem respeito ao pH baixo, baixo teor de MO que fazem com que eles apresentem limitadas condições de suprir N às plantas e baixa soma e saturação por bases. Por se tratar de uma cultura sensível ao alagamento, houveram melhorias no sistema de drenagem com a inserção dessa cultura (Winkler *et al.*, 2018), o que possibilitou a utilização de novas culturas de coberturas no período outono/inverno nestas áreas.

Assim, é necessário que se estabeleça um adequado plano de manejo para estes solos no que diz respeito ao sistema de cultivo, práticas culturais necessárias como irrigação, drenagem, escarificação, adubação e calagem. Essas práticas culturais, realizadas para implantação da soja, deixa o solo em condições para o cultivo de coberturas no período hibernal. O cultivo dessas espécies logo após a colheita do arroz, soja ou pastagens de verão é uma prática eficiente de ciclagem de nutrientes (Weinert *et al.*, 2023). Porém, há uma grande dificuldade de encontrar plantas com características de adaptação aos solos hidromórficos, principalmente com tolerância ao excesso hídrico (Menezes *et al.*, 2001).

Existem algumas espécies de coberturas/forrageiras que podem ser usadas em sistemas de produção em terras baixas, como é o caso do azevém, que é a espécie mais utilizada, devido a sua adaptação ao excesso hídrico, servindo tanto para o pastejo como para a proteção do solo (Martins *et al.*, 2017). Outra alternativa é o uso do trevo-persa, pois é uma cultura de estação fria, possui boa adaptação a solos hidromórficos, além de se destacar pela grande capacidade de produção de MS, com alto teor de N, podendo ser uma alternativa de fornecimento deste nutriente para as culturas em sucessão, principalmente para a cultura do arroz irrigado (Weinert *et al.*, 2023). Mais recentemente, após a melhoria do sistema de drenagem do solo, a cultura da aveia preta também está sendo utilizada com mais frequência nessas áreas, devido seu crescimento vigoroso, tolerância à acidez nociva do solo causada pela presença de Al, alta produção de MS, pela grande

capacidade de ciclar e liberar uma quantidade significativa de K para as culturas estabelecidas em sucessão (Assmann *et al.*, 2017).

A maior intensificação de uso dessas áreas, passam a viabilizar a adubação de sistemas, que considera a demanda de nutrientes, principalmente P das culturas agrícolas inseridas em um sistema de produção (Caires *et al.*, 2017), diferentemente da adubação convencional que considera os requerimentos nutricionais de cada cultura isoladamente, sem considerar o efeito residual das fertilizações e as modificações que estas podem causar no sistema em geral. Na adubação de sistemas o solo deve ser mantido permanentemente coberto, com o maior tempo possível com plantas vivas, que potencializa a ciclagem de nutrientes e permite maior aporte de carbono ao solo (Carlos *et al.*, 2023). Contudo, ainda há carência de informações científicas de quando é feita a antecipação da adubação fosfatada com posicionamento total ou antecipação parcial do fertilizante fosfatado das culturas de verão sendo aplicado no período de outono. Como o P é um elemento que possui menor mobilidade espera-se que não tenha grande perda, e possa ser absorvido pelas culturas de cobertura ou pastagens, promover maior nutrição e desenvolvimento dessas culturas e após a dessecação ser disponibilizado, via mineralização, para as culturas de verão. Por outro lado, a antecipação pode promover maior adsorção específica do P no solo e promover menor disponibilidade dos nutrientes para as culturas de verão (Silva, 2013).

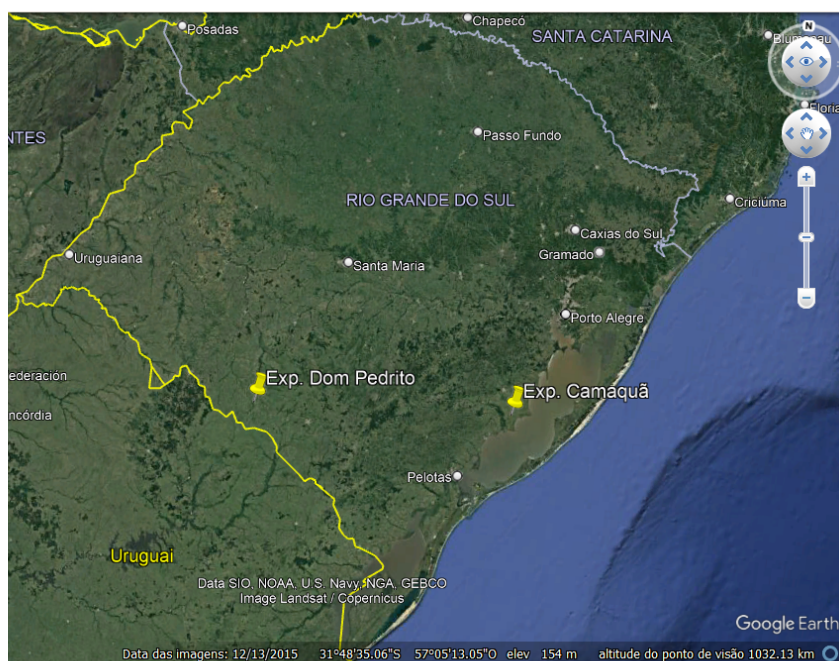
A adubação de sistemas é mais difundida em áreas de terras altas (Caires *et al.*, 2017) e apresenta um desenvolvimento ainda incipiente em terras baixas. Nesse sentido, há uma lacuna, científica e técnica, do impacto da antecipação da adubação fosfatada no desenvolvimento de culturas hibernais, na atividade microbiana do solo, disponibilidade de P no solo e os reflexos na nutrição, desenvolvimento e produtividade das culturas de soja e arroz irrigado. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento das culturas de inverno como o azevém, trevo-persa e aveia preta, a atividade microbiana do solo, a disponibilidade de nutrientes no solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento e produtividade de grãos de soja e arroz irrigado.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Local

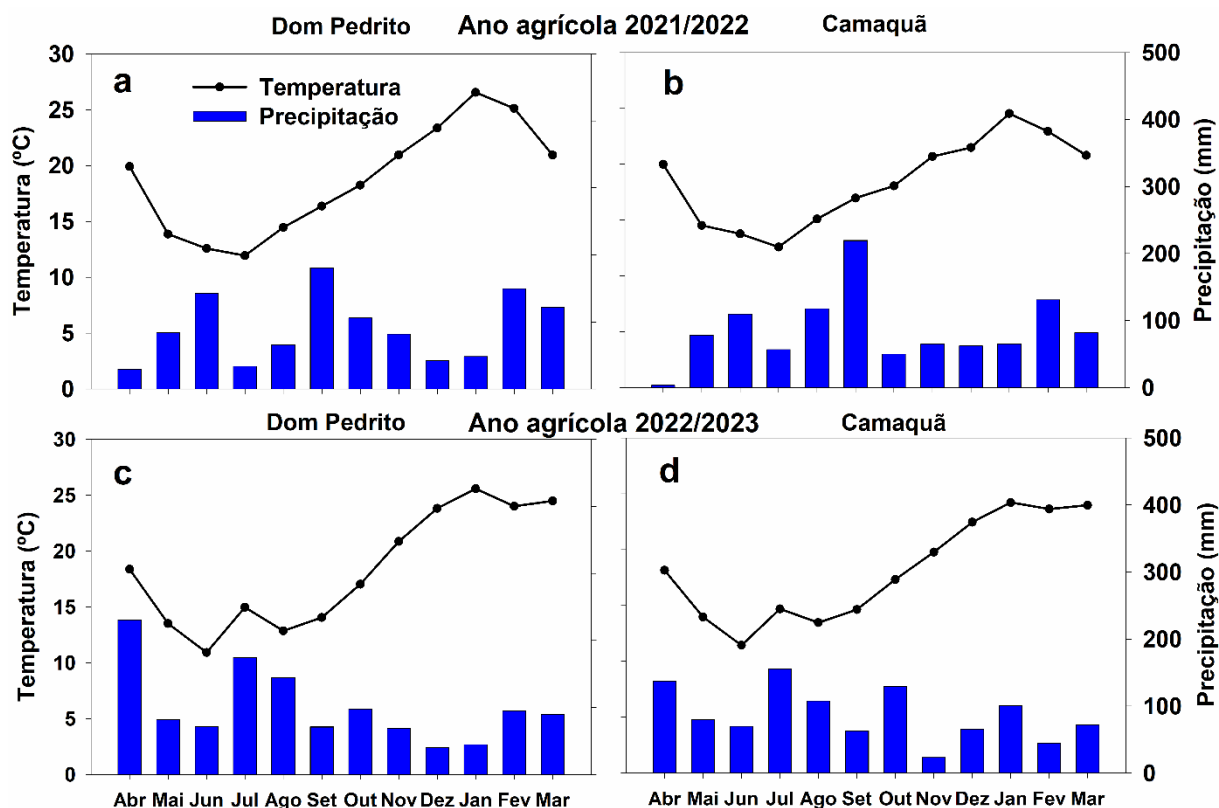
O experimento com a antecipação da adubação fosfatada da soja e do arroz irrigado foram conduzidos em 2 locais diferentes, sendo: a Granja Tulipa em Dom Pedrito-RS (latitude 31° 9'39.69" Sul e longitude 54°45'31.56" Oeste) e Sementes Capão Grande em Camaquã-RS (latitude 31° 6'17.45" Sul e longitude 51°41'47.87" Oeste) (Figura 1). O Planossolo é a classe de ocorrência de solos onde foram instalados os experimentos, com relevo suave ondulado (Streck *et al.*, 2018). Na Figura 2, são apresentados os dados de precipitação e de temperatura dos 2 anos agrícolas (2021/2022 e 2022/2023) que foram conduzidos os experimentos.

Figura 1 – Locais onde foram instalados os experimentos nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023



Fonte: Google Earth.

Figura 2 – Temperatura média e precipitação nas áreas experimentais, Dom Pedrito e Camaquã, Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Os dados pluviométricos foram retirados do site da ANA (hidroweb) (2024), Camaquã estação 3151002; Dom Pedrito estação 3054002.

Na tabela 1 é apresentada a caracterização química do solo dos dois locais antes da instalação dos experimentos.

Tabela 1 – Resultados da análise química dos solos das áreas previamente ao estabelecimento do experimento do manejo de adubação fosfatada em Dom Pedrito e Camaquã

Local	Prof.	MO	Argila	pH H ₂ O	SMP	CTC pH ₇	CTC Efe.	P	K	Ca	Mg	Al		m%	V%
												H+Al	cmol _c dm ⁻³		
		---%---				cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----					
Dom Pedrito	0-10	1,66	20	5,3	6,4	7,1	4,4	30,7	116	2,3	1,6	0,1	2,8	2,3	61
	10-20	1,10	16	5,2	6,4	6,9	4,3	17,8	54	2,1	1,7	0,2	2,8	4,7	59
Camaquã	0-10	1,38	21	5,0	5,9	13,0	8,6	15,2	126	6,5	1,2	0,5	4,9	5,8	63
	10-20	1,10	24	5,0	5,9	11,8	7,4	10,9	65	5,8	0,8	0,5	4,9	6,8	59

pH em água 1:1; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e CTC a pH 7,0.

Argila determinada pelo método do densímetro; MO por digestão úmida e P e K determinados pelo método de Mehlich I (Tedesco et al, 1995).

Interpretação de P: médio – Dom Pedrito, médio - Camaquã. Intepretação foi feita para as culturas mais exigentes da rotação, no caso soja e trevo-persa (CQFS/RS-SC, 2016).

5.2.2 Tratamentos

A interpretação da análise química do solo foi de teor médio de P nos dois locais de estudo, com a adubação fosfatada realizada para as culturas mais exigentes, sendo em 2021/2022 para a cultura da soja e em 2022/2023 para a cultura do trevo-persa (Tabela 2).

Foram utilizados 4 tratamentos de adubação fosfatada sendo: 0P - sem a adição de fertilizantes fosfatados; 100P - aplicação integral 100% do fertilizante fosfatado nas culturas de inverno; 50P - fertilização fosfatada parcial, sendo 50% do fertilizante fosfatado aplicado na cultura de inverno e 50% da demanda sendo aplicado na cultura de verão; e ACP - fertilização convencional, sendo 100% do nutriente aplicado na semeadura na cultura de verão (soja ou arroz). A adubação potássica foi realizada conforme a interpretação da análise química do solo para a soja e arroz (CQFS-RS/SC,2016), no momento da semeadura dessas culturas respectivamente, para o arroz irrigado o manejo da adubação nitrogenada foi realizado conforme (SOSBAI, 2018).

Foram utilizadas 3 forrageiras hibernais: na entressafra 2021 foram utilizados o azevém em Camaquã e a aveia preta em Dom Pedrito na densidade de 25 e 40 kg de sementes ha⁻¹ respectivamente, com o cultivo de soja no verão (espaçamento de 0,45 m). Na entressafra 2022 foi utilizado o trevo-persa na densidade de 4,5 kg de sementes ha⁻¹ com cultivo de arroz irrigado no verão (espaçamento de 0,17 m). Todas culturas de coberturas foram semeadas a lanço. Os tratamentos específicos de adubação fosfatada, com doses, proporção de adubação, culturas e ano agrícola são detalhados na (Tabela 2). As unidades experimentais foram parcelas de 4 m de largura e 8 m de comprimento (Figura 3), totalizando 32 m², em um delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. O manejo das culturas de verão, foram realizados conforme as recomendações técnicas para as culturas da cultura da soja e do arroz irrigado (SOSBAI, 2018). Os fertilizantes utilizados continham na sua composição enxofre e boro que poderiam ser limitantes ao desenvolvimento de culturas agrícolas em solos sedimentares, presentes nas terras baixas do Sul do Brasil (Streck *et al.*, 2018). Todos fertilizantes foram aplicados a lanço. Foram utilizadas as mesmas parcelas com mesmos tratamentos nos 2 anos de estudo.

Tabela 2 – Tratamentos de adubação fosfatada em sistema de produção de terras baixas nos municípios de Camaquã e Dom Pedrito e as proporções de aplicação de P₂O₅ nas diferentes culturas nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023

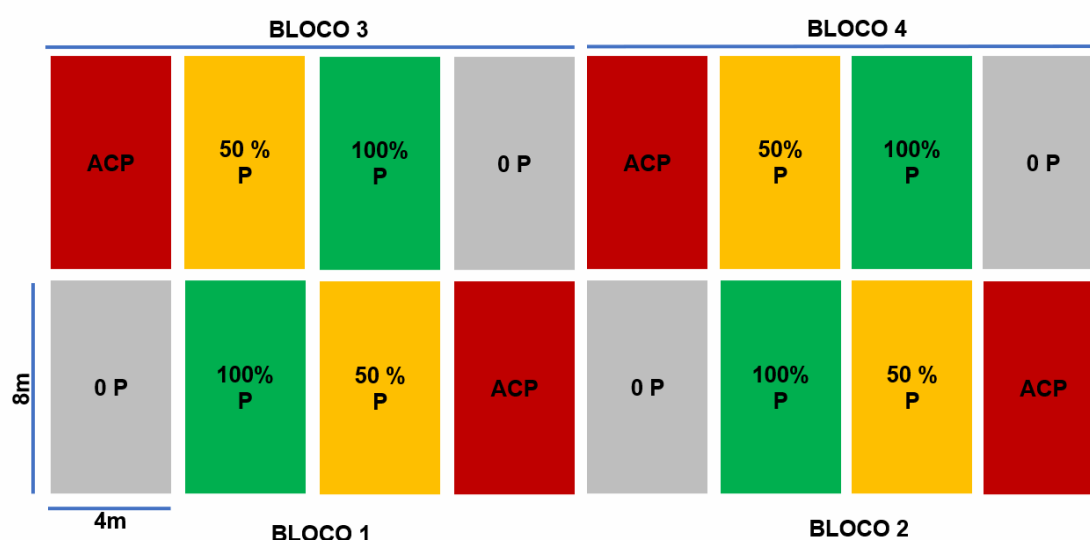
Trat.	-----2021/2022-----				-----2022/2023-----			
	-----kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ -----							
	---Camaquã---		-Dom Pedrito-		---Camaquã---		-Dom Pedrito-	
	Azevé	Soja*	Avei	Soja**	Trevo	Arroz	Trevo	Arroz
	m	*	a					
0P	00	00	00	00	00	00	00	00
100 P	100	00	130	00	70	00	70	00
50P	50	50	65	65	35	35	35	35
ACP	00	100	00	130	00	70	00	70

*Recomendações das doses de K₂O e P₂O₅ (CQFS - RS/SC, 2016). ** Soja com expectativa de rendimento de 4 Mg ha⁻¹.

Interpretação de P: médio – Dom Pedrito, médio - Camaquã. Interpretação foi feita para as culturas mais exigentes da rotação, no caso soja e trevo-persa (CQFS/RS-SC, 2016).

Fonte: Autor.

Figura 3 – Croqui do experimento de manejos da adubação fosfatada, com quatro blocos e parcelas com 4m x 8m conduzidos nas cidades de Dom Pedrito e Camaquã nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023



Fonte: Autor.

5.2.3 Produção de matéria seca das culturas de cobertura

Para determinação da quantidade de MS, foi utilizado um amostrador de 0,5m x 0,5m (Figura 4) onde foi coletada toda parte aérea das forrageiras hibernais, totalizando uma área amostral de 1 m² por tratamento (1 subamostra por unidade experimental x 4 blocos). Após a coleta das amostras foi realizada a dessecação das culturas de cobertura. O material foi identificado no campo e levado para uma estufa a 65°C por três dias, para ser pesado e então ser quantificado a quantidade de MS em Mg ha⁻¹. A concentração de nutrientes da MS da parte aérea foi feita conforme (Tedesco *et al.*, 1995).

Figura 4 – Local onde foi realizado a coleta de material vegetal



Fonte: Autor.

5.2.4 Determinação de fósforo no solo

Para avaliação desse nutriente no solo, foram coletadas 4 subamostras estratificadas a cada 5 cm (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20) (Figura 5) em cada unidade experimental na camada de 0–20 cm, no momento da dessecação das culturas de cobertura em ambos anos agrícolas. As amostras foram coletadas com auxílio de uma pá de corte, régua e faca (Figura 5). Foram coletados 4 pontos por parcela, posteriormente, o solo foi homogeneizado em baldes (cada balde com sua respectiva profundidade de solo) para a constituição de uma amostra composta de solo por parcela. Após as coletas, as amostras de solo foram identificadas e levadas para o laboratório do departamento de solos, onde foram secas ao ar, tamisadas em peneiras (malha = 2 mm), posteriormente foi feita extração por Mehlich-1. A determinação dos teores de P foi realizada no espectrofotômetro por colorimetria (Tedesco *et al.*, 1995).

5.2.5 Determinação de potássio no solo

A coleta de solo (Figura 5) até o procedimento da extração foi realizada conforme o item 5.4. Porém a determinação do K foi realizada por fotometria de chama (Tedesco *et al.*, 1995).

Figura 5 – Coleta de solo estratificadas em 4 profundidades, para determinação de fósforo e potássio no solo



Fonte: Autor.

5.2.6 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo

A coleta de solo para a determinação do teor de carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo ocorreu somente na camada de 0-5 cm, pois essa camada é mais sensível às mudanças na biomassa microbiana do solo em relação ao manejo. Foram coletadas 4 subamostras no momento da dessecação em cada unidade experimental, colocadas em um balde, homogeneizadas, identificadas e armazenadas sob refrigeração a 5°C para serem analisadas em no máximo 20 dias.

O CBM foi analisado conforme método descrito por Ferreira et al. (1999). Foi utilizada a Equação 1 para determinar o teor de C da biomassa microbiana do solo:

$$CM = \frac{Ci - Cni}{Kc} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

CM: teor de carbono da biomassa microbiana do solo (mg kg⁻¹);

Ci: teor de carbono da amostra irradiada (mg kg⁻¹);

Cni: teor de carbono da amostra não irradiada (mg kg⁻¹);

Kc: 0,33 fator de correção proposto por Sparling & West (1988).

5.2.7 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo

A coleta e armazenamento do solo para determinação do nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) do solo foram realizadas conforme o item anterior.

Os teores do NBM também foram determinados pelo método de irradiação-extração, conforme sugerido por Ferreira et al. (1999). A determinação do NBM foi de acordo com Brookes et al. (1985). O NBM foi calculado de acordo com a equação (2):

$$NM = (Ni - Nni) \times Kn \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

NM: teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo (mg kg⁻¹);

Ni: teor de nitrogênio da amostra irradiada (mg kg⁻¹);

Nni: teor de nitrogênio da amostra não irradiada (mg kg⁻¹);

Kn: 0,54 fator de correção proposto por Brookes et al. (1985).

5.2.8 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo

Para a determinação da atividade da FDA realizou-se a pesagem de duas amostras de 2 g de solo fresco de cada tratamento. As amostras foram pesadas em tubos falcon e logo após foi adicionado 15 mL de tampão fosfato 60 nM pH 7,6. Em uma das amostras foi adicionado 0,2 mL da solução estoque de FDA (1000 microgramas por ml), os frascos foram fechados, agitados manualmente e colocados em um agitador orbital a 30° C por 20 min. Após a esse período de incubação, foi adicionado imediatamente 1ml de clorofórmio P.A para finalizar a reação. Os frascos foram tampados e agitados manualmente. Logo após as amostras foram centrifugadas a 2.000 rpm por 3 min. A intensidade da cor do sobrenadante foi determinada por espectrofotometria a 490 nm (Adam & Duncan, 2001).

5.2.9 Atividade da urease do solo

Para a determinar a atividade da urease, foram pesadas 5 g de cada amostra de solo da camada de 0-5 cm do solo em um tubo falcon de 50 mL contendo 9 mL de tampão tris (hidroximetil) aminometano (THAM) e solução de ureia 0,2 M ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$). Os tubos falcon foram incubados a 37 °C por 2 h. Após a incubação, 35 mL de solução de KCl- Ag_2SO_4 a 4 °C foram adicionados aos frascos para formar um volume total de 50 mL. Foi utilizado microdestilação para determinar a quantidade de NH_4^+ gerado pela ação da urease na ureia (Tedesco *et al.*, 1995).

5.2.10 Matéria seca em soja e arroz irrigado

Para determinação da MS da soja e do arroz irrigado, foram coletadas amostras aleatórias de 0,5 m lineares em cada parcela. No arroz a coleta foi realizada por ocasião do florescimento pleno (40 a 50% em R_4). Na soja a coleta foi realizada no florescimento pleno (mínimo de 50% de plantas no estágio R_2). Essas amostras foram secas em estufa à 65°C por 3 dias ou até manter o peso constante, para posterior pesagem e determinação da MS.

5.2.11 Determinação da estatura em plantas de arroz irrigado

No final do ciclo do arroz irrigado foi determinado a estatura do arroz irrigado. As plantas foram medidas desde o nível do solo até a ponta da folha bandeira. Foram realizadas 5 medições por parcela, e as médias foram utilizadas para determinar a estatura.

5.2.12 Determinação do número de panículas por metro quadrado no arroz irrigado

A determinação do número de panículas por metro quadrado foi realizada através da contagem de todas panículas em 1 metro linear por parcela (2 seções de 0,5 metros lineares). Foi realizado uma média e este valor foi extrapolado para número de panículas por metro quadrado.

5.2.13 Teores de nutrientes em plantas de soja e arroz irrigado

Após a determinação do peso da MS, foi realizada a moagem das amostras em peneiras 2mm. Foi feito a pesagem de 0,2 g de tecido para realizar a digestão ácida e com alta temperatura para transformação dos nutrientes de formas orgânicas para minerais. Posteriormente, do extrato resultante da digestão foi determinado o teor de N total pelo método de destilação Kjeldahl. O teor de P determinado por espectrofotometria (Tedesco *et al.*, 1995). O teor de K por fotometria de chama e os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Tedesco *et al.*, 1995). Os teores dos nutrientes foram multiplicados pela produção de MS de cada cultura e expressos em kg ha⁻¹.

5.2.14 Produtividade de grãos

Ao final do ciclo das culturas, no estágio de maturação fisiológica, a produtividade foi quantificada através da colheita de uma área útil de 2m x 2 m, totalizando 4 m² em cada parcela para a cultura do arroz irrigado. Para cultura da soja foram colhidas 4 linhas (espaçadas de 0,45m) X 2m de comprimento,

totalizando uma área útil de 3,6 m². Após a colheita, as amostras foram devidamente identificadas e submetidas a trilha para posterior determinação de impureza e umidade, que foram utilizadas para o cálculo de produtividade à 13% de umidade, a produtividade foi expressa em Mg ha⁻¹.

5.2.15 Análise estatística

A distribuição normal dos dados foi avaliada utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Obedecendo os pressupostos de normalidade, as variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA), e quando significativa ($p < 0,05$) os dados foram submetidos ao teste *post-hoc* Tukey HSD (0,05). As análises estatísticas foram feitas com suporte do programa estatístico R® e do pacote agricolae.

5.3 Resultados

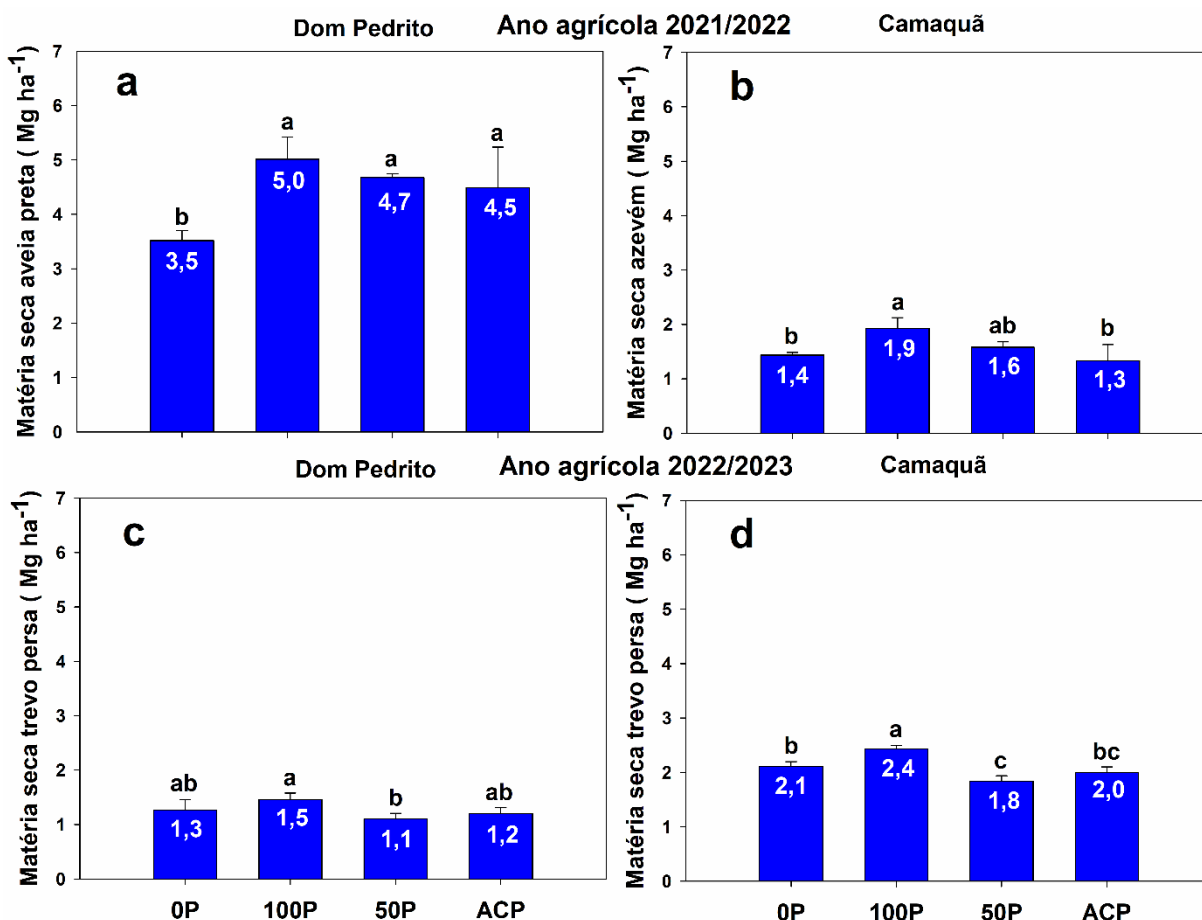
5.3.1 Produção de matéria seca das culturas de cobertura

Observou-se que a produção de MS das culturas de cobertura no ano agrícola 2021/2022 foram influenciadas pelo manejo da adubação fosfatada (Figura 6a e 6b). Em Dom Pedrito, os tratamentos 100P, 50P e ACP apresentaram a maior produção de MS em relação ao 0P, sem diferirem entre si (Figura 6a). Em Camaquã, o tratamento 100P ocasionou maior produção de MS de azevém em relação aos tratamentos 0P e ACP, o tratamento 50P não diferiu dos tratamentos anteriores (Figura 6b).

No segundo ano agrícola (2022/2023) a produção de MS do trevo-persa também foi influenciada pelo manejo da adubação fosfatada (Figura 6c e 6d). Em Dom Pedrito o tratamento 100P apresentou a maior produção em relação ao tratamento 50P, porém os tratamentos 0P e ACP não diferiram dos tratamentos anteriores (Figura 6c). Em Camaquã o tratamento 100P obteve maior produção de MS, seguido dos tratamentos 0P e ACP que tiveram produções intermediárias,

porém o tratamento ACP não diferiu do 50P que teve a menor produção de MS (Figura 6d).

Figura 6 – Matéria seca de aveia preta em Dom Pedrito (a), azevém em Camaquã (b) e trevo-persa em Dom Pedrito (c) e Camaquã (d) no final do ciclo, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) de fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) de fósforo na semeadura da cultura de grão. Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.2 Macronutrientes na matéria seca das culturas de cobertura

No primeiro ano agrícola, o teor de N total nas coberturas não diferiu entre os manejos 100P, 50P e ACP, que tiveram os maiores teores em relação ao tratamento 0P em Dom Pedrito, enquanto que, em Camaquã, não houve diferença entre os tratamentos. No segundo ano agrícola, o tratamento 100P teve o maior teor de N total em relação aos demais tratamentos que, não diferiram entre si nos dois locais do estudo (Tabela 3). Em 2021/22 o teor de K foi maior no tratamento 50P, com os tratamentos 100P e ACP com valores intermediários, e o 0P com menor o menor teor em Dom Pedrito. Em Camaquã, o tratamento 100P apresentou o maior teor em relação ao tratamento ACP, com os tratamentos 0P e 50P não diferindo dos anteriores, e em 2022/2023, o tratamento 100P apresentou a maior quantidade de K, com 0P apresentando teor intermediário e com os tratamentos 50P e ACP com os menores valores nos dois locais do estudo (Tabela 3). A quantidade de P presente na MS das culturas em 2021/2022 em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100P,

50P e ACP com o tratamento 0P apresentando a menor quantidade, e em Camaquã não houve diferença, em 2022/2023, o tratamento 100P apresentou a maior quantidade de P nos dois locais, com os tratamentos 0P, 50P e ACP apresentando menores quantidades em Dom Pedrito e com os tratamentos 50P e ACP ficando com quantidades intermediárias com o 0P com menor quantidade em Camaquã (Tabela 3). A quantidade de Ca em 2021/2022, foi maior nos tratamentos com adubação fosfatada (100P, 50P e ACP) em relação ao 0P em Dom Pedrito, e em Camaquã não houve diferença entre os tratamentos, já em 2022/2023, não houve diferença entre os tratamentos em Dom Pedrito, e em Camaquã os tratamentos 0P e 100P apresentaram maiores quantidades de Ca em relação ao 50P e ACP (Tabela 3). Em relação ao Mg, em 2021/2022, não houve diferença entre os tratamentos em Dom Pedrito, e em Camaquã o tratamento 100P apresentou a maior quantidade em relação aos tratamentos 0P e ACP, com o tratamento 50P não diferindo dos anteriores, e em 2022/2023 em Dom Pedrito não houve diferença entre os tratamentos, e em Camaquã o tratamento 100P apresentou a maior quantidade de Mg ha⁻¹ em relação aos demais tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores de macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca no final do ciclo de aveia preta (Dom Pedrito 2021/22), azevém (Camaquã 2021/22) e trevo-persa (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação fosfatada 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.)

Trat.	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio	
	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.
-----Ano Agrícola 2021/2022-----										
-----Kg ha ⁻¹ -----										
0P	38 b	28 ns	67 c	20 ab	7 b	3 ns	18 b	9 ns	7 ns	5 b
100P	57 a	34 ns	95 b	26 a	12 a	4 ns	29 a	13 ns	12 ns	7 a
50P	51 a	29 ns	98 a	21 ab	12 a	4 ns	28 a	10 ns	12 ns	6 ab
ACP	49 a	26 ns	85 b	18 b	11 a	3 ns	27 a	9 ns	9 ns	5 b
-----Ano Agrícola 2022/2023-----										
0P	28 b	48 b	36 b	63 b	4 b	5 c	39 ns	55 a	6 ns	9 b
100P	38 a	64 a	46 a	76 a	6 a	10 a	51 ns	52 a	7 ns	12 a
50P	28 b	46 b	32 c	51 c	4 b	7 b	34 ns	30 b	5 ns	9 b
ACP	28 b	45 b	31 c	52 c	4 b	7 b	40 ns	21 b	5 ns	8 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey ($p < 0,05$). ns (não significativo).

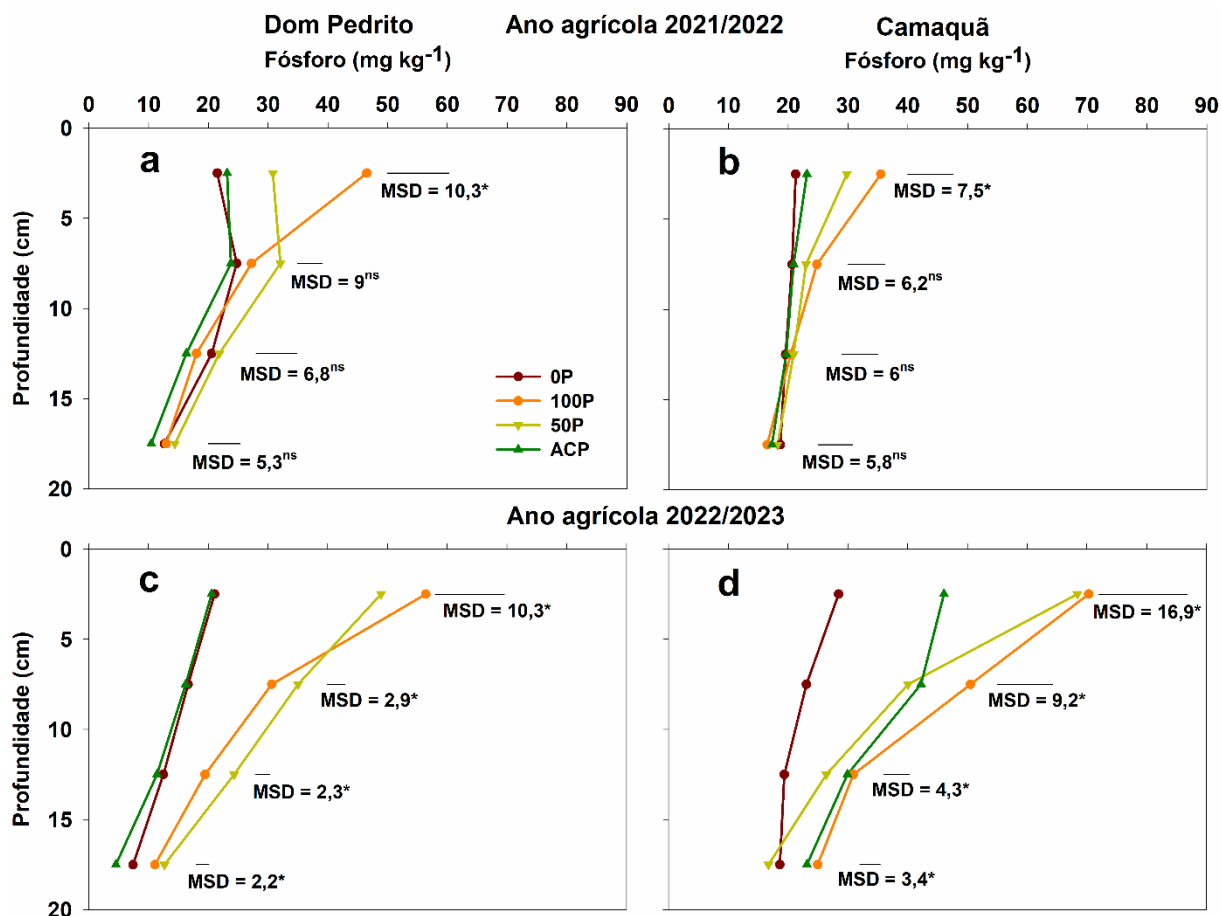
Fonte: Autor.

5.3.3 Teor de fósforo no solo

Observou-se que o manejo da adubação fosfatada teve efeito nos teores de P na camada de 0-20 cm do solo nos dois locais de estudo. No ano agrícola 2021/2022, observaram-se maiores teores de P na camada superficial do solo no tratamento 100P (Figura 7). Os teores de P na camada superficial do solo na camada de 0-5 cm foram de 46,5 mg P kg⁻¹ no tratamento 100P em Dom Pedrito, sendo superior aos demais tratamentos 50P, ACP e 0P onde se observaram teores de 30,8, 23,1 e 21,5 mg P kg⁻¹, respectivamente (Figura 7a). Em Camaquã a tendência foi a mesma, porém o tratamento 100P apresentou com 35,5 mg P kg⁻¹ na camada superficial do solo (Figura 7b). No tratamento 50P o teor de P no solo ficou com 29,8 mg P kg⁻¹. Nos demais tratamentos ACP e 0P se observaram os menores teores de P, com 23,1 e 21,2 mg P kg⁻¹, respectivamente. Nas demais camadas de solo, os tratamentos tiveram os mesmos teores, não diferindo entre si (Figura 7b). No segundo ano agrícola, em Dom Pedrito, os tratamentos 100P e 50P apresentaram os maiores teores de P no solo na camada de 0-5cm com teores de 56,4 e 49,5 mg P kg⁻¹ respectivamente não diferindo entre si, já os tratamentos 0P e ACP apresentaram os menores teores de P no solo com 21 e 20,5 mg P kg⁻¹ respectivamente (Figura 7c). Nas camadas de 5-10 e 10-15 cm o tratamento 50P (35,1 e 24,3 mg P kg⁻¹) apresentou o maior teor de P no solo, seguido do tratamento 100P (30,6 e 19,5 mg P kg⁻¹) com valor intermediário, com os tratamentos 0P (16,6 e 12,5 mg P kg⁻¹) e ACP (16,2 e 11,4 mg P kg⁻¹) apresentando os menores teores sem diferirem entre si (Figura 7c). Na camada de 15-20 cm os tratamentos 50P e 100P (12,7 e 11,1 mg P kg⁻¹) apresentaram os maiores teores com o tratamento 0P (7,4 mg P kg⁻¹) ficando com teor intermediário e o tratamento ACP (4,5mg P kg⁻¹) com o menor teor de P no solo (Figura 7c). Em Camaquã na camada de 0-5 cm os tratamentos 100P (70,3 mg P kg⁻¹) e 50P (68,4mg P kg⁻¹) apresentaram os maiores teores de P no solo, seguido do tratamento ACP (46,1 mg P kg⁻¹) com teor intermediário e 0P (24,5 mg P kg⁻¹) com menor teor (Figura 7d). Nas camadas de 5-10 e 10-15 cm o tratamento 100P (50,5 e 30,9 mg P kg⁻¹) apresentou o maior teor de P no solo, porém o tratamento ACP (42,2 e 29,9 mg P kg⁻¹) apresentou teor intermediário não diferindo do tratamento 100P e 50P (40,1 e 26,4 mg P kg⁻¹), o

tratamento 0P (23,1 e 19,4 mg P kg⁻¹) apresentou o menor teor (Figura 7d). Na camada 15-20 cm os tratamentos 100P (24,9 mg P kg⁻¹) e ACP (23,1 mg P kg⁻¹) apresentaram os maiores teores, com os tratamentos 0P (18,6 mg P kg⁻¹) e 50P (16,7 mg P kg⁻¹) apresentando os menores teores (Figura 7d).

Figura 7 – Fósforo disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta em Dom Pedrito (a) e azevém Camaquã (b) e trevo-persa Dom Pedrito (c) e Camaquã (d), sob diferentes manejos de adubação fosfatada em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)

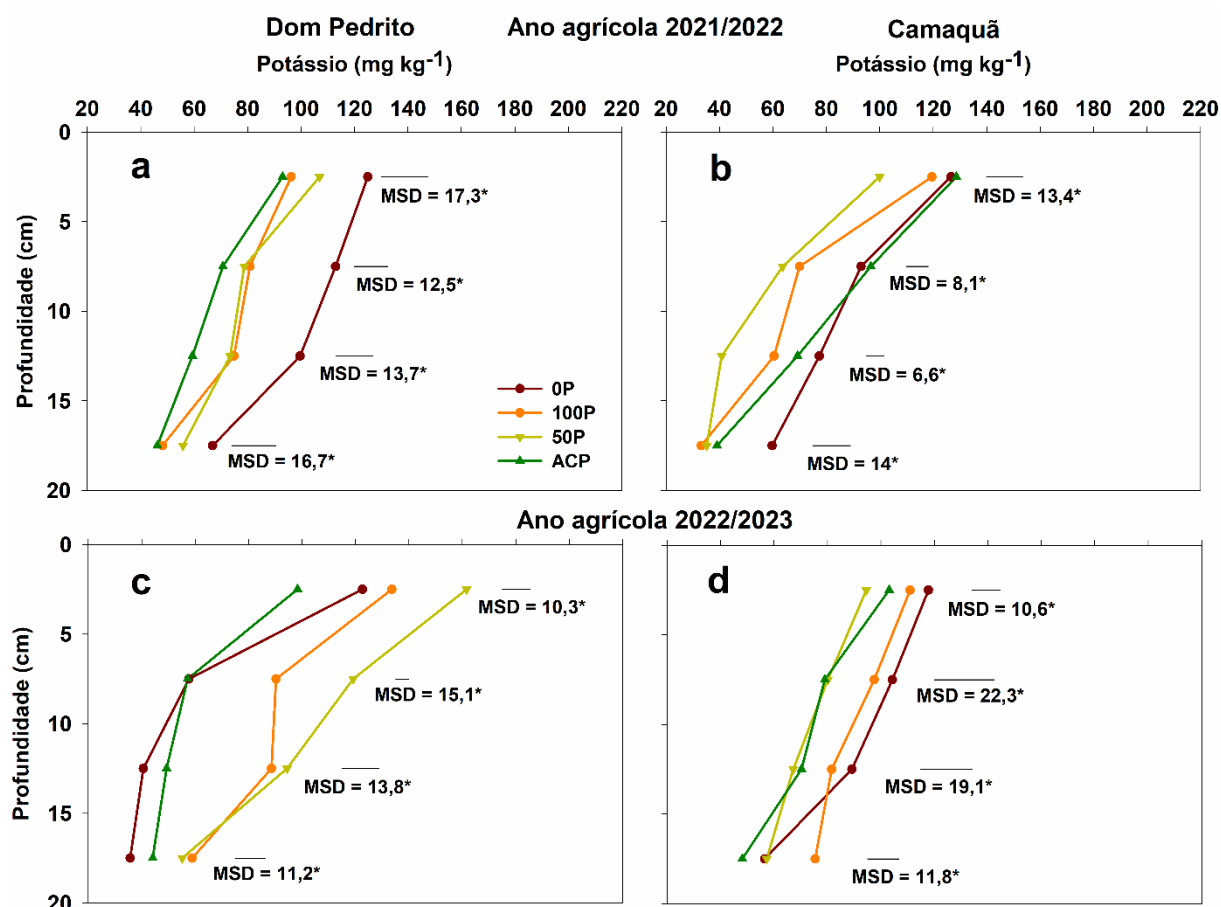


Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.4 Teor de potássio no solo

Os teores de K estratificados na camada de 0-20 cm tiveram efeito do manejo da adubação fosfatada nos 2 anos agrícolas. Independentemente do tratamento, observou-se uma tendência de redução dos teores de K no perfil do solo. Observou-se os maiores teores de K no tratamento 0P em Dom Pedrito em toda a camada de 0-20 cm (Figura 8a). Em Camaquã os tratamentos 0P e ACP obtiveram os maiores teores em praticamente todas as profundidades (Figura 8b). No segundo ano agrícola em Dom Pedrito os tratamentos 50P e 100P tiveram os maiores teores de K no perfil do solo (Figura 9c). Já em Camaquã os tratamentos 0P e ACP tiveram os maiores teores de K em praticamente todas as camadas de solo analisadas (Figura 9d). Em todos os tratamentos houve redução nos teores de K conforme a profundidade do solo foi aumentando.

Figura 8 – Potássio disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta em Dom Pedrito (a) e azevém Camaquã (b) e trevo-persa Dom Pedrito (c) e Camaquã (d), sob diferentes manejos de adubação fosfatada em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



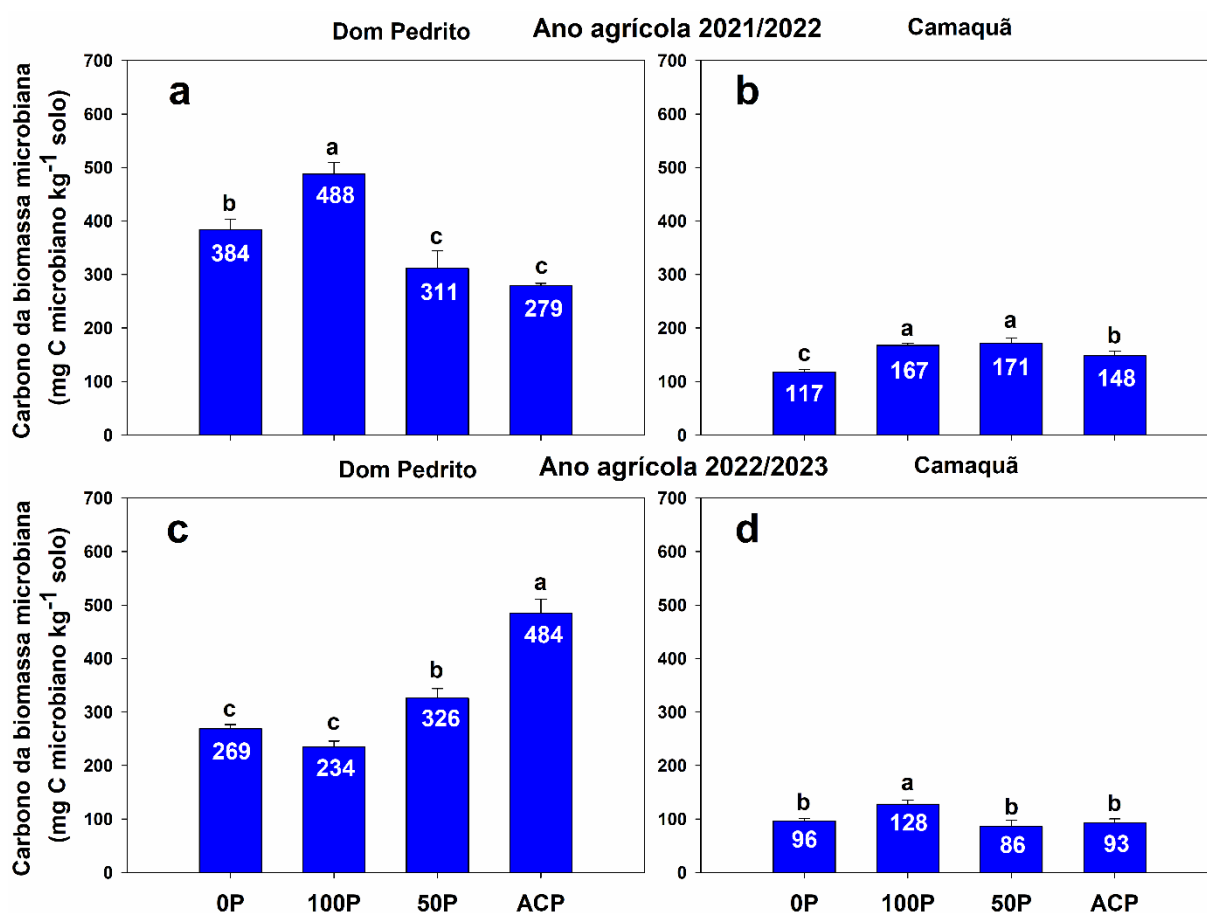
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.5 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo

O manejo da adubação fosfatada, influenciou no teor de CBM do solo nos dois locais nos dois anos agrícolas. Em 2021/2022 em Dom Pedrito o maior teor de CBM do solo foi no tratamento 100P (Figura 9a). Já o tratamento 0P apresentou teor intermediário não diferindo do tratamento 50P, sendo que o mesmo não diferiu do tratamento ACP que apresentou o menor teor de CBM do solo (Figura 9a). Em Camaquã os tratamentos com antecipação total ou parcial da adubação fosfatada (100P, 50P) apresentaram maiores teores de CBM em relação aos tratamentos ACP e 0P respectivamente (Figura 9b).

No ano agrícola 2022/2023, em Dom Pedrito o tratamento ACP obteve maior teor de CBM do solo, sendo que o tratamento 50P apresentou valores intermediários enquanto que os tratamentos 0P e 100P apresentaram menores teores não diferindo entre si (Figura 9c). Em Camaquã o comportamento foi diferente, pois o tratamento que apresentou maior teor de CBM foi o 100P, com os tratamentos 0P, 50P e ACP não diferindo entre si com teores menores de CBM do solo (Figura 9d).

Figura 9 – Carbono da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



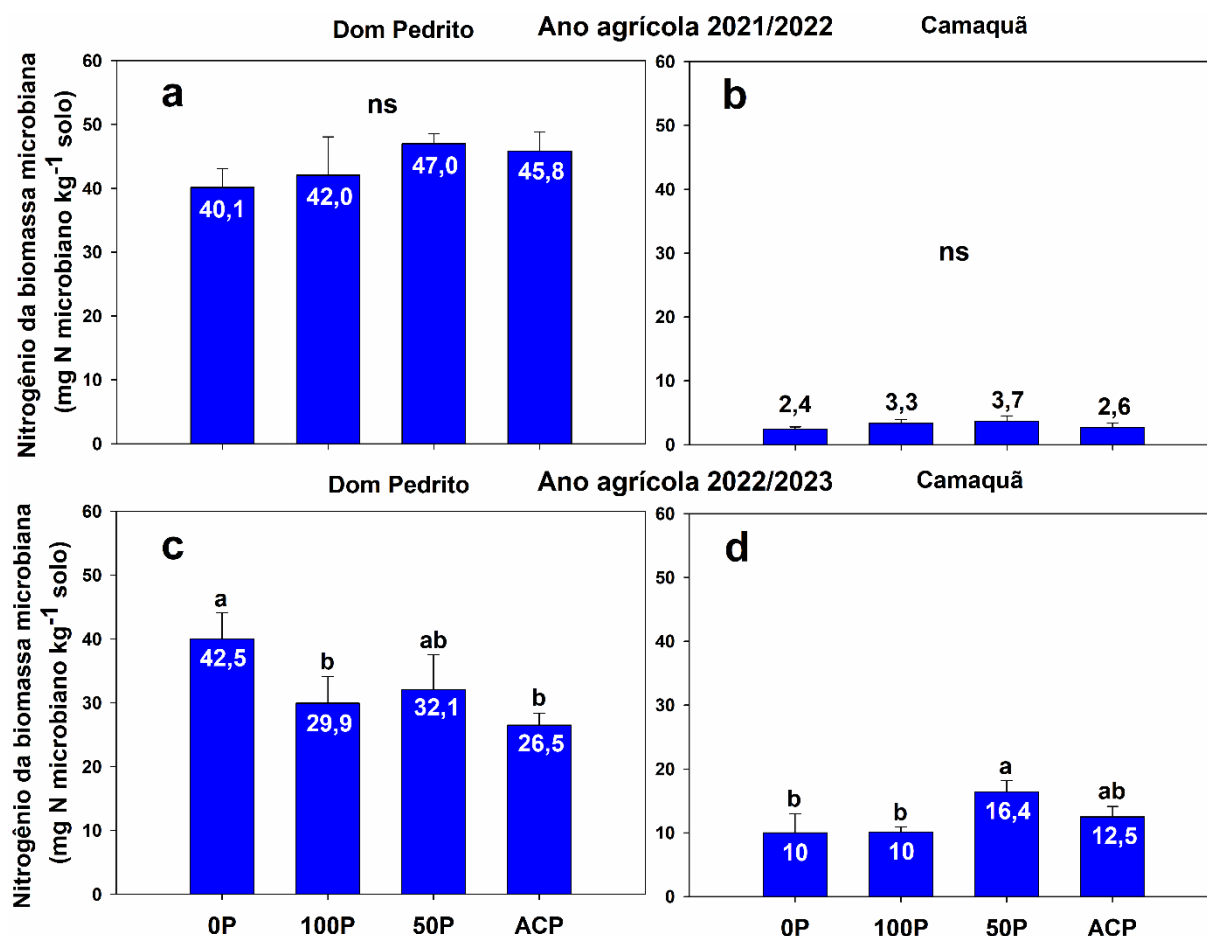
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.6 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo

O teor de NBM do solo não foi influenciado pelo manejo da adubação fosfatada no ano agrícola 2021/2022 em Dom Pedrito e Camaquã respectivamente (Figura 10a e 10b).

Em 2022/2023, o comportamento do teor de NBM do solo foi diferente, em Dom Pedrito, o tratamento 0P apresentou o maior teor, com o tratamento 50P não diferindo de todos os tratamentos, 100P e ACP apresentaram os menores teores de NBM (Figura 10c). Em Camaquã, o tratamento 50P apresentou o maior teor de NBM do solo em relação aos tratamentos 0P e 100P, e o tratamento ACP não diferiu dos demais (Figura 10d).

Figura 10 – Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na sementeira da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na sementeira da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

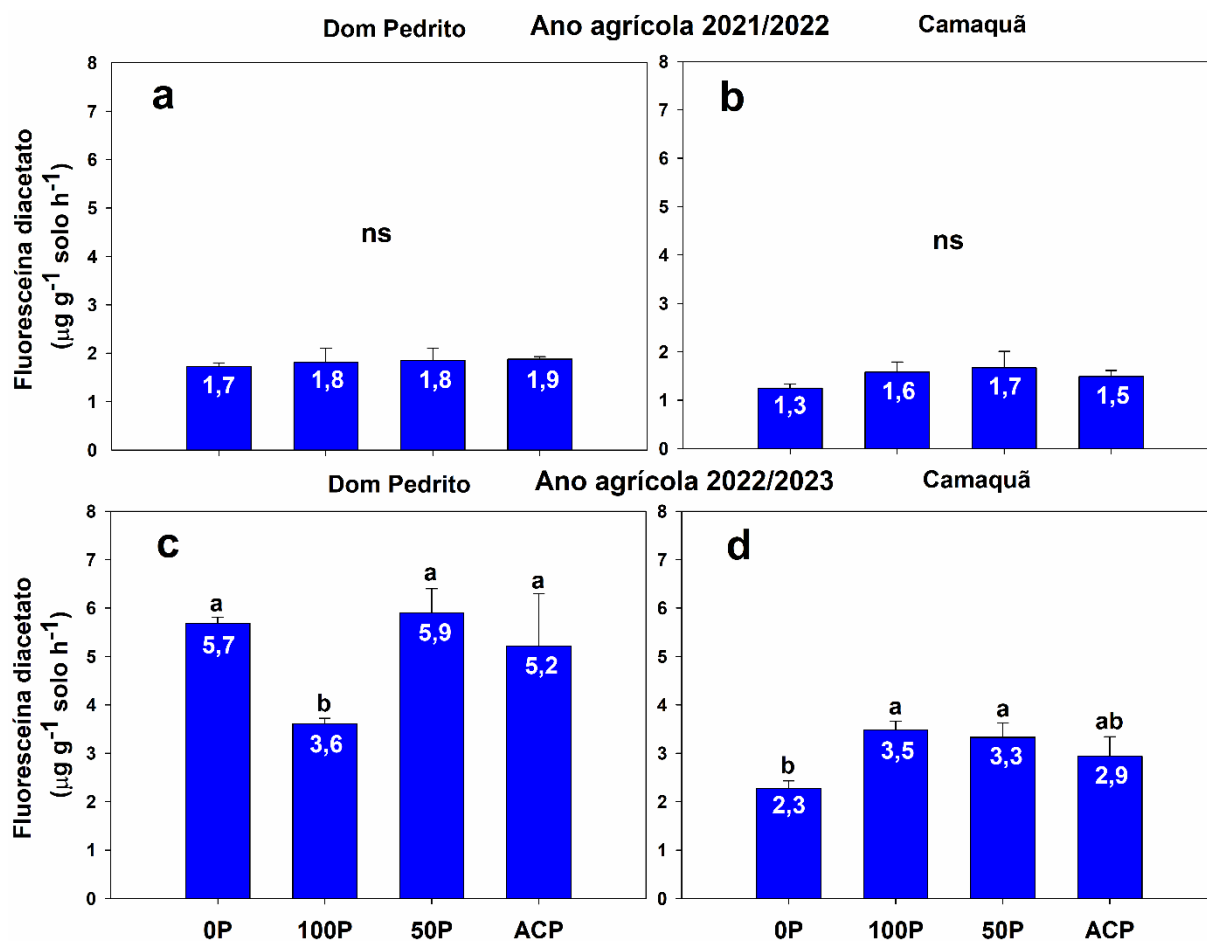
5.3.7 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo

No ano agrícola 2021/2022 a atividade da FDA do solo não foi influenciada pelo manejo da adubação fosfatada na aveia preta e no azevém nas cidades de Dom Pedrito e Camaquã (Figura 11a e b).

Já no segundo ano agrícola, o comportamento da atividade da FDA do solo foi diferente nos dois locais com diferença entre os tratamentos. Em Dom Pedrito os tratamentos 0P, 50P e ACP tiveram maior atividade da FDA, enquanto o tratamento 100P teve a menor (Figura 11c). Em Camaquã o comportamento foi um pouco diferente, com o tratamento 0P ficando com a menor atividade da FDA, enquanto os tratamentos 100P, 50P e ACP apresentaram a maior atividade da FDA sem diferirem entre si (Figura 11d).

Figura 11 – Atividade da fluoresceína diacetato (FDA) em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP:

adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

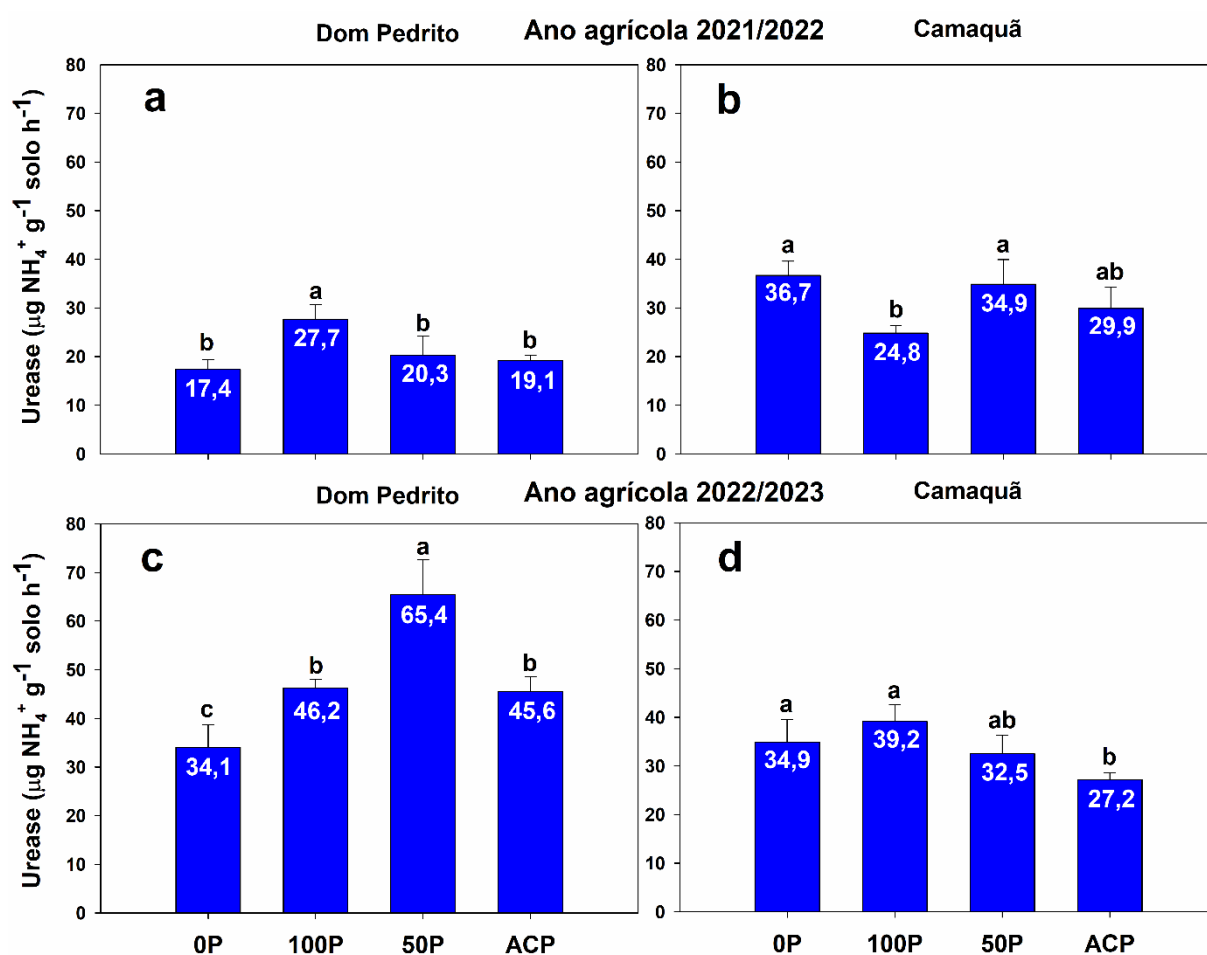
5.3.8 Atividade da urease do solo

Em 2021/2022, na cidade de Dom Pedrito, o tratamento com aplicação total da adubação fosfatada na aveia preta (100P) apresentou maior atividade da urease em relação aos demais tratamentos (0P, 50P e ACP) que não diferiram entre si (Figura 12a). Já na cidade de Camaquã os tratamentos 0P e 50P que obtiveram maior atividade da FDA com o tratamento 100P tendo a menor atividade da urease, o tratamento ACP não diferiu dos demais (Figura 12b).

No segundo ano agrícola, na cidade de Dom Pedrito o tratamento 50P teve a maior atividade da urease, seguido dos tratamentos 100P e ACP que apresentaram atividade da urease intermediárias com o tratamento 0P tendo a menor atividade da urease (Figura 12c). Em Camaquã a atividade da urease foi maior nos tratamentos

0P e 100P em relação ao tratamento ACP com o tratamento 50P não diferindo dos demais (Figura 12d).

Figura 12 – Atividade da urease em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



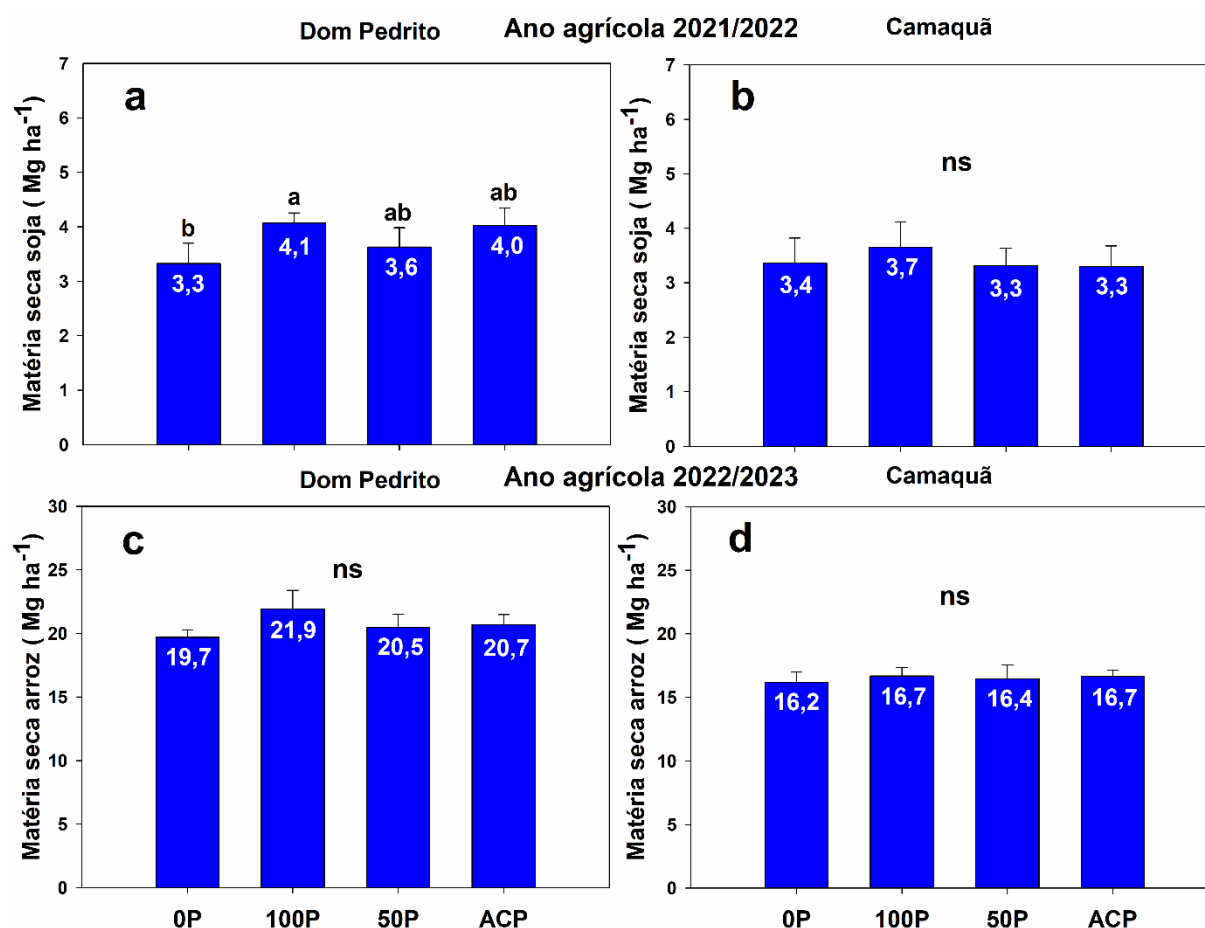
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.9 Matéria seca da soja e do arroz irrigado

O manejo da adubação fosfatada influenciou na produção da MS de soja em Dom Pedrito no ano agrícola 2021/2022. O tratamento 100P produziu a maior quantidade de MS da parte aérea de soja em relação ao tratamento 0P, porém os tratamentos 50P e ACP não diferiram dos demais tratamentos (Figura 13a). A produção de matéria seca de soja não sofreu influência do manejo da adubação

fosfatada em Camaquã (Figura 13b). Em 2022/2023 a produção de matéria seca do arroz irrigado não foi influenciada pela antecipação da adubação fosfatada nas cidades de Dom Pedrito e Camaquã (Figura 13c e 13d).

Figura 13 – Matéria seca de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c), e em Camaquã (b) e (d) sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). ns – não significativo. 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. Matéria seca do arroz Camaquã 2022/2023 foi coletada em R₂. ns não significativo. Tukey (p<0,05)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.10 Teor de nutrientes na matéria seca das culturas de grãos

No ano agrícola 2021/2022, os tratamentos 0P e ACP apresentaram o maior teor de N total em Dom Pedrito, porém em Camaquã os tratamentos 100P e 50P foram os que apresentaram o maior teor (Tabela 4). Não houve diferença no teor de K em Dom Pedrito, e em Camaquã o tratamento 100P teve o maior teor de K em

relação ao tratamento 50P, com os tratamentos 0P e ACP não diferindo dos anteriores (Tabela 4). O P em Dom Pedrito foi maior no tratamento 100P em relação ao 0P, com os tratamentos 50P e ACP não diferindo dos anteriores, em Camaquã não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4). O teor de Ca foi maior nos tratamentos 100P e ACP comparado com o tratamento 0P, com o tratamento 50P não diferindo dos anteriores em Dom Pedrito, e em Camaquã não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4). O teor de Mg não diferiu entre os tratamentos nos dois locais de estudo (Tabela 4).

No ano agrícola 2022/2023, em Dom Pedrito, o teor de N total foi maior no tratamento 100P em relação ao tratamento 0P, com os tratamentos 50P e ACP não diferindo dos anteriores, em Camaquã os tratamentos 100P e ACP apresentaram os maiores teores, com 50P e 0P apresentando teor intermediário e menor respectivamente (Tabela 4). O teor de K foi maior no tratamento 100P com 50P e ACP apresentando teor intermediários e com 0P apresentando menor teor em Dom Pedrito, em Camaquã, o tratamento 0P apresentou o maior teor de K com o tratamento ACP com teor intermediário e com 0P com menor teor, o tratamento 100P não diferiu dos últimos tratamentos (Tabela 4). O teor de P não diferiu entre os tratamentos em Dom Pedrito e Camaquã (Tabela 4). O teor de Ca em Dom Pedrito foi maior no tratamento 50P em relação aos tratamentos 0P e 100P, o tratamento ACP não diferiu dos anteriores, em Camaquã os tratamentos 100P e ACP tiveram os maiores teores (Tabela 4). O teor de Mg em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100P e ACP em relação ao tratamento 0P com o tratamento 50P não diferindo dos anteriores, em Camaquã não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação fosfatada 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na sementeira

da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. D.P. Dom Pedrito, Cam. Camaquã

Trat.	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio	
	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.
-----Ano Agrícola 2021/2022-----										
-										
-----Kg ha ⁻¹ -----										
0P	116 a	110 b	76 ns	91 ab	7 b	8 ns	108 b	162 ns	24 ns	18 ns
100 P	92 bc	128 a	81 ns	95 a	11 a	10 ns	132 a	171 ns	25 ns	20 ns
50P	75 c	126 a	78 ns	82 b	8 ab	11 ns	119 ab	159 ns	24 ns	17 ns
ACP	100 ab	116 b	79 ns	86 ab	10 ab	10 ns	133 a	162 ns	28 ns	16 ns
-----Ano Agrícola 2022/2023-----										
0P	155 b	254 c	297 c	432 a	63 ns	71 ns	123 b	115 b	54 b	72 ns
100 P	176 a	301 a	356 a	415 bc	71 ns	74 ns	118 b	135 a	64 a	69 ns
50P	167 ab	278 b	333 b	411 c	63 ns	70 ns	134 a	121 b	60 ab	72 ns
ACP	160 ab	296 a	323 b	419 b	72 ns	71 ns	125 ab	135 a	64 a	71 ns

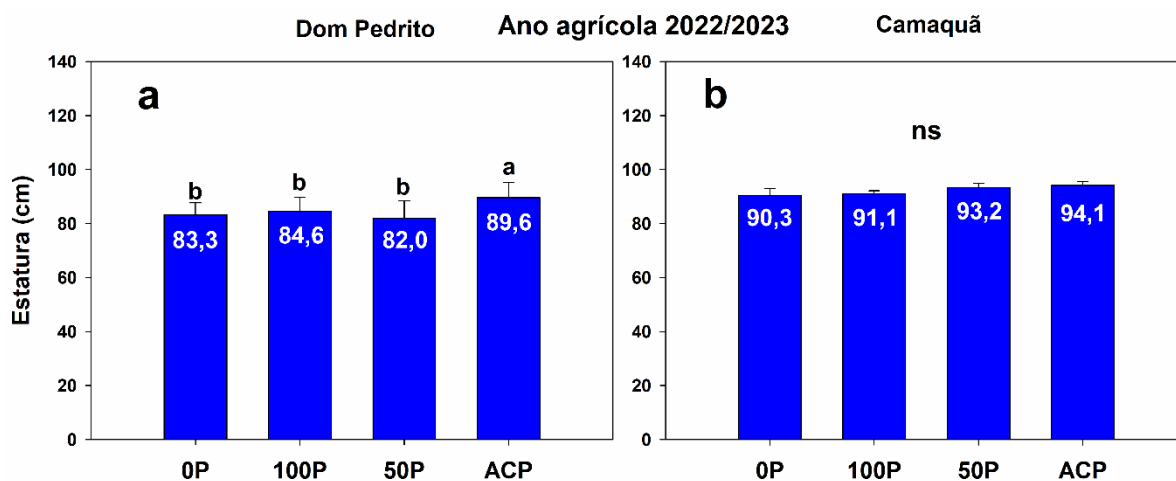
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05). ns (não significativo).

Fonte: Autor.

5.3.11 Estatura de plantas no arroz irrigado

A estatura de plantas de arroz irrigado foi influenciada pelo manejo da adubação fosfatada na cidade de Dom Pedrito, com o tratamento ACP apresentando a maior estatura em relação aos demais tratamentos (Figura 14a). Já em Camaquã não houve diferença na estatura de plantas de arroz (Figura 14b).

Figura 14 – Estatura de plantas de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)

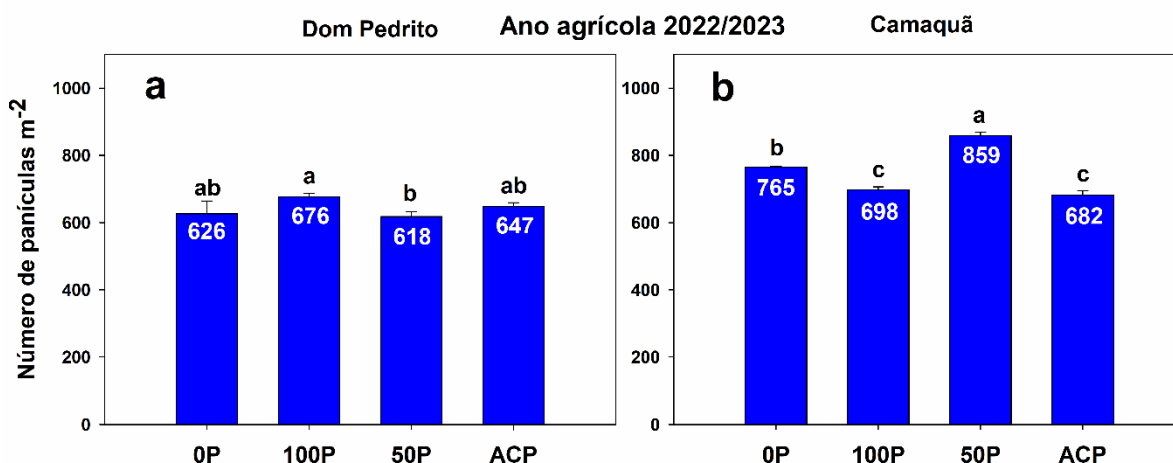


Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.12 Número de panículas no arroz irrigado

O número de panículas m^{-2} foi influenciado pela antecipação da adubação fosfatada nos dois locais. Em Dom Pedrito (Figura 15a), o tratamento 100P apresentou a maior quantidade de panículas m^{-2} em relação ao tratamento 50P com os tratamentos 0P e ACP não diferindo dos anteriores. Em Camaquã o tratamento 50P apresentou o maior número de panículas por m^{-2} com o tratamento 0P apresentando número de panículas intermediário, com os tratamentos 100P e ACP apresentando menor número e não diferindo entre si (Figura 15b).

Figura 15 – Número de panículas por metro quadrado de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



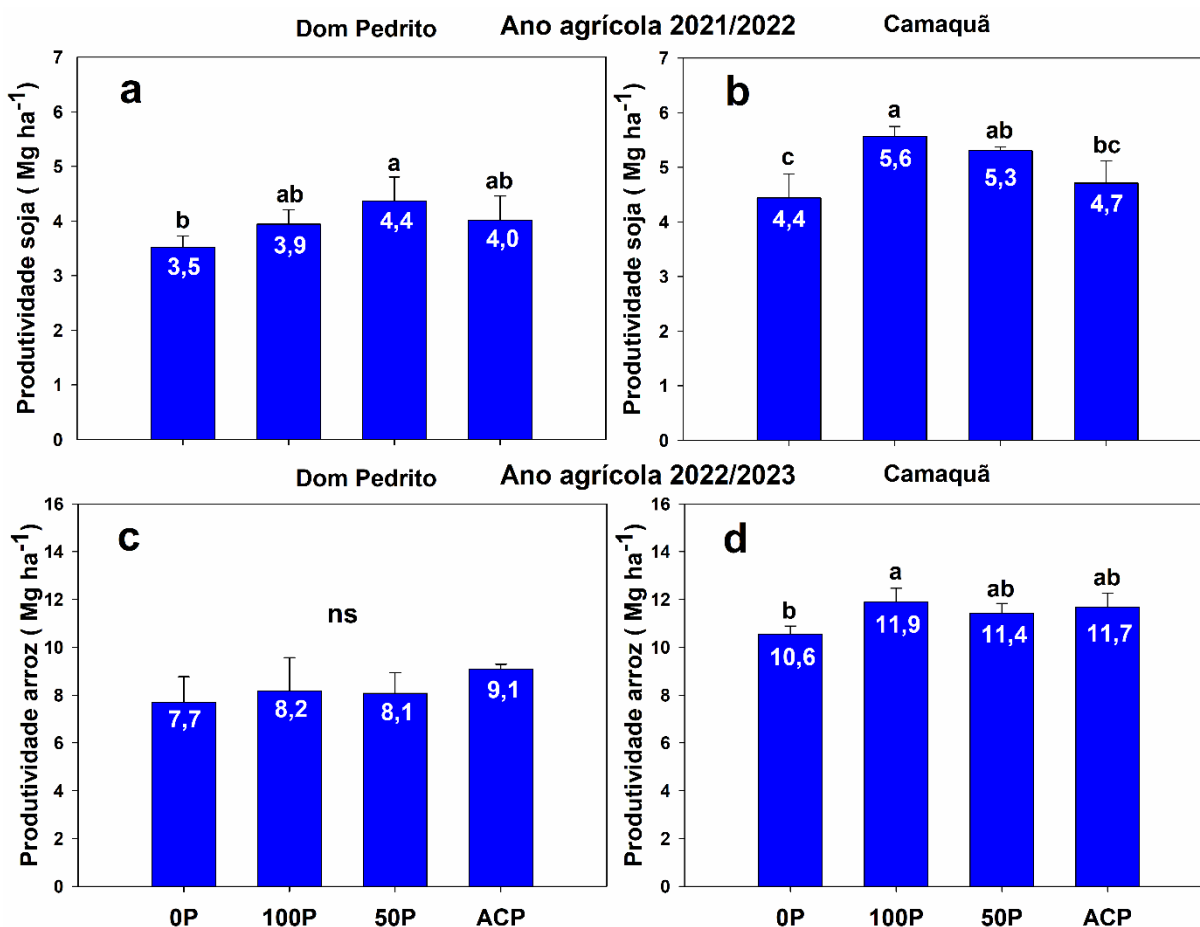
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.13 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos de soja foi influenciada pelo manejo da adubação fosfatada na safra 2021/2022 (Figura 16a e 16b). Em Dom Pedrito a produtividade de soja foi distinta entre os tratamentos, sendo que apenas o tratamento com adubação parcial (50P) apresentou maior produtividade em relação ao tratamento 0P, não diferindo dos demais tratamentos com adição de P (Figura 16a). Já em Camaquã o tratamento 100P apresentou a maior produtividade de soja em relação aos tratamentos 0P e ACP que não diferiram entre si, sem diferir do tratamento 50P (Figura 16b). O tratamento 50P não diferiu, do tratamento ACP (Figura 16b).

Os tratamentos com manejo da adubação fosfatada no segundo ano agrícola, não apresentaram diferença para produtividade de grãos de arroz irrigado na cidade de Dom Pedrito (Figura 16c). Em Camaquã, os tratamentos que receberam adubação fosfatada não diferiram entre si, mas somente o tratamento 100P foi superior à testemunha sem aplicação de fosfato (0P) (Figura 16d).

Figura 16 – Produtividade de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo, sob diferentes manejos de adubação fosfatada em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.14 Nutrientes nos grãos de soja e arroz irrigado

No ano agrícola 2021/2022, o teor de N total foi maior nos tratamentos 50P e ACP, com 100P apresentando teor intermediário e 0P o menor teor em Dom Pedrito, em Camaquã, os tratamentos 100P e 50P tiveram os maiores teores de N total com ACP e 0P com os menores teores respectivamente (Tabela 5). O teor de K em Dom Pedrito foi maior no tratamento 50P em relação ao tratamento 0P, com os tratamentos 100P e ACP não diferindo dos anteriores, em Camaquã os tratamentos 100P e 50P tiveram os maiores teores de K com os tratamentos 0P e ACP com menores teores de K (Tabela 5). Os teores de P não diferiram entre si em Dom

Pedrito, porém em Camaquã, os tratamentos 100P e 50P tiveram os maiores teores em relação ao tratamento 0P, com ACP sem diferir dos tratamentos anteriores (Tabela 5). O teor de Ca não diferiu entre os tratamentos em Dom Pedrito, em Camaquã os tratamentos 0P, 100P e 50P tiveram os maiores teores, com ACP tendo o menor teor (Tabela 5). O teor de Mg foi maior em Dom Pedrito no tratamento 50P em relação ao ACP, com os tratamentos 0P e 100P não diferindo dos anteriores, em Camaquã, o tratamento 100P teve o maior teor de Mg em relação ao 0P, com os tratamentos 50P e ACP não diferindo dos anteriores (Tabela 5).

No ano agrícola 2022/2023, em Dom Pedrito, o teor de N total foi maior no tratamento ACP e 50P, porém o tratamento 50P não diferiu do tratamento 100P que teve teor intermediário, o 0P teve o menor teor sem diferir do 100P (Tabela 5). Em Camaquã os tratamentos 100P e 50P tiveram os maiores teores em relação aos tratamentos 0P e ACP (Tabela 5). Os teores de K e P tiveram o mesmo comportamento em Dom Pedrito não apresentando diferença entre os tratamentos, porém, em Camaquã os tratamentos 100P tiveram os maiores teores em relação aos tratamentos 0P, com os tratamentos 50P e ACP não diferindo dos anteriores (Tabela 5). O teor de Ca não diferiu em Dom Pedrito, e em Camaquã o tratamento 100P apresentou o maior teor em relação ao tratamento ACP, com os tratamentos 0P e 50P não diferindo entre os anteriores (Tabela 5). Os teores de Mg não diferiram entre si em Dom Pedrito e Camaquã (Tabela 5).

Tabela 5 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) nos grãos de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação fosfatada, 0P: sem adubação fosfatada, 100P: aplicação integral (100%) do fósforo na cultura de cobertura, 50P: aplicação de 50% do fósforo na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACP: adubação convencional com aplicação integral (100%) do fósforo na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.)

Trat.	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio	
	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.
-----Ano Agrícola 2021/2022-----										
-										
-----Kg ha ⁻¹ -----										
0P	201 c	272 c	82 b	106 b	19 ns	24 b	23 ns	20 a	15 ab	20 b
100 P	217 b	346 a	91 ab	132 a	23 ns	33 a	27 ns	23 a	17 ab	24 a
50P	226 a	341 a	102 a	128 a	26 ns	32 a	27 ns	19 a	18 a	22 ab
ACP	234 a	314 b	93 ab	109 b	26 ns	28 ab	26 ns	14 b	14 b	21 ab
-----Ano Agrícola 2022/2023-----										
0P	89 c	125 b	21 ns	33 b	31 ns	38 b	26 ns	9 ab	20 ns	28 ns
100 P	98 bc	157 a	21 ns	39 a	30 ns	45 a	19 ns	12 a	19 ns	31 ns
50P	106 ab	145 a	22 ns	37 ab	33 ns	44 ab	19 ns	9 ab	22 ns	30 ns
ACP	113 a	128 b	23 ns	38 ab	36 ns	44 ab	21 ns	8 b	22 ns	26 ns

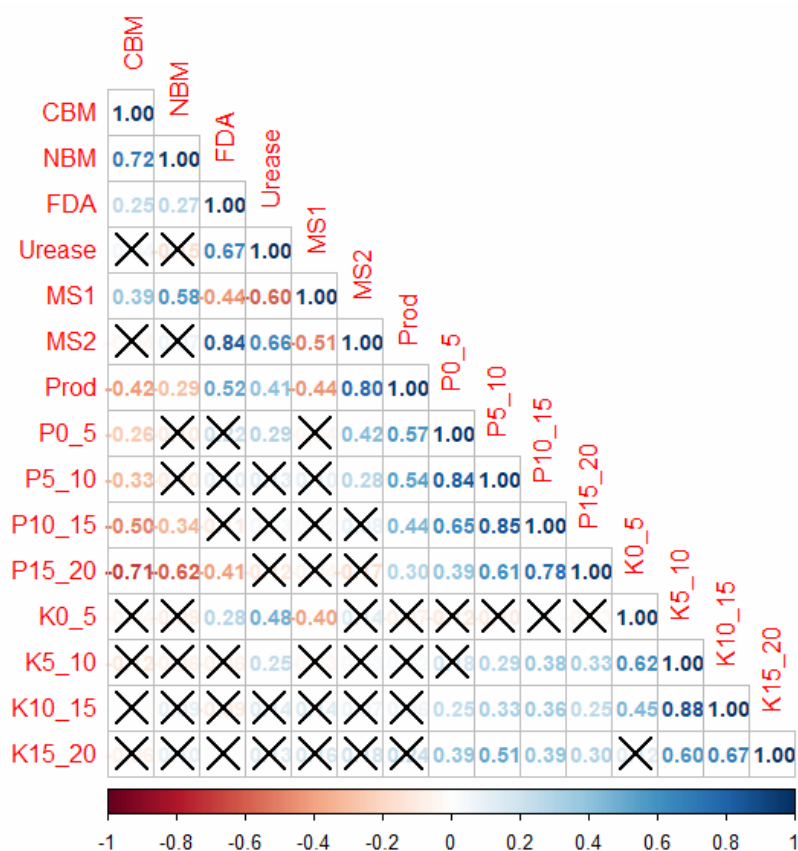
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05). ns (não significativo).

Fonte: Autor.

5.3.15 Correlação de Pearson

Na correlação de Pearson se observou associação positiva entre as atividades da FDA e urease com o rendimento de grãos das culturas agrícolas (Figura 17). A matéria seca das culturas de verão, arroz e soja, também apresentaram associação positiva com a produtividade de grãos. Por fim os teores de fósforo no solo, nas quatro camadas avaliadas (0-20 cm), também tiveram associação positiva com o rendimento de grãos das culturas.

Figura 17 – Correlação de pearson entre os atributos de solo e planta em experimento de manejo da adubação fosfatada em rotação de azevém, aveia preta e soja no ano 2021/2022 e de trevo-persa e arroz no ano 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos

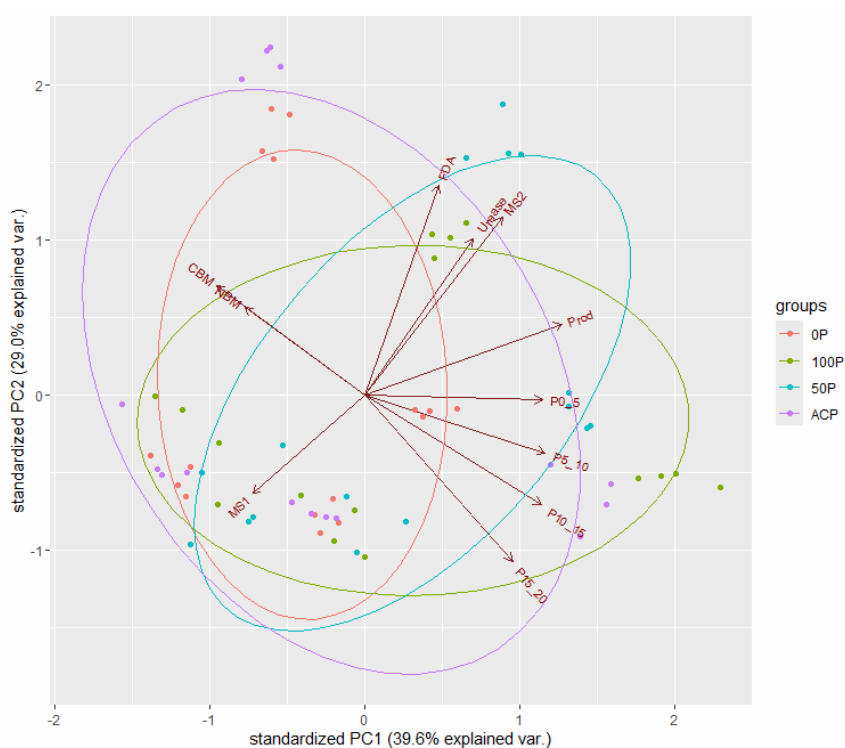


Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.3.16 Análise de componentes principais

A produção de MS no período de inverno teve relação positiva com a produção de MS pela cultura da soja. Na análise de componentes principais (PCA), observou-se que os vetores relativos às variáveis produtividade de grãos e matéria seca de culturas de inverno tiveram um direcionamento para os tratamentos onde foi feita a adubação integral ou parcial de P no período de outono/inverno (Figura 18).

Figura 18 – Análise de componentes principais entre os atributos de solo e planta em experimento sob diferentes manejos da adubação fosfatada em rotação de aveia preta, azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz em 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluoresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos.



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

5.4 Discussão

5.4.1 Resposta das culturas de inverno e teor de fósforo e potássio no solo

A adubação fosfatada de sistemas é uma filosofia distinta de adubação que passasse a posicionar os nutrientes via fertilizantes nas culturas do sistema e não mais na cultura isolada (Carlos *et al.*, 2023). Alguns fatores de solo influenciam bastante a dinâmica do P no sistema solo-planta, principalmente em relação a adsorção específica desse elemento no solo, plantas de cobertura que podem ciclar,

reações de oxirredução que, na condição de produção em terras baixas, pode também influenciar na disponibilidade de P para as culturas agrícolas.

Nos dois locais de estudo observaram-se os teores médio de P no solo superiores ao valor médio determinado para os solos de terras baixas do RS (Boeni *et al.*, 2010). Nessa condição pode favorecer o posicionamento do P antecipadamente em forrageiras no período hibernal. Os solos de terras baixas onde predominam Planossolos possuem baixa capacidade de adsorção máxima de P variando de 100 a 200 mg kg solo⁻¹ (Gonçalves *et al.*, 2011) comparado, por exemplo, a Latossolos que tem uma capacidade máxima de adsorção muito superior 800 a 1.200 mg kg⁻¹ de P (Oliveira *et al.*, 2014). Então pode ser uma vantagem dos Planossolos de aplicar o fertilizante fosfatado no inverno e não ter uma fixação de P tão forte comparado com os solos com maior teor de óxidos de ferro. Essa condição pode favorecer a nutrição de P das culturas de grãos sob antecipação da adubação fosfatada.

A produção de MS das culturas de coberturas foi influenciada pela antecipação integral da adubação fosfatada, pois nos 2 anos agrícolas, o tratamento 100P apresentou ou esteve entre maiores produções de MS (Figura 6) nos 2 locais de estudo. Esse fato está relacionado à maior disponibilidade inicial deste nutriente no solo, como pode-se verificar na (Figura 7) onde o tratamento 100P apresentou maior teor de P na camada de 0-5cm nos 2 locais onde foram instalados os experimentos nos dois anos de cultivo. Na camada superficial de 0-10cm, geralmente há maior disponibilidade de MO e nutrientes, e é observado a maior concentração de raízes de gramíneas, facilitando a absorção e o crescimento das plantas (Souto *et al.*, 1992). Essa maior absorção de nutriente na camada superficial pode ser percebida na (Figura 8a e 8b), onde os teores de K no solo na camada de 0-5cm estavam maiores nos tratamentos que tiveram a menor produção de aveia preta e azevém, pois o K só foi fornecido nessas parcelas no momento da semeadura das culturas de verão.

Em relação ao trevo-persa (Figura 6c e d), a maior produção de MS também pode estar relacionada a maior disponibilidade deste nutriente na camada mais superficial do solo, pois o P é um elemento que estimula o crescimento de raízes o que favorece a busca de nutrientes em maiores profundidades. Em um experimento realizado em um Planossolo, Krolow *et al.* (2004) concluíram que a adição de P no

solo têm influência na biomassa da parte aérea, no sistema radicular e na nodulação do trevo-persa.

Além da ciclagem pela cultura hiberna há uma baixa mobilidade do P pelas interações mais fortes no solo, o que reduz a perda potencial de P no perfil do solo (Cardoso *et al.*, 2022). Outra questão pertinente é que o Planossolo, solo usado no presente estudo, possui baixos teores de óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al). Com a menor quantidade desses compostos há uma menor capacidade máxima de adsorção de P. Essa condição pode favorecer a aplicação antecipada do P nas culturas de cobertura (aveia preta, azevém e trevo-persa) e por ter uma menor fixação nos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, possibilitar a disponibilização posterior de P para a cultura da soja e do arroz irrigado (Ribeiro *et al.*, 2021).

A antecipação da adubação fosfatada elevou a produção de matéria seca das culturas de coberturas, conseqüentemente influenciou positivamente no acúmulo de nutrientes na parte aérea (N total, K, P, Ca e Mg), pois em praticamente todos esses tratamentos, tiveram maior quantidade desses nutrientes expressos em kg ha⁻¹ (Tabela 3).

5.4.2 Atividades microbiana e enzimática do solo

A antecipação da adubação fosfatada influenciou os teores e a atividade da biomassa microbiana no solo (Figura 9 e 10). Este fato pode estar relacionado à antecipação do aporte de P nesses tratamentos, pois a falta deste nutriente limita o crescimento da biomassa microbiana (Liu & Song, 2008; Geisseler *et al.*, 2017) possivelmente pelo baixo teor deste nutriente nestes solos, sendo que os microrganismos e as plantas competem pelos mesmos nutrientes ao mesmo tempo. Após o aporte de P pela antecipação da adubação fosfatada, há uma elevação do nível deste nutriente no solo, diminuindo esta concorrência. Alguns estudos apontam que os fertilizantes minerais têm impactado tanto na atividade quanto na composição da comunidade microbiana do solo (Ding *et al.*, 2016; Pan *et al.*, 2014).

O teor de NBM do solo apresentou comportamento um pouco diferente, apresentando diferença somente no segundo ano de cultivo (Figura 10), possivelmente pelo fato do curto período da adoção deste sistema, pois a biomassa microbiana do solo está fortemente relacionada com C orgânico em áreas agrícolas (Fierer *et al.*, 2009; Kallenbach e Grandy, 2011). Portanto, para aumentar o teor de

NBM no solo, seria necessário aumentar o teor de C orgânico do solo. Para que isso aconteça é necessário manter a antecipação da adubação fosfatada por um período maior de tempo, pois como vimos na (Figura 9) os tratamentos com a antecipação da adubação fosfatada tiveram maior produção de MS, e com um período maior de tempo, essa maior produção irá disponibilizar mais C orgânico para a biomassa microbiana. Em estudo realizado com a utilização de leguminosas de inverno, Burns et al. (2013) constataram que o aumento da oferta de C por essas coberturas aumenta os níveis de NBM do solo. Possivelmente a utilização do trevo-persa combinada com o adiantamento da adubação fosfatada no segundo ano de cultivo propiciou um ambiente com maior disponibilidade de nutrientes e quantidade de exsudatos para a biomassa microbiana.

Em relação a atividade enzimática do solo, a antecipação da adubação fosfatada influenciou positivamente aumentando os teores de FDA e urease na maioria dos tratamentos no segundo ano de cultivo em comparação ao primeiro (Figura 11 e 12). Esse fato pode estar relacionado ao sistema radicular fasciculado das gramíneas hibernais (aveia preta e azevém) utilizadas no primeiro ano de estudo, que possuem maior área de contato com o solo (Souza *et al.*, 2008), sendo que a atividade predominante das enzimas no solo ocorre dentro de macroagregados, na rizosfera e em matéria vegetal em processo de decomposição (Burns *et al.*, 2013). O cultivo da soja também é importante para o aumento da atividade enzimática, segundo Carlos et al. (2022) houve aumento de 51% da atividade enzimática apenas pela incorporação da cultura da soja em área tradicionalmente cultivada com arroz irrigado. Outro fator que deve ser levado em consideração é o não revolvimento do solo, pois durante a condução do experimento o segundo ano de cultivo foi realizado sem o preparo do solo. Burns et al. (2013) verificaram que houve maior atividade da FDA e urease em sistemas de produção de longo prazo com pastagem e com gramíneas sem revolvimento de solo em relação a áreas conduzidas com culturas anuais em rotação.

5.4.3 Resposta das culturas da soja e do arroz

Em relação à produção de MS das culturas de grãos (Figura 13) e nutrientes presentes na MS das culturas de grãos (Tabela 4), a antecipação da adubação

fosfatada não reduziu a produção de MS, como também não reduziu a quantidade de nutrientes presente em 70% das análises.

A antecipação da aplicação do P integral ou parcial na cultura da aveia preta, azevém ou trevo-persa não implicou em redução da produtividade de grãos de soja e arroz irrigado (Figura 16). Por outro lado, pode ser uma importante estratégia para aumentar a produtividade das culturas hibernais que foram utilizadas, conforme verificado nesse trabalho.

A produtividade da soja (Figura 16a e 16b) e os teores de nutrientes presentes nos grãos (Tabela 5) não foram reduzidos pelo manejo da adubação fosfatada e apresentaram a mesma tendência da produção da MS do azevém e da aveia preta em todos os tratamentos (Figura 6a e 6b). Possivelmente pelo fato do P ser um elemento de menor mobilidade no solo e menos propenso a perdas, esse pode ser aplicado no outono, ser absorvido pela cobertura hiberna e disponibilizado (ciclagem de nutrientes) para a cultura da soja. Em geral, os solos de terras baixas do Sul do Brasil possuem baixos teores de P quando a interpretação é feita para culturas de sequeiro como a soja. Alguns trabalhos de pesquisa realizados em terras altas relatam que um dos requisitos da adubação de sistemas é que os teores de P devem ser superiores em relação ao teor crítico de P do solo para que as culturas, principalmente de grãos não sejam penalizadas em relação à produtividade de grãos. Em trabalho realizado no Cerrado segundo (Eberhardt *et al.*, 2017) o residual disponível do P aplicado antecipadamente em uma pastagem de gramínea é mais eficiente do que o fertilizante de P aplicado na semeadura da soja, sugerindo que a fertilização precoce na pastagem pode ser uma estratégia eficaz para a fertilização da soja.

No ano agrícola de 2022/2023, a antecipação da adubação fosfatada não diminuiu a produtividade de arroz irrigado e dos teores de nutrientes presentes nos grãos (Tabela 5), pois em Dom Pedrito não houve diferença entre os tratamentos (Figura 16C), e em Camaquã apenas o tratamento 100P diferiu do 0P sem diferir dos outros tratamentos com adição de P (50P e ACP) (Figura 16d). Este resultado pode estar relacionado ao alagamento do solo, pois nesta condição, ocorre o desprendimento dos fosfatos que estavam adsorvidos às partículas do solo, resultando em uma maior disponibilidade de P na solução do solo (Sousa *et al.*, 2010).

Este resultado é de extrema importância, pois o produtor pode realizar este manejo podendo escalonar atividades mecanizadas para aplicar este nutriente no momento da semeadura das culturas de inverno, deixando a época preferencial de semeadura de cada cultura de grão destinada somente para este fim. Além disso, nestes sistemas de produção, o maior desenvolvimento das culturas por ocasião da aplicação antecipada do fósforo pode potencializar o desenvolvimento das culturas de inverno, e ter maior quantidade e qualidade das forrageiras de inverno.

5.5 Conclusões

A antecipação da adubação fosfatada promove aumento da produção de matéria seca das coberturas hibernais e da atividade enzimática do solo.

A antecipação da adubação fosfatada aumenta a produtividade da soja cultivada após a aveia preta e azevém.

A produtividade do arroz irrigado não é influenciada pela antecipação da adubação fosfatada em terras baixas com teores corrigidos de fósforo no solo.

6 CAPÍTULO 2: MANEJO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA ROTAÇÃO DE AVEIA PRETA E AZEVÉM/SOJA E TREVO-PERSA/ARROZ IRRIGADO

6.1 Introdução

No RS, há uma expansão das áreas de cultivo, especialmente na região Sul do Estado (Sousa, 2021). Os solos presentes nas terras baixas, possuem características peculiares, podendo-se citar o alto teor de areia, camadas subsuperficiais compactadas e drenagem deficitária, alinhados a valores de pH e de MO baixos, apresentando também deficiências nos teores de P e K (Carmona *et al.*, 2018). Nas áreas de terras baixas, tais características acabaram por influenciar o predomínio por décadas do monocultivo de arroz irrigado associado a pousio no período hibernar (SOSBAI, 2022). O emprego dessa técnica não conservacionista, implica em manejos que afetam negativamente os ciclos bioquímicos do solo, ao passo que ocasionam perdas ao sistema (Linh *et al.*, 2015; Tran Ba *et al.*, 2016). Uma opção para diversificar os sistemas e proporcionar melhorias aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, além de quebrar o ciclo de pragas e ervas daninhas, é investir na sucessão anual entre gramíneas e leguminosas (Garcia *et al.*, 2020; Goulart *et al.*, 2020; Denardin *et al.*, 2020).

Uma das principais commodities do mercado econômico global, a produção de soja, atingiu patamares nunca antes alçados, impulsionado pela produção do continente americano (USDA, 2024). Na última década, o Brasil se consolidou como um dos maiores produtores da leguminosa, tendo registrado no ano agrícola 2023/24, 78 milhões de ha semeados, o que representa um aumento de quase 3% em relação à área cultivada no ciclo anterior (CONAB, 2023).

Apesar da diversificação de culturas em terras baixas trazer diversos benefícios de ordem técnica, econômica e ambiental, o emprego de culturas de sequeiros nessas áreas, possui inúmeros desafios e demandas técnicas de manejos assertivas para mitigá-las (Scivittaro *et al.*, 2021). O principal limitante fica por conta da drenagem dos campos (Winkler *et al.*, 2018), porém, nos últimos anos devido ao bom preço pago pela saca de soja, e pelo aumento dessa cultura nos solos de terras baixas, houveram melhorias no sistema de irrigação e drenagem. A partir destas melhorias, foi possível diversificar o cultivo de plantas de cobertura no período de outono/inverno, como uma alternativa conjunta ao modelo de sucessão gramínea/leguminosa, introduzindo culturas hibernais logo após a colheita do arroz, soja ou pastagens de verão (VERNETTI JUNIOR *et al.*, 2009 a). O emprego de culturas de cobertura de solo é uma prática conservacionista que contribui significativamente para a melhoria da qualidade do solo (Carlos *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2017), sobretudo em regiões de clima subtropical (Balota *et al.*, 2014). Essa prática oferece diversos benefícios, incluindo a redução nos processos erosivos do solo (Baets *et al.*, 2011) e o aumento da disponibilidade de nutrientes durante o ciclo de desenvolvimento das culturas comerciais (Carlos *et al.*, 2020; O'Connell *et al.*, 2015).

A maior intensificação de uso das áreas viabilizou a adubação potássica de sistemas, que considera o aporte de nutrientes, principalmente do K, das culturas agrícolas inseridas em um sistema de produção, diferentemente da adubação convencional que considera os requerimentos nutricionais de cada cultura isoladamente, sem considerar o efeito residual das fertilizações e as modificações que estas podem causar no sistema de produção, como um todo (Assmann *et al.*, 2017).

A adição de K antes do plantio ou em estágios iniciais de desenvolvimento das plantas de coberturas, pode otimizar a decomposição de matéria orgânica e a liberação de nutrientes, beneficiando a população microbiana do solo. Esse aporte nutricional também influencia na dinâmica do K no solo, sendo que o K é um dos nutrientes mais importantes para os cultivos agrícolas, participando de vários processos metabólicos, sendo regulador osmótico e desempenhando diversas funções na planta (MALAVOLTA *et al.*, 1997), além de ser o elemento mais móvel no sistema solo-planta. Porém a mobilidade do K na solução do solo e sua

disponibilidade são afetadas pela quantidade e fluxo de água, sendo que, a água facilita a difusão do K para as raízes, mas também pode levar à sua lixiviação.

Desse modo, as hipóteses desse estudo são que a antecipação da adubação potássica: i) promove o desenvolvimento das culturas de inverno como o azévem, trevo-persa e aveia-preta, ii) estimula a atividade microbiana do solo e iii) aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento e produtividade de grãos de arroz e soja. Assim, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito da antecipação da adubação potássica envolvendo sucessões de culturas em terras baixas sobre atributos químicos do solo e produtividade de grãos de arroz irrigado e soja.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Local

Idem ao item 5.2.1 deste documento.

6.2.2 Tratamentos

A interpretação da análise química de K no solo foi de teor médio em Dom Pedrito e alto em Camaquã, com a adubação potássica realizada para as culturas mais exigentes, sendo em 2021/2022 para a cultura da soja e em 2022/2023 para a cultura do trevo-persa (Tabela 6).

A mesma concepção dos tratamentos foi utilizada no experimento de antecipação da adubação potássica, sendo: 0K - sem a adição de fertilizantes potássicos; 100K - aplicação integral (100%) do fertilizante potássico nas culturas de inverno; 50K - fertilização parcial, sendo 50% do fertilizante potássico aplicado na cultura de inverno e 50% da demanda sendo aplicado na semeadura cultura de verão; e ACK - fertilização convencional, sendo 100% do nutriente aplicado na semeadura das culturas de grãos (arroz ou soja). A adubação fosfatada foi realizada para todos tratamentos na semeadura nos dois anos conforme (CQFS-RS/SC, 2016), para o arroz irrigado o manejo da adubação nitrogenada foi realizado conforme (SOSBAI, 2018). Foram utilizadas 3 forrageiras hibernais: na entressafra

2021 foram utilizados o azevém em Camaquã e a aveia preta em Dom Pedrito na densidade de 25 e 40 kg de sementes ha⁻¹ respectivamente, com o cultivo de soja no verão (espaçamento de 0,45 m). Na entressafra 2022 foi utilizado o trevo-persa na densidade de 4,5 kg de sementes ha⁻¹ com cultivo de arroz irrigado no verão (espaçamento de 0,17 m). Todas culturas de coberturas foram semeadas a lanço. Os tratamentos específicos de adubação potássica, com doses, proporção de adubação, culturas e ano agrícola são detalhados na (Tabela 6). A interpretação de K foi de teor médio em Dom Pedrito e alto em Camaquã. As doses de K aplicadas em cada local estão descritas na (Tabela 6), e foram aplicadas a lanço e em épocas diferentes conforme cada tratamento. Foi utilizado o cloreto de potássio como fonte de K. As unidades experimentais foram parcelas de 4 m de largura e 8 m de comprimento (Figura 19), totalizando 32 m², em um delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. O manejo das culturas de verão, foram realizados conforme as recomendações técnicas para as culturas da cultura da soja e do arroz irrigado (SOSBAI, 2018). Os fertilizantes utilizados continham na sua composição enxofre e boro que poderiam ser limitantes ao desenvolvimento de culturas agrícolas em solos sedimentares, presentes nas terras baixas do Sul do Brasil (STRECK *et al.*, 2018). Todos fertilizantes foram aplicados a lanço. Foram utilizadas as mesmas parcelas com mesmos tratamentos nos 2 anos de estudo.

Tabela 6 – Tratamentos de adubação potássica em sistema de produção de terras baixas nos municípios de Camaquã e Dom Pedrito e as proporções de aplicação de K₂O nas diferentes culturas nos anos agrícolas 2020/21 e 2021/2022

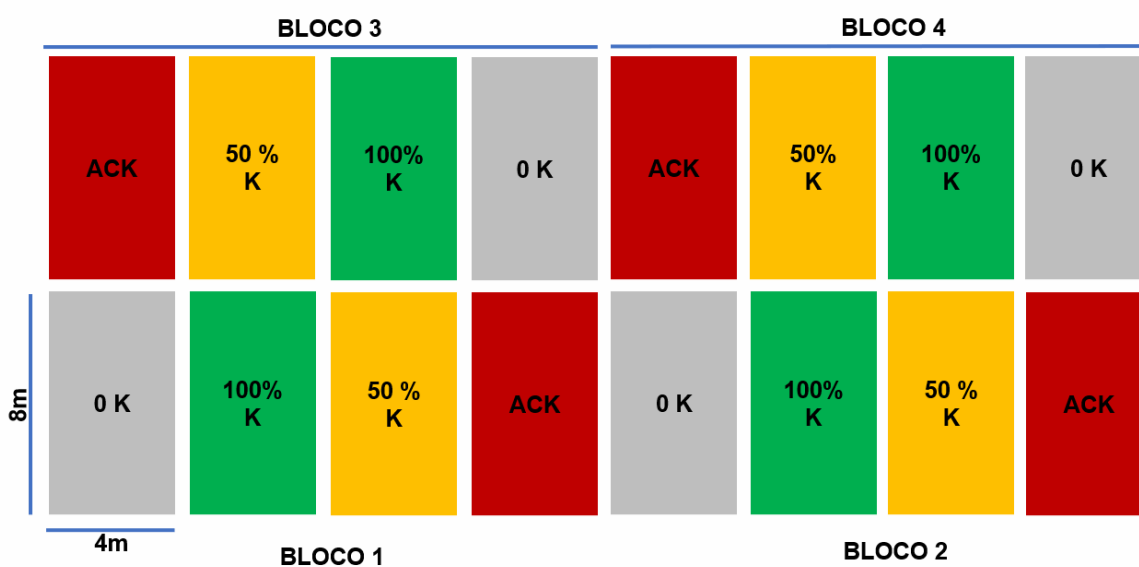
Trat.	-----2021/2022-----				-----2022/2023-----			
	-----kg K ₂ O ha ⁻¹ -----							
	--Camaquã--		-Dom Pedrito-		---Camaquã---		-Dom Pedrito-	
	Azevém	Soja**	Aveia	Soja**	Trevo	Arroz	Trevo	Arroz
0K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100K	100	0,0	130	0,0	65	0,0	85	0,0
50K	50	50	65	65	32,5	32,5	42,5	42,5
ACK	0,0	100	0,0	130	0,0	65	0,0	85

*Recomendações das doses de K₂O e P₂O₅ (CQFS - RS/SC, 2016). ** Soja com expectativa de rendimento de 4 Mg ha⁻¹.

Interpretação de K: médio – Dom Pedrito, alto - Camaquã. Interpretação foi feita para as culturas mais exigentes da rotação, no caso soja e trevo-persa (CQFS/RS-SC, 2016).

Fonte: Autor.

Figura 19 – Croqui do experimento de antecipação da adubação potássica, com quatro blocos e parcelas com 4m x 8m conduzidos nas cidades de Dom Pedrito e Camaquã nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023



Fonte: Autor.

6.2.3 Produção de matéria seca das culturas de cobertura

Ídem ao ítem 5.2.3 deste documento.

6.2.4 Determinação de fósforo no solo

Ídem ao ítem 5.2.4 deste documento.

6.2.5 Determinação de potássio no solo

Ídem ao ítem 5.2.5 deste documento.

6.2.6 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo

Ídem ao ítem 5.2.6 deste documento.

6.2.7 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo

Ídem ao ítem 5.2.7 deste documento.

6.2.8 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo

Ídem ao ítem 5.2.8 deste documento.

6.2.9 Atividade da urease do solo

Ídem ao ítem 5.2.9 deste documento.

6.2.10 Matéria seca em soja e arroz irrigado

Ídem ao ítem 5.2.10 deste documento.

6.2.11 Determinação da estatura em plantas de arroz irrigado

Ídem ao ítem 5.2.11 deste documento

6.2.12 Determinação do número de panículas por metro quadrado no arroz irrigado

Ídem ao ítem 5.2.12 deste documento

6.2.11 Teores de nutrientes em plantas de soja e arroz irrigado

Ídem ao ítem 5.2.11 deste documento.

6.2.12 Produtividade de grãos

Ídem ao ítem 5.2.12 deste documento.

6.2.13 Análise estatística

Ídem ao ítem 5.21 deste documento.

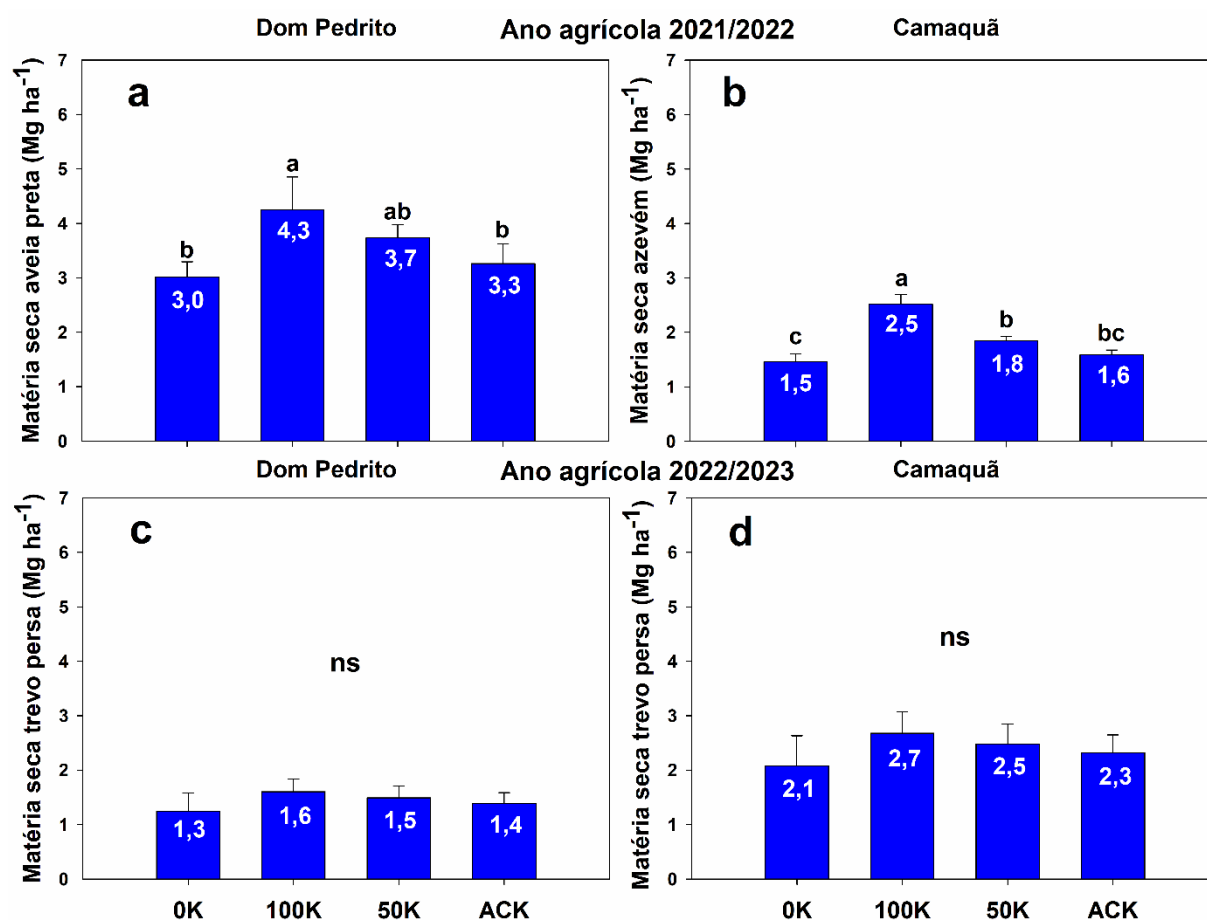
6.3 Resultados

6.3.1 Produção de matéria seca das culturas de cobertura

Observou-se que a produção de MS seca das gramíneas hibernais no ano agrícola 2021/2022 foi influenciada pelo manejo da adubação potássica (Figura 20). Em Dom Pedrito, o tratamento 100K apresentou maior produção de MS de aveia preta em relação aos tratamentos 0K e ACK, porém não diferiu do tratamento 50K que não diferiu dos tratamentos anteriores (Figura 20a). Em Camaquã, o tratamento 100K apresentou a maior produção de MS, com o tratamento 50K apresentando a segunda maior produtividade sem diferir do tratamento ACK, que teve a mesma produtividade do tratamento 0K (Figura 20b).

No ano agrícola 2022/2023, não houve diferença na produção de MS de trevo-persa em Dom Pedrito e Camaquã, em função da antecipação da adubação potássica (Figura 20c e 20d).

Figura 20 – Matéria seca de aveia preta em Dom Pedrito (a), azevém em Camaquã (b) e trevo-persa em Dom Pedrito e Camaquã (c) e (d) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.2 Macronutrientes na matéria seca das culturas de cobertura

Em 2021/2022, o teor de N total em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100K e 50K com os tratamentos 0K e ACK apresentando teores menores, em Camaquã, apenas o tratamento 100K apresentou o maior teor de N total, com os tratamentos 0K, 50K e ACK apresentando os menores teores de N total (Tabela 7). O teor de K em Dom Pedrito foi maior no tratamento 100K com o tratamento 50K apresentando teor intermediário, com os tratamentos 0K e ACK apresentando menores teores de K, em Camaquã, o tratamento 100K teve o maior teor de K, com os tratamentos 0K, 50K e ACK apresentando os menores teores de K (Tabela 7). O teor de P em Dom Pedrito foi maior no tratamento 100K em relação aos tratamentos 0K e ACK, com o tratamento 50K não diferindo dos anteriores, em Camaquã, o tratamento 100K teve o maior teor de P em relação aos tratamentos 0K e ACK, porém não diferiu do tratamento 50K, que teve o mesmo teor de P que o 100K e 0K (Tabela 7). O teor de Ca foi maior nos tratamentos com adição de K (100K, 50K e ACK) com o tratamento 0K apresentando o menor teor em Dom Pedrito, em Camaquã, o tratamento 100K apresentou o maior teor, com os tratamentos 0K, 50K e ACK apresentando os menores teores de Ca (Tabela 7). O teor de Mg foi maior no tratamento 100K, com os tratamentos 0K e ACK apresentando os menores teores de Mg, com o tratamento 50K não diferindo dos anteriores em Dom Pedrito, em Camaquã, o tratamento 100K apresentou o maior teor de Mg, com os tratamentos 0K, 50K e ACK apresentando os menores teores (Tabela 7).

No ano agrícola 2022/2023, o teor de N total em Dom Pedrito foi maior no tratamento 100K, com os tratamentos 50K, ACK e 0K apresentando os menores teores respectivamente, em Camaquã, os tratamentos 100K e 50K apresentaram os maiores teores de N total em relação aos tratamentos 0K e ACK (Tabela 7). O teor de K em Dom Pedrito foi maior no tratamento 100K, com os tratamentos 50K, ACK e 0K apresentando os menores teores respectivamente, em Camaquã, o teor de K foi maior no tratamento 100K com os tratamentos 50K e ACK apresentando teores intermediários, com o tratamento 0K apresentando o menor teor de K (Tabela 7). O teor de P em dom Pedrito foi maior no tratamento 100K, em relação ao tratamento 0K, com os tratamentos 50K e ACK não diferindo dos anteriores, em Camaquã, todos os tratamentos com adição de K (100K, 50K e ACK) apresentaram maior teor de P em relação ao tratamento 0K (Tabela 7). O tratamento 100K apresentou o maior

teor de Ca nas duas cidades, porém em Dom Pedrito os tratamentos 0K e 50K tiveram teores intermediários com o tratamento ACK com o menor teor, e, em Camaquã, teve maior teor que os tratamentos 50K, 0K e ACK respectivamente (Tabela 7). Não houve diferença estatística entre os tratamentos em Dom Pedrito para o teor de Mg, e em Camaquã, o maior teor de Mg foi no tratamento 100K, com o tratamento 50K apresentando teor intermediário, com tratamento 0K com menor teor de Mg, o tratamento ACK não diferiu dos tratamentos 0K e 50K (Tabela 7).

Tabela 7 – Teores de macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca no final do ciclo de aveia preta (Dom Pedrito 2021/22), azevém (Camaquã 2021/22) e trevo-persa (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação potássica 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.)

Trat.	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio	
	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.
-----Ano Agrícola 2021/2022-----										
-----Kg ha ⁻¹ -----										
0K	37 b	24 b	64 c	18 b	8 b	3 bc	20 b	10 b	6 b	5 b
100K	51 a	37 a	94 a	37 a	12 a	5 a	28 a	21 a	9 a	9 a
50K	49 a	29 b	79 b	24 b	11 ab	4 ab	28 a	11 b	8 ab	6 b
ACK	36 b	26 b	61 c	20 b	8 b	3 c	26 a	10 b	6 b	5 b
-----Ano Agrícola 2022/2023-----										
0K	37 d	60 b	31 d	62 c	6 b	10 b	58 b	29 c	6 ns	10 c
100K	52 a	81 a	60 a	97 a	7 a	12 a	69 a	38 a	8 ns	13 a
50K	47 b	77 a	54 b	84 b	7 ab	12 a	59 b	30 b	7 ns	11 b
ACK	42 c	67 b	45 c	77 b	7 ab	12 a	48 c	22 d	6 ns	10 bc

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05). ns (não significativo).

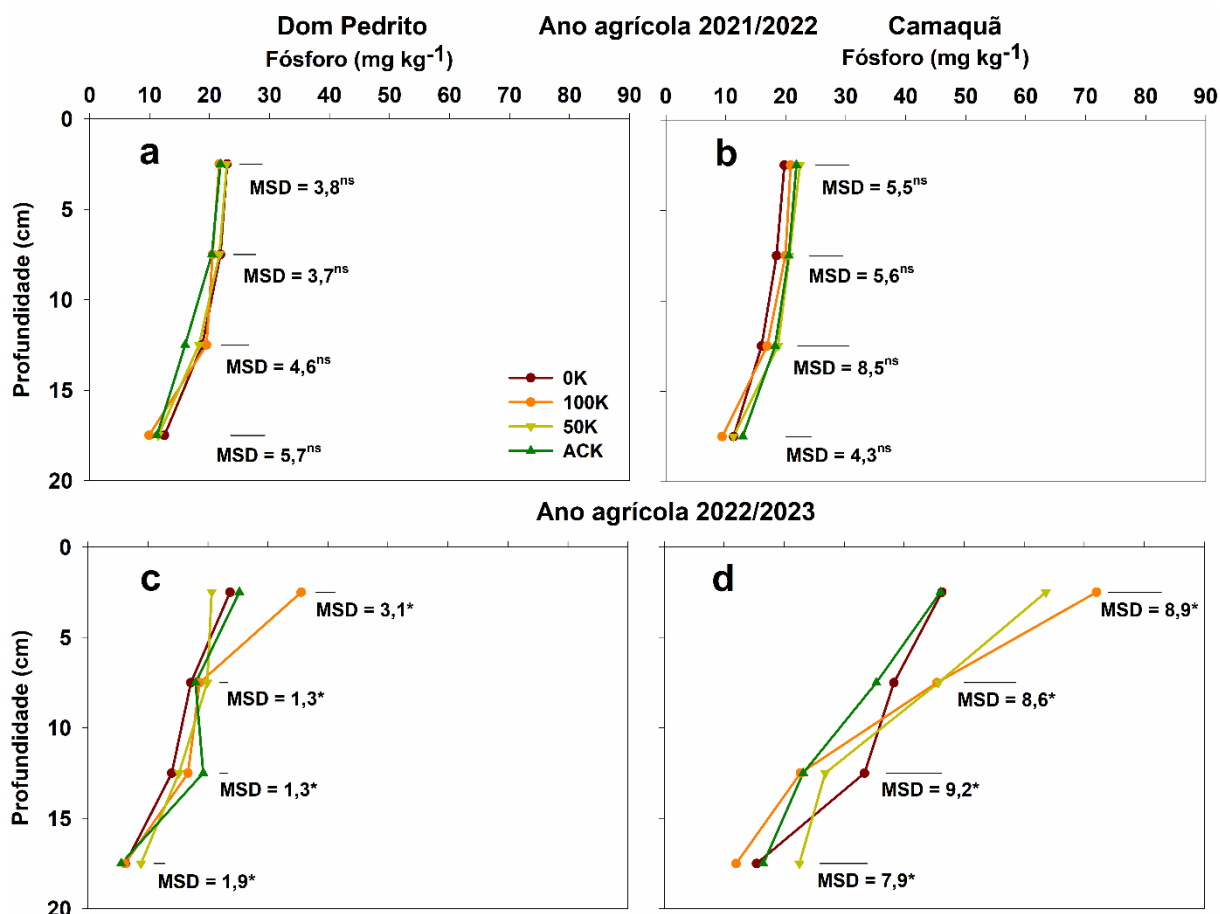
Fonte: Autor.

6.3.3 Determinação de fósforo no solo

Em 2021/2022, o manejo da adubação potássica não influenciou para os teores de P estratificados na camada de 0-20 cm do solo, nos 2 locais de o estudo, com os tratamentos não apresentando diferença nas 4 profundidades de solo analisadas (Figura 21a e 21b).

Em 2022/2023 o comportamento foi diferente, pois apresentou diferença em todas as profundidades nos dois locais do estudo. Em Dom Pedrito, o tratamento 100K apresentou o maior teor de P (35 mg kg^{-1}), seguido dos tratamentos ACK e 0K com $25,2$ e $23,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de P disponível, respectivamente, e com o tratamento 50K apresentando o menor teor ($20,6 \text{ mg kg}^{-1}$) sem diferir do tratamento 0K (Figura 21c). Na camada de 5-10 cm de solo, os tratamentos 50K e 100K apresentaram os maiores teores ($19,9$ e $18,5 \text{ mg kg}^{-1}$) de P no solo, com o tratamento ACK apresentando teor intermediário ($17,9 \text{ mg kg}^{-1}$) sem diferir do tratamento 100K, o tratamento 0K teve o menor teor de P no solo ($17,1 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura 21C). Na camada de 10-15 cm o tratamento ACK teve o maior teor de P no solo ($19,2 \text{ mg kg}^{-1}$), com o tratamento 100K apresentando teor intermediário ($16,7 \text{ mg kg}^{-1}$) e com os tratamentos 50K e 0K tendo os menores teores de P no solo ($15,1$ e 14 mg kg^{-1}) respectivamente (Figura 21c). Na camada de 15-20cm o tratamento 50K teve o maior teor de P no solo ($8,8 \text{ mg kg}^{-1}$), seguido dos tratamentos 0K, 100K e ACK ($6,2$, $6,1$ e $5,5 \text{ mg kg}^{-1}$) com os menores teores (Figura 21c). Em Camaquã, na camada 0-5cm de solo, os tratamentos 100K e 50K apresentaram os maiores teores ($72,1$ e $63,6 \text{ mg kg}^{-1}$) com os tratamentos 0K e ACK apresentando os menores teores ($46,3$ e $46,0 \text{ mg kg}^{-1}$) respectivamente (Figura 21d). Na camada de 5-10cm os tratamentos 50K e 100K tiveram os maiores teores ($45,7$ e $45,4 \text{ mg kg}^{-1}$) de P no solo em relação ao tratamento ACK ($35,3 \text{ mg kg}^{-1}$), o tratamento 0K não diferiu dos anteriores ($38,3 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura 21d). Na camada de 10-15cm o tratamento 0K teve o maior teor de P no solo ($33,4 \text{ mg kg}^{-1}$) com os tratamentos ACK e 100K ($23,2$ e $22,7 \text{ mg kg}^{-1}$) tendo os menores teores, o tratamento 50K ($26,8 \text{ mg kg}^{-1}$) não diferiu dos anteriores (Figura 21d). Na camada de 15-20 o tratamento 50K teve o maior teor de P no solo ($22,5 \text{ mg kg}^{-1}$), com o tratamento 100K tendo o menor teor de P no solo (12 mg kg^{-1}), com os tratamentos ACK e 0K ($16,5$ e $15,4 \text{ mg kg}^{-1}$) não diferindo dos tratamentos anteriores (Figura 21d).

Figura 21 – Fósforo disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta/azevém e trevo-persa (pré dessecação) sob diferentes manejos de adubação potássica em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja e trevo-persa e arroz irrigado em Dom Pedrito-RS e Camaquã-RS. 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

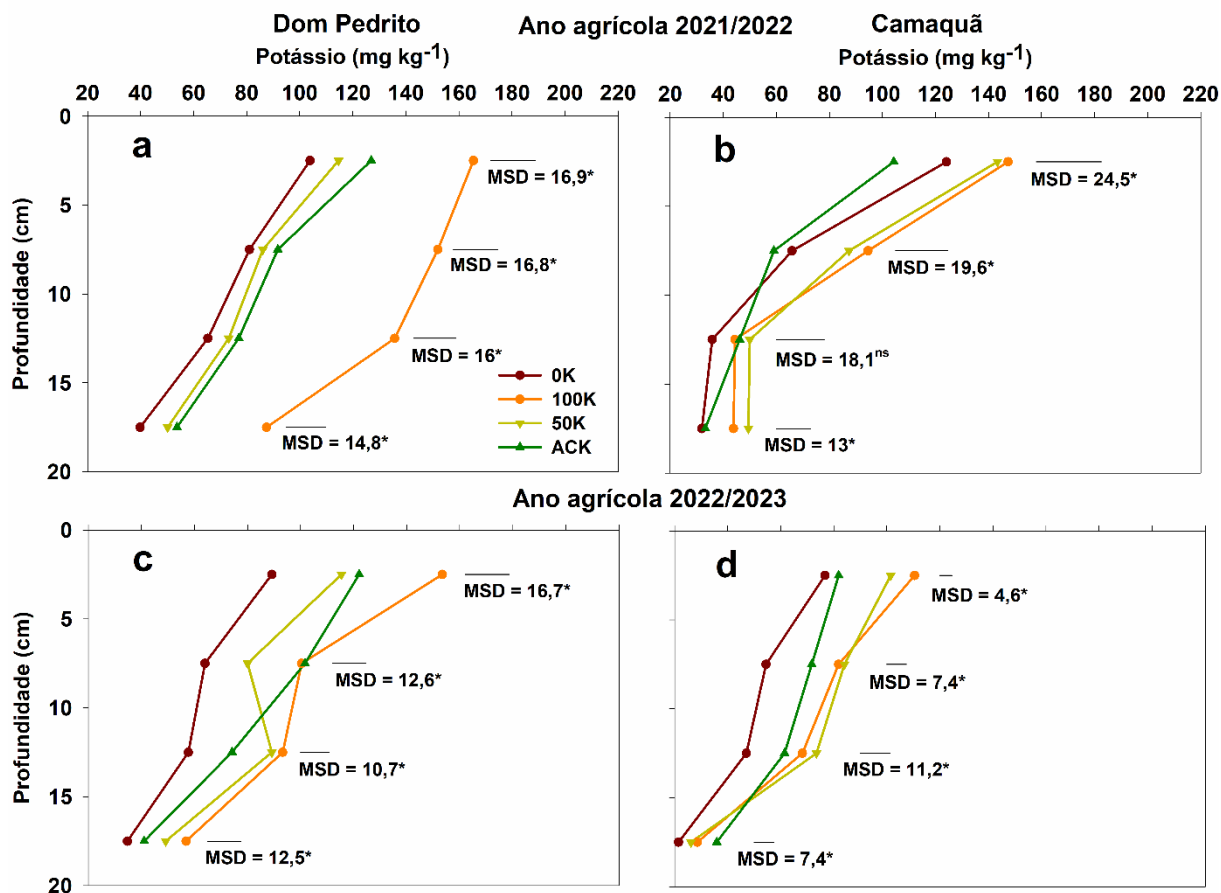
6.3.4 Determinação de potássio no solo

O manejo da adubação potássica apresentou comportamento diferente em relação à disponibilidade dos teores de K na maioria das camadas de 0-20cm nos dois locais de estudo (Figura 22). No ano agrícola 2021/2022, em Dom Pedrito, o tratamento 100K apresentou os maiores teores de K no solo em todas as profundidades (Figura 22a). Em Camaquã, maiores teores de K na camada superficial (0-5 cm) foram determinados nos tratamentos 100K, 50K e 0K (0K não diferiu do ACK) (Figura 22b). Na camada de 5-10 cm, os tratamentos 100K e 50K tiveram os maiores teores de K no solo (Figura 22b). Somente na camada de 10-15 cm do solo não houve diferença nos teores de K do solo (Figura 22b). E na camada de 15-20cm os tratamentos 50K e 100K tiveram os maiores teores de K no solo (100K não diferiu dos tratamentos ACK e 0K) (Figura 22b).

Em 2022/2023, em Dom Pedrito o tratamento 100K esteve com maior teor de K nas 4 profundidades analisadas. Na camada de 0-5 cm apenas o tratamento 100K

apresentou o maior teor de K no solo, porém na camada de 5-10 cm, foram os tratamentos ACK e 100K que tiveram o maior teor de K no solo (Figura 22c). Nas camadas de 10-15 e 15-20 cm os tratamentos 100K e 50K tiveram os maiores teores de K no solo, porém na camada de 15-20 cm o tratamento 50K não diferiu do ACK (Figura 22c). Em Camaquã, o tratamento 100K apresentou a mesma tendência, tendo o maior teor de K no solo em todas as profundidades. Na camada de 0-5 cm o tratamento 100K teve o maior teor, na camada de 5-10 cm, foram os tratamentos 50K e 100K que tiveram os maiores teores de K no solo (Figura 22d). Na camada de 10-15 cm de solo novamente os tratamentos 50K e 100K tiveram os maiores teores, porém o 100K não diferiu do ACK, já na camada de 15-20 cm, os tratamentos ACK e 100K tiveram os maiores teores de K no solo, com o tratamento 100K não diferindo dos tratamentos 50K e 0K (Figura 22d).

Figura 22 – Potássio disponível no solo na camada de 0-20 cm ao final do ciclo da aveia preta/azevém e trevo-persa (pré dessecação) sob diferentes manejos de adubação potássica em sistema de rotação de aveia preta/azevém e soja e trevo-persa e arroz irrigado em Dom Pedrito-RS e Camaquã-RS. 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)

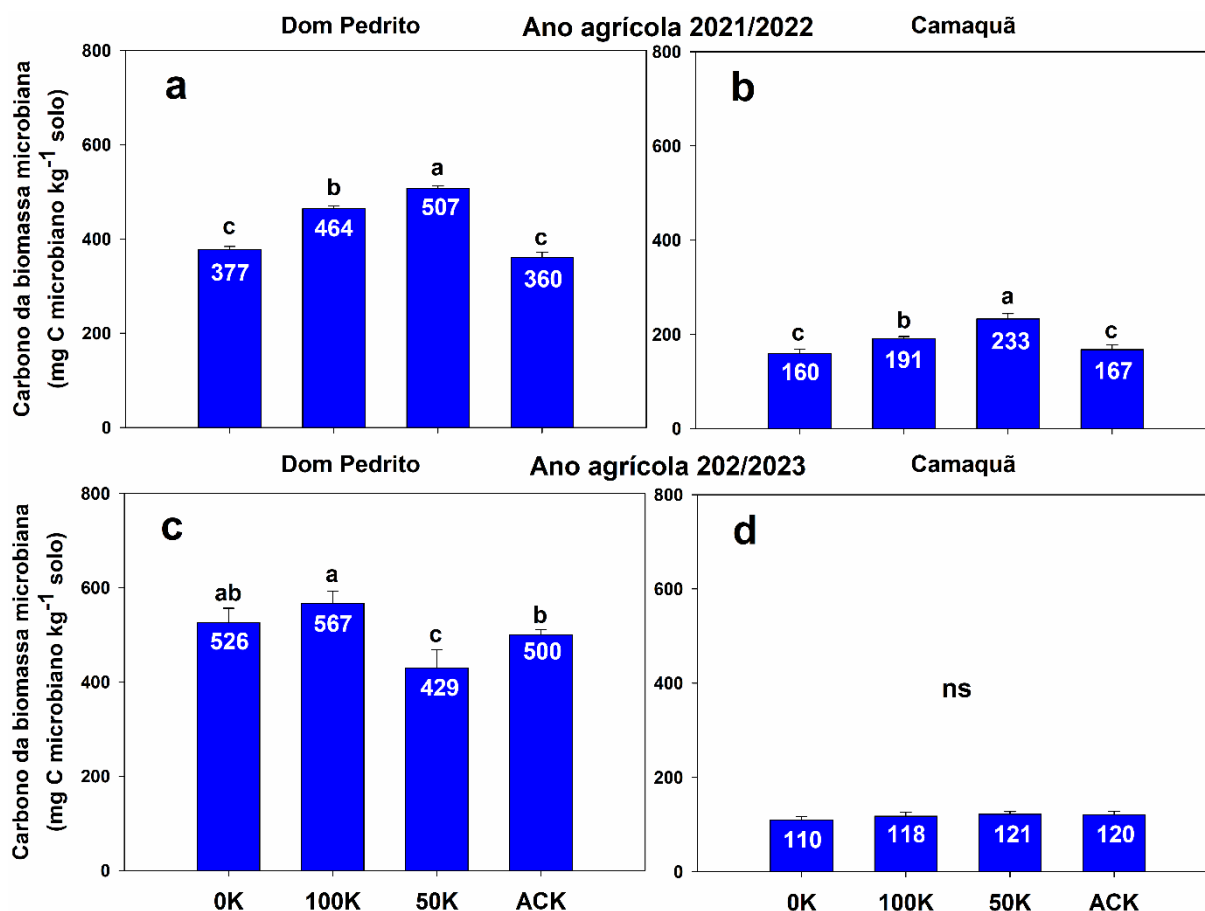


Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.5 Teor de carbono da biomassa microbiana do solo

No ano agrícola 2021/2022, o tratamento 50K apresentou o maior teor de CBM do solo, seguido do 100K com teor intermediário e com os tratamentos 0K e ACK apresentando os menores teores em Dom Pedrito e Camaquã respectivamente (Figura 23a e 23b). No segundo ano agrícola o comportamento da adubação potássica foi diferente, pois em Dom Pedrito o tratamento 100K apresentou o maior teor de CBM do solo, sem diferir do tratamento 0K (Figura 23c), os tratamentos 0K e ACK não diferiram entre si, e o tratamento 50K apresentou o menor teor de CBM do solo (Figura 23c). Em Camaquã não houve diferença entre os tratamentos (Figura 23d).

Figura 23 – Teor de carbono da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



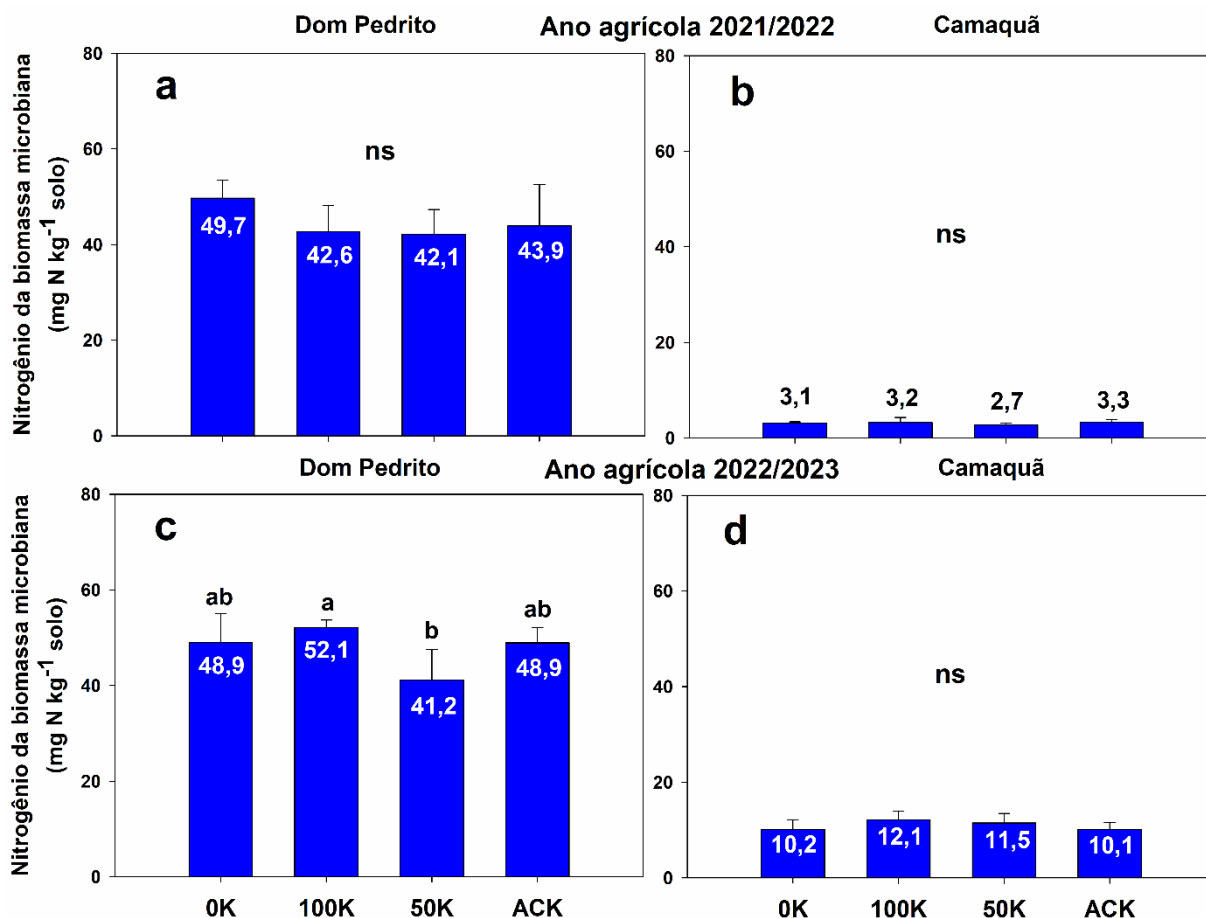
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.6 Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo

O teor de NBM do solo não foi influenciado pelo manejo da adubação potássica no primeiro ano agrícola em Dom Pedrito e Camaquã (Figura 24a e 24b).

No segundo ano agrícola em Dom Pedrito o tratamento 100K apresentou o maior teor de NBM do solo em relação ao tratamento 50K, os tratamentos 0K e ACK não diferiram dos anteriores (Figura 24c). Em Camaquã, apesar de ter apresentado mais que o dobro do teor em relação ao ano anterior, a antecipação da adubação potássica não influenciou no teor de NBM do solo, pois não houve diferença entre os tratamentos (Figura 24d).

Figura 24 – Teor de carbono da biomassa microbiana do solo em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão. ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey (p < 0,05)



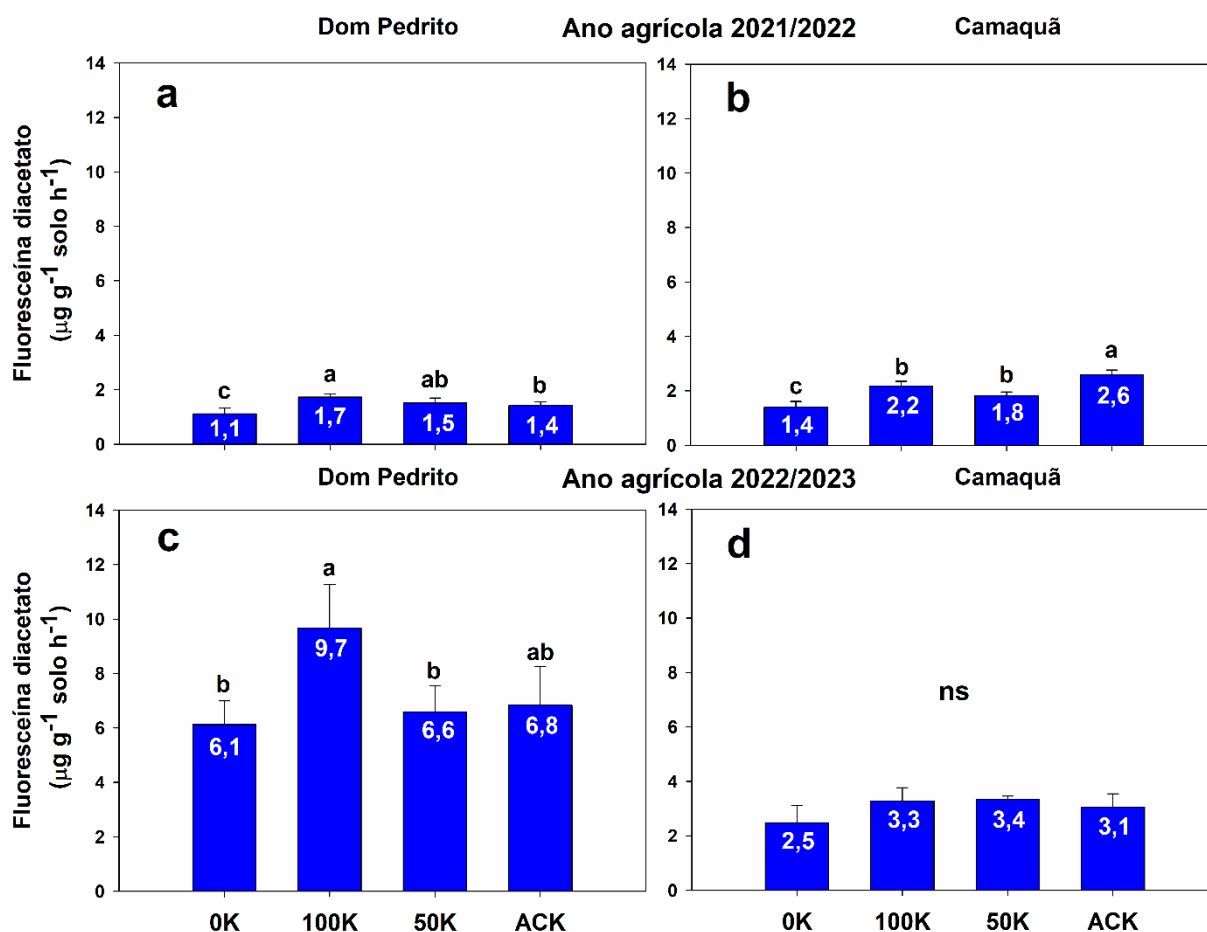
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.7 Hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) do solo

No ano agrícola 2021/2022, o manejo da adubação potássica influenciou na atividade da FDA do solo. Em Dom Pedrito, o tratamento 100K apresentou a maior atividade da FDA sem diferir do tratamento 50K (Figura 25a). Os tratamentos 50K e ACK apresentaram valores intermediários, e o tratamento 0K apresentou a menor atividade (Figura 25a). Em Camaquã o comportamento foi diferente, com o tratamento ACK apresentando a maior atividade da FDA do solo, com os tratamentos 100K e 50K apresentando valores intermediários, o tratamento 0K apresentou a menor atividade da FDA (Figura 25b).

No segundo ano agrícola, apesar do aumento nos dois locais do estudo, apenas em Dom Pedrito houve diferença entre os tratamentos, com 100K e ACK tendo a maior atividade da FDA, porém o ACK não diferiu do 50K e 0K (Figura 25c). Em Camaquã, não houve diferença entre os tratamentos para a atividade da FDA do solo. (Figura 25d).

Figura 25 – Atividade da fluoresceína diacetato (FDA) em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



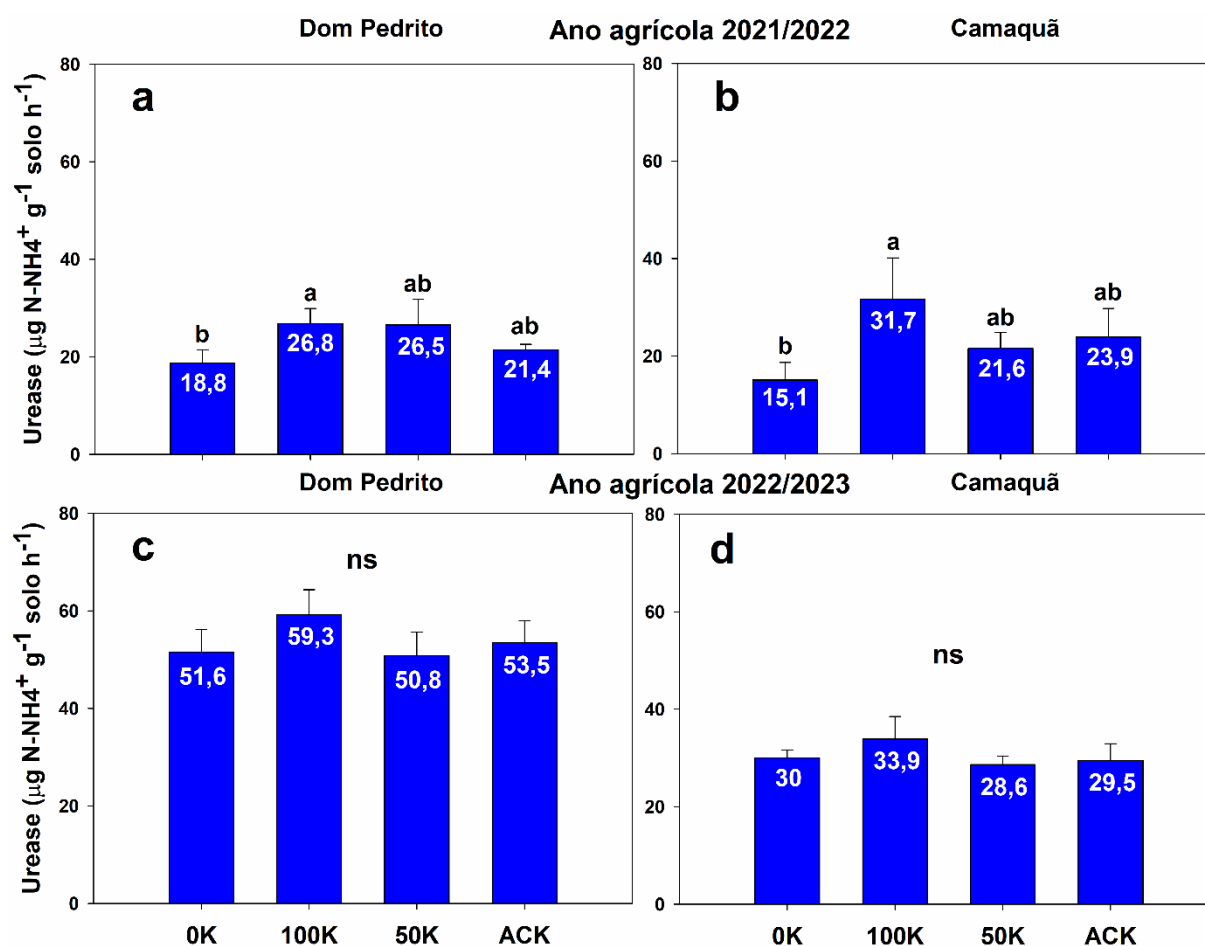
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.8 Atividade da urease do solo

No primeiro ano agrícola a antecipação da adubação potássica influenciou na atividade da urease do solo. Os tratamentos com antecipação total da adubação potássica (100K) apresentaram a maior atividade da urease do solo em relação ao tratamento 0K, os tratamentos ACK e 50K não diferiram dos tratamentos anteriores em Camaquã e Dom Pedrito (Figura 26a e 26b).

Em 2022/2023, apesar de ter aumentado a atividade da urease em todos os tratamentos, nos dois locais do estudo, não houve diferença entre os tratamentos em Camaquã e Dom Pedrito (Figura 26c e 26d).

Figura 26 – Atividade da urease em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo das coberturas, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na sementeira da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na sementeira da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

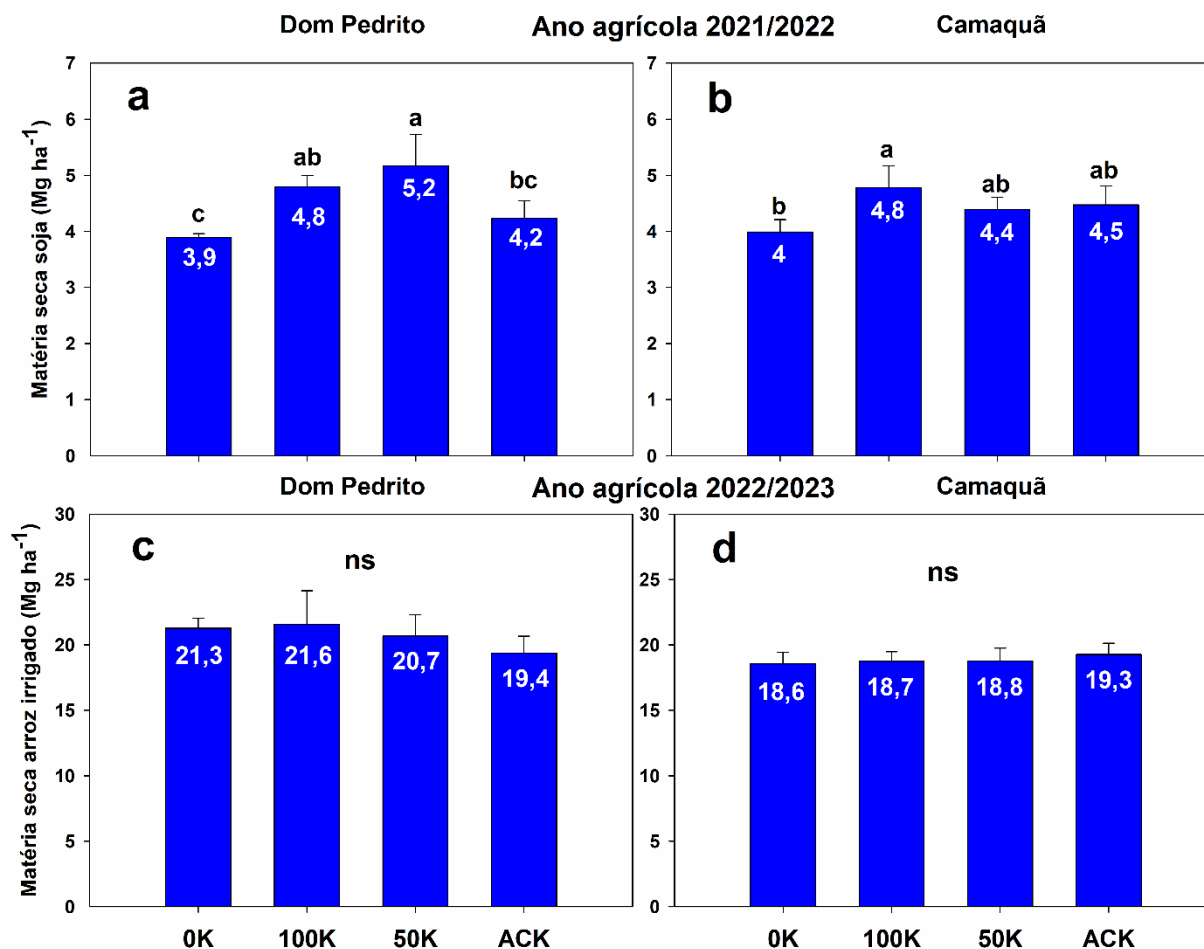
6.3.9 Matéria seca de soja e arroz irrigado

A produção de MS da soja foi influenciada pelo manejo da adubação potássica no primeiro ano agrícola. Em Dom Pedrito, (Figura 27a) a maior produção da MS de soja foi observada no tratamento 50K em relação aos tratamentos 0K e ACK, porém não diferiu do tratamento 100K (Figura 27a). A produção de MS da soja

em Camaquã foi similar entre os tratamentos com adubação potássica (Figura 27b), com o tratamento 100K apresentando a maior produção sem diferir dos demais tratamentos com adição de adubação potássica, porém o tratamento 0K apresentou a menor produtividade não diferindo dos tratamentos ACK e 50K (Figura 27b).

A produção de MS de arroz irrigado não foi influenciada pelo manejo da adubação potássica com os tratamentos não apresentando diferença em Dom Pedrito e Camaquã no segundo ano agrícola (Figura 27c e d).

Figura 27 – Matéria seca de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c), e em Camaquã (b) e (d) sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Matéria seca do arroz em Camaquã coletada em R₂. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.10 Teores de nutrientes na matéria seca das culturas de grãos

No ano agrícola 2021/2022, os teores de N total presentes na MS da soja foram maiores nos tratamentos 50K, em Dom Pedrito, e nos tratamentos que receberam adição de K (100K, 50K e ACK) em Camaquã (Tabela 8). O teor de K na MS da soja foi maior nos tratamentos 50K e 100K, sendo que 100K não diferiu do ACK em Dom Pedrito. Em Camaquã, os tratamentos com adição de K (100K, ACK e 50K) tiveram os maiores teores de K na MS da soja, porém o tratamento 50K não diferiu do 0K (Tabela 8). O teor de P em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100K, 50K e ACK, porém os tratamentos 100K e ACK não diferiram do 0K. Já em Camaquã, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3). O teor de Ca em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100K e 50K e em Camaquã, o tratamento 100K apresentou o maior teor de Ca na MS da soja (Tabela 8). O teor de Mg não apresentou diferença em Dom Pedrito, e em Camaquã, os tratamentos 100K, 50K e

ACK tiveram os maiores teores, porém os tratamentos 50K e ACK não diferiam do 0K que teve o menor teor de Mg na MS da soja (Tabela 8).

Em 2022/2023 o teor de N total foi maior nos tratamentos 0K, 100K e 50K em Dom Pedrito, em Camaquã os tratamentos 100K e 50K (50K não diferiu do 0K que teve teor intermediário) tiveram os maiores teores de N total na MS do arroz (Tabela 8). O teor de K na MS do arroz irrigado em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 0K e 100K, em Camaquã, os tratamentos 100K e ACK tiveram os maiores teores (Tabela 8). O teor de P em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100K e 50K (50K não diferiu do 0K e ACK), em Camaquã não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 8). O teor de Ca em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100K e 50K (50K não diferiu do 0K e ACK), em Camaquã os tratamentos 100K e ACK tiveram os maiores teores (Tabela 8). O teor de Mg não diferiu em Dom Pedrito, e em Camaquã, o tratamento 100K teve maior teor em relação ao 50K (0K e ACK não diferiram dos anteriores) (Tabela 8).

Tabela 8 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) na matéria seca de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação potássica 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.)

Trat.	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio	
	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.
-----Ano Agrícola 2021/2022-----										
-										
-----Kg ha ⁻¹ -----										
0K	96 b	128 b	76 c	106 b	10 b	13 ns	132 b	182 c	27 ns	19 b
100	98 b	151 a	106 ab	121 a	15 ab	15 ns	173 a	229 a	34 ns	23 a
K										
50K	142 a	153 a	116 a	111 ab	16 a	18 ns	168 a	197 b	31 ns	21 ab
ACK	104 b	160a	94 bc	124 a	13 ab	15 ns	142 b	204 b	29 ns	21 ab
-----Ano Agrícola 2022/2023-----										
0K	195 a	326 b	298 a	467 b	59 b	81 ns	89 b	153 b	56 ns	83 ab
100	208 a	343 a	309 a	486 a	69 ab	87 ns	104 a	180 a	59 ns	91 a
K										
50K	191 a	338 ab	253 b	433 c	71 a	78 ns	95 ab	149 b	56 ns	77 b
ACK	171 b	305 c	256 b	489 a	60 b	81 ns	91 b	161 a	51 ns	84 ab

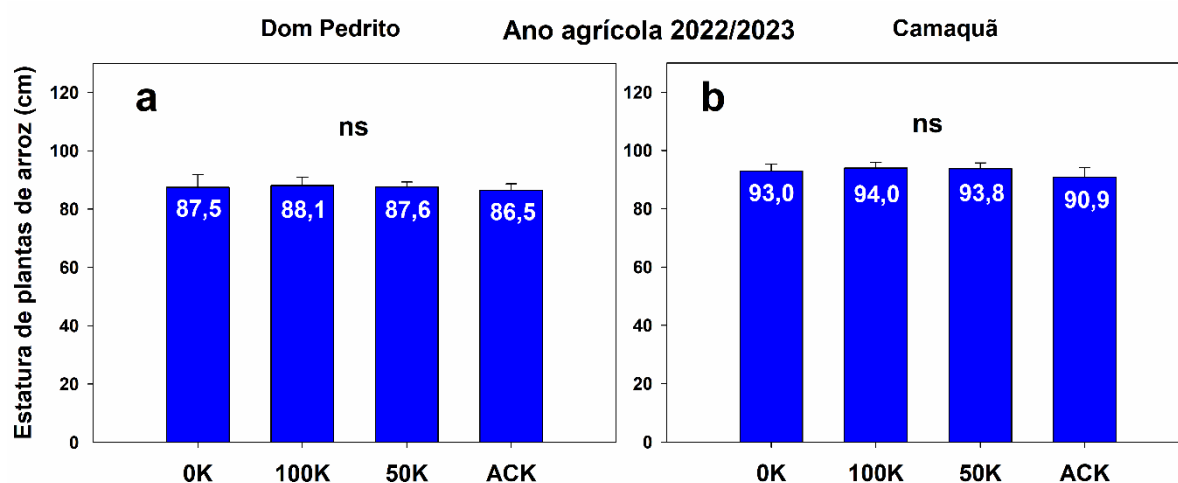
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05). ns (não significativo).

Fonte: Autor.

6.3.11 Estatura de plantas de arroz irrigado

No segundo ano agrícola, foi realizada a determinação da estatura das plantas de arroz irrigado, não se observando efeito do manejo da adubação potássica sobre essa variável (Figura 28a e 28b).

Figura 28 – Estatura de plantas de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$)

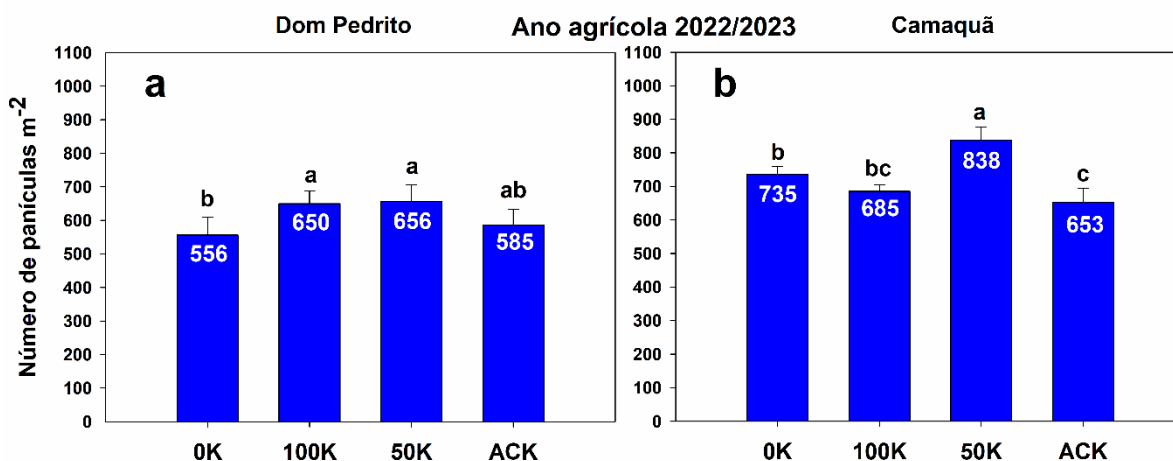


Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.12 Número de panículas no arroz irrigado

O número de panículas m^{-2} do arroz irrigado foi influenciado pela adubação potássica os dois locais de estudo. Em Dom Pedrito, os tratamentos com antecipação total ou parcial (100K e 50K) da adubação potássica apresentaram o maior número de panículas m^{-2} , com o tratamento ACK ficando com resultado intermediário e com o tratamento 0K apresentando menor quantidade (Figura 29a). Em Camaquã, o tratamento 50K teve o maior número de panículas m^{-2} em relação aos demais (Figura 29b). O tratamento 0K apresentou o segundo maior número de panículas m^{-2} com o tratamento ACK apresentando o menor número de panículas m^{-2} , o tratamento 100K não diferiu dos anteriores (Figura 29b).

Figura 29 – Número de panículas por metro quadrado de arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e Camaquã (b) ao final do ciclo sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$).



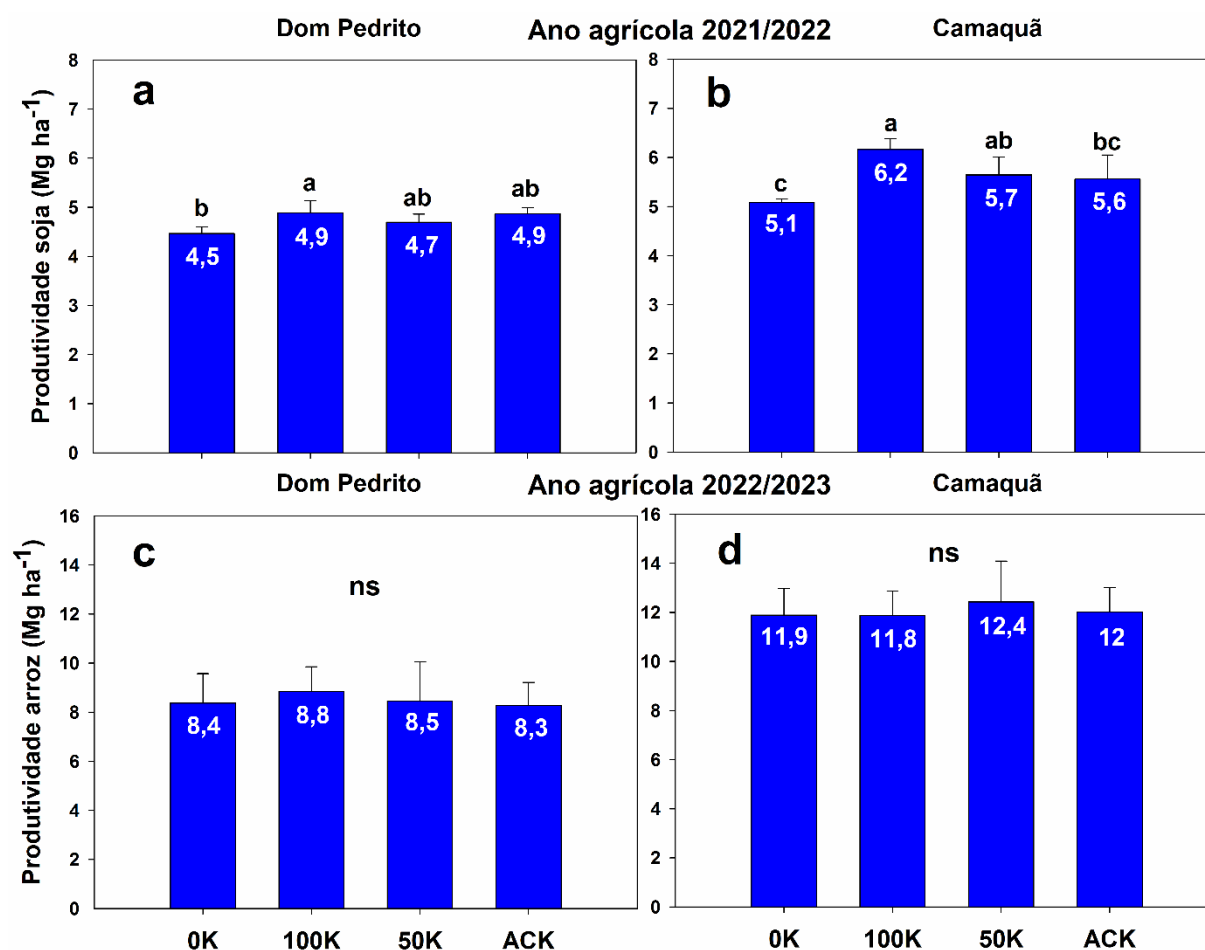
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.13 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos da soja foi influenciada pelo manejo da adubação potássica. Em Dom Pedrito, os tratamentos que receberam adubação potássica não diferiram entre si, porém o tratamento 100K apresentou maior produtividade de soja em relação ao tratamento 0K (Figura 30a). Em Camaquã, o comportamento foi similar com o tratamento 100K apresentando a maior produtividade de soja sem diferir do tratamento 50K (Figura 30b). Os tratamentos 50K e ACK não diferiram entre si, assim como os tratamentos ACK e 0K que tiveram a menor produtividade (Figura 30b).

Os tratamentos com manejo da adubação potássica no segundo ano agrícola, não apresentaram diferença para produtividade de grãos de arroz irrigado na cidade de Dom Pedrito e Camaquã (Figura 30c e d).

Figura 30 – Produtividade de soja e arroz irrigado em Dom Pedrito (a) e (c) e em Camaquã (b) e (d) ao final do ciclo, sob diferentes manejos de adubação potássica em rotação de aveia preta/azevém e soja (2021/2022), e trevo-persa e arroz irrigado (2022/2023). 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. ns – não significativo. Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.14 Teor de nutrientes nos grãos de soja e arroz irrigado

No ano agrícola 2021/2022, o teor de N total presente nos grãos de soja foi maior nos tratamentos 100K e ACK em Dom Pedrito. Em Camaquã, os tratamentos 100K, 50K e ACK tiveram os maiores teores (Tabela 9). O teor de K em Dom Pedrito foi maior nos tratamentos 100K, 50K e ACK (100K e 50K não diferiram de 0K). Em Camaquã, somente o tratamento 100K teve o maior teor de K (Tabela 9). O teor de P não diferiu entre os tratamentos nos dois locais (Tabela 9). O teor de Ca não diferiu entre os tratamentos em Dom Pedrito, e em Camaquã os tratamentos 100K e 50K tiveram os maiores teores de Ca (50K não diferiu do 0K e ACK) (Tabela 9). O teor de

Mg nos grãos não apresentou diferença em Dom Pedrito, e em Camaquã o teor de Mg nos grãos de soja foram maiores nos tratamentos 100K, 50K e ACK (50K e ACK não diferiram do 0K) (Tabela 9).

Em 2022/2023, os teores de N total nos grãos de arroz foram maiores nos tratamentos 0K, 100K e 50K em Dom Pedrito. Já em Camaquã, os maiores teores de N total foram nos tratamentos 50K e ACK (Tabela 9). Os teores de K, P e Mg nos grãos de arroz não sofreram efeito dos tratamentos de adubação potássica em Dom Pedrito e Camaquã (Tabela 9). O teor de Ca nos grãos de arroz em Dom Pedrito não diferiu entre os tratamentos e, em Camaquã, foram maiores nos tratamentos 0K e 50K (0K não diferiu do 100K e ACK) (Tabela 9).

Tabela 9 – Teores de nutrientes (N, K, P, Ca e Mg) nos grãos de soja (Dom Pedrito e Camaquã 2021/22), e arroz irrigado (com casa) (Dom Pedrito e Camaquã 2022/23) sob diferentes manejos da adubação potássica 0K: sem adubação potássica, 100K: aplicação integral (100%) do potássio na cultura de cobertura, 50K: aplicação de 50% do potássio na cultura de cobertura e 50% na semeadura da cultura de grão, ACK: adubação convencional com aplicação integral (100%) do potássio na semeadura da cultura de grão. Dom Pedrito (D.P.), Camaquã (Cam.)

Trat.	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio	
	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.	D.P.	Cam.
-----Ano Agrícola 2021/2022-----										
-										
-----Kg ha ⁻¹ -----										
0K	246 b	284 b	99 b	116 b	28 ns	33 ns	29 ns	17 b	15 ns	22 b
100	289 a	335 a	108 ab	146 a	28 ns	39 ns	29 ns	22 a	18 ns	28 a
K										
50K	259 b	336 a	104 ab	130 b	27 ns	39 ns	30 ns	18 ab	18 ns	26 ab
ACK	282 a	333 a	111 a	127 b	31 ns	34 ns	29 ns	15 b	19 ns	25 ab
-----Ano Agrícola 2022/2023-----										
0K	112 a	164 b	24 ns	37 ns	35 ns	47 ns	17 ns	9 ab	21 ns	33 ns
100	112 a	165 b	24 ns	38 ns	36 ns	48 ns	18 ns	8 b	22 ns	32 ns
K										
50K	115 a	177 a	22 ns	41 ns	33 ns	51 ns	15 ns	10 a	21 ns	37 ns
ACK	101 b	173 a	23 ns	38 ns	31 ns	50 ns	14 ns	8 b	20 ns	34 ns

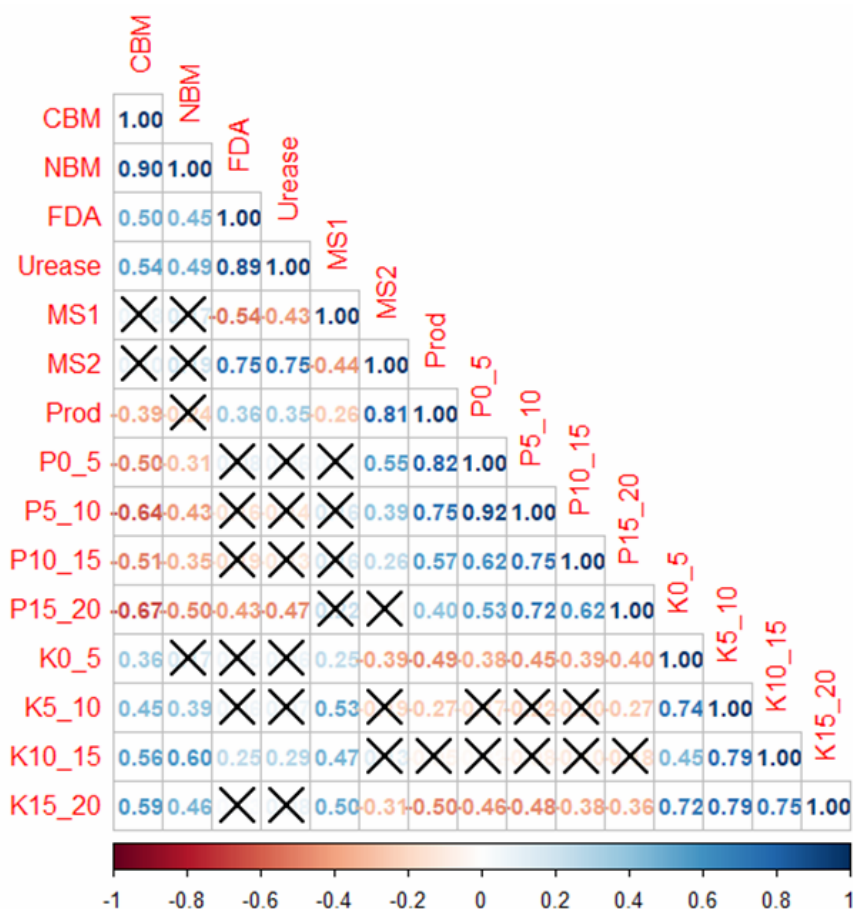
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05). ns (não significativo).

Fonte: Autor.

6.3.15 Correlação de Pearson

Na correlação de Pearson, observou-se associação positiva entre as atividades da FDA, urease CBM e NBM, assim como houve associação positiva entre as atividades da FDA e urease com a produção de MS e a produtividade das culturas de grãos (Figura 31). A matéria seca das culturas de verão, arroz e soja, também apresentou associação positiva com a produtividade de grãos (Figura 31). Por fim os teores de P no solo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade também tiveram associação positiva com o rendimento de grãos das culturas (Figura 31).

Figura 31 – Correlação de Pearson entre os atributos de solo e planta em experimento de manejo da adubação fosfatada em rotação de azevém, aveia preta e soja no ano 2021/2022 e de trevo-persa e arroz no ano 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: fluresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos

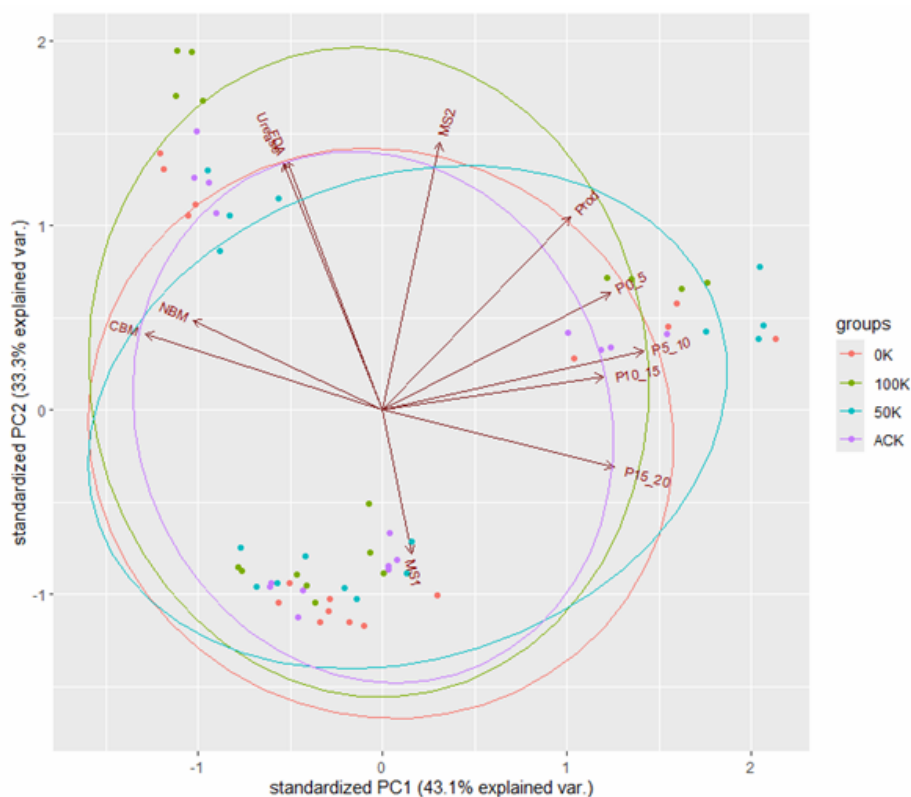


Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.3.16 Análise de componentes principais

A produção de MS no período de inverno teve relação positiva com a produção de MS pela cultura da soja. Na análise de componentes principais (PCA) observou-se que os vetores de produtividade de grãos e matéria seca de culturas de inverno tiveram um direcionamento para os tratamentos onde foi feita a adubação integral ou parcial de potássio no período de outono/inverno (Figura 32).

Figura 32 – Análise de componentes principais entre os atributos de solo e planta em experimento de manejo da adubação fosfatada avaliada sob diferentes manejos da adubação fosfatada em rotação de aveia preta, azevém e soja em 2021/2022 e trevo-persa e arroz em 2022/2023. CBM: carbono da biomassa microbiana do solo, NBM: nitrogênio da biomassa microbiana do solo, FDA: flúoresceína diacetato, MS1: matéria seca de aveia preta, azevém e trevo-persa, MS2: matéria seca de soja e arroz, P0_5: fósforo de 0-5 cm, P5_10: fósforo de 5-10 cm, P10_15: fósforo de 10-15 cm, P15_20: fósforo de 15-20 cm, K0_5: potássio de 0-5 cm, K5_10: potássio de 5-10 cm, K10_15: potássio de 10-15 cm, K15_20: potássio de 15-20 cm e Prod: produtividade de grãos



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

6.4 Discussão

6.4.1 Resposta das culturas de inverno

A produção de MS das culturas de cobertura de solo foi influenciada apenas no primeiro ano agrícola pela antecipação da adubação potássica. Os tratamentos com antecipação total ou parcial (100K e 50K) tiveram maior produção de MS em relação ao tratamento 0K (Figura 20a e 20b), isso pode estar relacionado a maior disponibilidade de K (Figura 22a e 22b) nas camadas superficiais do solo, onde se encontram a maioria das raízes das gramíneas (aveia preta e azevém) (Souto *et al.*, 1992) utilizadas no primeiro ano de cultivo. Essa maior disponibilidade deste nutriente favoreceu o desenvolvimento e a produtividade das gramíneas hibernais nos tratamentos com o manejo antecipado da adubação potássica. Em relação ao trevo-persa, a pouca quantidade de produção de MS pode estar relacionada à época de semeadura que, nos 2 locais, foi realizada fora da época preferencial para região (15 março à 15 abril) sendo, em Dom Pedrito, na segunda quinzena de maio e, em Camaquã, na primeira quinzena de maio.

A antecipação da adubação potássica aumentou a produção de matéria seca das culturas de cobertura e favoreceu o acúmulo de nutrientes na parte aérea (N total, K, P, Ca e Mg), pois os tratamentos 100K e 50K foram superiores em 80% e 70% das análises realizadas nos anos agrícolas 2021/2022 e 2022/2023 respectivamente (Tabela 7).

6.4.2 Teor de fósforo, potássio e atividades microbiana e enzimática do solo

A antecipação da adubação potássica praticamente não influenciou na disponibilidade de P na camada de 0-20cm (Figura 21a e 21b), porém o teor K foi afetado por esse manejo (Figura 22a e 22b), apesar do K possuir perdas de cerca de 20-30% em solos cultivados sem revolvimento de solo (CQFS-RS/SC, 2016). Dentre as perdas de K que ocorrem no solo (lixiviação, erosão, remoção por cultura, práticas de manejo inadequadas, etc.), a principal é por lixiviação, onde a ocorrência é mais comum em solos arenosos, devido ao deslocamento mais rápido de água no perfil do solo, transportando-o para maiores profundidades (Duarte *et al.*, 2013). Porém essa perda por lixiviação é menor no Planossolo, pois este possui a característica de ser imperfeitamente ou mal drenado além de possuir horizonte Bt (Streck, *et al.*, 2018), que dificulta a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, as perdas de nutrientes por lixiviação.

A biomassa microbiana do solo (CBM e NBM) (Figura 23 e 24) foi pouco influenciada pela antecipação da adubação potássica e utilização de gramíneas e leguminosas hibernais. Esse fato pode ter ocorrido devido ao período recente de adoção, ou seja, somente dois ciclos da utilização, não sendo suficiente para modificar esses compartimentos microbianos no solo. Em alguns experimentos de longa duração, verificou-se aumento do CBM com cultivo de forrageiras ou a adição de restos vegetais na mesma área por mais de um ano agrícola (Chen *et al.*, 2017; Carlos, 2017). Em estudo de com a incorporação de palha de arroz e adubação verde, Zhou *et al.* (2020) observaram aumento do CBM e NBM nos tratamentos com incorporação de adubação verde (pura ou mista), em relação ao tratamento com somente palha de arroz. Apesar do efeito discreto, notou-se de forma geral tendência de aumento na biomassa microbiana do solo do primeiro para o segundo ano de cultivo. Esse fato pode estar relacionado à utilização da sucessão de gramínea-leguminosa no período de inverno nos dois locais de estudo. Segundo Hou *et al.* (2018), essa alternância de espécies é positiva para a atividade microbiana do solo.

A antecipação da adubação potássica no inverno favorece a atividade enzimática do solo (Figura 25a e 25b, 26a e 26b), dado que a disponibilidade de K no solo promove aumento da biomassa vegetal e de exsudatos radiculares (Geisseler *et al.*, 2017). Este aumento na atividade enzimática, possivelmente está associado ao cultivo de soja no primeiro ano agrícola pois, segundo Carlos *et al.* (2022), a inserção da soja em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado aumenta em 51% a atividade de enzimas extracelulares. Também o não revolvimento do solo e o uso do trevo-persa no segundo ano do estudo podem ter favorecido o aumento da atividade enzimática no solo, dado que promovem o aumento da biomassa microbiana do solo pela deposição de resíduos vegetais na superfície do solo, que disponibilizam uma fonte de energia para os microrganismos do solo contribuindo para o aumento da atividade de enzimas extracelulares (Carlos, *et al.*, 2023), assim como o trevo-persa, que oferece MS de alta qualidade e com baixa relação C:N o que favorece o aumento da atividade microbiana do solo (Zhu *et al.*, 2018).

6.4.3 Resposta das culturas de soja e arroz

Em relação à MS das culturas de grãos, apenas no primeiro ano de cultivo a antecipação da adubação potássica apresentou diferença para os tratamentos, no segundo ano não houve diferença (Figura 27). Os teores de nutrientes apresentaram a mesma tendência da MS seca do primeiro ano, com os maiores teores na maioria das análises em que teve a maior produção de MS (Tabela 8), por outro lado, no segundo ano, os maiores teores de nutrientes foram expressos em mais tratamentos diferentes, pois a produção de MS não apresentou diferença, fator determinante para esses resultados.

No segundo ano também foram feitas a estatura de plantas de arroz, que não apresentou diferença (Figura 28) e o número de panículas de arroz por metro quadrado (Figura 29), onde os tratamentos com antecipação potássica apresentaram maiores quantidades.

A produtividade da soja também foi influenciada pela antecipação da adubação potássica nos 2 locais (Figura 30a e 30b). Levando em consideração o teor de K médio no solo em Dom Pedrito e alto em Camaquã, a resposta da soja a antecipação do K foram maiores do que o esperado. A produtividade foi maior nos manejos 100K em Dom Pedrito e 100K e 50K em Camaquã comparados com 0K. Esse resultado foi encontrado no trabalho realizado por (Foloni & Rosolem, 2008) no cultivo de soja em sucessão ao milho em três anos agrícolas, com a antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto, onde concluíram que, tal adubação pode ser totalmente antecipada na semeadura da gramínea de cobertura, sem comprometimento de rendimento da lavoura comercial. Outros autores também observaram que a antecipação da adubação potássica da cultura da soja em sistema com as culturas da aveia-preta, trigo e canola não interferiram na produtividade de grãos (Cibotto *et al.*, 2016). O azevém e aveia têm grande capacidade de ciclar e liberar uma quantidade significativa de K para as culturas estabelecidas em sucessão (Assmann *et al.*, 2017). Em sistemas de integração lavoura-pecuária, Assmann *et al.* (2017) observaram que o consórcio de azevém a aveia-preta ciclaram de 130 a 180 kg ha⁻¹ de K, o que é suficiente para mais de 100% da necessidade de K da cultura da soja (CQFS-RS/SS, 2016). Possivelmente por esse motivo, a produtividade de grãos de soja apresentou comportamento similar ao do estudo anterior, pois praticamente todos os tratamentos que tiveram a maior produtividade de MS das gramíneas hibernais também apresentaram o mesmo para a produtividade de soja.

A produtividade do arroz irrigado não sofreu interferência do manejo da adubação potássica (Figura 30c e 30d), muito provavelmente pelo fato do solo dos 2 locais de estudo apresentarem teor médio e alto de K no solo (Dom Pedrito e Camaquã respectivamente), assim como pela ciclagem de nutrientes do trevo-persa disponibilizando o K para o arroz irrigado. Outro fator que deve ser levado em consideração é a mudança de ambiente, pois o alagamento do solo para o cultivo de arroz irrigado promove a oxirredução do solo, que permite a expansão e exposição das superfícies internas dos argilominerais, facilitando a liberação de K^+ (não trocável) para a solução do solo (MCLEAN; WATSON, 1985), aumentando sua disponibilidade para as plantas.

6.5 Conclusão

A antecipação da adubação potássica aumenta a produção de matéria seca de gramíneas hibernais e apresenta um leve aumento na atividade enzimática do solo.

O manejo da adubação potássica pode ser realizado em qualquer momento, pois não reduz a produtividade da soja cultivada após os cultivos de aveia preta e azevém comparado com o manejo convencional de potássio, como também não reduz produtividade do arroz irrigado cultivado após o trevo-persa, considerando que são áreas que possuem teor médio e alto de potássio no solo.

7 CAPÍTULO 3: TERMINAÇÃO DA CULTURA DE COBERTURA LEGUMINOSA (TREVO-PERSA) PRÓXIMO À SEMEADURA AUMENTA OS TEORES DE NITROGÊNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO

7.1 Introdução

O aumento significativo dos potenciais produtivos de arroz irrigado tem sido associado aos avanços no melhoramento genético, aumento do potencial produtivo e, conseqüentemente, o maior requerimento de N (Carmona *et al.*, 2016). Nessas condições, solos cultivados com arroz irrigado e com baixos teor de N exigem o uso de elevados níveis de N, 150-180 kg ha⁻¹ para obtenção de altas produtividades (Carlos *et al.*, 2022; Weinert *et al.*, 2023). Entretanto, doses elevadas podem acarretar em altas perdas de N e resultar em contaminação da água de rios e lagos, devido a eutrofização em função do alto nível de N (Barr *et al.*, 2020; Beaulieu *et al.*, 2019), além de elevar os custos de produção. Assim, tem se buscado alternativas para minimizar o uso de altas doses de N, como o uso de leguminosas nesses sistemas intensivos e especializados (Weinert *et al.*, 2023), visando a sustentabilidade econômica e ambiental da produção de arroz irrigado, em razão dos potenciais impactos no ambiente decorrente do uso de altas doses de N (Cai *et al.*, 2018).

No cultivo de arroz irrigado, predomina o uso de pousio invernal, principalmente em função da drenagem deficiente do solo e conseqüente excesso hídrico na camada superficial (Sousa *et al.*, 2021). Essa condição impacta no desenvolvimento e estabelecimento de culturas de cobertura do solo hibernais, havendo restrita opção de espécies (Menezes *et al.*, 2001). Entretanto, o trevo-persa tem ganhado destaque como planta de cobertura na entressafra do cultivo do arroz irrigado, principalmente devido a tolerância ao excesso hídrico, alta capacidade de produção de MS (4 a 6 Mg ha⁻¹) e precocidade de desenvolvimento (Costa, 2005;

Weinert *et al.*, 2023). Em terras altas, o benefício da utilização de leguminosas hibernais em rotação a outras culturas é conhecido, visto que contribui para o aumento de teores de carbono orgânico (Veloso *et al.*, 2018) e de N mineral no solo (Peoples *et al.*, 2017). Esses benefícios são provenientes das características específicas de leguminosas, como alto teor de N no tecido vegetal e baixa relação C:N, resultando em decomposição rápida e disponibilidade de N para a cultura sucessora (Peoples *et al.*, 2017; Tripolskaja *et al.*, 2023).

O baixo uso de leguminosas hibernais em lavouras de arroz ocorre em função de suas limitações às condições de terras baixas, devido isso, a planta hiberna mais utilizada nessas condições é o azevém (Sousa *et al.*, 2021), com alta relação C:N no final do ciclo em comparação ao trevo-persa. Com isso, em condições de cultivo mínimo, o manejo químico da cultura do azevém vem sendo realizado entorno de 30 a 40 dias previamente a semeadura da cultura do arroz, principalmente em elevada produção de MS ($> 5 \text{ Mg ha}^{-1}$) (SOSBAI, 2022). Portanto, com o uso de trevo-persa em algumas áreas, o manejo químico tem sido realizado similar ao da cultura do azevém, visando minimizar a possível geração de ácidos orgânicos pela fermentação do carbono orgânico dos resíduos vegetais durante o alagamento, que podem prejudicar o desenvolvimento do arroz irrigado (Sousa, 2001). Contudo, a composição bioquímica da biomassa de trevo-persa é diferente do azevém, pelo fato de possuir baixa relação C:N, rápida mineralização e disponibilização de nutrientes para a cultura sucessora. Portanto, este estudo parte da hipótese que o manejo químico da leguminosa hiberna mais próximo da semeadura da cultura do arroz propicia maior tempo de desenvolvimento das plantas de trevo-persa, maior período de FBN e de ciclagem de nutrientes. Além disso, o manejo químico da leguminosa hiberna mais próximo da semeadura do arroz associado à sua baixa relação C:N pode contribuir para um sincronismo entre os períodos de mineralização dos resíduos do trevo-persa e de demanda de nutrientes pelas plantas, com impacto positivo na nutrição e no desenvolvimento do arroz irrigado. Com isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de épocas de manejo químico do trevo-persa sobre a produção de matéria seca dessa cobertura de solo, disponibilidade de nutrientes na solução do solo, clorofila e produção de biomassa da cultura do arroz irrigado.

7.2 Material e métodos

7.2.1 Local

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 em casa de vegetação do Departamento dos Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), (coordenadas 31°48'04.07" Sul e 52°24'41.23"), localizada no município do Capão do Leão, RS.

7.2.2 Tratamentos

O experimento foi disposto em um delineamento em blocos ao acaso (DBC) com 4 repetições, composto de um fatorial 4 x 2 + 2 (40 unidades experimentais). O fator 1 foi composto de 4 intervalos de manejo químico do trevo-persa, sendo:

Trevo 0 – dessecação do trevo-persa no dia da semeadura do arroz;

Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz;

Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz;

Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz.

O fator 2 consistiu de duas doses de adubo nitrogenado: 0 e 150 kg N ha⁻¹. Foram utilizados dois tratamentos de pousio, com as doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹, com a finalidade de avaliar o efeito da disponibilidade de nutrientes sem o cultivo de trevo-persa no desenvolvimento do arroz irrigado (Pousio – sem utilização de plantas de cobertura). Foi utilizada a ureia como fonte de N. Cada unidade experimental foi composta por um vaso plástico preto de 12 L, com 11 kg de solo seco. O solo utilizado no estudo foi retirado da camada de 0-20 cm de um Planossolo Háplico (STRECK *et al.*, 2018) coletado no município do Capão do Leão, e caracterizado quimicamente (Tabela 10) no Laboratório de Química do Solo da FAEM, segundo metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995).

Tabela 10 – Atributos do Planossolo háplico, na camada 0-20 cm previamente ao estabelecimento do experimento em casa de vegetação. Capão do Leão-RS

MO	Argila	pH	SMP	CTC	CTC	P	K	Ca	Mg	Al	H+AL	m%	V%
		H ₂ O		pH ₇	efetiva								
-----%-----				cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³				-----cmol _c dm ⁻³ -----			
1,93	20	4,8	5,8	9,5	4,8	16,2	47	2,6	1,2	0,8	5,5	16,7	42

pH em água 1:1; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e CTC a pH 7,0.

Argila determinada pelo método do densímetro; MO por digestão úmida e P e K determinados pelo método de Mehlich I.

Fonte: Autor.

A calagem foi realizada para elevar o pH do solo a 6,0 para o cultivo do trevo-persa conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2016). Porém, as doses de P e K foram aplicadas nas doses equivalentes de 1,5 do recomendado, correspondendo à 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K sendo 150 kg ha⁻¹ de K₂O, que foram incorporadas ao solo junto com o calcário (PRNT 85%) na instalação do experimento no primeiro ano agrícola. No segundo ano agrícola foi realizada somente a adubação potássica e fosfatada nas mesmas doses do primeiro ano. Após a incorporação do calcário, do P e do K, foram instalados extratores de solução do solo nos vasos, de acordo com a metodologia descrita por Sousa *et al.*, (2002) nas profundidades de 5 e 10 cm. A semeadura do trevo-persa cultivar Lightning no primeiro ano ocorreu no dia 30 de abril e o arroz foi semeado em 11 de outubro de 2019. No segundo ano agrícola a semeadura do trevo-persa ocorreu no dia 17 de abril de 2020 e a do arroz no dia 1 de setembro de 2020. Foram semeadas 40 sementes de trevo-persa por vaso, sendo as plantas posteriormente desbastadas, mantendo-se 10 plantas por vaso (simulando a densidade de 4,5 kg de sementes ha⁻¹). Por ocasião da semeadura do arroz, foram semeadas 8 sementes da cultivar IRGA 424 RI em todos os tratamentos. Posteriormente as plantas foram desbastadas sendo cultivadas 2 plantas de arroz por vaso. A adubação nitrogenada em cobertura no arroz irrigado foi parcelada em duas aplicações, 67% em V₃ (início do alagamento) e 33% no estágio R₀ (SOSBAI, 2018).

7.2.3 Matéria seca do trevo-persa

A produção de MS do trevo-persa foi avaliada através do corte e da pesagem (Figura 33) das 10 plantas presentes no vaso, sendo realizado o corte das plantas próximo a superfície do solo. Após a pesagem, foi coletada uma planta representativa por vaso em cada intervalo de manejo químico. O material foi pesado, identificado e levado para secagem em uma estufa a 65°C por 3 dias, ou até manter o peso constante para então ser determinada a MS de uma planta. O valor obtido foi extrapolado para as demais plantas do vaso, determinando-se, desta forma, a MS total produzida por vaso. Essa planta representativa de cada vaso foi moída e

utilizada para determinar a quantidade de macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg) presentes na MS do trevo-persa, conforme (Tedesco *et al.*, 1995).

Figura 33 – Corte e pesagem do trevo-persa no momento da semeadura



Fonte: Autor.

7.2.4 Teores de nutrientes na matéria seca do trevo-persa e arroz

Os teores de nutrientes da MS das plantas de trevo-persa e arroz foram determinados através da pesagem de 0,2 gramas de tecido moído em peneira 2mm, de cada unidade experimental, e posteriormente submetidos a digestão ácida em alta temperatura (Tedesco *et al.*, 1995). Após a digestão, foram determinados os teores de N total pelo método de destilação Kjeldahl, o teor de K por espectrofotometria de emissão de chama, o teor de P por espectrofotometria visível, e os teores Ca e Mg por absorção atômica (Tedesco *et al.*, 1995). Os teores de nutrientes presentes na MS do trevo-persa foram multiplicados pela MS total de trevo-persa de cada vaso e expressos em miligramas por vaso.

7.2.5 Coleta de solução do solo

A solução do solo foi coletada após o alagamento do solo através de um tubo de polietileno com 70 cm de comprimento, 0,6 cm de diâmetro interno e 0,7 cm de diâmetro externo perfurado com duas fileiras de pequenos orifícios com aproximadamente 1 mm de diâmetro. O tubo perfurado com duas fileiras de pequenos orifícios foi revestido com uma tela de nylon com malha de 400 mesh, para impedir que as partículas mais finas do solo penetrassem no tubo junto com a solução do solo.

O tubo foi enrolado sobre si, na forma de um espiral (serpentina), mantendo-se aproximadamente 2 cm de distância entre cada volta da espiral. A espiral foi conectada a um tubo de vidro, na forma de sifão, projetado para fora do vaso, para permitir a retirada da solução do solo sem utilizar sucção forte, o que poderia causar entupimento da tela de nylon ou arrastar partículas de solo junto com a solução. Na extremidade livre do sifão, foi colocado um tubo de silicone com 2 cm de comprimento, fechado com um tampão de vidro (Sousa *et al.*, 2002). Esses espirais foram colocados espaçados por 5cm no solo (5 e 10 cm de profundidade) e a coleta foi realizada semanalmente por 8 semanas após o alagamento. Os frascos com a solução do solo foram congelados e a análise dos nutrientes da solução do solo (N mineral, P, K, Ca e Mg) foram realizados conforme (Tedesco *et al.*, 1995).

7.2.6 Parâmetros fisiológicos

No estágio fenológico R₀ (Counce, 2000), imediatamente após a segunda adubação nitrogenada, foram determinados os índices de clorofila, flavonoides, antocianinas e balanço de nitrogênio nas plantas de arroz (Figura 34). A leitura foi realizada no terço médio das plantas, com auxílio de clorofilômetro Dualex FORCE-A, e os valores obtidos consistiram da média de 24 leituras por tratamento, sendo: 2 leituras por vaso x 3 épocas de leitura (1, 8 e 15 dias após a segunda adubação nitrogenada) x 4 blocos.

Figura 34 – Avaliação dos parâmetros fisiológicos realizada com o clorofilômetro



Fonte: Autor.

7.2.7 Estatura, perfilhos e matéria seca do arroz

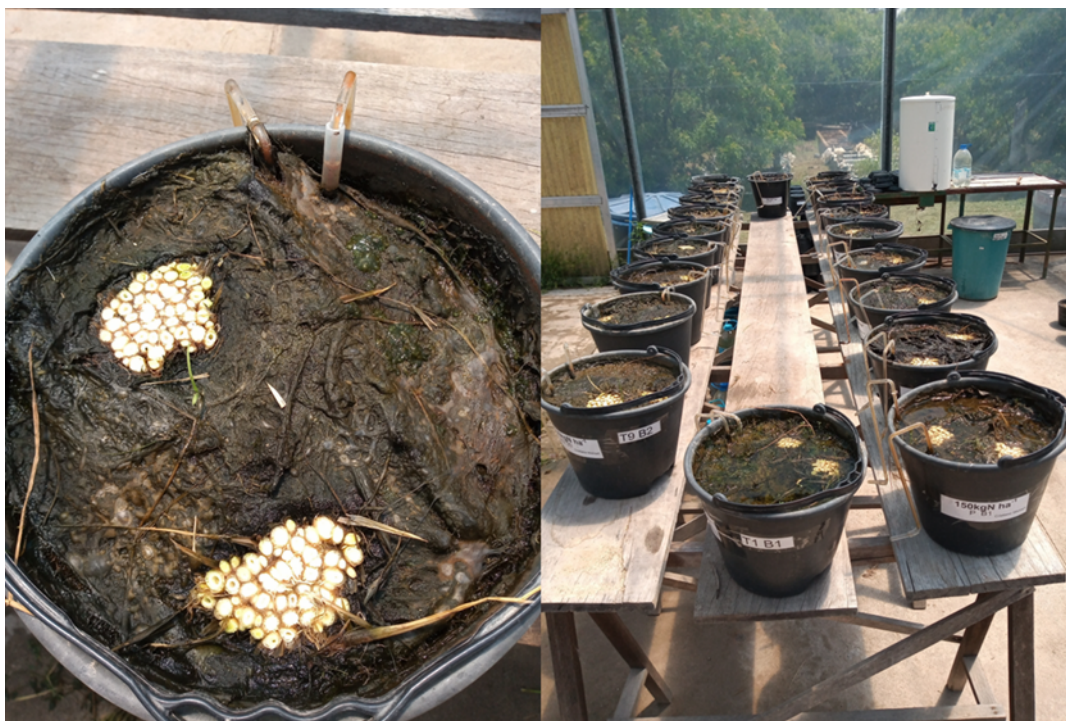
No dia anterior ao corte das plantas de arroz, foi realizada a contagem dos perfilhos, contando todos os perfilhos vivos da planta de arroz. Foi realizado a contagem dos perfilhos das duas plantas e utilizado a média para a realização dos cálculos.

A determinação da estatura também foi realizada no dia anterior ao corte das plantas de arroz, e foi realizada com auxílio de uma trena, onde foi feita uma medição para cada planta de arroz, totalizando 2 medições por bloco. A média das duas medições foi utilizada nos cálculos.

A determinação da MS do arroz irrigado foi realizada através do corte total das 2 plantas de arroz presentes no vaso (Figura 35). Após o corte as plantas foram colocadas em sacos identificados, sendo a secagem e determinação realizadas conforme à descrita para o trevo-persa. No primeiro ano agrícola, foi realizada no dia

02 de janeiro de 2020, no segundo ano agrícola essa coleta ocorreu no dia 09 de dezembro de 2020.

Figura 35 - Vasos após o corte das plantas do arroz irrigado para determinação da matéria seca



Fonte: Autor.

7.2.8 Determinação de N-amônio e N-nitrato no solo

Para a determinação do N-amônio e N-nitrato no solo, foram coletadas 4 subamostras na camada de 0-10 cm em cada unidade experimental, ao final de duas safras do experimento. As amostras foram obtidas com o auxílio de um trado calador, removendo-se previamente o material orgânico em decomposição presente na superfície do solo. As subamostras foram homogeneizadas em um balde para compor uma amostra composta por parcela. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos devidamente identificados e armazenados sob refrigeração ($\leq 4^{\circ}\text{C}$) até a realização das análises. Previamente as análises, o solo foi peneirado em malha de 2 mm para a determinação dos teores de N-amônio e N-nitrato que foram extraídos com solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L^{-1} e determinados pelo método de destilação (Tedesco *et al.*, 1995).

7.2.9 Análise estatística

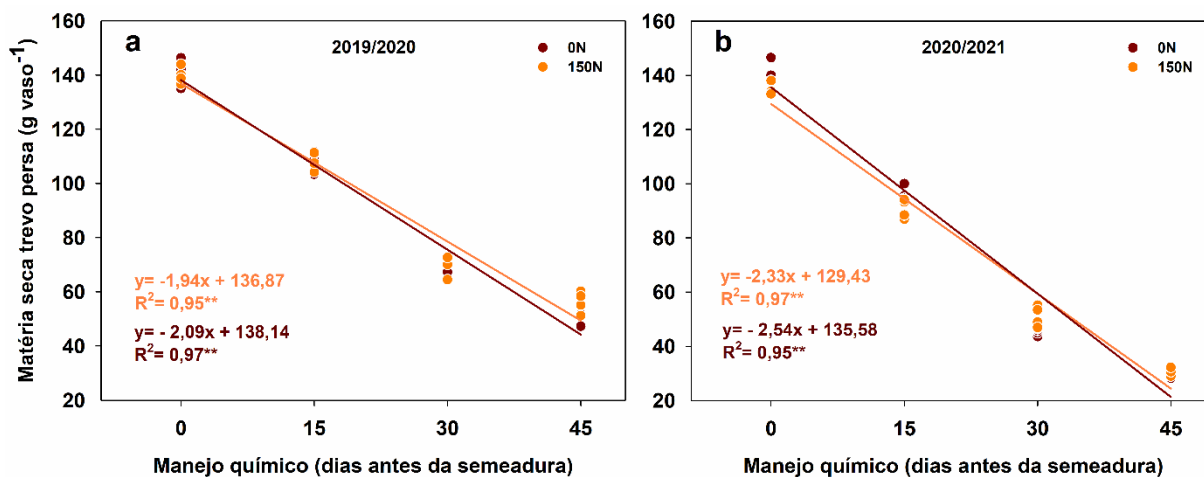
Os dados foram submetidos à avaliação de normalidade pelo método de Shapiro-Wilk. Obedecendo aos pressupostos da distribuição normal, as variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA). Os dados de produção de matéria seca do trevo-persa foram submetidos a análise de regressão linear sob diferentes intervalos de manejo químico, com ausência do tratamento pousio. Os dados de nutrientes na solução do solo foram distribuídos nos diferentes períodos de alagamento com avaliação da distribuição por desvio padrão. O teste de Tukey ($p < 0.05$) foi utilizado para análise de médias de disponibilidade de nutrientes do período vegetativo e a ANOVA para médias de pousio e trevo nas duas doses de N. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa R®.

7.3 Resultados

7.3.1 Matéria seca do trevo-persa

No ano agrícola 2019/2020, observou-se uma redução de 1,94 e 2,09 g na produção de MS de trevo-persa para cada dia do intervalo de dessecação no primeiro ano agrícola nos tratamentos 150N e 0N respectivamente. No segundo ano agrícola, a redução foi maior com teores de 2,33 e 2,54g de MS de trevo-persa por dia, nos tratamentos 150N e 0N, respectivamente. No segundo ano agrícola também se observou uma menor produção de MS de trevo-persa, nos manejos T45, T30 e T15, isso pode ter acontecido pelo fato de ser realizado 27 dias antes em relação a semeadura, comparado ao ano anterior, porém, no manejo trevo 0 não foi observada essa tendência nas duas doses de N (Figura 36).

Figura 36 – Matéria seca da parte aérea do trevo-persa cultivado em um Planossolo nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 em casa de vegetação sob 2 doses de adubação nitrogenada (0 e 150 kg N ha⁻¹) e 4 diferentes épocas de manejo químico, Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz. ** p<(0,05). Capão do Leão – RS.



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.3.2 Nutrientes da matéria seca do trevo-persa

Os teores de N e K na MS do trevo-persa foram maiores no tratamento Trevo 0 0N nos dois anos agrícolas (Tabela 11). O teor de P foi maior no tratamento Trevo 0, em 2019/2020 na dose de 0N, e em 2020/2021 na dose de 150N (Tabela 11). O teor de Ca apresentou os maiores teores no tratamento Trevo 0 nas duas doses de N em 2019/2020, porém em 2020/2021 apresentou o maior teor apenas no tratamento Trevo 0 150N (Tabela 11). O teor de Mg apresentou maiores teores no tratamento Trevo 0 150N em 2019/20 e em 2020/2021 no tratamento Trevo 0 0N (Tabela 11).

Tabela 11 – Nutrientes da parte aérea do trevo-persa cultivado em um Planossolo nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 em casa de vegetação sob 2 doses de adubação nitrogenada (0 e 150 kg N ha⁻¹) e 4 diferentes épocas de manejo químico; Trevo 0 – dessecação do trevo-persa no momento da semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz. Tukey (p<0,05)

Tratamentos	N		K		P		Ca		Mg		
	-----Ano Agrícola-----										
	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	
						1	0				
	-----mg vaso ⁻¹ -----										
-----0 N-----	Trevo 0	2662 a	3779	1674	1697	175 a	389	17163	17434	561	924 a
			a	a	a		b	a	b	b	
	Trevo 15	2302	2526	1449	1409	144 b	318	13443	12512	418	571 c
		bc	c	b	c		c	b	d	c	
-----150N-----	Trevo 30	2230 c	1271	1103 c	976 f	126	169	8241 d	6308 f	306	324
			e			bc	e			d	de
	Trevo 45	1553 e	840 f	910 d	752 g	108 c	80 f	5913 g	4508 g	225	269 e
										e	
-----150N-----	Trevo 0	2393 b	3120	1465	1638	130 b	435	17142	18298	608	781 b
			b	b	b		a	a	a	a	
	Trevo 15	2386 b	2114	1505	1152	140 b	258	11467 c	12670	413	542 c
			d	b	d		d		c	c	
-----150N-----	Trevo 30	1953 d	1211	1188 c	1092	140 b	169	7857 e	6787 e	315	325 d
			e		e		e			d	
Trevo 45	1555 e	842 f	1106 c	721 g	109 c	87 f	6461 f	4201 h	237	198 f	
									e		

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05).

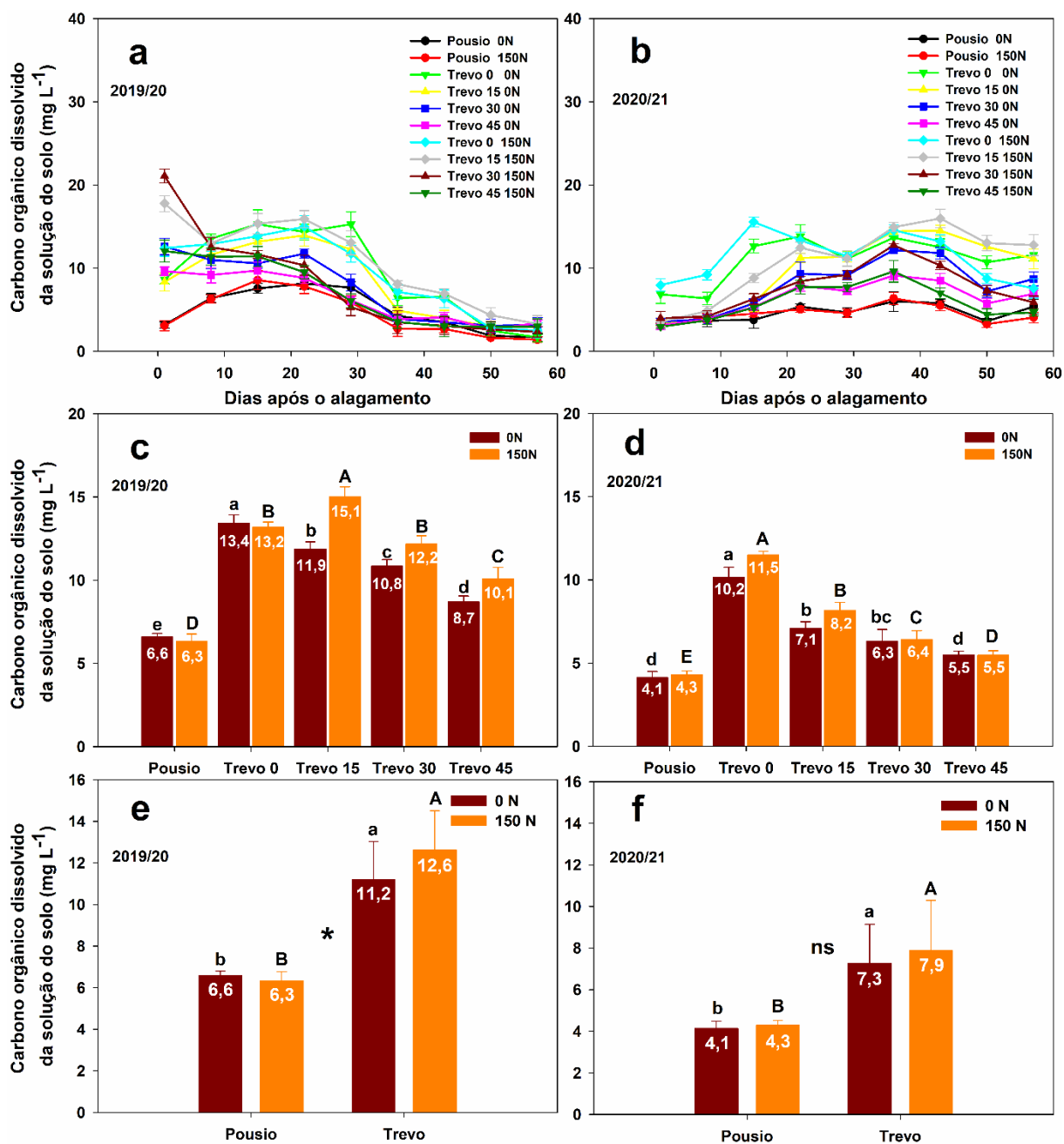
Fonte: Autor.

7.3.3 Teor de carbono orgânico dissolvido na solução do solo

Em 2019/2020, os tratamentos Trevo 30 e Trevo 15 associados à dose de 150 Kg ha⁻¹ de N apresentaram maiores teores de carbono orgânico dissolvido (COD) na primeira coleta (Figura 37a). A partir do 21º dia, os tratamentos Trevo 0 e 15 nas duas doses de N apresentaram os maiores teores em relação aos demais tratamentos até ao 36º dia, após essa coleta os teores estabilizaram ficando próximos da casa dos 5 mg L⁻¹ (Figura 37a). Em 2020/2021, os maiores teores de COD foram apresentados nos tratamentos Trevo 0 (0 e 150N) desde o 1º dia até o 22º dia, nas últimas 3 coletas os tratamentos Trevo 15 apresentaram os maiores

teores (Figura 37b). Levando em consideração apenas os primeiros 29 dias de alagamento, o tratamento Trevo 0 0N apresentou o maior teor de COD nos 2 anos agrícolas (Figura 37c e 37d). Já na dose 150 N, o tratamento trevo 15 apresentou o maior teor em 2019/2020, e em 2020/2021, o tratamento Trevo 0 foi superior aos demais (Figura 37c e 37d). Em relação ao uso de cobertura de solo, nos dois anos agrícolas o tratamento com trevo-persa apresentou o maior teor de COD em relação ao pousio (Figura 37e e 37f). Porém o comportamento foi diferente para doses de N, pois no primeiro ano o tratamento 150N apresentou o maior teor e no segundo ano não houve diferença entre as doses (Figura 37e e 37f).

Figura 37 – Teores de COD da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de COD em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de COD em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de COD em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo



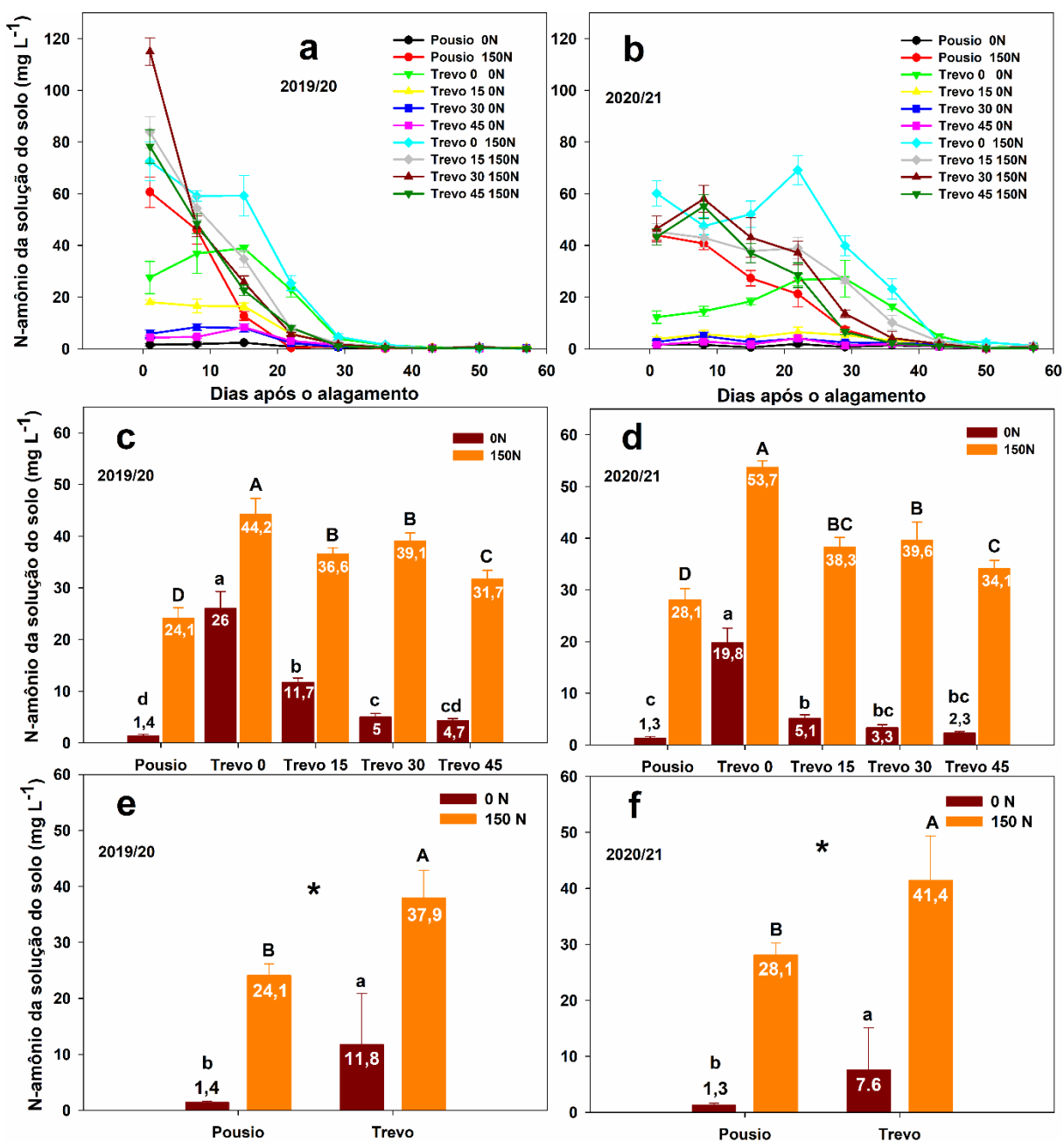
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.4.4 Teor de N-amônio da solução do solo

No ano agrícola 2019/2020, os tratamentos Trevo 0 nas duas doses de N apresentaram os maiores teores de N-amônio pelo maior número de coletas (Figura 38a), este mesmo comportamento foi apresentado no ano 2020/2021 com os mesmos tratamentos apresentando a mesma tendência (Figura 38b). Essa mesma tendência foi apresentada nas médias das concentrações até os 29 dias de alagamento nos dois anos agrícolas, com os tratamentos Trevo 0 apresentando as

maiores concentrações de N-amônio na solução do solo nas duas doses de N (Figura 38c e 38d). Os tratamentos com trevo-persa apresentaram maiores teores médios (346%) de N-amônio na solução do solo em relação ao pousio nos dois anos agrícolas (Figura 38e e 38f). Em relação as doses de N, os tratamentos com 150N apresentaram os maiores teores de amônio em relação aos tratamentos com as doses 0N nos dois anos agrícolas (Figura 38e e 38f).

Figura 38 – Teores de N-amônio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de N-amônio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de N-amônio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de N-amônio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo



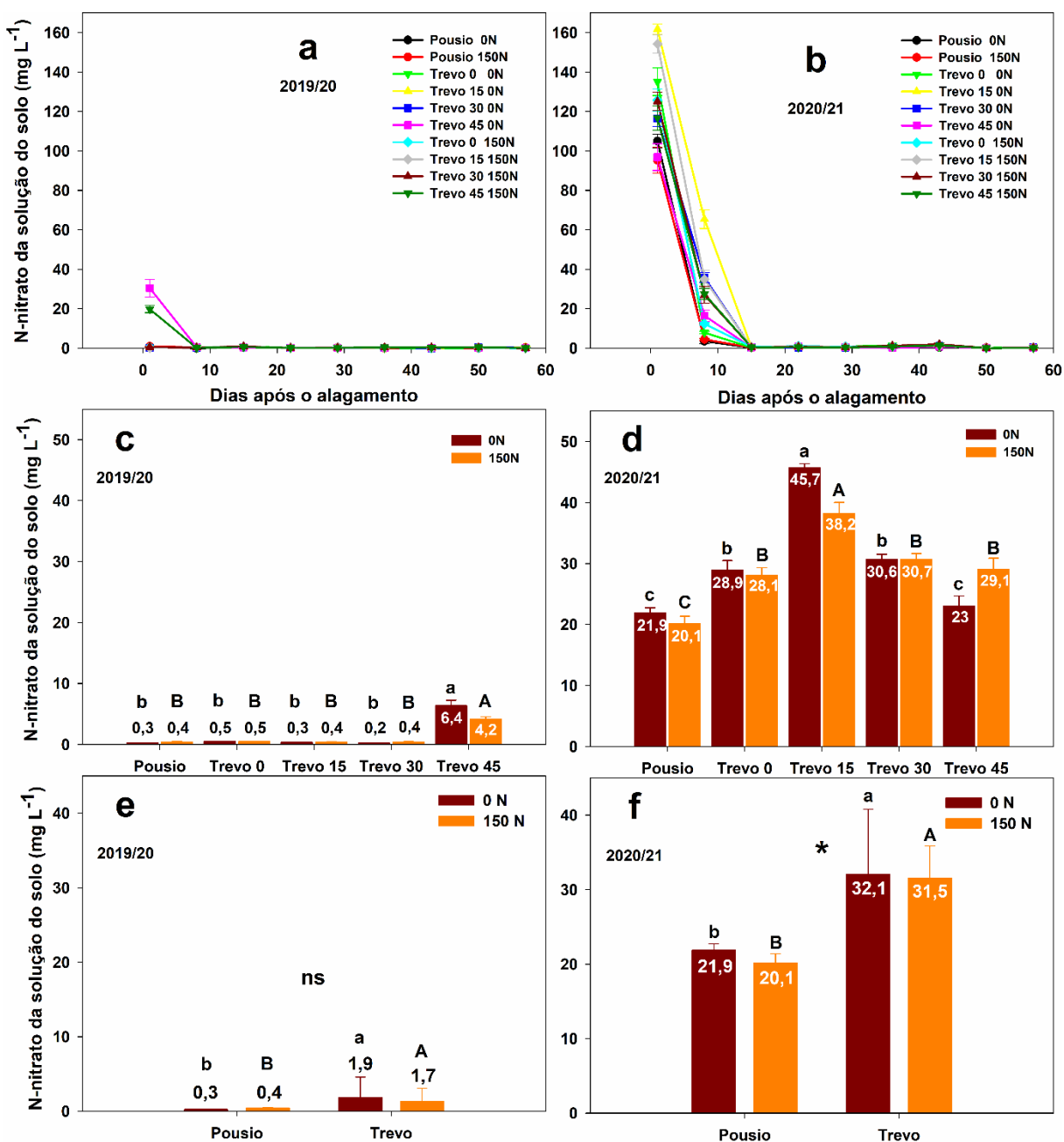
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.4.5 Teor de N-nitrato da solução do solo

No ano agrícola 2019/2020, o tratamento Trevo 45 apresentou maior teor de nitrato na primeira coleta nas doses de 0N e 150N (Figura 39a). No segundo ano agrícola, independente da dose de N, os tratamentos apresentaram maiores teores até os 14 dias após o alagamento em relação ao ano anterior. No tratamento com a dose 0N o tratamento Trevo 15 apresentou maior teor nas duas primeiras coletas em relação aos demais tratamentos, porém na dose de 150N, o tratamento Trevo 15

apresentou maior teor apenas na primeira coleta (Figura 39b). Estes resultados estão mais visíveis nas concentrações de N-nitrato aos 30 dias após o alagamento, onde os mesmos tratamentos Trevo 45 e Trevo 15 nas duas doses de N em 2019/2020 e 2020/2021 respectivamente apresentaram as maiores concentrações de N-nitrato na solução do solo (Figura 39c e 39d). Os tratamentos com coberturas também apresentaram diferença, com os tratamentos com trevo-persa apresentando as maiores concentrações de N-nitrato na solução do solo nos dois anos agrícolas (Figura 39e e 39f). Em relação as doses de N, o comportamento foi diferente, pois em 2019/2020 não houve diferença entre os tratamentos com ou sem adição de N, já no ano seguinte, os tratamentos com a dose 0N apresentaram concentrações maiores de N-nitrato na solução do solo em relação ao tratamento com a dose de 150N (Figura 39e e 39f).

Figura 39 – Teores de N-nitrato da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de N-nitrato em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de N-nitrato em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de N-nitrato em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo



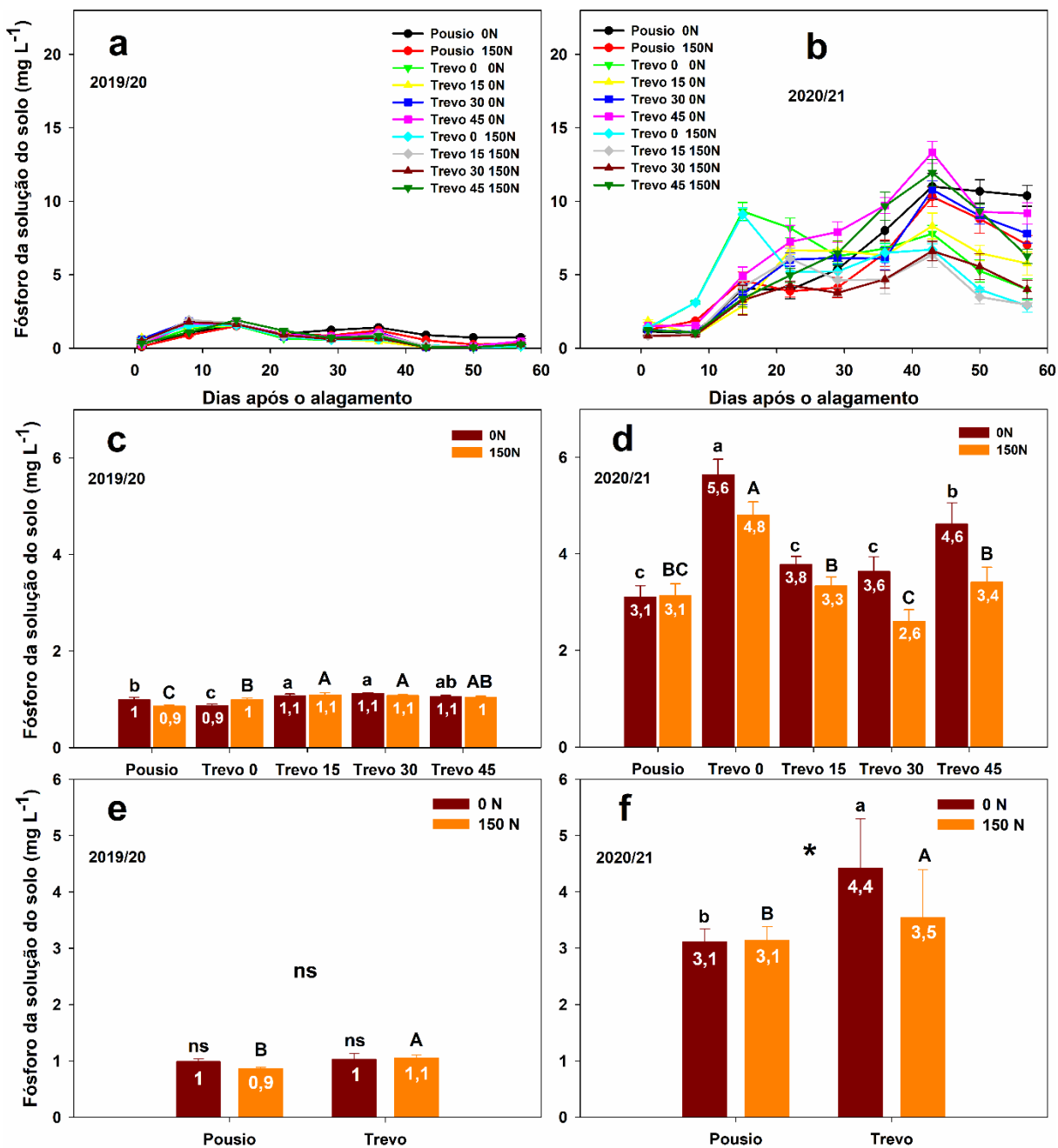
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.4.6 Teor de fósforo da solução do solo

No ano agrícola 2019/2020 o teor de P na solução do solo apresentou teores similares ao decorrer das avaliações (Figura 40a). No segundo ano agrícola os tratamentos Trevo 0 nas duas doses de N apresentaram um pico maior no teor de P aos 8 e 15 dias após o alagamento, além de todos tratamentos que apresentarem teores superiores ao primeiro ano agrícola (Figura 40b). Em relação as

concentrações médias até o 29° dia de coleta, no primeiro ano agrícola os tratamentos Trevo 15, 30 e 45 apresentaram os maiores teores. Porém, na dose 150N, no tratamento Trevo 45 não se observou diferença do Trevo 0, e na dose 0N o tratamento Trevo 0 não diferiu do tratamento Pousio (Figura 40c). Em 2020/2021 o tratamento Trevo 0 nas duas doses de N foi superior aos demais tratamentos (Figura 40d). Em relação ao uso do trevo no primeiro ano agrícola não houve diferença na dose 0N, porém na dose 150N o tratamento com trevo apresentou o maior teor de P (Figura 40e). No segundo ano, os tratamentos com trevo-persa apresentaram os maiores teores em ambas doses de N (Figura 40f). Não houve diferença entre as doses de N no primeiro ano agrícola (Figura 40e) e no segundo ano o tratamento 0N apresentou a maior teor de P em relação aos tratamentos com a dose 150N (Figura 40f).

Figura 40 – Teores de fósforo da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de fósforo em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de fósforo em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de fósforo em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo



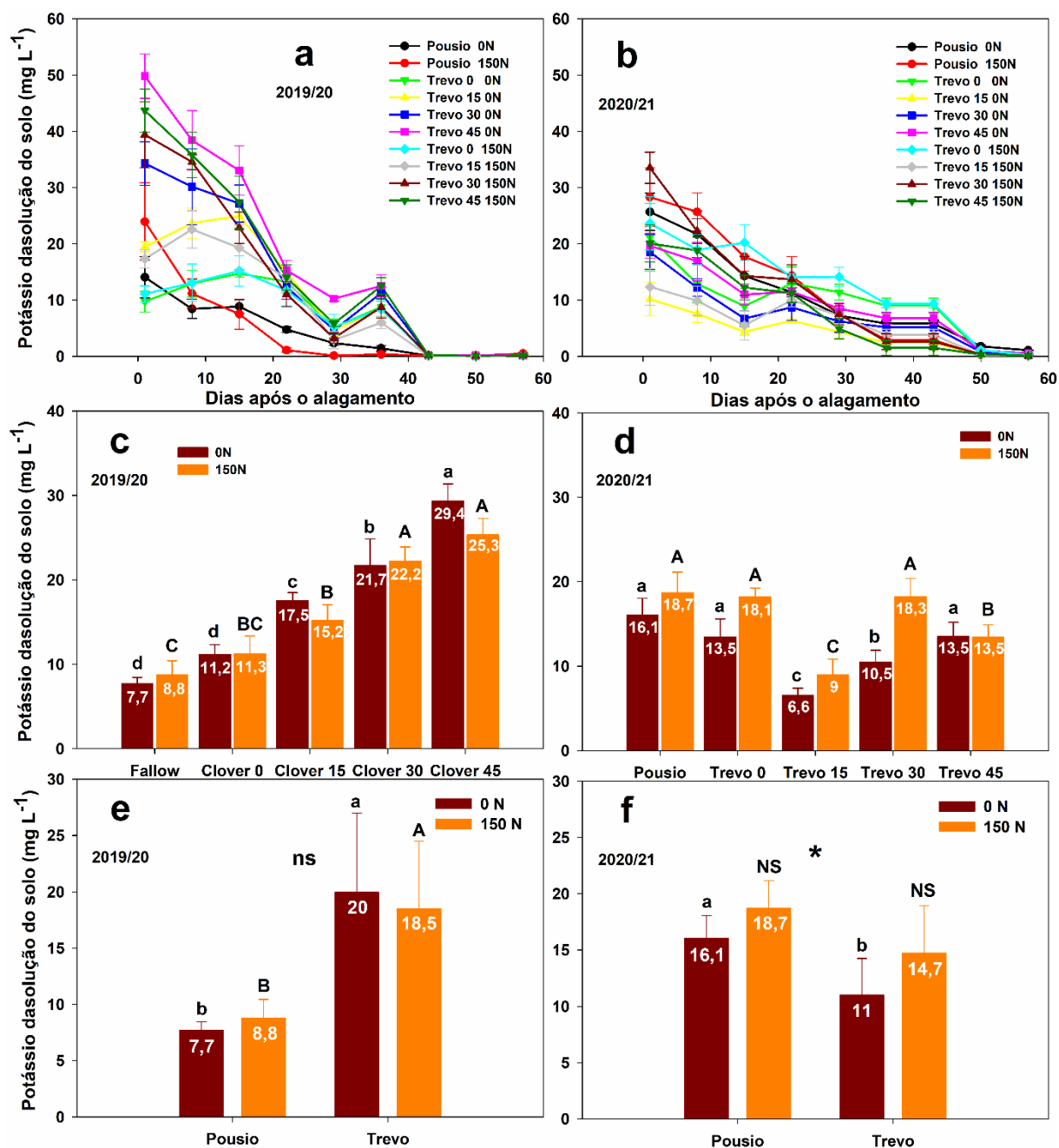
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.4.7 Teor de potássio da solução do solo

As concentrações de K na solução do solo apresentaram a mesma tendência nos 2 anos agrícolas, com maiores teores nas primeiras coletas e menores nas coletas finais. Em 2019/2020 a concentração de K foi maior nas duas doses de N nos tratamentos Trevo 30 e 45 nas coletas iniciais (Figura 41a), no ano 2020/2021 os tratamentos Pousio e Trevo 30 na dose de 150N foram os que apresentaram os

maiores teores de K nas duas primeiras coletas (Figura 41b). Nos primeiros 29 dias após o alagamento, no ano agrícola 2019/2020 os tratamentos Trevo 30 e 45 na dose 150N apresentaram os maiores teores de K na solução do solo. Na dose de 0N o tratamento Trevo 45 foi o que apresentou a maior concentração (Figura 41c). Em 2020/2021, os tratamentos Pousio e Trevo 0 e 30 na dose 150 N apresentaram os maiores teores. Na dose 0N foram os tratamentos Pousio e Trevo 45 que apresentaram os maiores teores (Figura 41d). Os tratamentos com as coberturas com trevo-persa apresentaram os maiores (+ 133%) teores de K na solução do solo em relação ao pousio em 2019/2020 (Figura 41e), e em 2020/2021 apenas os tratamentos na dose 0N apresentaram diferença, com o tratamento Pousio com maiores teores de K na solução do solo (Figura 41f). Entre os tratamentos 0N e 150 N não se observou diferença no teor de K da solução do solo no primeiro ano de cultivo (Figura 41e). No segundo ano, os tratamentos com a dose de 150N foram superiores na concentração de K na solução do solo (Figura 41g).

Figura 41 – Teores de potássio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de potássio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de potássio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de potássio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo



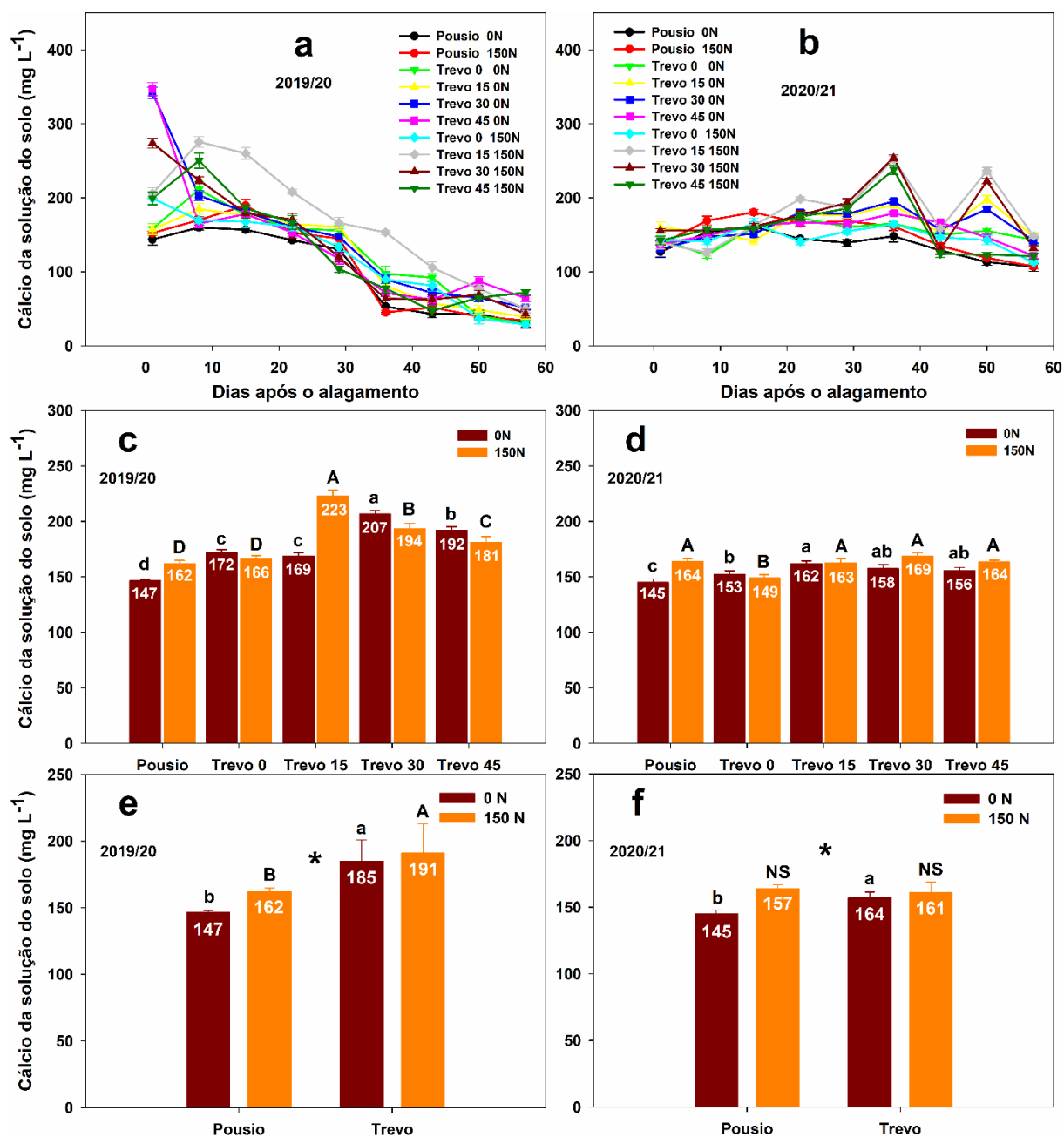
Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.4.8 Teor de cálcio da solução do solo

Os teores de Ca foram pouco influenciados pelos tratamentos. No primeiro ano agrícola, os tratamentos Trevo 30 e 45 na dose 0N apresentaram os maiores teores na primeira coleta, a partir da segunda coleta até a sétima o tratamento Trevo 15 150N teve o maior teor de Ca na solução do solo, com os outros tratamentos apresentando teores similares (Figura 42a). No segundo ano agrícola, todos os

tratamentos apresentaram teores similares em praticamente todas as coletas, as exceções foram os picos no 36º e 50º dias, com os tratamentos Trevo 30 e 45 150N e trevo 15 e 30 150N apresentando os maiores teores respectivamente (Figura 42b). Em relação aos 29 primeiros dias de alagamento, no primeiro ano agrícola os tratamentos Trevo 15 150N e Trevo 30 0N apresentaram os maiores teores de Ca na solução do solo (Figura 42c). No segundo ano, na dose de 150 N, apenas o tratamento Trevo 0 apresentou teor de Ca inferior aos demais tratamentos, e na dose de 0N os tratamentos Trevo 15, 30 e 45 apresentaram os maiores teores, porém os dois últimos não diferiram do tratamento Trevo 0 (Figura 42d). No primeiro ano, os tratamentos com trevo apresentaram maiores teores de Ca na solução do solo nas duas doses de N (Figura 42e), já no segundo ano houve diferença apenas na dose de 0N com os tratamentos com trevo apresentando maiores teores de Ca (Figura 42f). Em relação as doses de N, os tratamentos com a dose de 150 N foram superiores no teor de Ca na solução do solo em relação a dose 0N (Figura 42e e 42f).

Figura 42 – Teores de cálcio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de cálcio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de cálcio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de cálcio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo

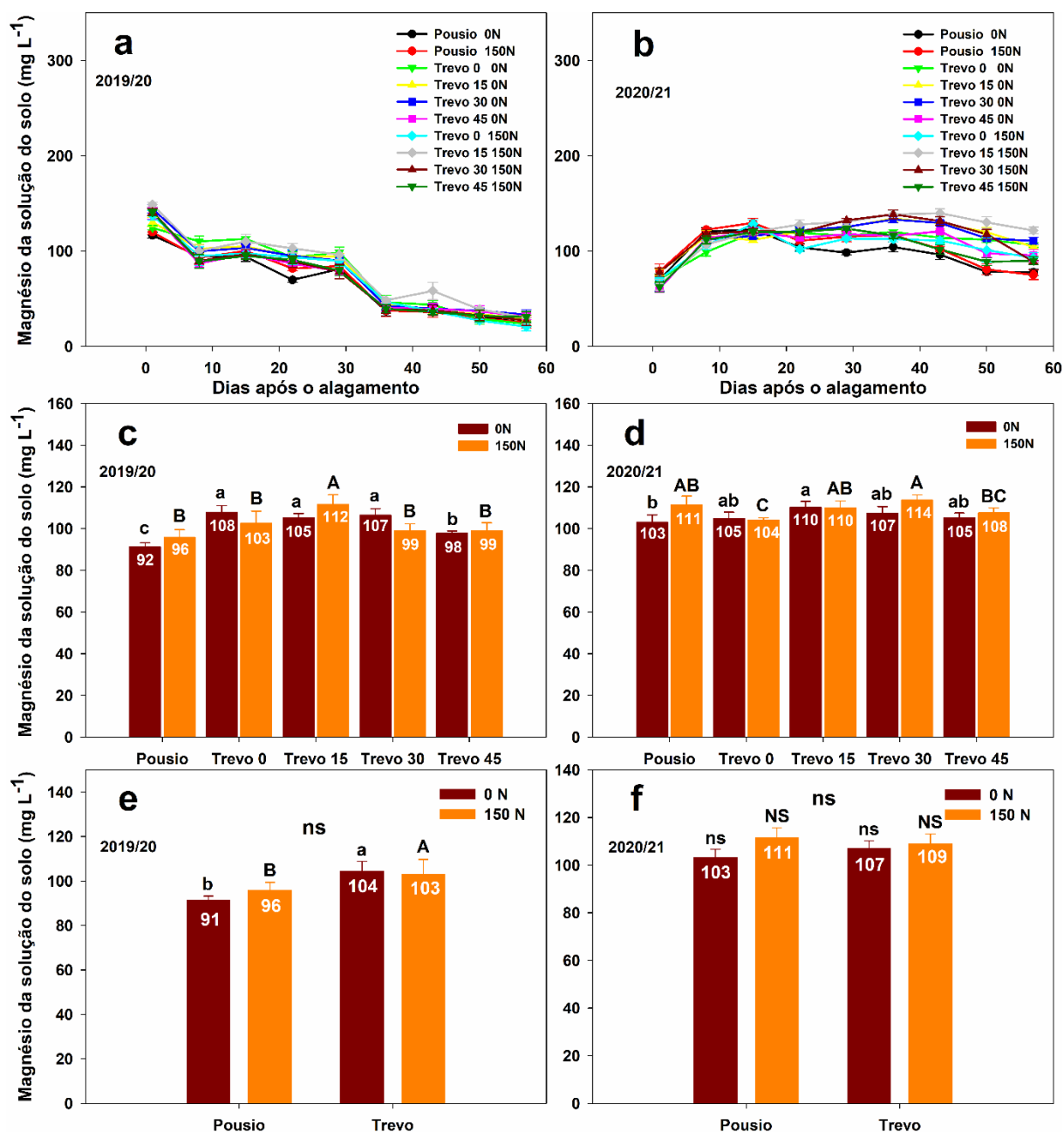


7.4.9 Teor de magnésio da solução do solo

O comportamento do teor de Mg na solução do solo, teve a mesma tendência para cada ano agrícola, independente da dose de N. No primeiro ano agrícola, os tratamentos apresentaram teores semelhantes em todas as coletas entre os manejos químicos e entre as doses de N (Figura 43a), e a tendência foi a mesma na primeira coleta para os teores de Mg na solução do solo, com teores na faixa de 140

mg L⁻¹ e com teores na faixa de 40 mg L⁻¹ na última coleta. No segundo ano agrícola, o comportamento foi diferente, com os tratamentos tendo na primeira coleta teores inferiores ao ano anterior, começando na casa de 65 mg L⁻¹ independente da dose de N, e com teores na casa de 100 mg L⁻¹ na última coleta para ambos tratamentos (0N e 150N) (Figura 43b). No ano 2019/2020, o tratamento Trevo 15 150N apresentou o maior teor de Mg na solução do solo nos primeiros 29 dias após o alagamento, e na dose de 0 N os tratamentos Trevo 0, 15 e 30 apresentaram teores superiores (Figura 43c). Em 2020/2021 na dose de 150 N os tratamentos Trevo 15 e 30 e Pousio apresentaram os maiores teores, porém os tratamentos Pousio e Trevo 15 não diferiram do tratamento Trevo 45, na dose 0N, apenas o tratamento Trevo 15 apresentou teor superior ao tratamento Pousio, com os demais tratamentos não diferindo dos anteriores (Figura 43d). As coberturas apresentaram teores diferentes pois no primeiro ano agrícola o tratamento com trevo apresentou os teores maiores em relação ao pousio (Figura 43e), e no segundo ano agrícola não houve diferença em razão do uso do trevo-persa (Figura 43f). Em relação as doses de N não houve diferença nos dois anos agrícolas (Figura 43e e 43f).

Figura 43 – Teores de magnésio da solução do solo em função de dois tratamentos de pousio e 4 diferentes épocas de manejo químico do trevo-persa, com 2 doses de N na safra 2019/20 (a) e 2020/21 (b). Médias dos teores de magnésio em função da época de dessecação, pousio e doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento, safra 2019/20 (c) e 2020/21 (d). Média dos teores de magnésio em função do trevo-persa e pousio nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Média dos teores de magnésio em função das doses de N nos primeiros 29 dias após o alagamento safra 2019/20 (e) e 2020/21 (f). Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz, Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno. Média das profundidades 0-5 e 5-10 cm do solo, sob doses de 0 e 150N ha⁻¹. Capão do Leão – RS. Tukey (p<0,05). ns – não significativo



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

7.4.10 Parâmetros fisiológicos

Os parâmetros fisiológicos foram influenciados pelos intervalos de manejos químicos realizados no trevo-persa e doses de adubação nitrogenada realizadas no arroz irrigado. Os tratamentos Trevo 0 e 15 0N e Trevo 0, 30 e 45 150N apresentaram os maiores índices de clorofila na folha de arroz em 2019/2020, porém em 2020/2021 os tratamentos Trevo 0 nas duas doses de N apresentaram os maiores índices de clorofila (Tabela 12). No ano de 2019/2020, o índice de

flavonoide foi menor nos tratamentos Trevo 0, 15 e 45 na dose de 150N com os outros tratamentos apresentando os maiores resultados, em 2020/2021, os tratamentos que apresentaram os menores índices de flavonoides foram Trevo 0 0N e Trevo 0 e 15 150N com os outros tratamentos apresentando os maiores índices (Tabela 12). O comportamento foi diferente para o índice de antocianinas, com os tratamentos Pousio nas duas doses de N e Trevo 45 150N apresentando os maiores índices (Tabela 12). Em relação ao balanço de N, em 2019/2020 os tratamentos Pousio e Trevo 30 0N apresentaram os menores índices de balanço de nitrogênio com os demais tratamentos apresentando os maiores teores não diferindo entre si, em 2020/2021 os tratamentos Trevo 0 nas duas doses de N apresentaram os maiores índices de balanço de N (Tabela 12).

Tabela 12 – Índice de clorofila, flavonoide, antocianina e balanço de nitrogênio em arroz irrigado nas doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹ nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021, cultivado com solo em pousio e trevo-persa sob diferentes épocas de manejo químico de trevo-persa: Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno

Tratamento	----Clorofila----		-----Flavonoide-----		---Antocianina---		--Balanço de N--	
	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21
	-----Ano agrícola-----							
	-----Índice-----							

	Pousio	21.7 c	22.2 de	1.67 a	1.70 a	0.10 a	0.17 a	13.1 c	13.1 e
	Trevo 0	29.7 a	28.3 ab	1.56 abcd	1.57 cd	0.02 c	0.07bcd	19.0 a	18.1 ab
	Trevo 15	27.4 ab	22.6 de	1.58 abc	1.65 abc	0.04 bc	0.11abc	17.6 ab	13.6 de
	Trevo 30	24.3 bc	24.4 cd	1.59 abc	1.64 abc	0.04 bc	0.10 bc	15.4 bc	15.0 cde
	Trevo 45	25.7 b	21.4 e	1.61 abc	1.69 ab	0.04 bc	0.10 bc	16.0 abc	12.9 e
-----150 N-----	Pousio	25.0 bc	24.4 cd	1.63 ab	1.67 abc	0.08 ab	0.11 ab	16.9 ab	14.7 cde
	Trevo 0	26.8 ab	29.8 a	1.44 d	1.53 d	0.01 c	0.01 d	18.4 ab	20,1 a
	Trevo 15	25.4 bc	25.7 bc	1.49 cd	1.58 bcd	0.04 bc	0.04 cd	17.2 ab	16,4 bc
	Trevo 30	27.3 ab	24.8 cd	1.57 abc	1.62abcd	0.02 c	0.04 cd	17.2 ab	15,7 bcd
	Trevo 45	27.0 ab	23.6 cde	1.52 bcd	1.64 abc	0.01 c	0.11 ab	18.2 ab	14,5 cde

Letras minúsculas comparam na coluna (Tukey, $p < 0,05$). ns: não significativo.

Fonte: Autor.

7.4.11 Matéria seca, perfilhos e estatura do arroz irrigado e nitrato e amônio do solo

Os tratamentos Trevo 0 0N e Trevo 0 e 15 150N apresentaram a maior quantidade de MS por vaso, em 2020/2021 os tratamentos Trevo 0 e 15 150N apresentaram maior teor por vaso (Tabela 13). A estatura de plantas foi influenciada pela adubação nitrogenada pois em 2019/2020 todos os tratamentos com trevo na dose de 150N e os tratamentos Trevo 0 e 15 0N apresentaram a maior estatura. Em 2020/2021, somente os tratamentos com trevo na dose 150N apresentaram as maiores estaturas (Tabela 13). A quantidade de perfilhos em 2019/2020 foi maior nos tratamentos Trevo 0 0N e Trevo 0, 15 150N, no ano seguinte apenas o tratamento Trevo 0 150N apresentou a maior quantidade de perfilhos (Tabela 13). O tratamento Trevo 0 0N apresentou o maior teor de N-amônio e N-nitrato no solo após os dois anos de cultivo (Tabela 13).

Tabela 13 – Matéria seca, estatura e perfilhos de arroz irrigado nos anos agrícolas 2019/2020 e N-amônio e N-nitrato do solo em 2020/2021, nas doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹, em um solo cultivado com pousio e trevo-persa sob diferentes épocas de manejo químico de trevo-persa: Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz e Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz; e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno

Tratamentos	MS arroz	Estatura	Panículas	N-amônio	N-nitrato
-------------	----------	----------	-----------	----------	-----------

		-----Ano Agrícola-----							
		19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21
		0	1	-----cm-----		----Número----		----mg kg solo ⁻¹ ----	
		----g vaso ⁻¹ ----							
0N	Pousio	43 d	15 f	50 d	42 d	30 e	15 g	12 e	83 cd
	Trevo 0	107 a	42 c	60 ab	48 bc	61 ab	51 b	42 a	182 a
	Trevo 15	89 b	38 cd	60 ab	48 bc	50 cd	36 d	17 de	74 cd
	Trevo 30	73 c	26 e	55 c	45 cd	44 d	27 e	12 e	51 e
	Trevo 45	72 c	22 e	56 bc	44 d	44 d	22 f	14 e	49 e
150N	Pousio	73 c	36 d	55 c	45 cd	46 d	36 d	18 de	72 d
	Trevo 0	117 a	61 a	63 a	52 a	66 a	60 a	28 bc	126 b
	Trevo 15	109 a	57 a	62 a	51 ab	58 abc	55 b	23 cd	57 e
	Trevo 30	91 b	49 b	59 ab	50 ab	51 cd	46 c	29 bc	87 c
	Trevo 45	93 b	49 b	61 a	49 ab	56 bc	44 c	35 b	80 cd

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey ($p < 0,05$). ns: Sem diferença significativa.

Fonte: Autor.

7.4.12 Nutrientes da matéria seca do arroz irrigado

Os teores de macronutrientes por vaso no arroz irrigado foram influenciados pelo manejo químico e pelas doses de N. Apesar de haver grande variação nos tratamentos em relação ao teor de N na MS do arroz irrigado, o tratamento Trevo 0 150N apresentou o maior teor de N na MS do arroz nos dois anos agrícolas, com o tratamento Pousio 0N apresentando o menor teor (Tabela 14). O teor de K em 2019/2020 foi maior no tratamento Trevo 45 150N e o menor no tratamento Pousio 0N, em 2020/2021 os maiores teores foram nos tratamentos Trevo 0 e 45 150N, com o tratamento Pousio 0N apresentando o menor teor (Tabela 14). O teor P foi maior nos tratamentos Trevo 15 e Trevo 0 na dose de 150N nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 respectivamente com o tratamento Pousio 0N apresentando o menor teor de P por vaso nos dois anos agrícolas (Tabela 14). A quantidade de Ca acumulada na MS do arroz por vaso foi maior nos tratamentos Trevo 0 0N e Trevo 0

150N nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021 respectivamente, com o tratamento Pousio 0N apresentando a menor quantidade nos dois anos agrícolas (Tabela 14). As maiores quantidades de Mg acumuladas por vaso em 2019/2020 foram nos tratamentos Trevo 0 0N e Trevo 0 e 15 150N, com o tratamento Pousio 0 0N apresentando a menor quantidade, e em 2020/2021, os tratamentos Trevo 0 e 15 150N apresentaram as maiores quantidades de Mg por vaso, com o tratamento Pousio 0N apresentando a menor (Tabela 14).

Tabela 14 – Nutrientes da parte aérea do arroz irrigado, nas doses de 0 e 150 kg N ha⁻¹ nos anos agrícolas 2019/2020 e 2020/2021, cultivado com solo em pousio e trevo-persa sob diferentes épocas de manejo químico de trevo-persa: Trevo 0 – dessecação do trevo-persa na semeadura do arroz; Trevo 15 – dessecação do trevo-persa 15 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 30 – dessecação do trevo-persa 30 dias antes da semeadura do arroz; Trevo 45 – dessecação do trevo-persa 45 dias antes da semeadura do arroz e Pousio – sem plantas de cobertura no período outono/inverno.

Tratamentos	Nitrogênio		Potássio		Fósforo		Cálcio		Magnésio		
	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	19/20	20/21	
	-----Ano Agrícola-----										
	-----mg vaso ⁻¹ -----										
0N	Pousio	414 g	130 j	676 f	394 g	144 f	41 e	126 d	1353 i	95 d	32 g
	Trevo 0	1200 b	556 d	946 cd	798 cd	320 b	111 c	417 a	3966 d	318 a	121 c
	Trevo 15	968 d	338 g	1005 b	785 d	268 d	101 c	331 b	3279 f	239 b	96 d
	Trevo 30	687 ef	251 h	909 d	627 e	207 e	74 d	252 c	2266 g	210 bc	70 e
	Trevo 45	676 f	219 i	949 cd	557 f	204 e	65 d	243 c	1975 h	201 c	54 f
150N	Pousio	745 e	394 f	783 e	817 c	217 e	105 c	271 c	3407 e	223 bc	106 d
	Trevo 0	1374 a	880 a	792 e	928 a	314 b	174 a	339 b	5289 a	299 a	179 a
	Trevo 15	1236 b	714 b	992 b	899 b	364 a	149 b	358 b	5070 b	305 a	166 a
	Trevo 30	1004 cd	583 c	967 bc	892 b	286 c	145 b	241 c	4442 c	222 bc	142 b
	Trevo 45	1035 c	452 e	1093 a	907 ab	285 c	150 b	256 c	4357 c	231 bc	139 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, Tukey (p<0,05). ns: Sem diferença significativa.

Fonte: Autor.

7.5 Discussão

7.5.1 Matéria seca e nutrientes da matéria seca do trevo-persa

A produção de MS da parte aérea do trevo-persa foi positivamente influenciada pela época dos manejos químicos realizados (Figura 36). Quanto mais próximo da semeadura do arroz esses manejos foram realizados, maior foi a quantidade produzida. Isso se deve ao maior tempo de crescimento do trevo-persa nos tratamentos (Trevo 0, 15 e 30) em comparação ao manejo químico realizado no tratamento Trevo 45. Além disso, os primeiros manejos químicos coincidiram com o período de maior crescimento do trevo-persa, que ocorre entre junho e dezembro, conforme observado por Bortolini *et al.* (2012). Notou-se que o manejo químico Trevo 45 permitiu 119 e 91 dias de desenvolvimento do trevo-persa, enquanto aquele feito no momento da semeadura do arroz (Trevo 0) possibilitou 164 e 136 dias de crescimento (+27% e 33%) respectivamente em 2019/2020 e 2020/2021. Esse maior período resultou em 165% e 343% (médias de Trevo 0 nas 2 doses de N em cada ano) maior produção de MS do trevo-persa no tratamento Trevo 0 em comparação ao trevo 45 nos dois anos agrícolas. Weinert *et al.* (2023) encontraram resultados semelhantes em experimento realizado a campo por 4 anos agrícolas, com as coletas de trevo-persa mais próximas da semeadura do arroz, apresentando maior produção de MS. Essa maior produção de MS impactou positivamente na quantidade dos teores de N, P, K, Ca e Mg por vaso, onde foram encontrados os maiores teores desses nutrientes sempre nos tratamentos Trevo 0, oscilando entre as doses de 0 e 150N (Tabela 11). Esse período ampliado favorece uma maior FBN, maior crescimento das plantas e um maior potencial de ciclagem de nutrientes, impactando positivamente o desenvolvimento das plantas estabelecidas em sucessão.

7.5.2 Teor de carbono orgânico dissolvido na solução do solo

O teor de COD na solução do solo também foi influenciado pelo cultivo do trevo-persa (Figura 37), com os tratamentos com cultivo da leguminosa hibernal apresentando os maiores teores em relação ao Pousio. Em 2019/2020 os tratamentos com trevo-persa (média dos 4 tratamentos trevo) apresentaram 70% e 100% e em 2020/2021 78% e 93% maior teor de COD na solução do solo em relação ao pousio nas doses 0N e 150N respectivamente (primeiros 29 dias após o alagamento). Resultados semelhantes foram encontrados por Hu *et al.*, 2024 em um

experimento de campo, com teores de 84% a mais de COD nas parcelas cultivadas com leguminosas em relação as parcelas controle (pousio). O trevo-persa disponibiliza C para o solo através da MS e de exsudatos radiculares que servem como fonte de C para os microrganismos.

7.5.3 Teor de N-amônio da solução do solo

A leguminosa hibernal teve um impacto significativo no teor de N-amônio (Figura 38) presente na solução do solo. No manejo químico do Trevo 0, foi observada uma alta concentração de N-amônio, provavelmente devido ao elevado teor de aminoácidos e proteínas presentes nos resíduos da leguminosa. Esses fatores resultam em uma baixa relação C:N, promovendo rápida mineralização e disponibilização de N-amônio para as plantas. Além disso, o manejo químico realizado próximo à semeadura do arroz favorece o maior desenvolvimento das plantas de trevo-persa, aumentando sua capacidade de acumular N-amônio no solo potencialmente mineralizável e disponibiliza-lo na solução do solo. Esse efeito contrasta com o tratamento Trevo 45, onde a produção de MS do trevo foi 58% menor em comparação ao Trevo 0 0N.

A redução na disponibilidade de N foi significativamente mais acentuada na ausência de adição de N em comparação aos tratamentos que receberam sua suplementação. Assim, em sistemas com menor suporte de N, como na produção ecológica de arroz, que não utiliza fertilizantes de N, o trevo-persa surge como uma alternativa promissora para suprir as necessidades nutricionais das plantas. Esse efeito é especialmente evidente no manejo químico realizado no momento do alagamento (Trevo 0), na dose de 0N, onde se constata disponibilidade de N na solução do solo semelhante à obtida com a aplicação da dose 150N em pousio nos dois anos agrícolas avaliados (Figura 38c e 38d)

A redução do N na solução do solo em diferentes tempos de manejo químico com a dose de 150 N sugere a possível ocorrência do efeito *Priming* (Jiang *et al.*, 2021). Esse efeito ocorre quando o aumento da disponibilidade de N, especialmente proveniente da adubação, estimula a atividade microbiana, intensificando a mineralização das frações lábeis da MOS e disponibilizando N para as culturas agrícolas. Além disso, o N oriundo da adubação e da mineralização de resíduos vegetais favorece o maior desenvolvimento das plantas que, por sua vez, liberam

mais exsudatos radiculares. Esses compostos orgânicos servem como fonte de carbono e energia, estimulando a atividade microbiana e a produção de enzimas extracelulares, que promovem a mineralização do N orgânico do solo em maior eficiência (Jiang *et al.*, 2021). Estudos indicam que a presença de plantas pode aumentar em até 380% a atividade dessas enzimas, intensificando a mineralização do N orgânico (Cheng *et al.*, 2014). Contudo, os níveis de MOS não são reduzidos, pois há o transporte de resíduos vegetais, como raízes e parte aérea, ao solo ao final do ciclo das culturas.

Nesse contexto, destaca-se a importância de garantir o fornecimento de N, tanto por meio de leguminosas hibernais quanto pela complementação com adubação nitrogenada, em sistemas que buscam atingir níveis satisfatórios de produtividade de grãos. Esse efeito foi particularmente evidente com o uso do trevo-persa, independentemente do intervalo de manejo químico, na dose de 150N, onde se observou maior disponibilidade de N-amônio na solução do solo. Em determinadas condições, a utilização de doses de N associadas ao cultivo da leguminosa hiberna pode ser uma estratégia eficiente para atender às demandas de N no cultivo do arroz irrigado.

Em um estudo semelhante com trevo-persa sob sistema de plantio direto no Sul do Brasil, Garcia (2020) relatou um aumento de 3,35 mg L⁻¹ de N mineral na solução do solo cultivado com trevo-persa sob plantio direto em relação ao tratamento pousio sob preparo convencional. Essa maior disponibilidade de N mineral na solução do solo comprovada em um desenvolvimento superior do arroz irrigado.

A maior disponibilidade de N-amônio no solo sob o menor intervalo de manejo químico (Trevo 0) refletiu em maiores índices de clorofila e índice de balanço de N (Tabela 12). O sincronismo mais eficiente na liberação de N dos resíduos da leguminosa hiberna favorece a maior absorção desse nutriente, essencial para a síntese da clorofila.

Esse aumento promove maior atividade fotossintética, maior produção de foto assimilados e, conseqüentemente, maior acúmulo de biomassa vegetal. A disponibilidade de N fornecida pela leguminosa foi, possivelmente, o fator mais influente para o crescimento e desenvolvimento do arroz, contribuindo para maior produção de MS, perfilhamento e estatura das plantas (Tabela 13). Esse efeito foi mais evidente nos manejos realizados a 0 e 15 dias antes da semeadura, que

coincidiram com os períodos de maior disponibilidade de N na solução do solo e maior desempenho do arroz em termos de crescimento e produção. Em contrapartida, as maiores disponibilidades médias de P e K foram observadas nos tratamentos Trevo 30 e 45, que coincidiram com períodos de menor produção de massa seca, perfilhamento, estatura de plantas, além de menores índices de clorofila e balanço de N.

7.5.4 Teores de N-nitrato da solução do solo

Por outro lado, o teor de N-nitrato na solução do solo (Figura 39) teve comportamento diferente em relação ao N-amônio, pois no primeiro ano apenas os tratamentos Trevo 45 apresentaram maiores teores na solução do solo, porém no segundo ano foram os tratamentos Trevo 15. Outro ponto importante foi a disponibilidade deste nutriente na solução do solo, pois no primeiro apresentou valores expressivos na primeira coleta e no segundo ano apresentou nas duas primeiras coletas, mantendo-se próximo a zero nas demais coletas seguintes respectivamente. Apesar do trevo-persa nos tratamentos mais próximos da semeadura disponibilizem maior quantidade de N-nitrato em relação ao N-amônio no solo (Tabela 13) a sua disponibilidade é diminuída após o alagamento do solo, pelo fato do N-nitrato ser o primeiro composto a sofrer o processo de desnitrificação, que é o processo de redução realizado pelos microrganismos do solo (Sousa; Vahl & Otero, 2009).

7.5.5 Teores de fósforo da solução do solo

Em relação ao P, N fornecido por leguminosas hibernais ou pela adubação nitrogenada pode modificar o perfil e a atividade da comunidade microbiana do solo, influenciando, assim, a conversão de P orgânico em P mineral (Kritzler & Johnson, 2010). Esse efeito é evidenciado pelo aumento na disponibilidade de P na solução do solo quando aplicado a dose de 150 kg N ha⁻¹ (Figura 40). Por outro lado, o N estimula uma maior produção primária e um maior desenvolvimento das plantas, especialmente em períodos de manejo químico mais curtos (Trevo 0 e 15). Nesses intervalos, devido ao maior crescimento vegetal, ocorre uma maior demanda de P tanto pelas plantas quanto pela microbiota do solo (Vitousek *et al.*, 2010), o que

pode resultar em uma menor disponibilidade de P na solução do solo, particularmente a quando não foi adicionado N. As leguminosas, devido à sua alta capacidade de FBN, exigem maiores quantidades de P, promovendo uma ciclagem mais intensa desse nutriente. Isso é especialmente evidente em espécies com maior atividade de fosfatase (Venterink, 2011). No entanto, o aumento na disponibilidade de P na solução do solo pelo trevo-persa considerando a média dos intervalos de manejo químico, foi menos expressivo. Isso pode estar relacionado à alta dose de P utilizada na semeadura do trevo (equivalente a $180 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$).

7.5.6 Teores de potássio na solução do solo

O K da solução do solo apresentou maior liberação nos intervalos mais longos de manejo químico (Trevo 30 e 45) (Figura 41). Por não fazer parte da composição de compostos orgânicos, o K possui maior mobilidade após o manejo das culturas. No entanto, neste estudo, observou-se que a disponibilidade de K foi maior em intervalos de manejo mais longos, indicando que, em solos alagados, a liberação de K a partir de resíduos de leguminosas ocorre de forma mais lenta. Outro aspecto destacado foi o elevado teor médio de K na solução do solo sob Pousio com a aplicação de 150 kg N ha^{-1} . Nesse tratamento, os níveis de K na solução do solo foram superiores até mesmo em relação aos tratamentos Trevo 15 e 30. Este fato pode ser em razão do deslocamento do NH_4^+ e do K dos sítios de sorção da CTC e das entrecamadas de argilominerais 2:1 (K fixado). Apesar de os Planossolos apresentarem baixas quantidades de argilominerais 2:1, esses minerais possuem alta capacidade de fixação K^+ nas entrecamadas, sendo esses íons substituídos por cátions monovalentes, como o NH_4^+ (FRAGA *et al.*, 2009). O N aportado pela adubação pode ser demandado pelo metabolismo microbiano na mineralização da biomassa nos menores intervalos de manejo químico. Esta condição acarreta em um menor efeito de deslocamento do K para a solução do solo.

7.5.7 Teores de cálcio na solução do solo

O Ca é um nutriente importante para o crescimento e formação das paredes celulares das plantas, neste sentido, o trevo-persa absorve o Ca do solo durante o

seu crescimento e sua liberação para a solução do solo se dá após o manejo de dessecação do trevo-persa de forma gradativa, disponibilizando este nutriente para culturas subsequentes.

7.5.8 Teores de magnésio na solução do solo

Em relação ao Mg na solução do solo (Figura 43), o trevo-persa é eficiente em sua absorção do solo, pois o Mg é um nutriente essencial para as plantas sendo o elemento central da molécula de clorofila, além de participar de vários processos metabólicos. Sendo assim, após a dessecação, quando a biomassa do trevo-persa se decompõe, o Mg presente é liberado de forma gradual para a solução do solo.

7.5.9 Parâmetros fisiológicos

A maior disponibilidade de N no solo sob o menor intervalo de manejo químico (Trevo 0) refletiu em maiores índices de clorofila e índice de balanço de N e menores índices de antocianinas e flavonoides (Tabela 12). O maior sincronismo de liberação de N dos resíduos da leguminosa hiberna possibilitou uma maior absorção desse nutriente que é essencial na síntese de clorofila. Este aumento possibilita maior atividade fotossintética e maior produção de foto assimilados e, conseqüentemente, maior biomassa vegetal. A maior disponibilidade de N aportado pela leguminosa, possivelmente, seja o elemento mais responsivo ao desenvolvimento de crescimento e produção de MS de arroz (Tabela 13). Essa condição é evidenciada pelo fato de haver nos intervalos de manejo químico aos 0 e 15 dias antes da semeadura do arroz, maior disponibilidade de N-amônio na solução do solo e que coincide com os intervalos de maior produção de MS de arroz. Por outro lado, as maiores disponibilidades de P e K foram verificadas nos tratamentos Trevo 30 e 45, períodos de menor produção de MS de arroz, além de menores índices de clorofila e balanço de N.

Nas relações do crescimento do trevo-persa e o impacto no desenvolvimento do arroz verificou-se que nas épocas de dessecação mais próximas da semeadura em média apresentaram a maior quantidade de perfilhos, estatura e MS do arroz irrigado (Tabela 13).

No presente estudo, fica evidente que a aproximação do manejo químico do trevo-persa à sementeira do arroz é relevante para ter um melhor sincronismo na absorção de N pelas plantas com reflexo em maior produção de MS. Essa condição ocorre pela riqueza em aminoácidos, proteínas e outros compostos lábeis presentes nos resíduos de leguminosas que conferem uma maior velocidade de mineralização. Contudo, cabe salientar que esse trabalho foi conduzido em condições controladas e contrasta com algumas peculiaridades que ocorrem no campo e podem limitar a adoção de uma prática de manejo químico tão próxima da sementeira do arroz. O impedimento físico de alta quantidade de MS, cerca de 5 a 6 Mg ha⁻¹, pode ser um grande empecilho para uma adequada deposição de sementes no solo. Um segundo fator, é a retenção de umidade no solo, pois altas quantidades de resíduo vegetal em solos hidromórficos como os Planossolos podem aumentar o intervalo de tempo para que se tenha condições adequadas de umidade do solo e atrasar a sementeira e estabelecimento. Um terceiro fator, é a pressão por plantas daninhas que sofrem manejos químicos próximos à sementeira do arroz. Nesta condição, um grande desenvolvimento da biomassa da leguminosa pode ter um efeito “guarda-chuva” e não ter uma eficiência adequada de controle químico de plantas daninhas competidoras com a cultura do arroz, especialmente as que se encontrarem sob o dossel da leguminosa hiberna. Por último, o quarto fator, a maior biomassa da leguminosa hiberna pode impactar na produção de ácidos orgânicos, como acético e propiônico que podem ser prejudiciais ao desenvolvimento inicial de plantas de arroz. Esse pico de produção de ácidos orgânicos pode ocorrer principalmente em anos chuvosos, que induzem condição de hipóxia no solo e tende a ser mais intenso quando da utilização de leguminosas (Sousa, 2001).

7.6 Conclusão

O manejo químico do trevo-persa no momento da semeadura do arroz aumenta substancialmente em 232% a quantidade de matéria seca no período de outono inverno em comparação ao manejo realizado 45 dias antes da semeadura.

O manejo químico da leguminosa hibernal mais próximo da semeadura aumenta o teor de N na solução do solo e aumenta a síntese de clorofila e a absorção de nitrogênio pela cultura do arroz irrigado cultivado em sequência.

O cultivo da leguminosa hibernal, independentemente de intervalo de manejo químico e dose de nitrogênio, aumenta de forma substancial a disponibilidade de N na solução do solo no período vegetativo de desenvolvimento do arroz.

Os maiores intervalos de manejo químico aumentam o teor de fósforo e potássio na solução do solo no período vegetativo de desenvolvimento de plantas de arroz.

Referências

ADAM, GILLIAN & DUNCAN, HARRY. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 7-8, p. 943-951, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Portal Hidroweb. <https://www.sn.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 20 dez. 2024.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F. & COSTA, S. E. V. G. de A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. 2, p. 325-380, 2013.

ANGHINONI, IBANOR. & CARLOS, FILIPE SELAU. **O cenário para a diversificação. Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas**. 1ed. Porto Alegre: Departamento de Solos - UFRGS, 2018, v. 1, p. 25-30.

ANGHINONI, IBANOR & CARLOS, FILIPE SELAU. **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas: a integração lavoura-pecuária como caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira**. Porto Alegre: Edição dos autores, 2018. 160 p.

ASSMANN, TANGRIANI SIMIONI & SOARES, ANDRÉ BRUGNARA. Migrando da adubação de culturas para a adubação de sistemas por meio da Integração Lavoura Pecuária. **Informativo integrar**. Pontal, Terceiro Distrito, Triunfo, RS, n. 15, p. 1-4, 2016.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. de O.; NICHEL, G. de H.; COSTA, S. E. V. G. de A.; SILVA, R. A. P. e; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. de F. & FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities insubtropics. **Nutrient cycling in agroecosystems**, vol. 108, n. 1, p. 21-33, 2017.

BALOTA, E.L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A.S.; COYNE, M.S. 2014. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: a long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 197, p. 31–40, 2014.

BALOTA, E.L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: MECENAS, 2017. 288 p.

BARR, N.; ZELDIS, J.; SCHEUER, K.; & SCHIEL, D. Macroalgal bioindicators of recovery from eutrophication in a tidal lagoon following wastewater diversion and earthquake disturbance. **Estuaries and Coasts**, vol. 43, p. 240-255, 2020.

BARRÉ, P.; MONTAGNIER, C.; CHENU, C.; ABBADIE, L. & VELDE, B. Clay minerals as a soil potassium reservoir: observation and quantification through X-ray diffraction. **Plant and Soil**, v. 302, n. 1, p. 213-220, 2008.

BEAULIEU, J. J.; DELSONTRO, T.; & DOWNING, J. A. Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century. *Nature communications*, vol. 10, n. 1, p. 1375, 2019.

BOENI, M.; ANGHINONI, I.; GENRO, S. A. & OSÓRIO FILHO, B. D. **Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, Brazil: IRGA, 2010.

BORTOLINI, F.; MITTELMANN, A. & DA SILVA, J. L. S. **BRS Resteiveiro: nova cultivar de inverno para solos hidromórficos**. Embrapa Clima Temperado- Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 8 p., 2012.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN G. & JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil biology and biochemistry**, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.

BURNS, R. G.; FOREST, J. L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGERE, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N. & ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.

CAI, S.; PITTELKOW, C. M.; ZHAO, X.; WANG, S. Winter legume-rice rotations can reduce nitrogen pollution and carbon footprint while maintaining net ecosystem economic benefits. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 195, p 289-300, 2018.

CAIRES, E. F.; SHARR, D. A.; JORIS, H. A. W.; HALISKI, A.; & BINI, A. R. Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. **Geoderma**, vol. 308, p. 120-129, 2017.

CARDOSO, E. F.; WOLTER, R. C.; VEÇOZZI, T. A.; TEIXEIRA, J. B. D. S.; CARLOS, F. S. & SOUSA, R. O. de. Phosphate fertilization for rice irrigated in soils with different phosphorus adsorption capacities. **Archives of Agronomy and Soil Science**, vol. 68, n.1, p. 89-100, 2022.

CARLOS, FILIPE SELAU. **Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado**. Trabalho de conclusão de tese (Doutor em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, 2017.

CARLOS, F. S.; DENARDIN, L. G. de O.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; ROSSI, I.; BUCHAIN, M. P.; CEREZA, T.; CARMONA, F. de C. & CAMARGO, F. A. de O. Integrated crop–livestock systems in lowlands increase the availability of nutrients to irrigated rice. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 18, p. 2962-2972, 2020.

CARLOS, F. S., SCHAFFER, N., MARIOT, R. F., FERNANDES, R. S., BOECHAT, C. L., ROESCH, L. F. W. & CAMARGO, F. A. de O. Soybean crop incorporation in irrigated rice cultivation improves nitrogen availability, soil microbial diversity and activity, and growth of ryegrass. **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104313, 2022.

CARLOS, F. S.; SOUSA, R. O. de; NUNES, R.; DE CAMPOS CARMONA, F.; CEREZA, T.; WEINERT, C.; PASA, E. H.; BAYER, C. & CAMARGO, F. A de O. Long-term cover crops and no-tillage in Entisol increase enzyme activity and carbon stock and enable the system fertilization in southern Brazil. **Geoderma Regional**, p. e00700, 2023.

CARMONA, F. de C.; ANGHINONI, I.; MEZZARI, C. P.; MARTINS, A. P. & CARVALHO, P. C. de F. Effectiveness of current fertilizer recommendations for irrigated rice in integrated crop-livestock systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 40, 2016.

CHEN, Z.; WANG, H.; LIU, X.; ZHAO, X.; LU, D.; ZHOU, J. & LI, C. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice–wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, vol. 165, p. 121-127, 2017.

CHENG P.; WANG, J.; LIU, T. Effects of nitrogen source and nitrogen supply model on the growth and hydrocarbon accumulation of immobilized biofilm cultivation of *B. braunii*. **Bioresource technology**, vol. 166, p. 527-533, 2014.

CIBOTTO, D. V.; NETO, A. M. O.; GUERRA, N.; MEERT, L.; BOTTEGA, E. L. & LEAL, G. B. Produtividade da soja com antecipação da adubação potássica nas culturas da aveia preta, canola e trigo. **Revista Campo Digital**, v. 11, n.1, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB 2023 **Acompanhamento da Safra Brasileira grãos 2022/2023 (12º levantamento)**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>> Acesso em: 26 set. 2023.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; CECAGNO, D. & BALERINI, F. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 43-51, 2014.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C. & MITCHELL, A. J. A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. **Crop Science**, New York, v. 40, p. 436–443, 2000

CQFS-RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ed. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 401 p.

DE BAETS, S.; POESEN, J.; MEERSMANS, J.; & SERLET, L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. **Catena**, vol. 85, n. 3, p. 237-244, 2011.

DENARDIN, L. G. De O.; CARMONA, F. De C.; TIECHER, T.; MARTINS, A. P.; ALVES, L. A.; WEBER, E. J.; & Anghinoni, I. Salt-affected soils of the coastal plains in Rio Grande do Sul, Brazil. **Geoderma Regional**, vol. 14, p. e00186, 2018.

DENARDIN, L. G. DE O.; MARTINS, A. P.; BASTOS, L. M.; CIAMPITTI, I. A.; ANGHINONI, I.; MOOJEN, F. G.; CARVALHO, P. C. de F.; HUANG, M. & CHABBI, A. Soybean yield does not rely on mineral fertilizer in rotation with flooded rice under a no-till integrated crop-livestock system. **Agronomy**, v.10, n. 9, p. 1371, 2020.

DICK, R.P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 40, n. 1-4, p. 25-36, 1992.

DING, J.; JIANG, X.; MA, M.; ZHOU, B.; GUAN, D.; ZHAO, B.; ZHOU, J.; CAO, F.; LI, L. & LI, J. Effect of 35 years inorganic fertilizer and manure amendment on structure of bacterial and archaeal communities in black soil of northeast China. **Applied soil ecology**, vol. 105, p. 187-195, 2016.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S. & KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 195-200, 2013.

EBERHARDT, D. N.; BECQUER, T.; MARCHÃO, R. L.; VENDRAME, P. R. S.; VILELA, L.; CORAZZA, E. J. & de FÁTIMA GUIMARÃES, M. Phosphorus bioavailability in soybean grown after pasture under different fertility regimes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 571-579, 2017.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.

FIERER, N.; STRICKLAND, M. S.; LIPTZIN, D.; BRADFORD, M. A.; CLEVELAND, C. C. Global patterns in belowground communities. **Ecology letters**. vol. 12, n.11, pag. 1238-1249, 2009.

FOLONI, JOSÉ SALVADOR SIMONETI & ROSOLEM, CIRO ANTONIO. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1549-1561, 2008.

FRAGA, T. I.; GENRO JUNIOR, S. A.; INDA JUNIOR, A. V.; ANGHINONI, I. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Revista brasileira de ciência do solo**. Viçosa. Vol. 33, n. 3, p. 497-506, 2009.

GARCIA, A. V. Uso de leguminosa hibernal (*Trifolium resupinatum*) e plantio direto na produção de arroz irrigado: respostas de solo e planta às modificações no ciclo do nitrogênio. Trabalho de conclusão de mestrado (Mestre em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, 2020.

GEISSELER, D.I.; LINQUIST, B. A.; LAZICKI, P. A. Effect of fertilization on soil microorganisms in paddy rice systems—A meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 115, p. 452-460, 2017.

GOMES, A. da S.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M. B.; da SILVA, C. A. S.; de SOUZA, R. O.; PAULETTO, E. A. **Rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz**. Embrapa Clima Temperado - Documentos 89 (INFOTECA-E), 65 p., 2002.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J.; BORTOLON, L.; & GONÇALVES, D. R. N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, p. 1633-1639, 2011.

GOULART, F. A. P.; MARTINS, M. B.; SCHMITZ, M. F.; AGOSTINETTO, D.; ANDRES, A. Rotação de culturas e preparo do solo sobre o banco de sementes de plantas daninhas em terras baixas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, vol. 18, n. 4, 7 p., 2019.

GOULART, R. Z.; REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F. Cropping poorly-drained lowland soils: Alternatives to rice monoculture, their challenges and management strategies. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102715, 2020.

GUBIANI, P. I.; MÜLLER, E. A.; SOMAVILLA, A.; ZWIRTES, A. L.; MULAZZANI, R. P.; MARCHESAN, E. Transpiration Reduction Factor and Soybean Yield in Low Land Soil with Ridge and Chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 14 p., 2018.

GHILHERME, L. R. G. et Adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 24, n. 1, p. 27-34, 2000.

HAEFELE, S.M.; BANAYO, N. P. M.; AMARANTE, S. T.; SIOPONGCO, J. D. L. C.; MABESA, R. L. Characteristics and management options for rice–maize systems in the Philippines. **Field Crops Research**, vol. 144, p. 52-61, 2013.

HOU, P. F.; CHIEN, C. H.; CHIANG-HSIEH, Y. F.; TSENG, K. C.; CHOW, C. N.; HUANG, H. J.; CHANG, W. C. Paddy-upland rotation for sustainable agriculture with regards to diverse soil microbial community. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 7966, 2018.

HU, Q., ZHANG, Y., CAO, W., YANG, Y., HU, Y., HE, T., LI, Z., WANG, P., CHEN, X., CHEN, J., & SHI, X. Legume cover crops sequester more soil organic carbon than non-legume cover crops by stimulating microbial transformations. **Geoderma**, v. 450, p. 117024, 2024.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA 2023 – **Produção do RS Série Histórica**. Disponível em: <<https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202108/03112722-producao-rs-historico.pdf>> Acesso em: 26 set. 2023.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA 2025 - **BOLETIM DE RESULTADOS DA SAFRA 2023/24 EM TERRAS BAIXAS: ARROZ IRRIGADO E SOJA EM ROTAÇÃO.** Disponível em:

<<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202411/11134631-boletim-de-resultados-irga-safra-2023-24-versao-final.pdf>> Acesso em: 29 jan. 2025.

JIANG, Z.; LIU, Y.; YANG, J.; BROOKES, P. C.; GUNINA, A. Rhizosphere priming regulates soil organic carbon and nitrogen mineralization: The significance of abiotic mechanisms. **Geoderma**, vol. 385, p. 114877, 2021.

KALLENBACH, C., & GRANDY, A. S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. vol. 144, n.1, pag. 241-252, 2011.

KRITZLER, U. H. & JOHNSON, D. Mineralisation of carbon and plant uptake of phosphorus from microbially-derived organic matter in response to 19 years simulated nitrogen deposition. **Plant and soil**, vol. 326, n. 1, p, 311-319, 2010.

KROLOW, R. H., MISTURA, C., COELHO, R. W., SIEWERDT, L., & ZONTA, É. P. Efeito do fósforo e do potássio sobre o desenvolvimento e a nodulação de três leguminosas anuais de estação fria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 2224-2230, 2004.

LINH, T. B.; SLEUTEL, S.; THI, G. V.; LE VAN, K. & CORNELIS, W. M. Deeper tillage and root growth in annual rice-upland cropping systems result in improved rice yield and economic profit relative to rice monoculture. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p. 44-52, 2015.

LIU, D. Y. & SONG, C. C. Effects of phosphorus enrichment on mineralization of organic carbon and contents of dissolved carbon in a freshwater marsh soil. **China Environmental Science**. Vol. 28, n.9, pag. 769-774, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2^a ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 319p.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARTINS A. P.; DENARDIN, L. G. de O.; BORIN, J. B. M.; CARLOS, F. S.; BARROS, T.; OZÓRIO, D. V. B.; CARMONA, F. de C.; ANGHINONI, I.; CAMARGO, F. A. de O.; & CARVALHO, P. C. de F. Shortterm Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development** vol. 28, n. 2, p. 534–542, 2017.

MCLEAN, E. O. & WATSON, M. E. Soil measurement of plant available potassium. **Potassium in agriculture**. RD Munson *et al.*(eds.). Am. Soc. Argon., Madison, Wis, p. 277-308, 1985.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P.; LOPES, M. C. B.; SILVA, P. R. F. D.; TEICHMANN, L. L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a

espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1107-1115, 2001.

MENEZES, V. G.; ANGHINONI, I.; SILVA, P.R.F. DA; MACEDO, V.R.M.; PETRY, C.; GROHS, D.S.; FREITAS, T.F. S. DE; VALENTE, L.A. DE LEÓN Projeto 10- **Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS: Avanços e novos desafios**. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2012.

MEURER, E.J., ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 17:377-82. 1993.

MITRAN, T.; MEENA, R. S.; LAL, R.; LAYEK, J.; KUMAR, S.; DATTA, R. (2018). Role of soil phosphorus on legume production. **Legumes for soil health and sustainable management**, p. 487-510, 2018.

O'CONNELL, S.; SHI, W.; GROSSMAN, J. M.; HOYT, G. D.; FAGER, K. L.; CREAMER, N. G., 2015. Short-term nitrogen mineralization from warm-season cover crops in organic farming systems. **Plant Soil**, v. 396, p. 353–367, 2015.

OLIVEIRA, C. M. B. D.; GATIBONI, L. C.; MIQUELLUTI, D. J.; SMYTH, T. J.; & ALMEIDA, J. A. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo Langmuir. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1805-1815, 2014.

OLIVEIRA, A. C. B. De; Cultivares de soja (Capítulo 6) IN. EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A. da; OLIVEIRA, A. C. B. de **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado. Editoras Técnicas- Brasília, DF, 2017, p. 127-140.

PAN, Y.; CASSMAN, N.; DE HOLLANDER, M.; MENDES, L. W.; KOREVAAR, H.; GEERTS, R. H.; VEEN, J. A. V.; KURAMAE, E.E. Impact of long-term N, P, K, and NPK fertilization on the composition and potential functions of the bacterial community in grassland soil. **FEMS microbiology ecology**, v. 90, n. 1, p. 195-205, 2014.

PAULETTO, E. A. *et al.* **Manejo de solo e água em arroz irrigado**. Produção de sementes de arroz. Pelotas: Ed. da UFPel, v. 1, p. 64-144, 1993.

PAVINATO, P. S. & CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1779-1784, 2004.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. D. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 709-715, 2001.

PEOPLES, M. B.; SWAN, A. D.; GOWARD, L.; KIRKEGAARD, J. A.; HUNT, J. R.; LI, G. D.; ... & PHILLIPS, L. A. Soil mineral nitrogen benefits derived from legumes and comparisons of the apparent recovery of legume or fertiliser nitrogen by wheat. **Soil Research**, vol. 55, n. 6, p. 600-615, 2017.

PINTO, L.F.S; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; SOUSA, R.O. de. **Caracterização de solos de várzea**. In: GOMES, A. da S. & PAULETTO, E.A. (Ed.). Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999, p.11-36.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemical of submerged soils. *Advances in Agronomy*, v. 24, p. 29-96, 1972.

RANNO, S. K. Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do Rio Grande do Sul. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

RIBAS, G. G.; ZANON, A. Jr.; STRECK, N. A.; PILECCO, I. B.; DE SOUZA, P. M.; HEINEMANN, A. B.; GRASSINI, P. Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. **Agricultural Systems**, v. 188, p. 103036, 2021.

RIBEIRO, P. L.; DE MARCO, E.; THEISEN, G.; DE LIMA, C. L. R.; CARLOS, F. S. From paddy to different land uses-soil changes in Albaqualfs in the lowlands of southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 26, p. e00409, 2021.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; de OLIVEIRA, V. Á.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; de ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. de A.; de OLIVEIRA, J. B. & CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., ver. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; 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, p.576-586, 2008.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S. **Adubação e calagem para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2007.

SCIVITTARO, W. B.; MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. da S. Uso de coberturas de solo como fonte de nitrogênio para sistema de produção orgânica de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1078-1081, 2007.

SCIVITTARO, W. B.; PARFITT, J. M. B.; GRIEP, S. P.; LUCAS, N. F.; AZEVEDO, V. J.; OLIVEIRA, M. S. **Manejo da fertilidade do solo e adubação para a soja em terras baixas**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2021 (Circular Técnica).

SCHROEDER, D. *et al.* Structure and weathering of potassium containing minerals. **IPI Research topics**, p. 5-25, 1978.

SENGIK, Erico S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. Maringá: Nupel UEM, 2003.

SILVA, Juliana Brito da. **Influência do alagamento nas formas e disponibilidade de fósforo em solo de várzea** -Trabalho de conclusão de tese (Doutor em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2013.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI 2018 **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, RS: SOSBAI, 2018, 205 p.

SOSBAI. XXXIII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (7. : 2022 : Restinga Seca, RS) Arroz irrigado [livro eletrônico] : recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil -- 33. ed. -- Restinga Seca, RS: SOSBAI; Porto Alegre, RS: Epagri, Embrapa, Irga, UFPel, UFRGS, UFSM, 2023. -- (Reunião técnica da cultura do arroz irrigado; 33) PDF.

SOUSA, Rogério Oliveira de. Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais. Trabalho de conclusão de tese (Doutor em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, 2001.

SOUSA, R. O. de; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 26, n. 2, p. 343-348, 2002.

SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química de Solos Alagados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Org.). Química e Mineralogia do Solo. Parte II - Aplicações. 1ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 485-528, 2009.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados (Reações redox). In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4ª. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2010. cap. 7, p. 171-196.

SOUSA, R. O. D.; CARLOS, F. S.; SILVA, L. S. D.; SCIVITTARO, W. B.; RIBEIRO, P. L.; & LIMA, C. L. R. D. No-tillage for flooded rice in Brazilian subtropical paddy fields: history, challenges, advances and perspectives. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 45, p. e0210102, 2021.

SOUZA, E. D. D., COSTA, S. E. V. G. D. A., LIMA, C. V. S. D., ANGHINONI, I., MEURER, E. J., & CARVALHO, P. C. D. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUTO, J. S.; ISHIYI, T.; ROSOLEM, C. A.; & Cavariani, C. Distribuição do sistema radicular de aveia preta em função da população e espaçamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1283-1289, 1992.

SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. 2. ed. New York: **Oxford University Press**, 2008. 329 p.

STRECK, Edemar Valdir *et al.*; FLORES, Carlos Alberto; SCHNEIDER, Paulo (Eds.) **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p. il. color. ISBN 978-85-98842-20-2.

TAYLOR, J.P. *et al.* Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 387–401, 2002.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, G., BISSANI, C. A. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampliada. Porto Alegre-RS: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1995, 174p.

TIECHER, T.; FONTOURA, S. M. V.; AMBROSINI, V. G.; ARAÚJO, E. A.; ALVES, L. A.; BAYER, C.; & Gatiboni, L. C. (2023). Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. **Geoderma**, v. 435, p. 116495, 2023.

TRAN BA, L.; LE Van, K.; VAN ELSACKER, S. & CORNELIS, W. M. Effect of cropping system on physical properties of clay soil under intensive rice cultivation. **Land Degradation & Development**, vol. 27. N. 4, p. 973-982, 2016.

TRIPOLSKAJA, L.; KAZLAUSKAITE-JADZEVICE, A.; RAZUKAS, A. Organic carbon, nitrogen accumulation and nitrogen leaching as affected by legume crop residues on sandy loam in the eastern baltic region. **Plants**, vol. 12, n. 13, p. 2478, 2023.

United States Department of Agriculture. (n.d.). **Production commodity 2222000**. Foreign Agricultural Service. Retrieved January 18, 2025, from <<https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>>. Acesso em: 16 jan. 2025.

VAHL, L. C. Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por alagamento. 1991. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

VELOSO, M. G.; ANGERS, D. A.; TIECHER, T.; GIACOMINI, S.; DIECKOW, J.; BAYER, C. High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, vol. 268, p. 15-23, 2018.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S.; SCHUCH, L. O. B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 15, n. 1-4, p. 37-42, 2009 a.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, 2009 b.

VENTERINK, HARRY OLDE Legumes have a higher root phosphatase activity than other forbs, particularly under low inorganic P and N supply. **Plant and Soil**, vol. 347, n. 1, p.137-146, 2011.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p. 1-16, 2000.
VITOUSEK, P. M.; PORDER, S.; HOULTON, B. Z.; CHADWICK, O. A. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen–phosphorus interactions. **Ecological applications**, vol. 20, n. 1, p. 5-15, 2010.

WEINERT, C **Manejo do trevo-persa e da adubação nitrogenada para o arroz irrigado: dinâmica de nutrientes no solo e resposta de plantas** -Trabalho de conclusão de dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2021.

WEINERT, C.; SOUSA, R. O. DE; BORTOWSKI, E. M.; CAMPELO, M. L.; PACHECO, D. DA S.; SANTOS, L. V. DOS; DEUNER, S.; VALENTE, G. B.; MATOS, A. B.; VARGAS, V.L.; MARTINS, A.P.; CAMARGO, F. A. DE O.; CARLOS, F.S. Legume winter cover crop (Persian clover) reduces nitrogen requirement and increases grain yield in specialized irrigated hybrid rice system. **European Journal of Agronomy**, v. 142, p. 126645, 2023.

WINKLER, A. S.; SILVA, J. T. da; PARFITT, J. M. B.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; CONCEIÇÃO, G.; TIMM, L. C. Surface drainage in leveled land: Implication of slope. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (impresso), v. 22, p. 77-82, 2018.

Wu, J.; Li, Z.; Li, Y.; Liu, J.; Liu, C.; Chai, Y.; Ai C.; Hussain, Q.; Drosos, M.; Shan, S. Effects of rice straw biochar application rates on soil aggregate biogeochemistry and linkages to microbial community structure and enzyme activities, **Soil and Tillage Research**, vol. 252, 2025, 106589, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106589>.

ZHOU, G.; CAO, W.; BAI, J.; XU, C.; ZENG, N.; GAO, S.; REES, R. M.; DOU, F. Co-incorporation of rice straw and leguminous green manure can increase soil available nitrogen (N) and reduce carbon and N losses: An incubation study. **Pedosphere**, vol. 30, n. 5, p. 661–670, 2020.

ZHU, Z.; GE, T.; LUO, Y.; LIU, S.; XU, X.; TONG, C.; SHIBISTOVA, O.; GUGGENBERGER, G; WU, J. (2018). Microbial stoichiometric flexibility regulates rice straw mineralization and its priming effect in paddy soil. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 121, p. 67-76, 2018.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture–status and perspectives. **Journal of plant physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

