

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CASSIANO MELO DE MOURA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RENDIMENTO DE CULTIVOS EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO CULTIVADO COM NÍVEIS DE CALCÁRIO
E DE CAMA DE AVIÁRIO APLICADOS EM SUPERFÍCIE**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2022

CASSIANO MELO DE MOURA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RENDIMENTO DE CULTIVOS EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO CULTIVADO COM NÍVEIS DE CALCÁRIO
E DE CAMA DE AVIÁRIO APLICADOS EM SUPERFÍCIE**

**Soil chemical attributes and crop yields in a long-term experiment grown with
surface-applied limestone and poultry litter levels**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – área de concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Luís César Cassol.

Coorientador: Jonatas Thiago Piva.

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao autor. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



CASSIANO MELO DE MOURA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RENDIMENTO DE CULTIVOS EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO CULTIVADO COM NÍVEIS DE CALCÁRIO
E DE CAMA DE AVIÁRIO APLICADOS EM SUPERFÍCIE**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como
requisito para obtenção do título de Mestre Em Agronomia
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Solos E Sistemas Integrados De
Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 30 de Maio de 2022

Dr. Luis Cesar Cassol, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Jesse Rodrigo Fink, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia do Paraná (Ifpr) Dr. Laercio Ricardo Sartor, Doutorado - Universidade

Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 09/08/2022.

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luís César Cassol, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória. Além do meu Coorientador, Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva, pelos materiais disponibilizados.

Aos meus colegas do PPGAG e salas de aulas síncrona e assíncrona.

A Secretaria do Curso, pela cooperação. A servidora Gisele D. Silveira Borges, pelo atendimento sempre disposta e atenciosa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio na realização do presente trabalho (Código de Financiamento 001) e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Laboratório de Solos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco pelas análises concedidas.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

O aprendido é aquilo que fica depois que o
esquecimento faz o seu trabalho
(RUBEM ALVES).

MOURA, Cassiano Melo de. **Atributos químicos do solo e rendimento de cultivos em experimento de longa duração cultivado com níveis de calcário e de cama de aviário aplicados em superfície**. 2022. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2022.

RESUMO

O calcário e a cama de aviário são produtos amplamente utilizados na agricultura brasileira, com destaque para esta última no estado do Paraná. Por serem produtos que têm potencial efeito corretivo da acidez do solo, o objetivo é avaliar as alterações nos atributos químicos do solo e rendimento de MS da cultura da aveia e dos componentes de rendimento e produtividade da cultura do milho, como resultado de uma aplicação de calcário e de sucessivas aplicações de cama de aviário em diferentes doses. O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco/PR. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas principais corresponderam a quatro doses de calcário, assim constituídos: 0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹, sendo aplicadas em uma única vez no ano de 2015. Nas subparcelas foi aplicado anualmente, desde 2011, a cama de aviário, sempre antecedendo a cultura de inverno, nas seguintes doses: 0, 4, 8 e 12 t ha⁻¹ (base úmida). Para fins deste trabalho foi avaliado a safra 2020/21 com os cultivos de aveia (inverno)/milho (verão). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, ao final do ciclo da aveia. Na medida em que aumentaram as doses de calcário e de cama de aviário ocorreu aumento expressivo do pH do solo, do cálcio, da saturação por bases e da soma de bases, além da redução do alumínio. A CTC e os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio aumentaram linearmente com a aplicação de cama de aviário, não sendo influenciados pelo calcário. O magnésio teve efeito isolado dos dois fatores, com aumentos lineares para ambos. A dose máxima de cama de aviário (12 t ha⁻¹), mesmo sem aplicação de calcário, promoveu a maior produção de massa seca de aveia. A cama de aviário afetou vários parâmetros de rendimento, bem como o rendimento de grãos de milho, demonstrando o seu efeito residual. O rendimento de grãos variou entre 11460 a 13042 kg ha⁻¹, sem e com aplicação de 12 t ha⁻¹ de cama de aviário, respectivamente. Concluiu-se que a cama de aviário apresenta elevado potencial fertilizante, porém quando usada em conjunto com o calcário pode alcalinizar o solo. Nas condições do estudo a cama de aviário promoveu elevado rendimento de milho podendo ser uma alternativa aos fertilizantes minerais.

Palavras-chave: adubação; efeito residual; fertilidade.

MOURA, Cassiano Melo de. **Soil chemical attributes and crop yields in a long-term experiment grown with surface-applied limestone and poultry litter levels**. 2022. 62 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Agricultural Production Systems), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2022.

ABSTRACT

Limestone and poultry litter are widely used in Brazilian agriculture, especially in Paraná, as they are products that have a potential corrective effect on soil acidity. The objective is to evaluate the changes in soil chemical attributes and oat DM production and the yield components and productivity of maize crops due to an application of limestone and successive applications of poultry litter in different doses. A field experiment was carried out in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco campus/PR. The experimental design used was randomized blocks in split plots and four replicates. The main plots corresponded to four doses of limestone, as follows: 0, 2, 4, and 8 t ha⁻¹, applied only once in 2015. In the subplots, the poultry litter was used annually, since 2011, before the winter crop, in the following doses: 0, 4, 8, and 12 t ha⁻¹ (wet basis). The 2020/21 harvest was evaluated with oat (winter)/maize (summer) crops. Soil samples were collected in the 0-20 cm depth layer at the end of the oat cycle. As the doses of limestone and poultry litter increased, there was a significant increase in soil pH, calcium, base saturation, and the sum of bases, in addition to reducing aluminum. The CEC and the contents of organic matter, phosphorus, and potassium increased linearly with poultry litter, not influenced by limestone. Magnesium had an isolated effect on both factors, with linear increases for both. Even without lime application, the maximum dose of poultry litter (12 t ha⁻¹) promoted the highest production of dry oat mass. The poultry litter affected several yield parameters and the maize grain yield, demonstrating its residual effect. Grain yield ranged from 11460 to 13042 kg ha⁻¹ without applying 12 t ha⁻¹ of poultry litter. It was concluded that poultry litter has a high fertilizing potential, but when used with limestone, it can alkalinize the soil. Under the conditions of the study, the poultry litter promoted a high yield of maize and could be an alternative to mineral fertilizer.

Keywords: fertilization; residual effect; fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental, a partir da segunda fase do experimento (2015 – atual). Parcelas principais, em diferentes cores, envolvem as doses de calcário aplicadas em 2015. Os números, dentro de cada unidade experimental, representam as subparcelas caracterizadas pelas doses de cama de aviário aplicadas anualmente.	23
Figura 2 - Precipitação pluviométrica (médias mensais) ocorrida durante o período experimental envolvendo os cultivos de aveia e de milho (junho/2020 a março/2021).	24
Figura 3 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável pH	30
Figura 4 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável saturação por bases V (%) do solo.	31
Figura 5 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável alumínio (Al) do solo	33
Figura 6 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável Soma de Bases (SB) do solo	34
Figura 7 - CTC do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário.....	35
Figura 8 - MO do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário.....	37
Figura 9 - Fósforo do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário	38
Figura 10 - Potássio do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário	40
Figura 11 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável cálcio (Ca) do solo	41
Figura 12 - Magnésio do solo após aplicação, em 2015, de doses crescentes de calcário	42
Figura 13 - Mg do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário.....	43
Figura 14 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para o Parâmetro de produção de (MS) de aveia.....	45

Figura 15 - Altura de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.....	46
Figura 16 - Diâmetro do colmo de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.	47
Figura 17 - Altura de inserção de espiga de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.....	48
Figura 18 - Diâmetro de espiga de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022	50
Figura 19 - Número de fileiras por espiga de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de calcário (valores são média de quatro doses de cama de aviário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022	51
Figura 20 - Número de grãos por fileira de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022	52
Figura 21 - Rendimento de grãos de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental, antes do início do experimento. UTFPR/Pato Branco, junho/2011	23
Tabela 2 - Quantidade de nutrientes, representados em N, P ₂ O ₅ e K ₂ O, nas respectivas doses de cama de aviário aplicadas na safra 2020/2021.....	25
Tabela 3 - Quadrados médios da análise de variância, incluindo as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis pH (CaCl ₂), saturação por bases (V%), alumínio (Al), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC), em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.	29
Tabela 4 - Quadrados médios da análise de variância, fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.....	36
Tabela 5 - Quadrado médio da análise de variância, incluindo as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para o rendimento de massa seca (MS) de aveia, em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.	44
Tabela 6 - Quadrados médios da análise de variância, fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AIE) e diâmetro de colmo (DC), em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.....	46
Tabela 7 - Quadrados médios da análise de variância, fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), comprimento de espiga (CE), massa de mil grãos (MMG), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF) e rendimento de grãos (RG) de milho, em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
K	Potássio
Mg	Magnésio
MS	Massa Seca
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
P	Fósforo
V%	Saturação Por Bases

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Cultura do milho	16
2.2	Cama de aviário	17
2.3	Propriedades químicas do solo	19
2.4	Contaminação ambiental	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Delineamento experimental e tratamentos	22
3.2	Condução do experimento	24
3.3	Atributos químicos do solo	27
3.4	Análise estatística	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	Efeito do calcário e da cama de aviário sobre os atributos químicos do solo	29
4.1.1	Efeito do calcário e da cama de aviário sobre os parâmetros de acidez do solo, soma de bases e capacidade de troca de cátions	29
4.1.2	Efeito do calcário e da cama de aviário sobre os teores de matéria orgânica e dos macronutrientes no solo.....	35
4.2	Desempenho de uma sucessão de cultivos (aveia/milho) sob efeito residual do calcário e efeito imediato e residual da cama de aviário	43
4.2.1	Rendimento de massa seca de aveia.....	43
4.2.2	Parâmetros morfológicos e produtivos do milho.....	45
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é destaque mundial na produção e abate de frangos, cujo destino é o mercado interno e também as exportações, principalmente para China e países do Oriente Médio. A produção brasileira, em 2020, foi de 13,8 milhões de toneladas, da qual aproximadamente 4,3 milhões foi exportada, sendo o Paraná o maior produtor de frango de corte do Brasil (ABPA, 2021).

A produção de frangos gera um resíduo, denominado de cama de aviário, este é constituído pelos dejetos, penas e restos de ração das aves, além da base (maravalha, casca de arroz, entre outros) que serve para dar conforto e absorver a umidade, bem como a cal virgem (CaO) usualmente utilizada como desinfetante para o controle de *Salmonella spp.* e *Clostridium spp.* (PRA et al., 2009). É um material rico em nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, e pode ser utilizado para a adubação de culturas agrícolas em substituição parcial ou total à adubação mineral, além de auxiliar na correção da acidez do solo pela presença da cal.

Tal qual a adubação, a calagem é uma prática muito importante na agricultura, principalmente em solos do Brasil, que são muito intemperizados e de baixa fertilidade natural, sendo a acidez um problema a ser corrigido para almejar altas produtividades. O calcário é um corretivo de solo, que possibilita o aumento do pH e da atividade biológica, assim como neutraliza o alumínio (Al^{3+}) responsável por impedir o desenvolvimento correto das plantas (MOREIRA et al., 2018). Isso influencia diretamente no desenvolvimento das culturas, por afetar fatores de ordem química, como a disponibilidade de nutrientes e a presença de alumínio tóxico; e fatores de ordem biológica, que influenciam na mineralização de nutrientes e da matéria orgânica do solo.

Pelo efeito de ambos, calcário e cama de aviário, sobre o pH do solo, o uso conjunto deve ser monitorado com o intuito de se evitar problemas com alcalinização do solo e que venham a prejudicar o desenvolvimento das plantas. A utilização da cama de aviário na adubação das culturas associada ao uso de calcário ainda carece de informações, sendo necessário a realização de estudos mais detalhados sobre o seu uso agrícola.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de aplicações contínuas de cama de aviário, em solo com diferentes níveis de pH obtidos pela aplicação de doses crescentes de calcário, sobre o rendimento de MS da cultura da aveia e dos componentes de rendimento e de produtividade da cultura do milho, bem como as alterações promovidas por estas práticas sobre as características químicas do solo.

1.2 Objetivos específicos

Avaliar o desempenho e o rendimento de grãos das culturas de aveia e milho inseridas no sistema, em função das doses de cama de aviário e calcário;

Estudar a dinâmica dos nutrientes e os parâmetros químicos do solo, após aplicação de calcário e de cama de aviário.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Calagens e adubações são práticas corriqueiras na agricultura brasileira, sendo que esta última pode representar entre 30-40% do custo de produção, dependendo da cultura. O uso desses insumos se faz necessário porque a maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados e perderam a sua fertilidade natural. Em função disso são solos ácidos, pobres em bases trocáveis e deficientes na maioria dos nutrientes essenciais. Assim sendo, o uso de calcário (para corrigir problemas de acidez e fornecer bases) e de adubos (para repor os nutrientes essenciais) são práticas fundamentais para o sucesso da agricultura brasileira.

Vários estudos apontam que a aplicação de calcário em superfície (sem incorporação), no sistema plantio direto (SPD), aumenta o pH, os teores de cálcio e de magnésio e a saturação por bases, além de reduzir a acidez potencial na camada superficial do solo de 0-5 cm (PÖTTKER; BEN, 1998; CAIRES et al., 2015) e também em subsuperfície de 0-10 cm (DIEHL et al., 2008).

No Brasil, ainda é pouco estudado a interação da calagem com o uso de cama de aviário, pois este último também pode apresentar efeito corretivo na acidez do solo já que, em sua composição, pode apresentar óxido de cálcio (CaO), comumente chamada de cal virgem, o qual tem um efeito corretivo superior ao carbonato de cálcio (CaCO₃), popularmente conhecido como calcário.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China. No cenário brasileiro, o Paraná é um estado de destaque como produtor e exportador de frango. Essa atividade, de suma importância na região Sudoeste do Paraná, propicia o acúmulo de um resíduo importante que é a cama de aviário, utilizada em lavouras e vendida para empresas especializadas (BRATTI, 2013).

A aplicação de CaO utilizada na desinfecção de aviários e granjas de postura, torna-se um dos componentes da cama do aviário, desta forma, uma das vantagens da utilização dos resíduos de aves é devido a capacidade de o CaO promover a neutralização do alumínio trocável. Nesse sentido, foi verificado que a adição de esterco de poedeira ao solo aumentou a CTC, os teores de Ca e Mg e reduziu a saturação por alumínio (HOLANDA; MIELNICZUK; STAMMEL, 1982).

Pelo exposto, percebe-se que tanto calcário quanto cama de aviário são capazes de modificar as características químicas do solo ligadas a acidez. Isso

significa que o uso em conjunto deve ser acompanhado regularmente pelos produtores a fim de se evitar problemas referentes a uma possível alcalinidade dos solos, refletindo em mudanças na maior ou menor disponibilidade de elementos no solo, bem como na composição da comunidade microbiana, responsável pelas transformações dos elementos no solo.

2.1 Cultura do milho

A cultura do milho (*Zea mays* L.) no Brasil se instalou com ideia inicial de alimentação direta à população humana, porém atualmente a maior parte da safra produzida tem como destino a alimentação animal. Seu cultivo ocorre, principalmente, nas regiões Centro-oeste, Sul e Sudeste esse trata de uma cultura de fundamental importância em esquemas de rotação de culturas, pilar fundamental para o sucesso do sistema plantio direto (BRASIL, 2016).

O estado do PR é o segundo maior produtor de milho, com aproximadamente 2,19 milhões de hectares plantados. O milho tem seu desenvolvimento limitado pela umidade (média de 600 mm), luminosidade e temperatura (entre 24 e 30°C); para que atinja ótimos níveis de produção, necessita que esses fatores estejam em índices ótimos para que a planta consiga expressar o seu máximo de produção. O atraso do período de semeadura pode levar a altas perdas de produtividade, podendo chegar a 60 kg/ha/dia.

Na região Sudeste do país verifica-se o plantio entre os meses de outubro e novembro, concentrando as lavouras com produtividade em torno de 8.000 kg ha⁻¹. A profundidade da semeadura deve variar entre 3 a 5 cm, isso em solos argilosos, já em solos arenosos recomenda-se ser colocadas entre cinco e sete centímetros para se obter o maior beneficiamento do teor de umidade encontrado no solo. A cultura não tolera excesso de plantas por metro quadrado, pois pode influenciar diretamente no nível final de produtividade, sendo uma variação de 40.000 a 80.000 plantas ha⁻¹ levando em conta a variedade a ser plantada, com um espaçamento de 45 a 50 cm entre as fileiras (CRUZ et al., 2010).

Segundo Possamai et al. (2001), a maior produtividade obtida com a cultura do milho ocorre quando se utiliza o sistema plantio direto que proporciona menor número de dias para florescimento, maior diâmetro de colmo, maior altura de plantas, elevado número de espigas por hectare e maior índice de espigas. Assim sendo, o milho possui a capacidade de oferecer uma grande quantidade de restos culturais

(palhada), que quando bem manejados, contribuem na redução da erosão e transição para melhor estado do solo, dessa forma, sua inserção é de extrema importância no sistema de rotação, tornando-se essencial em longo prazo (CRUZ et al., 2002).

2.2 Cama de aviário

A região Sudoeste do Paraná destaca-se pelo seu alto potencial de produção avícola, em especial a cidade de Dois Vizinhos, próxima a cidade de Pato Branco, que é a maior produtora de frangos de corte do Brasil, abatendo 550 mil aves dia, tendo cerca de 910 aviários de frangos de corte, 208 aviários de matrizes de produção e 90 aviários de matrizes de recria. Em contrapartida, é grande a geração de resíduos oriundos dessa produção, os quais podem ser utilizados nas mais variadas formas dentro dessa cadeia produtiva (BRATTI, 2013).

Em relação à questão nutricional da cama de aviário, o mais importante é o número de lotes criados na mesma cama e o tipo e a quantidade de material que é utilizado como substrato. Além desses fatores, a idade de abate dos animais, a densidade de confinamento, a conversão alimentar, o tipo de alimento dos frangos, a umidade do material absorvente, o tipo de piso e as condições climáticas ocorridas durante a criação também influenciam na qualidade da cama (HAHN, 2004).

Os teores de N, P, K, Ca e Mg podem variar ligeiramente, dependendo da origem da cama de aviário (frangos de corte ou galinhas poedeiras) e do número de camadas de maravalha.

Em virtude da quantidade cada vez maior de resíduos orgânicos gerados pelas atividades agrícolas, o uso agrônomo desses materiais, como fonte de nutrientes às plantas e como condicionadores do solo, tem se constituído em alternativa viável em termos de preservação ambiental (MELO; MARQUES, 2000).

Para que o material orgânico adicionado ao solo possa fornecer nutrientes às plantas, é preciso que ele seja decomposto pelos microrganismos do solo, e que os nutrientes retidos em suas estruturas orgânicas sejam liberados (mineralizados) (BRATTI, 2013). O processo de mineralização da cama de aviário é influenciado por características do material orgânico e pelas condições ambientais de temperatura, umidade, aeração e acidez (CORREIA; ANDRADE, 1999).

O uso da cama de aviário na alimentação de bovinos foi uma prática zootécnica muito difundida no país, até a sua proibição em 2001 pela Instituição Normativa nº15 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, como uma

das medidas preventivas para evitar os riscos potenciais da Encefalopatia Espongiforme Bovina (MAPA, 2001). No entanto, o seu uso como adubo de pastagens é permitido, desde que respeitado o intervalo de 40 dias da aplicação até a entrada do animal no pastejo. Em experimento com cama de aves poedeiras Figueroa; Escosteguy; Wiethölter (2009) observaram que o rendimento de trigo com as duas menores doses de esterco (2,8 e 4,2 Mg ha⁻¹) foi de 4.249 e 4.071 kg ha⁻¹, respectivamente, e não diferiu da aplicação de ureia (4.129 kg ha⁻¹), em dose equivalente a 80 kg de N ha⁻¹, mas todos estes tratamentos proporcionaram maior rendimento que o observado no tratamento testemunha (3.196 kg ha⁻¹).

Esse resultado permite concluir que, no caso em estudo, a adubação química pode ser substituída total ou parcialmente pelo uso de cama de galinhas poedeiras as quais ficam alojadas em aviário para postura de ovos. O mesmo pode-se dizer da cama de aviário onde os animais ficam alojados para adquirir peso ideal para abate e comercialização da carne.

Em regiões de clima tropical ou subtropical, como é o caso do Sul do Brasil, a decomposição da matéria orgânica nos solos ocorre rapidamente, sendo que uma redução expressiva no seu teor afetará negativamente as funções química, física e biológica deste solo, resultando em diminuição na produtividade das culturas (MALAVOLTA; GOMES; ALCARDE, 2002).

Assim a utilização de adubos orgânicos, como a cama de aviário, pode aumentar os níveis de matéria orgânica destes solos, através da melhoria das características químicas, físicas e biológicas destes solos melhorando o desenvolvimento das culturas, produzindo mais biomassa e matéria seca das culturas, o que afetará na melhor cobertura do solo e por consequência aumentar a matéria orgânica.

A adição de materiais orgânicos estimula os microrganismos heterotróficos do solo, que apresentam alguns possíveis efeitos na produção, como: estímulo à biota do solo, fornecimento de nutrientes vegetais, condicionamento das propriedades físicas do solo, estímulo ao crescimento das plantas, efeito tampão (químico e biológico), controle térmico e melhoria da retenção de água (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

De acordo com a CQFS – RS/SC (2016), a disponibilidade de N, P e K para a primeira cultura é de 50, 80 e 100% e de 20% para o N e o P na segunda cultura pós-aplicação da cama de aviário. Adami (2012), considerando um período de 150 dias de

avaliação de decomposição da cama de aviário, observou uma taxa de liberação de 54, 51 e 100% respectivamente para o N, P e K, valores estes que sobem para 84,3 e 82% respectivamente para o N e o P após 365 dias de alocação a campo.

Esse processo de mineralização é influenciado por características do material orgânico e pelas condições ambientais de temperatura, umidade, aeração e acidez (CORREIA; ANDRADE, 1999). Para Costa et al. (2009), a aplicação de cama de aviário resulta em aumentos nos teores de nutrientes e matéria orgânica do solo e seus efeitos residuais sobre a produção agrícola e as propriedades do solo podem durar anos após a sua aplicação ter sido interrompida, provendo nutrientes e efeito calagem para as próximas estações de crescimento.

Desta forma é importante que o uso da cama de aviário atenda critérios técnicos, pois a aplicação de elevadas doses pode ocasionar perda de nutrientes, uma vez que a liberação dos nutrientes é relativamente rápida ocorrendo em grande parte na primeira cultura. Se os nutrientes não forem aproveitados pela cultura, especialmente nitrogênio e potássio, estarão sujeitos a perdas aumentando os riscos de contaminação do ambiente.

O desconhecimento sobre os impactos destes no ambiente tornou-se motivo de grande preocupação (HAHN, 2004). Assim é de grande importância o uso moderado dos dejetos de animais, pois pode ser tanto benéfico para as culturas como também causar efeitos indesejáveis quando utilizado de forma inadequada.

2.3 Propriedades químicas do solo

O uso intensivo de adubação orgânica pode modificar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (GLIESSMAN, 2000). Os nutrientes presentes na cama de aviário são mineralizados e disponibilizados às plantas ocorrendo um aumento no solo.

O uso da cama de aviário pode contribuir para o aumento do pH e da saturação por bases (FRANCHINI, 2003; VITTI, 2015). Também propicia aumento de macronutrientes no solo, como o nitrogênio, o cálcio, o potássio e o fósforo, aumento na CTC e na estabilização de micronutrientes, como o ferro e o manganês.

Em função do exposto, as principais vantagens relacionadas com o uso de resíduos orgânicos na agricultura são a redução de custos na produção, quando o resíduo é de fácil acesso, o uso em substituição aos adubos minerais, o cumprimento

da legislação ambiental, a implantação de um sistema sustentável e a redução de uso das reservas finitas de adubos e de energia não renovável (LANA et al., 2010).

Em trabalho realizado no Sudoeste do Paraná, com uso de doses crescentes de cama de aviário, após 60 dias de incubação a campo, 40, 34, 91 e 39% do N, P, K e Ca respectivamente, presentes na matéria seca inicial da cama de aviário, já haviam sido liberados ao solo (PITTA et al., 2012), porém, mesmo ao final de um ano de incubação a campo, a cama de aviário ainda apresentava um residual de 27% de MS, demonstrando o efeito residual da cama.

Após três anos de aplicações sucessivas de doses de cama de aviário, uma vez ao ano antecedendo a cultura de inverno, Tabolka (2016) observou aumento de (P) até 10 cm de profundidade, apesar do aumento mais expressivo ocorrer na camada de 0-2,5 cm. Em função disso, o autor destaca a importância de se manejar adequadamente o solo para evitar problemas com erosão e possível perda de solo e nutrientes, causando poluição do ambiente e das águas. No mesmo trabalho, conduzido em Pato Branco, PR, num solo muito argiloso, o autor demonstrou que o potássio aumentou rapidamente até 20 cm de profundidade, logo após a aplicação da cama de aviário. Por sua vez, os valores de pH e saturação por bases tiveram aumentos restritos às camadas mais superficiais.

2.4 Contaminação ambiental

Se por um lado o uso da cama de aviário pode trazer vários benefícios para a fertilidade do solo, desenvolvimento e produtividade de plantas, por outro lado o uso da mesma sem nenhum critério técnico pode trazer prejuízos às plantas por fitotoxidez de nutrientes além de risco de poluição do meio ambiente.

Segundo Hahn (2004), os dois elementos presentes em altas concentrações na cama de aviário mais relacionados com contaminação ambiental são o (N) e o (P). Pois, o nitrogênio pode contaminar a atmosfera, o solo e as águas superficiais e subterrâneas, e o fósforo pode contaminar o solo e, principalmente, as águas superficiais, pois a maior parte do fósforo na água de escoamento superficial encontra-se na forma solúvel (80 a 90%), a qual é a forma mais rapidamente disponível para a utilização pelas algas (EDWARDS; DANIEL, 1992), e também pode causar toxidez para peixes e animais aquáticos.

Dentre os elementos químicos, o mais citado em trabalhos é o chumbo, o qual mesmo em pequenas concentrações traz efeitos prejudiciais tanto para as plantas

como para as pessoas que se alimentam das mesmas. Em trabalho com avaliação do teor de chumbo em folhas de alface, Machado et al. (2008) concluíram que a provável fonte de contaminação de chumbo na produção fora oriunda da cama de aviário e torta de mamona utilizados, porém, com maior contaminação verificada pelo uso da cama de aviário.

Esses resultados reforçam a preocupação com o uso adequado da cama de aviário visando evitar teores excessivos de elementos químicos, sejam nutrientes essenciais ou não, bem como reduzir o risco de contaminação da água de lençóis freáticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em junho de 2011 na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (BHERING; SANTOS, 2008), textura muito argilosa. O relevo é suave ondulado com 4% de declividade. O clima no local é do tipo Cfa, com temperatura média no trimestre mais frio entre 13 a 14°C, e temperatura média no trimestre mais quente entre 24 a 25°C.

De junho de 2011 a abril de 2015, o delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com parcela subdividida e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais, cada uma medindo 25 m² (5 m x 5 m).

As parcelas principais envolviam quatro épocas de aplicação da cama de aviário: 0, 15, 30 e 45 dias antes da semeadura da cultura de inverno; nas subparcelas eram aplicadas quatro doses de cama de aviário: 0, 4, 8 e 12 t ha⁻¹ (base úmida). Importante destacar que essas doses eram aplicadas anualmente, apenas uma vez por ano, sempre antecedendo a cultura de inverno. Nesses primeiros quatro anos a sucessão de cultivos foi trigo (inverno) / soja ou feijão (verão).

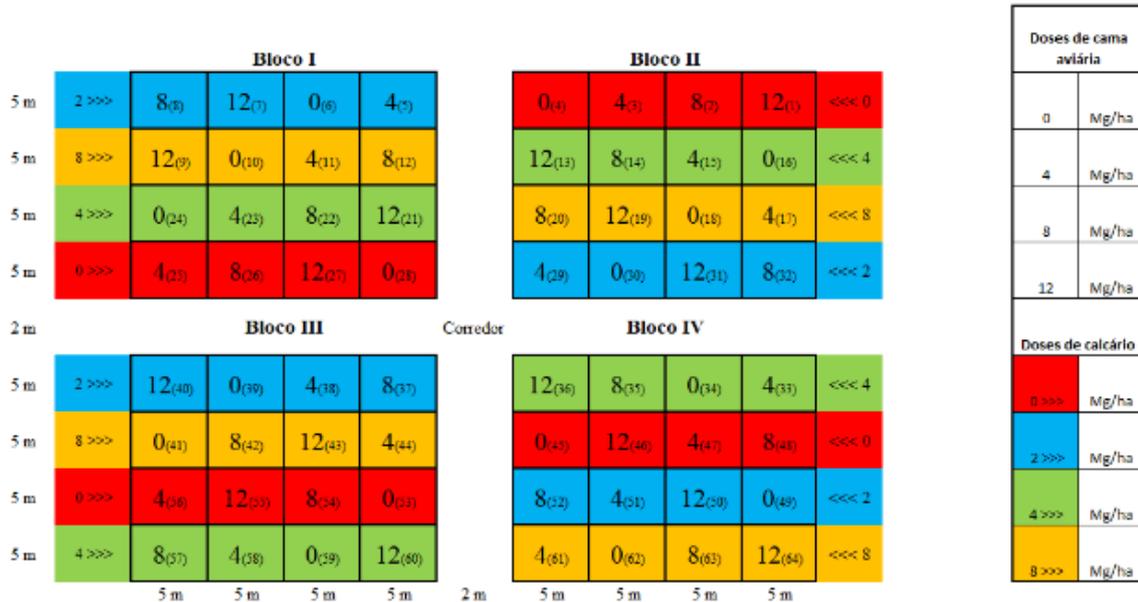
Devido ao fato de não se obter respostas significativas às épocas de aplicação e o solo da área experimental começar a apresentar problemas com acidificação, a partir de 2015 o protocolo experimental foi modificado onde as diferentes épocas de aplicação de cama de aves foram substituídas por quatro doses de calcário, conforme descrito a seguir.

3.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado é o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas principais correspondem à quatro doses de calcário dolomítico, aplicadas uma única vez, em maio de 2015, e correspondentes a: 0, 2, 4 e 8 t ha⁻¹ de calcário corrigidos para PRNT 82%.

Nas subparcelas são feitas aplicações anuais da cama de aviário, desde 2015, sempre antecedendo a cultura de inverno, nas seguintes doses: 0, 4, 8 e 12 t ha⁻¹ (base úmida) (Figura 1).

Figura 1 - Croqui da área experimental, a partir da segunda fase do experimento (2015 – atual). Parcelas principais, em diferentes cores, envolvem as doses de calcário aplicadas em 2015. Os números, dentro de cada unidade experimental, representam as subparcelas caracterizadas pelas doses de cama de aviário aplicadas anualmente.



Fonte: Autoria própria (2022)

A cama de aves é coletada em granja de produção de frangos de corte voltados para a exportação, na comunidade de Passo da Pedra, Pato Branco, PR. A cama é formada por maravalha, esterco de aves, restos de ração e penas de aves e, em geral, abrigando 15 lotes de frangos de engorda com 21 dias de ciclo em cada lote. Para esterilização da cama de aves entre cada lote o produtor faz uso de cal virgem (CaO) na proporção de 2 kg m⁻², espalhado em superfície e incorporado com escarificador mecânico, com uma proporção de 70% de CaO, o que representa 140 kg de CaO por tonelada de cama de aviário.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental, antes do início do experimento. UTFPR/Pato Branco, junho/2011

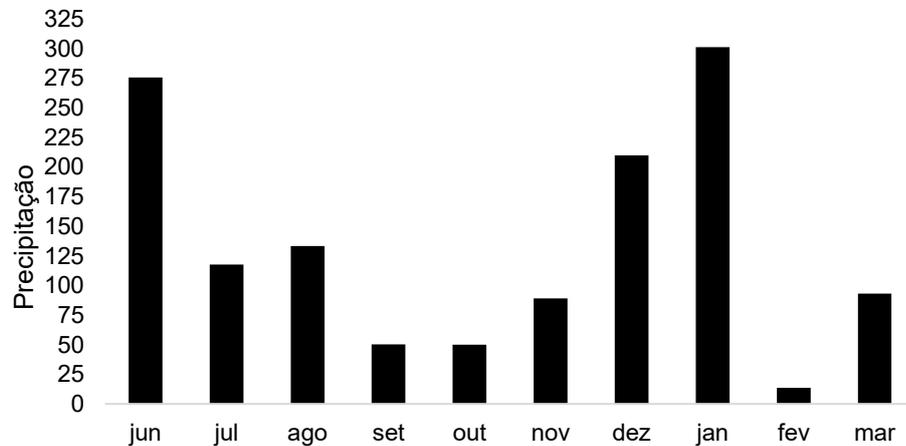
Prof. cm	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	CTC	pH CaCl ₂	V %
0-2,5	70,6	24,4	0,63	5,6	3,0	0,08	15,7	4,9	58,9
2,5-5	66,1	19,7	0,48	4,7	2,7	0,21	15,0	4,7	52,0
5-10	62,2	16,5	0,36	4,0	2,2	0,47	14,5	4,6	44,4
10-20	52,2	7,1	0,30	3,2	1,8	0,48	11,8	4,5	42,8

MO: matéria orgânica (Walkley-Black); P e K: fósforo e potássio disponíveis (Mehlich-1); Ca, Mg e Al: cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (KCl 1M); CTC: capacidade de troca de cátions à pH 7; V: saturação por bases.

Fonte: Autoria própria (2022)

Os dados de pluviosidade referentes ao período experimental (junho/2020 a março/2021) foram obtidos no site do IAT – Paraná (Figura 2).

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (médias mensais) ocorrida durante o período experimental envolvendo os cultivos de aveia e de milho (junho/2020 a março/2021).



Fonte: Autoria própria (2022)

3.2 Condução do experimento

Os resultados desse trabalho se referem à safra 2020/2021, cuja sucessão de cultivos foi aveia (inverno) e milho (verão). Conforme descrito anteriormente, o calcário foi aplicado apenas em 2015, totalizando cinco anos de sua aplicação nesta safra, não ocorrendo nova reaplicação para fins deste trabalho. Por outro lado, antecedendo o cultivo da aveia, as doses de cama de aviário foram novamente aplicadas a lanço na área.

A área experimental foi dessecada no dia 25/05/2020 com glyphosate na dose de 2,5 L ha⁻¹ p.c. Trop®, para eventual eliminação de plantas daninhas na área, resultando em melhor qualidade do plantio direto. A semeadura da aveia preta ocorreu no dia 01/06/2020, sendo utilizada uma semeadora de plantio direto, modelo SHM 11/13 (Semeato), com 17 centímetros de espaçamento entrelinhas, e um trator modelo TL 75 4x2 TDA (New Holland), sendo implantada a aveia preta cultivar BRS 139 (Embrapa) com densidade de semeadura 70 Kg ha⁻¹ de sementes viáveis, sem nenhuma adubação no sulco de plantio.

Por problema de logística, a aplicação da cama de aviário foi realizada no dia 08/06/2020, uma semana após a semeadura da cultura da aveia. Esta cama, foi coletada após 10 lotes, com frangos de engorda em um período de 21 dias cada lote.

A quantidade de nutrientes presentes na cama de aviário foi determinada em laboratório, conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), e os teores de NPK foram: 20,7 g Kg⁻¹ de N; 9,6 g Kg⁻¹ de P e 27,5 g Kg⁻¹ de K.

Na Tabela 2 estão descritas as quantidades representadas em N, P₂O₅ e K₂O, em kg ha⁻¹, nas respectivas doses de cama de aviário. As quantidades indicadas para a cultura do milho seguindo as recomendações, de acordo, com o NEPAR/SBCS (2019), são para NPK de 120, 90 e 70 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 2 - Quantidade de nutrientes, representados em N, P₂O₅ e K₂O, nas respectivas doses de cama de aviário aplicadas na safra 2020/2021

Doses de cama de aviário	N	P₂O₅	K₂O
t ha⁻¹	----- kg ha⁻¹ -----		
0	-	-	-
4	83	88	132
8	166	176	264
12	248	264	396

Fonte: Aatoria própria (2022)

Atingindo o pleno florescimento da aveia, foi efetuado o corte da mesma, no dia 29/08/2020 para determinação da produção de massa seca, com o auxílio de uma tesoura de tosquia e um quadro de ferro, com área de 0,25 m². O material vegetal foi cortado rente ao solo e colocado em sacos de papel kraft, posteriormente sendo seco em estufa de circulação forçada e temperatura de 60 °C, até atingir peso constante, quando então foi pesado e os resultados de massa seca extrapolados para kg ha⁻¹.

A cultura da aveia foi dessecada no dia 14/09/2020 com Glyphosate, na dose de 2,5 L ha⁻¹ p.c. Trop[®], e Cletodim, na dose de 0,3 L ha⁻¹ p.c. Lord[®], e posteriormente manejada com rolo faca. Em sucessão a aveia, no dia 30/09/2020 fez-se a semeadura do milho híbrido Pioneer P3565 PWU[®], utilizando uma semeadora de precisão modelo 7040 plantio direto, com 7 linhas e espaçamento de 45 centímetros entrelinhas (Vence tudo[®]), e um trator modelo TL 75 4x2 TDA (New Holland). A densidade de semeadura foi de 70 mil sementes viáveis/ha⁻¹, obteve-se um estande de 68.888 plantas/ha⁻¹.

Os tratos culturais foram focados principalmente no manejo de pragas, na qual a cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) foi o principal inseto praga presente no período de desenvolvimento da cultura. Em função da importância da praga e dos prejuízos causados, neste experimento foram realizadas quatro aplicações, nas datas de 23 e 30/10/2020, com 1 L ha⁻¹ p.c Connect[®] (Imidacloprido e Beta-ciflutrina), e nos dias 11

e 20/11/2020 utilizando 1 Kg ha⁻¹ p.c. Rapel® (Acefato). Todas as aplicações foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal motorizado e vazão de 200 L ha⁻¹ de volume de calda. Além do monitoramento de insetos, foi realizada uma aplicação de herbicida em pós emergência da cultura, para o controle de plantas daninhas presentes no experimento, onde foi aplicado glyphosate na dose de 2,5 L ha⁻¹ p.c. Trop® no dia 13/10/2020.

No dia 10/03/2021, foi realizada a colheita do milho, após atingir a maturação fisiológica. Foram retiradas cinco plantas aleatórias de cada subparcela, sempre priorizando as linhas centrais. Em laboratório, foram determinados os componentes de rendimento: número de fileiras por espiga; número de grãos por fileira; e diâmetro de espiga. Para determinação da produção de grãos, foram debulhadas as cinco espigas de cada subparcela, conferidas as umidades e pesadas, no laboratório de sementes da UTFPR/Campus Pato Branco.

A determinação do rendimento de grãos se deu pela população de plantas, aonde o número de plantas por metro linear era conhecido, sendo 3,1 plantas por metro linear, avaliado em diversos pontos da área, definindo desta forma o estande final de plantas, que foi de 68.888 plantas/ha⁻¹. O peso dos grãos correspondente às cinco plantas (cinco espigas) foi multiplicado pelo estande de plantas e dividido por cinco, que foi o número de plantas coletado.

Foram avaliados os parâmetros morfológicos, de cinco plantas por parcela em estádio R2. Para isso foi deixada 1 linha de bordadura, e 0,5 m no início e fim da linha de plantio na parcela. Foram avaliados:

- Altura de planta (AP): aferida pela mensuração da distância do nível do solo até a última folha expandida, resultados em metros.

- Diâmetro do colmo, determinado a 20 cm de altura do solo, com o uso de um paquímetro (mm).

- Altura de inserção da espiga (AIE): aferida pela mensuração da distância do nível do solo até o nó de inserção da primeira espiga, resultados em metros.

- Comprimento da espiga (CE): medida da extremidade basal até a extremidade apical da espiga, resultados em centímetros.

- Diâmetro da espiga (DE): mensurado no terço médio da espiga, com auxílio de paquímetro digital, resultado em milímetros.

- Número de fileiras por espiga (NFE): contagem do número de fileiras verdadeiras em três espigas, dividindo por três, obtendo-se a média de uma espiga, resultado em unidades.

- Número de grãos por fileira (NGF): contagem do número de grãos na fileira de três espigas da extremidade basal à extremidade apical da espiga, resultados em unidades.

- Massa de 1000 grãos (MMG): obtida pela contagem de 100 grãos com oito repetições para cada unidade experimental, com auxílio de balança digital; os resultados foram corrigidos para 13% de umidade, resultados em gramas.

- Produtividade de grãos (PG): obtida pela colheita e pela debulha manual de cinco espigas da unidade experimental, ajustando-se a massa de grãos para umidade de 13%, os resultados foram expandidos para kg ha^{-1} .

3.3 Atributos químicos do solo

Antecedendo a semeadura do milho, em setembro de 2020, foram coletadas amostras de solo em todas as unidades experimentais. Utilizou-se pá de corte para abertura de uma trincheira, coletando-se as amostras na camada de 0,0-0,2 m. As amostras foram secas à sombra, moídas usando peneira com malha de 2 mm e encaminhadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UTFPR – Campus Pato Branco para determinação do pH (CaCl_2) e dos teores de P, K, Ca, Mg, Al e H+Al (PAVAN et al., 1992). A partir desses dados foram calculadas a Soma de Bases, a Capacidade de Troca de Cátions à pH 7 e a Saturação por Bases.

3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5%, com as médias de doses de calcário e de níveis de cama de aviário avaliadas por análise de regressão, ambas a 5%, sempre que houve efeito significativo para os tratamentos. Foi utilizado o software “R” (R DEVELOPING CORE TEAM, 2011) com o pacote ExpDes.pt.

Os modelos foram determinados, inicialmente, usando o pacote ExpAnalysis 3D que faz uma análise de 12 diferentes modelos (após saber que há a ocorrência de interação) e com base em diferentes estimadores da qualidade do ajuste realiza-se a escolha de acordo com o interesse do pesquisador. Pode-se escolher um dos modelos e a partir disso realizar a explicação dos fatores. Por questão de parcimônia e por

adequação a melhor interpretação foi utilizado sempre o mesmo modelo de estudo baseado por meio da fórmula: $(X + Y + X:Y)$.

A análise gráfica foi gerada, a partir do ajuste do modelo, realizando-se 1000 estimativas de acordo com os fatores e assim gerando um gráfico em 3D pelo Sigma Plot que melhor evidencia esses resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Efeito do calcário e da cama de aviário sobre os atributos químicos do solo

4.1.1 Efeito do calcário e da cama de aviário sobre os parâmetros de acidez do solo, soma de bases e capacidade de troca de cátions

A análise de variância demonstrou interação significativa entre calcário e cama de aviário em relação ao pH do solo, saturação por bases, alumínio trocável e soma de bases. Para a capacidade de troca de cátions houve efeito isolado apenas da aplicação de cama de aviário (Tabela 3).

Tabela 3 - Quadrados médios da análise de variância, incluindo as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis pH (CaCl₂), saturação por bases (V%), alumínio (Al), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC), em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.

Fontes de variação	GL	pH	V%	Al	SB	CTC
Blocos	3	0,0671	254,77	0,263530	1,625	3,803117
Calcário (Cal)	3	1,1528 ^{ns}	795,24 ^{**}	0,056637 ^{ns}	16,030 ^{ns}	1,191200 ^{ns}
Erro 1	9	0,0751	58,39	0,010804	1,384	2,751817
Cama de aviário (Cam)	3	3,4962 ^{ns}	2264,24 ^{***}	0,240118 ^{***}	63,698 ^{***}	5,290329 ^{***}
Cal*Cam	9	0,1773 [*]	135,64 [*]	0,039882 ^{**}	3,629 [*]	0,718679 ^{ns}
Erro 2	36	0,0658	52,68	0,013043	1,274	0,491792
Total	63					
CV 1 (%)		4,97	12,52	64,58	13,99	12,34
CV 2 (%)		4,67	11,89	70,04	13,43	5,22
Média geral		5,5	61,02	0,16	8,40	13,44

Número de observações = 64

^{*}, ^{**}, ^{***} significativo ao nível de 5%, 1% ou 0,1% de probabilidade (p <0.05) pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Fonte: Autoria própria (2022)

A adição ao solo de cama aviária aumenta o pH, devido ao aumento da matéria orgânica e diminui o teor de alumínio trocável e, portanto, diminui os efeitos tóxicos deste íon para as plantas (ERNANI & GIANELLO, 1982).

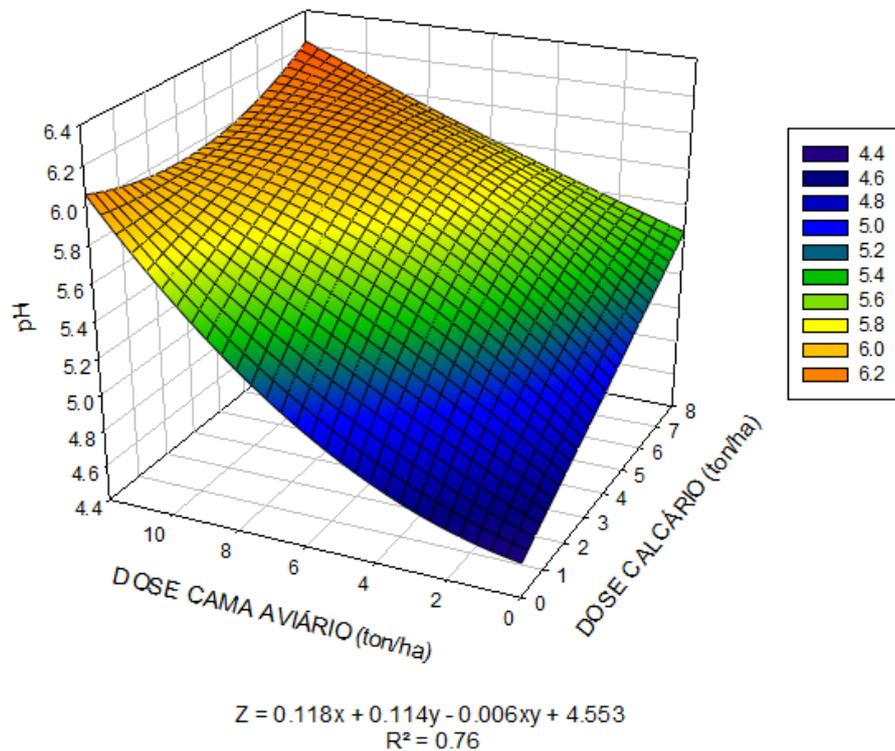
Conforme esperado, na medida em que aumentam as doses de calcário e de cama de aviário observa-se um aumento expressivo do pH do solo (Figura 3).

Conjugando a dose máxima de calcário (8 t ha⁻¹), aplicado em 2015, com a dose máxima de cama de aviário (12 t ha⁻¹), aplicada anualmente desde 2011, atinge-se valores de pH do solo superiores a 6,0 considerando a média da camada de 0-0,2 m.

Isso significa que, se fosse realizado uma amostragem estratificada (0-0,1 m ou 0-0,05 m), possivelmente seriam encontrados valores de pH ainda maiores, caracterizando uma zona de alcalinidade do solo.

A cama de aviário pode neutralizar o alumínio trocável (Al³⁺) devido à bases neutralizantes possivelmente liberadas devido ao uso da cal virgem utilizada na desinfecção de aviários e granjas de produção de frangos de corte.

Figura 3 – Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável pH



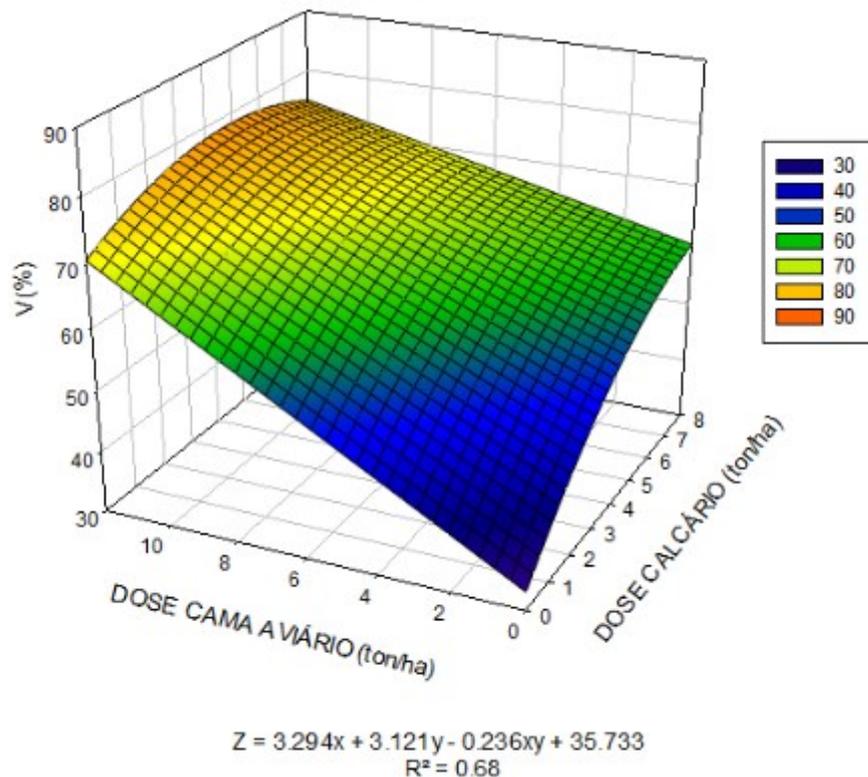
Fonte: Autoria própria (2022)

No tratamento testemunha absoluta (sem calcário e sem cama de aviário), o valor mínimo de pH foi 4,5, que caracteriza uma condição de solo com acidez excessiva, podendo limitar o crescimento das plantas. Os valores de pH obtidos nas áreas agrícolas são considerados agronomicamente como acidez média, visto que apresentaram pH entre 5,0 - 6,0. Os solos agrícolas brasileiros de maneira geral, apresentam de média a alta acidez, que pode ter como consequência a baixa produtividade das culturas (ernani et al. 1992).

Nas doses intermediárias de calcário (5 t ha⁻¹) e de cama de aviário (6 t ha⁻¹) percebe-se que o pH do solo atingiu um valor próximo de 5,6, condição ideal para o crescimento das plantas (Figura 3).

Para a saturação por bases do solo V (%), o CV foi baixo, em média 12%, o que é considerado bom, e a equação de regressão mostrou um R² de 0,68, também considerado adequado. Em função da alta correlação entre pH e saturação por bases (SORATTO; CRUSCIOL, 2008), de forma semelhante ao que já foi discutido anteriormente, observa-se que o aumento das doses de calcário e de cama de aviário promoveu aumentos nos valores de saturação por bases (Figura 4).

Figura 4 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável saturação por bases V (%) do solo.



Fonte: Autoria própria (2022)

O uso conjunto de doses elevadas de calcário e cama de aviário promoveu elevação na saturação por bases para valores próximos a 80% (Figura 4). De acordo com NEPAR-SBCS (2019), a correção da acidez do solo para a cultura do milho deve ser feita quando o valor de V% for inferior a 60% e com o intuito de elevá-lo para 70%. Isso significa que na situação desse trabalho, quando usadas doses baixas de calcário e doses elevadas de cama de aviário de forma conjunta, o valor de V% está bem acima do indicado pela pesquisa, sendo que a cultura do milho apresenta baixa

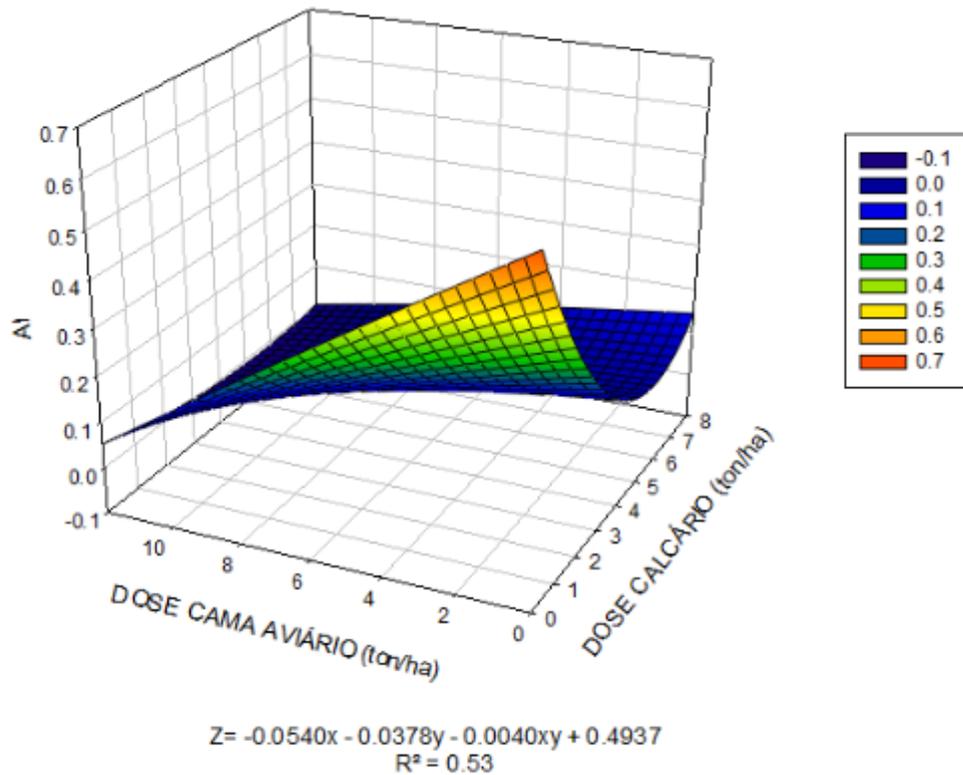
tolerância a níveis altos de V%, assim impedindo o desenvolvimento adequado da cultura.

No outro extremo, ou seja, na condição química original do solo (sem aplicação de calcário e de cama de aviário), o valor médio de saturação por bases, na camada de 0 – 0,2 m, é de cerca de 35%, caracterizando uma condição de muita limitação ao crescimento das plantas (Figura 4).

A exemplo do que foi dito para pH, a condição mais adequada de saturação por bases foi obtida com o uso de doses intermediárias de calcário e de cama de aviário. Uma saturação por bases de 70% pode ser obtida com ajustes em diferentes doses de cama de aviário e calcário por ha⁻¹.

Como esperado para determinações de Al, o CV foi altíssimo, próximo a 70% (Tabela 2). Mesmo assim, o R² nesse caso foi de 0,53, sendo que o modelo explica pouco mais de 50% da variação nos teores em função das doses de calcário e de cama de aviário (Figura 5).

Figura 5 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável alumínio (Al) do solo



Fonte: Autoria própria (2022)

No tratamento testemunha absoluta foram observados os maiores valores de Al, sendo que estes foram praticamente zerados com o uso tanto de calcário quanto de cama de aviário (Figura 5).

Apesar dos baixos valores de pH (Figura 3) e de saturação por bases (Figura 4) no tratamento testemunha, a concentração de Al foi de 0,49 cmolc dm³, que pode ser considerado baixo (NEPAR/SBCS, 2019). É possível que parte desse Al esteja complexado na matéria orgânica do solo, uma vez que este componente se apresenta em elevados teores no solo em estudo.

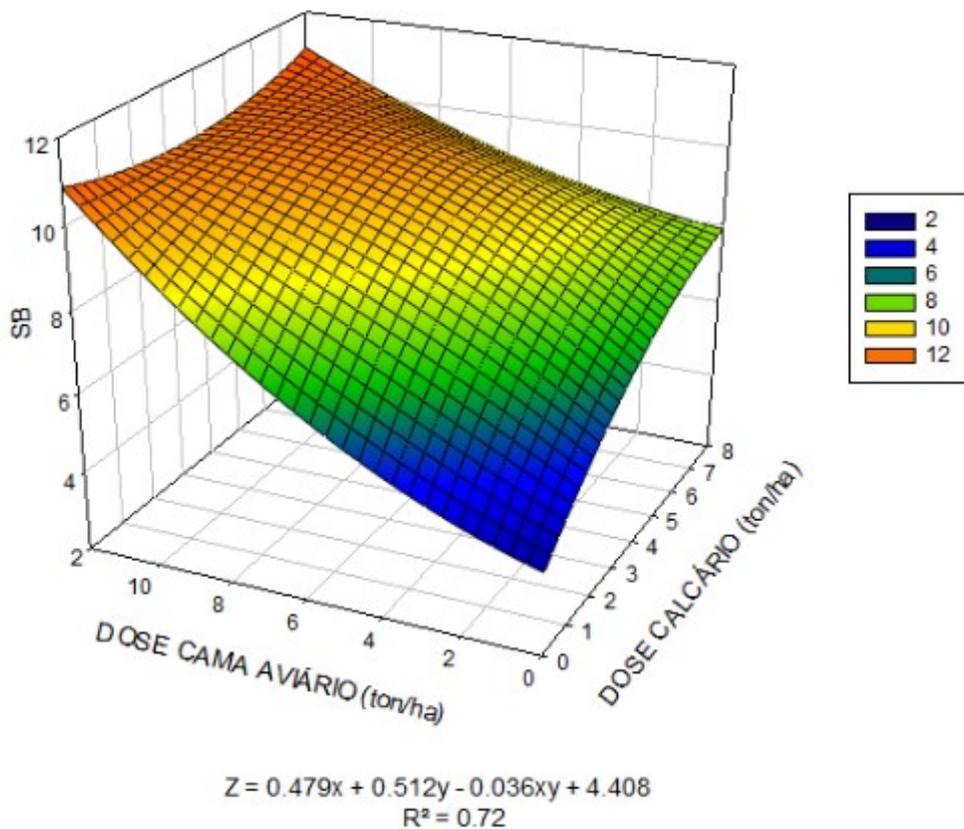
Existem vários estudos demonstrando a interação entre matéria orgânica (MO) e alumínio (Al), influenciando as propriedades dos solos ácidos (ZANDONADI et al., 2014). A capacidade das substâncias húmicas de formar complexos estáveis com o Al³⁺, que é um cátion polivalente, deve-se ao seu alto conteúdo em grupos funcionais contendo oxigênio (VANCE et al., 1987).

Para a soma de bases (SB) o CV foi baixo, próximo a 13%, e o R² foi de 0,72, ambos valores considerados adequados e confiáveis para explicar o resultado (Figura 6). É possível observar que nas doses zero de calcário e de cama de aviário foram

observados os menores níveis de SB no solo ($4,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Na medida que se aumentaram as doses de calcário e de cama de aviário ocorreu um aumento proporcional nos valores de SB.

Apenas com a aplicação de 8 t ha^{-1} de calcário (e zero de cama de aviário), a SB atingiu $8,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto que para a dose 12 t ha^{-1} de cama de aviário (e dose zero de calcário) a SB atingiu $10,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Quando combinados os efeitos das doses de ambos, ocorre um aumento ainda maior na SB. Nas doses intermediárias de ambos os produtos, aplicando-se aproximadamente $4,1 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário e $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de cama de aviário, foi possível atingir valor de SB ao redor de $8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Figura 6 - Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável Soma de Bases (SB) do solo

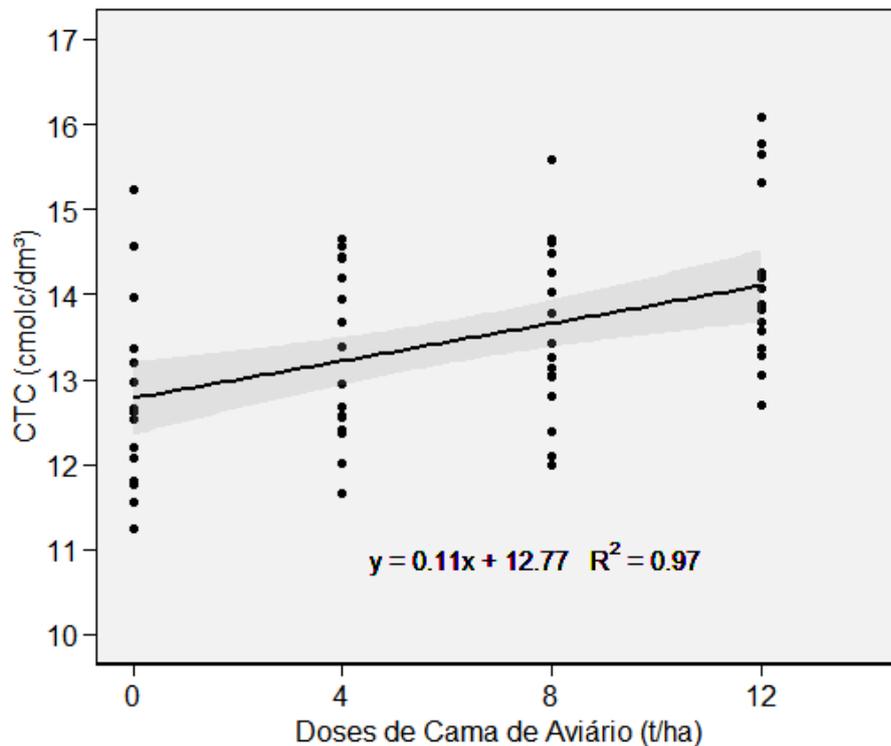


Fonte: Autoria própria (2022)

Esse resultado é explicado porque a soma de bases é composta por potássio, cálcio e magnésio, todos os elementos presentes na cama de aviário, bem como no calcário (caso dos dois últimos elementos), promovendo um aumento nos níveis destes nutrientes, e assim também na soma de bases.

Apesar do solo em estudo apresentar cargas elétricas dependentes de pH, a aplicação de calcário, mesmo promovendo alteração nesses valores, não influenciou significativamente na capacidade de troca de cations (CTC) e também não foi observada interação entre os tratamentos (Tabela 2). Por outro lado, a CTC aumentou linearmente com as doses de cama de aviário, com um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,97$) (Figura 7).

Figura 7- CTC do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário



Fonte: Autoria própria (2022)

É possível que essa maior CTC com o aumento das doses de cama de aviário, se deva pelo fato destas doses também terem influenciado no teor de matéria orgânica do solo. Em solos altamente intemperizados, como este do estudo, em média 70% da CTC vem da matéria orgânica, pois a fração orgânica, em solos muito intemperizados, responde por 56 a 91% da CTC (RAIJ et al., 1969). Nesses solos, uma maior CTC é fundamental para se reduzir perdas de nutrientes catiônicos por lixiviação.

4.1.2 Efeito do calcário e da cama de aviário sobre os teores de matéria orgânica e dos macronutrientes no solo

A análise de variância demonstrou interação significativa entre calcário e cama de aviário apenas para o teor de cálcio no solo. Os teores de matéria orgânica,

fósforo e potássio foram influenciados apenas pelas doses de cama de aviário. Por sua vez, houve efeito isolado dos dois tratamentos (calcário e cama de aviário) sobre o teor de magnésio no solo (Tabela 4).

Tabela 4 - Quadrados médios da análise de variância, fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.

Fontes de variação	GL	MO	P	K	Ca	Mg
Blocos	3	72,210417	290,907310	0,225040	0,056637	1,417535
Calcário (Cal)	3	34,775196 ^{ns}	86,049956 ^{ns}	0,114394 ^{ns}	0,263530 ^{***}	6,937668*
Erro 1	9	19,915660	177,244409	0,051366	0,010804	1,235740
Cama de aviário (Cam)	3	124,658929 ^{**}	16963,141885 ^{***}	1,532969 ^{***}	0,240118 ^{***}	11,937389 ^{***}
Cal*Cam	9	17,859917 ^{ns}	167,284217 ^{ns}	0,060351 ^{ns}	0,039882 ^{**}	0,831106 ^{ns}
Erro 2	36	19,094538	185,545777	0,048151	0,013043	0,551211
Total	63					
CV 1 (%)		8,83	28,47	37,95	11,65	32,27
CV 2 (%)		8,64	29,13	36,74	19,10	21,55
Média geral		50,5606250	46,7626563	0,5971875	4,3696875	3,4448437

Número de observações = 64

*, **, *** significativo ao nível de 5%, 1% ou 0,1% de probabilidade ($p < 0.05$) pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo.

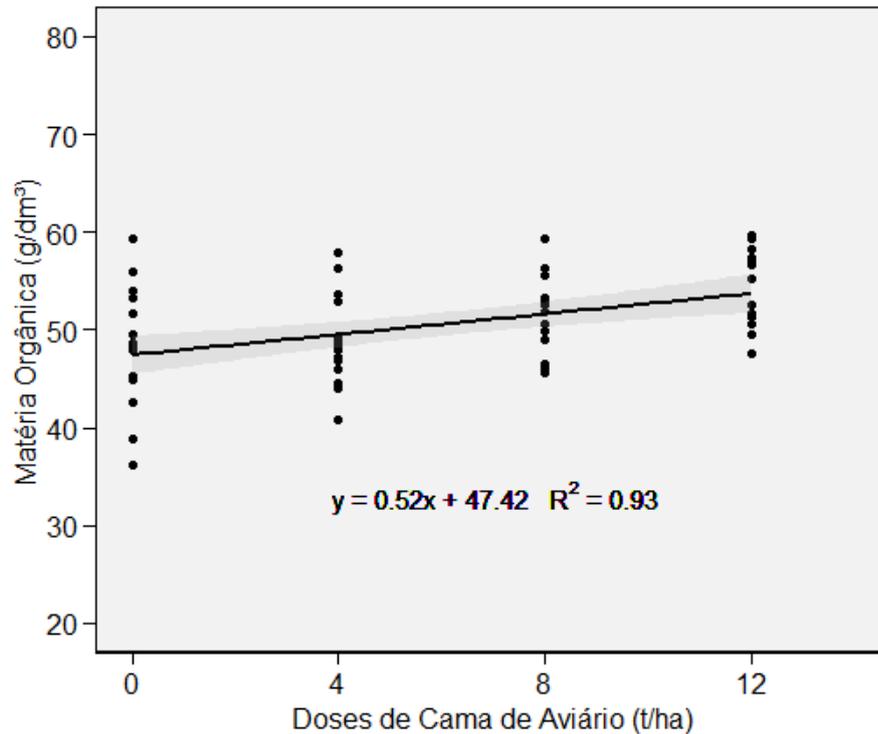
Fonte: Autoria própria (2022)

O calcário não afetou o teor de matéria orgânica. No entanto, esta teve um aumento linear com a aplicação de doses crescentes de cama de aviário (Figura 8).

Mesmo sem a aplicação da cama de aviário o solo já apresentava teores elevados de matéria orgânica (47,42 g dm⁻³). Mesmo assim, com a aplicação de 12 t ha⁻¹ de cama de aviário, conforme a equação de regressão, o teor de matéria orgânica subiu para 53,66 g dm⁻³. Esse aumento de MO com aplicação de cama de aviário ajuda a explicar o seu efeito sobre a CTC do solo (Figura 7).

Além dos benefícios que a cama de aviário traz ao fornecer nutrientes para a produção vegetal, as moléculas de carbono (C) presentes nos materiais estruturais da cama podem construir reservas de matéria orgânica no solo, trazendo outros benefícios para a produção agrícola, como aumento na capacidade de retenção e infiltração da água e conteúdo de água no solo, maior capacidade de troca catiônica e estabilidade estrutural.

Figura 8 - MO do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário



Fonte: Autoria própria (2022)

Segundo Calegari (2001), a matéria orgânica aumenta a capacidade de troca de catiônica (CTC) do solo, devido à formação de complexos e quelatos com numerosos íons, aumentando também a retenção de umidade. Para Primavesi (1990), a matéria orgânica de origem animal ou vegetal exerce, quando fornecida em dosagem adequada, efeitos positivos sobre o rendimento das culturas.

Segundo Adami (2012), a aplicação de cama de aviário resulta em aumentos nos teores de nutrientes e matéria orgânica do solo e seus efeitos residuais sobre a produção agrícola e as propriedades do solo podem durar anos após a sua aplicação ter sido interrompida, provendo nutrientes e efeito calagem para as próximas estações de crescimento.

Assim a utilização de adubos orgânicos, como a cama de aviário, pode aumentar os níveis de matéria orgânica destes solos, através da melhoria das características químicas, físicas e biológicas destes solos melhorando o desenvolvimento das culturas, produzindo mais biomassa e matéria seca das culturas, o que afetará na melhor cobertura do solo e por consequência aumentar a matéria orgânica.

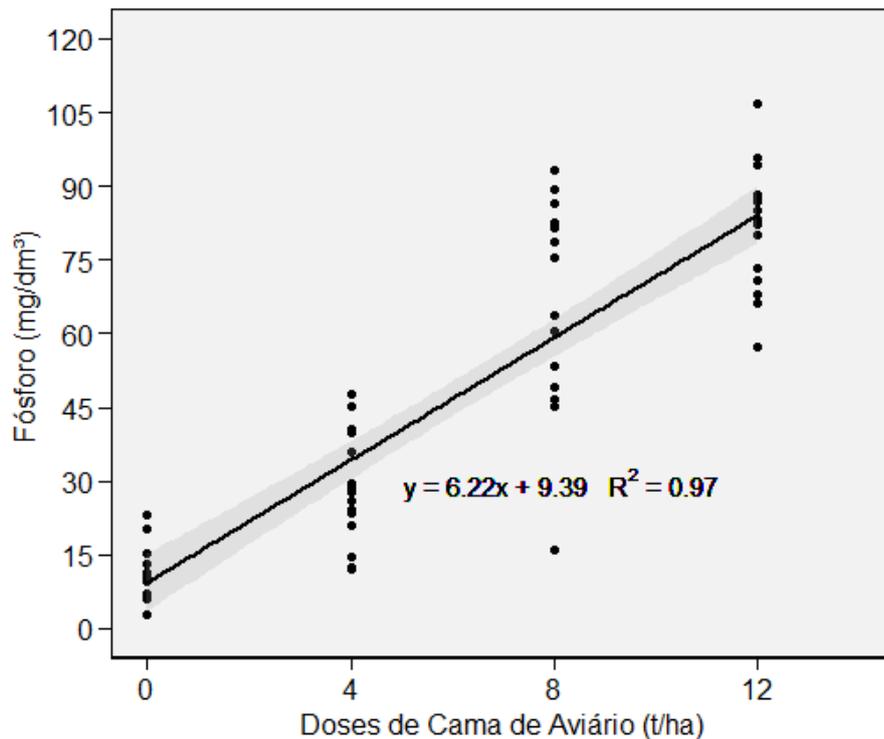
O elemento fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento dos vegetais, pois está ligado a diversos processos bioquímicos no

fornecimento de energia, como transporte e captação de nutrientes no interior das plantas (BRADY; WEIL, 2008). Apresenta baixa mobilidade no solo e pode estar adsorvido nos coloides, e, assim, tornar-se temporariamente indisponível para as plantas.

Para a variável (P) nas doses de calcário, não foi observada diferença estatística significativa (Tabela 3). Entretanto, houve um expressivo aumento nos teores de P com a aplicação de doses crescentes de cama de aviário (Figura 9).

O acúmulo de P na superfície do solo pode ser proveniente da realização de aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação do elemento durante a decomposição dos restos vegetais acumulados e da menor fixação de P, em razão do menor contato do elemento com componentes inorgânicos de solo, devido a não integração de resíduos vegetais pelo revolvimento de solo (SIQUEIRA NETO et al., 2009).

Figura 9 - Fósforo do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário



Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com a equação de regressão, os valores de P variaram entre 9,39 a 84,03 mg dm⁻³, entre as doses zero e 12 t ha⁻¹ de cama de aviário, respectivamente. Ou seja, para solos com mais de 400 g kg⁻¹ de argila, caso do solo deste experimento,

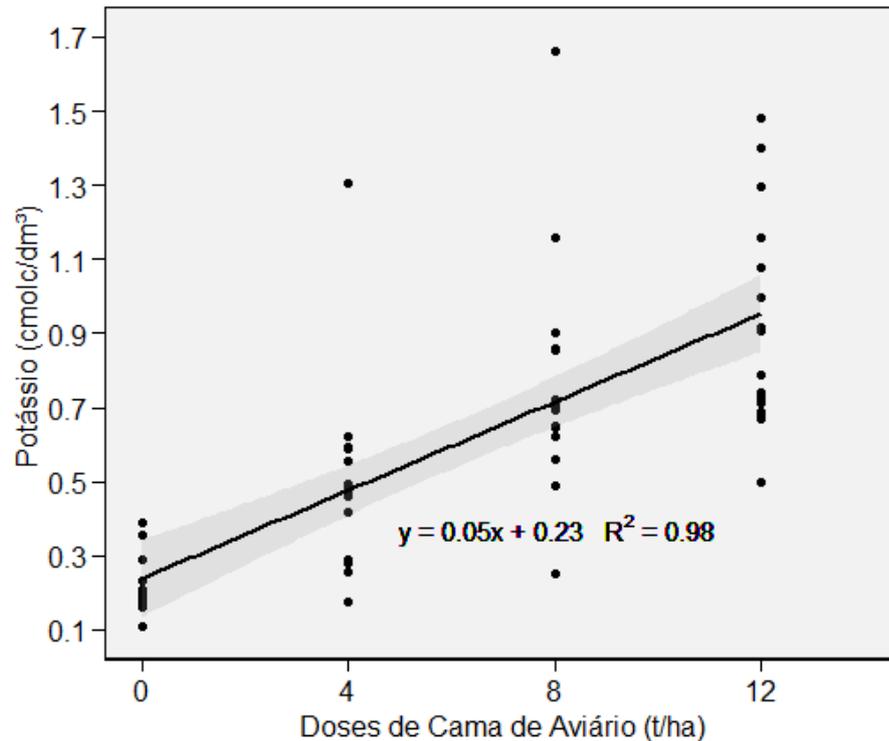
mesmo sem aplicação de cama de aviário o teor de P no solo encontra-se no nível crítico alto, onde a probabilidade de resposta a adubação fosfatada é baixa.

Esse resultado é importante porque demonstra que a cama de aviário pode ser uma alternativa nutricional, porém, quando utilizada em grandes quantidades, pode também causar efeitos indesejáveis. A adoção de práticas conservacionistas é fundamental em qualquer sistema de produção, ainda mais imprescindível após uso de cama de aviário, com vistas a melhorar a capacidade de infiltração de água no solo, reduzindo os riscos de escoamento superficial e, por consequência, de erosão que trará elevados prejuízos econômicos e ambientais (CERETTA et al., 2003).

Com isso se quer chamar a atenção de que, com o uso de cama de aviário os teores de P, mesmo já sendo altos, atingem valores bastante expressivos, tornando ainda mais fundamental o manejo adequado dos solos de forma a se evitar perdas por erosão que poderiam carrear esse fósforo para as águas superficiais, causando danos ambientais através da eutrofização das águas. Em função disso, se reforça a afirmação de que o uso de cama de aviário, em que pese os seus efeitos benéficos sobre a fertilidade do solo, deve ser usado com critérios técnicos, evitando desequilíbrios nutricionais que venham a comprometer o desenvolvimento das plantas.

Para a concentração de potássio (K) no solo, no fator dose de calcário, não foi observada diferença estatística significativa (Tabela 3). O teor de K aumentou linearmente com as doses de cama de aviário, apresentando um elevado coeficiente de determinação ($R^2= 0,98$) (Figura 10).

Figura 10 - Potássio do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário



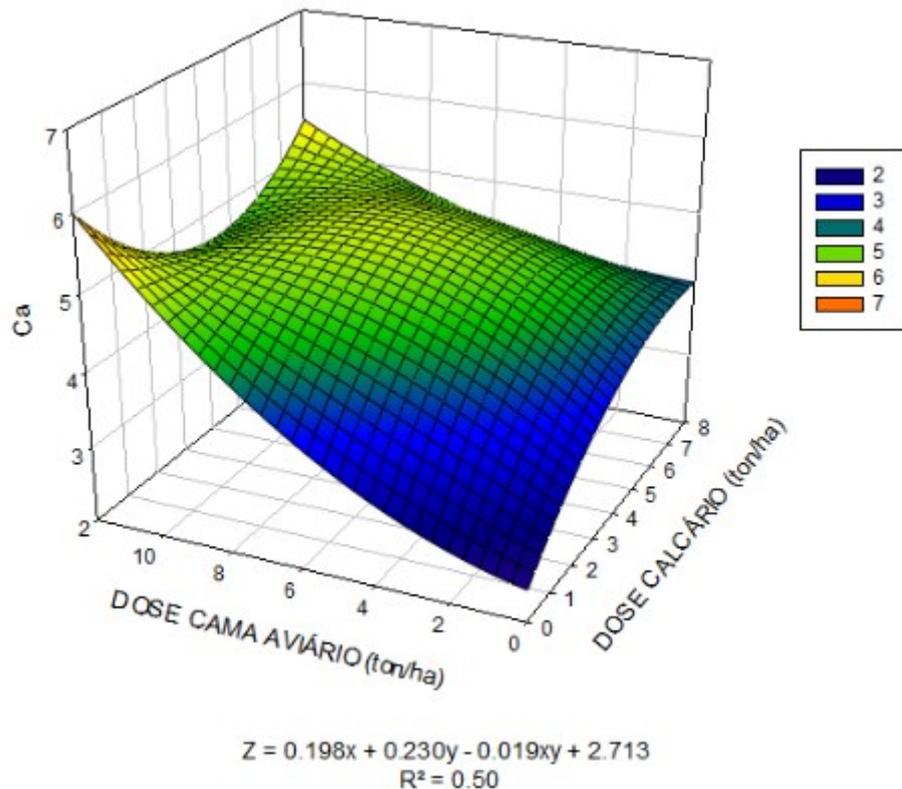
Fonte: Autoria própria (2022)

O potássio é de grande importância para a produção das culturas sendo o segundo nutriente mineral requerido pelas plantas em termos de quantidade (MARSCHNER 1995). Nesse trabalho, o teor de K variou de 0,23 a 0,83 cmolc dm³, entre o tratamento testemunha e a dose de 12 t ha⁻¹ de cama de aviário, respectivamente (Figura 10).

A análise da cama aplicada indicou o teor de K₂O de 27,5 g Kg⁻¹ em média, o que representa uma aplicação de 396 kg ha⁻¹ de K₂O (tabela 1), no maior nível de cama de aviário. Este fato pode explicar a diferença na concentração deste nutriente nas diferentes doses de cama de aviário. Segundo Ceretta et al. (2003) este aumento no teor de K no solo é decorrente da utilização de dejetos animais como fertilizantes orgânicos em áreas agrícolas.

Para os valores de cálcio (Figura 11), o CV ficou entre baixo a médio, oscilando entre 11 e 19%. O R² nesse caso foi de 0,50, não muito bom, mas de qualquer forma, o modelo explica cerca de 50% dessa variável.

Figura 11- Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para variável cálcio (Ca) do solo



Fonte: Autoria própria (2022)

Como houve interação entre os fatores, é possível observar que as doses zero de calcário e de cama de aviário apresentam os menores níveis de Ca no solo. A modificação desse teor ocorre de acordo com o aumento das doses de calcário e de cama de aviário. Com valores próximos a 6 tha^{-1} de dose de cama de aviário e de 5 tha^{-1} de calcário atingem-se valores superiores a 4,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca no solo.

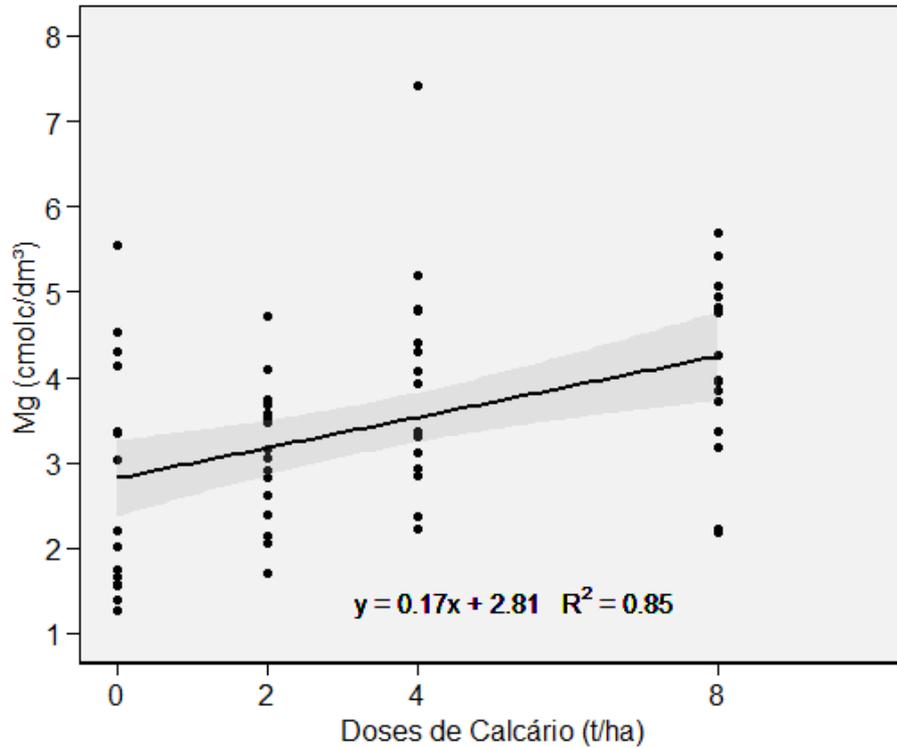
O uso de cama de aviário de maneira isolada permite um aumento considerável dos teores de Ca no solo (5,47 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), sendo até mesmo maiores do que em relação ao uso do calcário de maneira isolada (4,29 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$).

Portanto, os resultados mostram que com o aumento da dose de cama de aviário aplicada, onde houve aumento na concentração de cálcio no solo. Estes valores de Ca corroboram com os de Holanda et al. (1982) que observaram aumento dos níveis Ca, quando utilizaram esterco de poedeira, podendo ser devido o uso da cal virgem (CaO) na desinfecção dos aviários que aumentou a concentração de Ca no solo, conforme ocorreu aumento da dose de cama de aviário utilizada.

Para o magnésio (Mg) foram observados efeitos isolados dos dois fatores (calcário e cama de aviário). O Mg aumentou linearmente com as doses de calcário

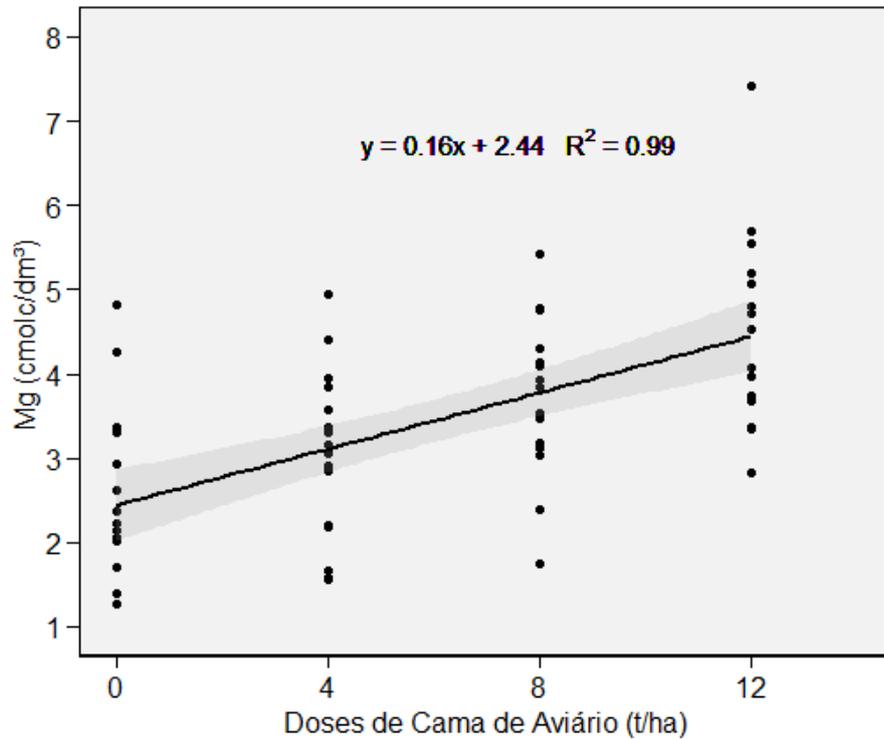
(Figura 12), com os valores se situando entre 2,81 a 4,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Esse resultado demonstra que o solo já apresentava teores elevados de Mg, os quais apenas aumentaram ainda mais em resposta ao uso de calcário.

Figura 12 – Magnésio do solo após aplicação, em 2015, de doses crescentes de calcário



Para a cama de aviário, a resposta em relação ao teor de Mg também foi linear, com um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$) (Figura 13). O teor de Mg variou entre 2,44 a 4,36 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para as doses zero e 12 t ha^{-1} de cama de aviário, respectivamente. Esses resultados são muito semelhantes aos observados como resposta a calagem.

Figura 13 - Mg do solo após 10 aplicações sucessivas de doses crescentes de cama de aviário



Fonte: Autoria própria (2022)

Segundo Schalleberger et al. (2019) em estudo avaliando o efeito da utilização de cama de aviário como adubo orgânico na qualidade química e microbiológica do solo, obteve que os teores de magnésio nos solos com cultivos foram maiores comparados com o da mata nativa. Os valores de magnésio variaram entre 1,30 e 8,85 cmolc/dm^3 para a área de mata nativa e o cultivo de milho/aveia, respectivamente.

4.2 Desempenho de uma sucessão de cultivos (aveia/milho) sob efeito residual do calcário e efeito imediato e residual da cama de aviário

4.2.1 Rendimento de massa seca de aveia

Houve interação significativa entre calcário e cama de aviário sobre o rendimento de massa seca de aveia (Tabela 5). Oliveira, et al., (2008) verificaram que a aplicação de doses crescentes de cama de aviário proporcionou aumentos lineares na altura e área foliar das plantas. Assim, o maior fornecimento de N através da matéria orgânica da cama de aviário, favorece o desenvolvimento de sua parte aérea (folhas e pecíolos), atuando como fator determinante para a produção de biomassa.

Tabela 5 - Quadrado médio da análise de variância, incluindo as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para o rendimento de massa seca (MS) de aveia, em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.

Fontes de variação	GL	MS
Blocos	3	12123232,820000
Calcário (Cal)	3	3421011,553333 ^{ns}
Erro 1	9	1336910,848889
Cama de aviário (Cam)	3	649036,700000 ^{ns}
Cal*Cam	9	5549569,546667*
Erro 2	36	2230587,552778
Total	63	
CV 1 (%)	15,98	
CV 2 (%)	20,64	
Média geral	7237	

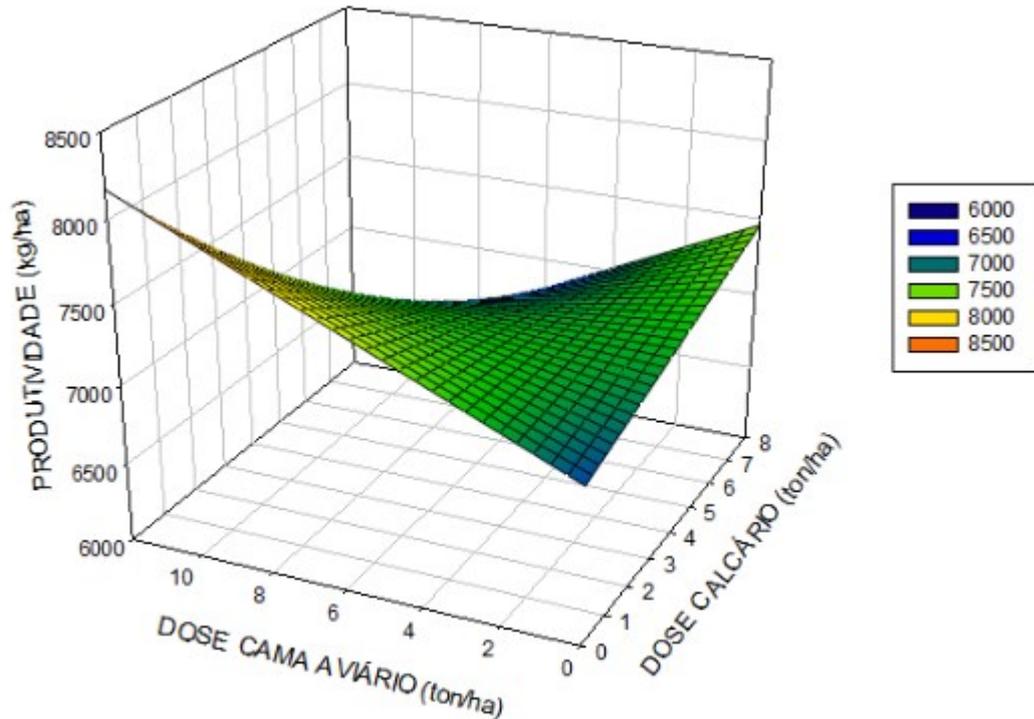
* significativo ao nível de 5%, 1% ou 0,1% de probabilidade ($p < 0.05$) pelo teste F. ^{ns} não significativo.

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 14, gerada em 3D, observa-se que na dose 0 t ha⁻¹ de calcário e 12 t ha⁻¹ de cama de aviário foram observadas as maiores produtividades, as quais são próximas ou acima de 8000 kg ha⁻¹. Assim, os dados mostram que a cama de aviário exerceu efeito como corretivo de acidez, melhorando as condições para o desenvolvimento das plantas de aveia. Não se pretende afirmar, com isso, de que a cama possa substituir o calcário.

Segundo Bratti (2013) com o uso de 13 t ha⁻¹ de cama de aviário a produção de biomassa de aveia preta foi maior (com 8.837,49 kg ha⁻¹ de MS) que nas áreas onde foi usada a adubação mineral (7.423 kg ha⁻¹ de MS).

Figura 14 – Relação dose de cama de aviário X dose de calcário via superfície de resposta para o Parâmetro de produção de (MS) de aveia



$$Z = 60.29x + 99.79y - 26.17xy + 6976.90$$

Fonte: Autoria própria (2022)

Por outro lado, à medida que se diminui a dose de cama de aviário para 6-8 t ha⁻¹ e aumenta a dose de calcário para 4-6 t ha⁻¹ a produtividade reduz para valores próximo ou inferiores a 7000 kg ha⁻¹. Importante destacar, conforme observado pela equação de regressão, de que no tratamento testemunha absoluta (sem calcário e sem cama de aviário), o rendimento de massa seca de aveia foi próximo dos 7000 kg ha⁻¹, demonstrando que mesmo numa condição de acidez, evidenciada pelos baixos valores de pH e de saturação por bases, a aveia manteve elevados tetos de produção (Figura 14).

4.2.2 Parâmetros morfológicos e produtivos do milho

Para as variáveis altura de plantas, altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo de plantas de milho foram observados apenas efeitos isolados das doses de cama de aviário, demonstrando que a aplicação de calcário não contribuiu para a melhoria desses parâmetros (Tabela 6).

Tabela 6 - Quadrados médios da análise de variância, fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AIE) e diâmetro de colmo (DC), em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.

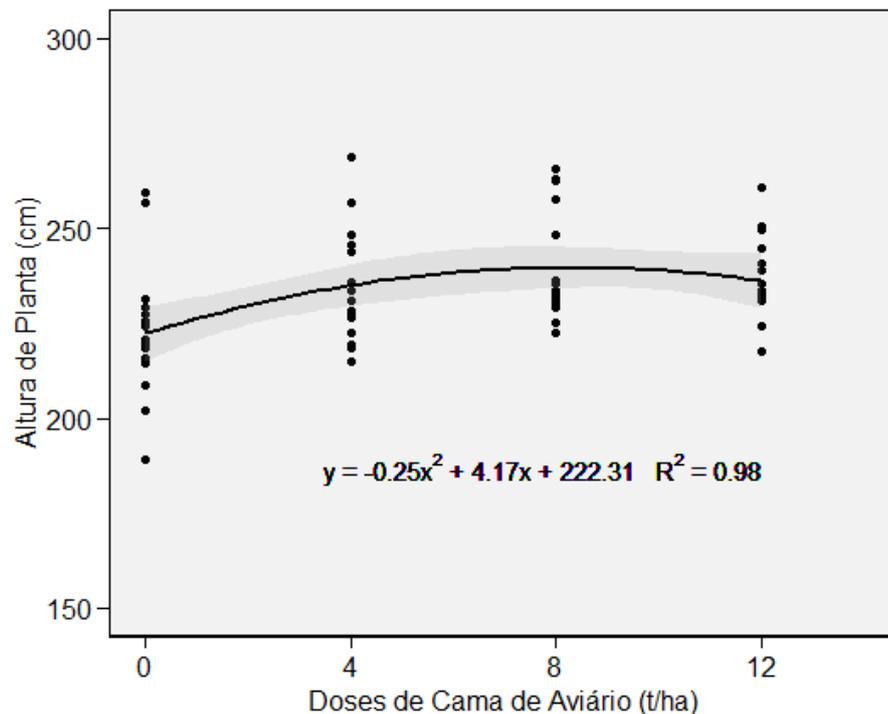
Fontes de variação	GL	AP	AIE	DC
Blocos	3	999,775000	48,650833	2,814240
Calcário (Cal)	3	403,558333 ^{ns}	2,574167 ^{ns}	5,687210 ^{ns}
Erro 1	9	224,721111	90,873611	4,695594
Cama de aviário (Cam)	3	936,195000 ^{**}	513,684167 ^{***}	23,811835 ^{**}
Cal*Cam	9	204,887778 ^{ns}	26,055833 ^{ns}	2,454223 ^{ns}
Erro 2	36	143,119028	57,659028	3,570111
Total	63			
CV 1 (%)		6,43	7,35	9,43
CV 2 (%)		5,13	5,86	8,22
Média geral		233 cm	129 cm	23 mm

^{**}, ^{***} significativo ao nível de 1% ou 0,1% de probabilidade ($p < 0.05$) pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Fonte: Autoria própria (2022)

O residual da aplicação da cama de frango proporcionou maior crescimento às plantas de milho, sendo que a dose de máxima eficiência técnica, conforme a equação de regressão foi de 8,34 t ha⁻¹ (Figura 15), propiciando plantas com cerca de 240 cm de altura. Esses resultados mostram a viabilidade da adubação orgânica no fornecimento de nutrientes para as plantas.

Figura 15 – Altura de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.



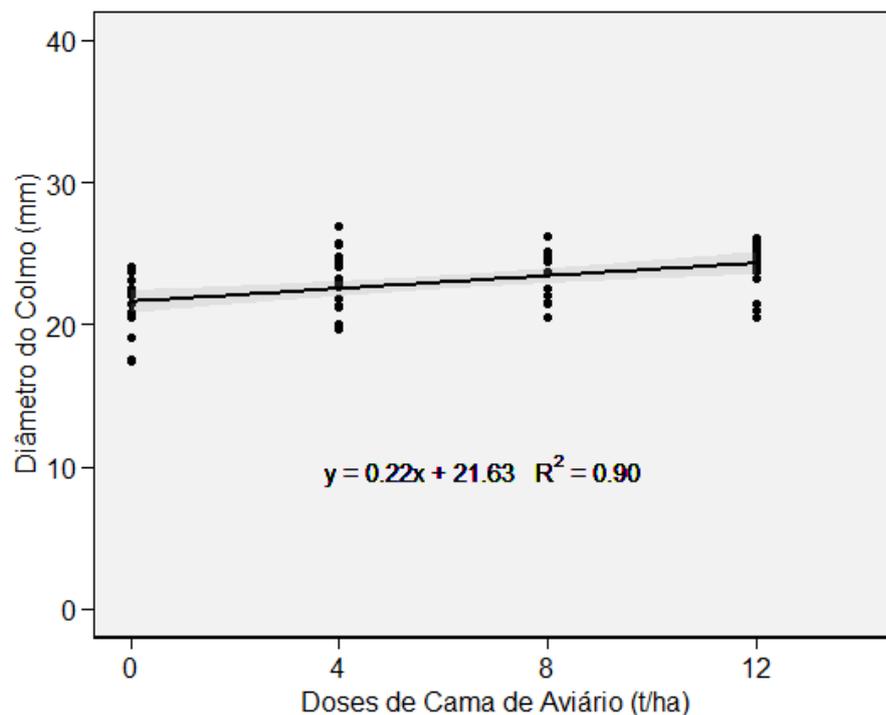
Fonte: Autoria própria (2022)

Resultado semelhante sobre crescimento da planta de milho com o aumento das doses de cama de aviário foi registrado por Sbardelotto e Cassol (2009). Porém, estes resultados encontrados divergem do que Sousa et al. (2006), encontraram em seu trabalho, onde os autores mostraram que a adubação orgânica não diferiu estatisticamente da adubação química sobre a altura de plantas de milho.

O diâmetro de colmo de plantas de milho respondeu linearmente a aplicação de doses crescentes de cama de aviário, antecedendo a semeadura da aveia, com R^2 de 0,90 (Figura 16).

Conforme a equação de regressão, o diâmetro de colmo variou entre 21,63 a 24,27 mm para as doses de zero e 12 t ha⁻¹ de cama de aviário, respectivamente (Figura 16).

Figura 16 – Diâmetro do colmo de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.



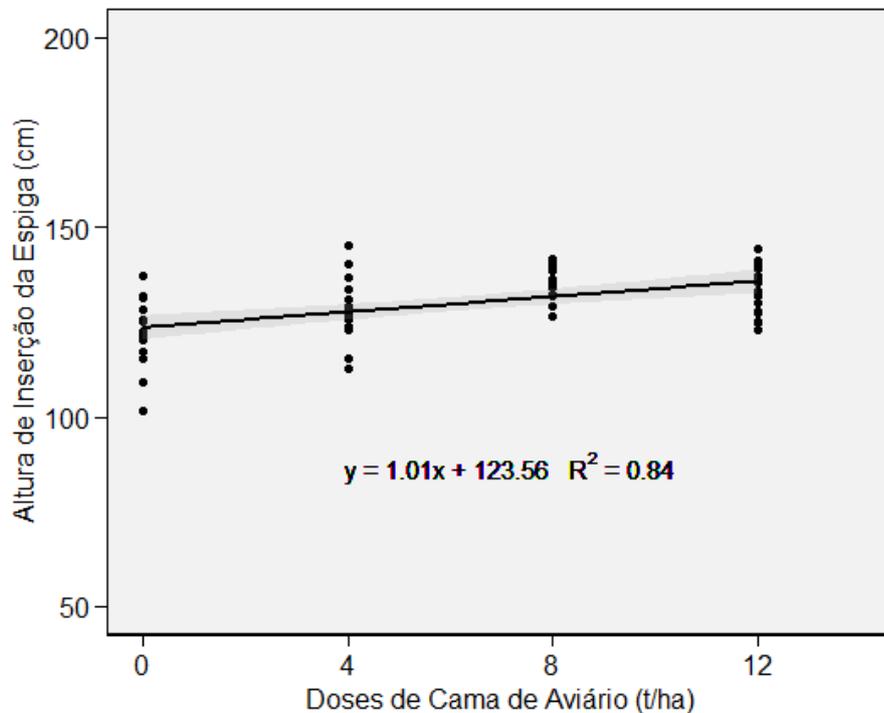
Fonte: Autoria própria (2022)

Semelhante ao diâmetro de colmo, a cama de aviário promoveu aumento linear na altura de inserção de espiga de milho, com R^2 de 0,84 (Figura 17). A altura de inserção da espiga variou de 123,56 a 135,68 cm entre as doses zero e 12 t ha⁻¹ de cama de aviário, respectivamente.

A AIE é uma característica que pode estar relacionada ao aumento das quantidades de N disponível no solo, pois segundo Bredemeiler; Mundstock (2000) o

N atua diretamente no desenvolvimento vegetativo, influencia diretamente na divisão celular e no processo fotossintético (BÜLL, 1993), assim influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente. Outro fator relacionado a este componente morfológico são que as plantas mais altas e com inserção de espigas também mais altas apresentam vantagens na colheita (POSSAMAI et al., 2001). Mas, este aumento na AP e AIE também podem contribuir para o acamamento das plantas, porém, com os resultados significativos de aumento da variável DC, reduzem os riscos ao acamamento das plantas de milho, pois a fragilidade das plantas ao acamamento pode estar associada a essa variável (BORTOLINI et al., 2001).

Figura 17 – Altura de inserção de espigade plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.



Fonte: Autoria própria (2022)

Para as variáveis comprimento de espiga, massa de mil grãos, diâmetro de espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e rendimento de grãos não foi observada interação entre as doses de calcário e de cama de aviário. O número de fileiras por espiga foi influenciado pelas doses de calcário, enquanto o diâmetro de espiga, o número de grãos por fileira e o rendimento de grãos podem ser explicados pelas variações nas doses de cama de aviário (Tabela 7).

Tabela 7 - Quadrados médios da análise de variância, fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), comprimento de espiga (CE), massa de mil grãos (MMG), diâmetro de espiga (DE), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF) e rendimento de grãos (RG) de milho, em experimento de longa duração com uso de calcário e aplicações sucessivas de cama de aviário. UTFPR, Pato Branco – PR, 2022.

Fontes de variação	GL	CE	MMG	DE	NFE	NGF	RG
Blocos	3	0,752717	1603,95	1,430013	1,717292	9,382813	3482374,3
Calcário (Cal)	3	0,750867 ^{ns}	617,14 ^{ns}	2,915962 ^{ns}	4,160625*	3,033854 ^{ns}	1641665,6 ^{ns}
Erro 1	9	2,053028	674,19	3,329914	0,737292	9,262153	2233664,9
Cama de aviário (Cam)	3	1,856117 ^{ns}	1238,66 ^{ns}	7,630817*	1,127292 ^{ns}	29,721354*	8568396,0**
Cal*Cam	9	0,902428 ^{ns}	539,58 ^{ns}	3,104907 ^{ns}	0,805069 ^{ns}	9,871528 ^{ns}	988362,4 ^{ns}
Erro 2	36	0,826394	863,49	1,792618	1,028958	7,301866	1716371,5
Total	63						
CV 1 (%)		9,08	8,58	3,65	4,70	9,43	12,20
CV 2 (%)		5,76	9,71	2,68	5,56	8,37	10,69
Média geral		15,77 cm	302,5 g	49,98 mm	18,25	32,26	12251 kg ha ⁻¹

*, ** significativo ao nível de 5% ou 1% (p < 0.05) pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo.

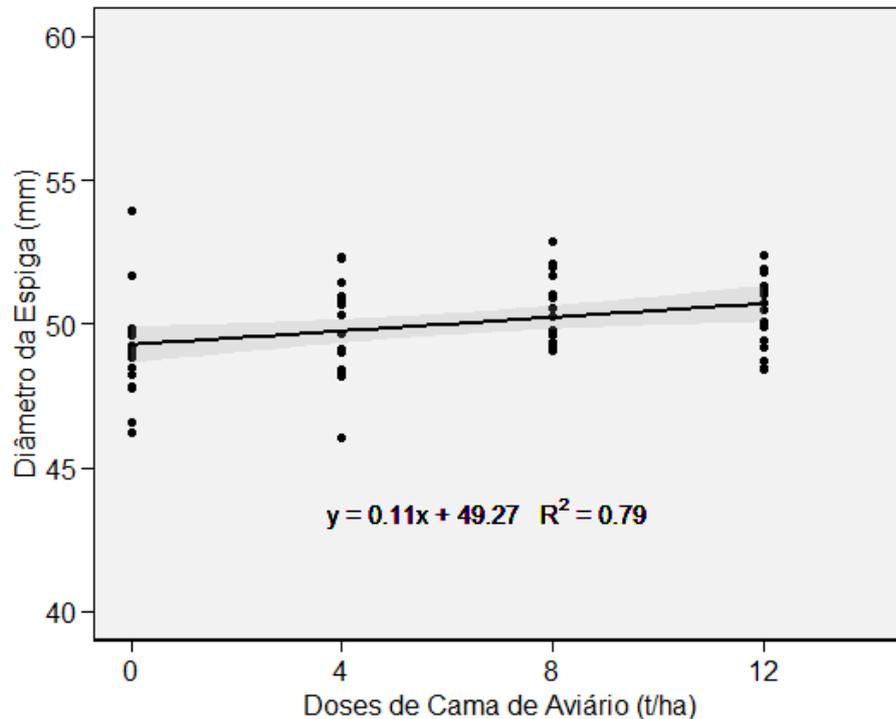
Fonte: Autoria própria (2022)

Os resultados para CE e MMG não apresentaram diferenças significativas para nenhum dos fatores, mostrando que esses dados independem da correção do solo e da forma de adubação, e foram de 15,77 cm e de 302,5 g, respectivamente. O coeficiente de variação para os dois parâmetros foi inferior a 10%.

O resultado de CE diverge de Ohland et al. (2005), os quais encontraram diferenças usando adubação orgânica com cama de aviário e adubação mineral.

Para o parâmetro diâmetro de espiga (DE) a aplicação de cama de aviário aumentou linearmente o DE de milho, com $R^2 = 0,79$ (Figura 18).

Figura 18 – Diâmetro de espigade plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022

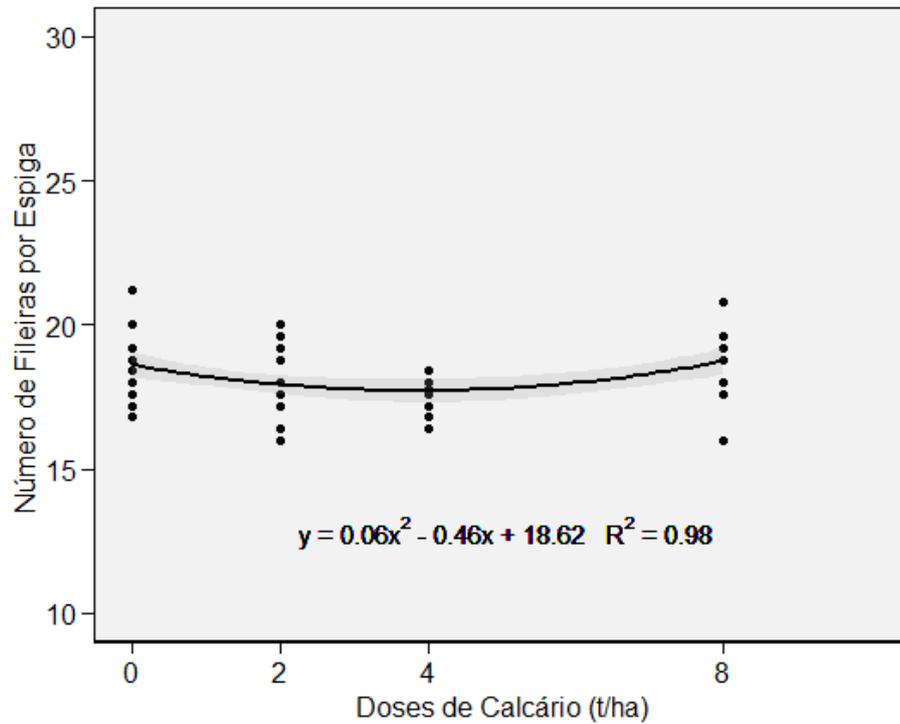


Fonte: Autoria própria (2022)

Apesar de significativo para a regressão linear, quando se utiliza a equação de regressão percebe-se que os valores de DE variaram pouco entre as doses extremas de cama de aviário, zero e 12 t ha⁻¹, sendo de 49,27 a 50,59 mm, respectivamente (Figura 18). Nesse caso entende-se que a cama de aviário contribuiu pouco para um melhor DE das plantas de milho, pois o aumento no DE está relacionado com o aumento do tamanho dos grãos, e que não foi confirmado neste trabalho uma vez que não houve diferença significativa. Estes resultados divergem de Silva et al. (2004), que encontrou um aumento no DE devido ao aumento da MMG, em seu trabalho com aplicação de doses crescentes de cama de aviário.

Houve um efeito quadrático da aplicação de calcário sobre o número de fileiras por espiga (NFE). No entanto se observa que na dose de 3,83 t ha⁻¹ de calcário foi encontrado o menor valor de NFE, que corresponde a 17,7365 fileiras. Isso significa, pela equação de regressão, que quando não foi aplicado calcário as plantas de milho apresentaram 18,62 fileiras por espiga, concluindo não ser necessária a aplicação de calcário (Figura 19).

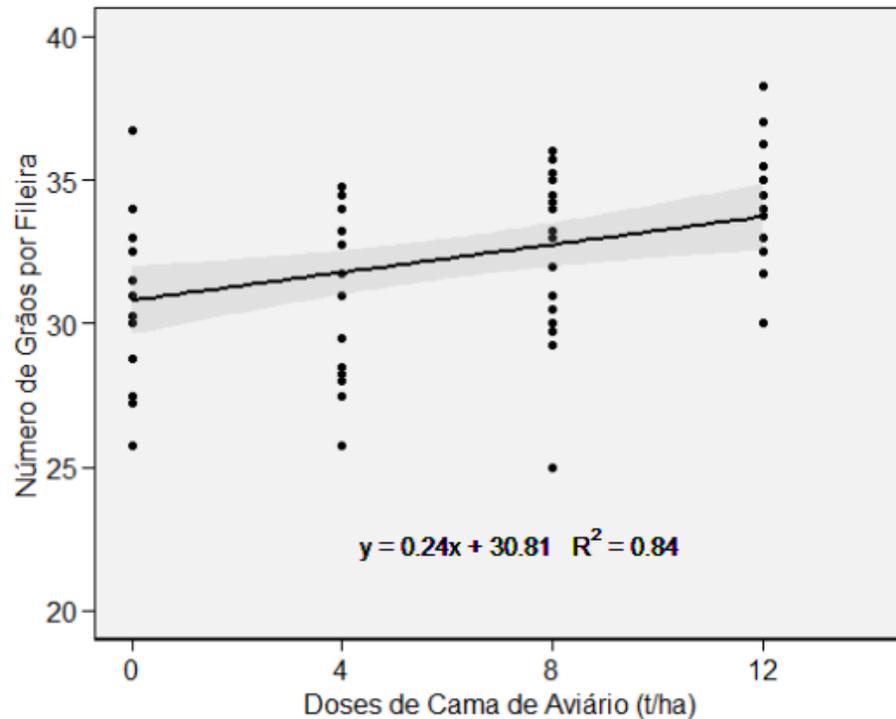
Figura 19 – Número de fileiras por espiga de plantas de milho em resposta a aplicação de doses crescentes de calcário (valores são média de quatro doses de cama de aviário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022



Fonte: Autoria própria (2022)

Para o parâmetro número de grãos por fileira (NGF) analisado no fator dose de calcário, não foi observada diferença estatística significativa. Porém, a aplicação de cama de aviário promoveu aumento linear no NGF, o qual variou entre 30,81 a 33,69 para as doses zero e 12 t ha⁻¹, respectivamente. O coeficiente de determinação (R²) para essa variável foi de 0,84 (Figura 20).

Figura 20– Número de grãos por fileira de plantas de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022



Fonte: Autoria própria (2022)

Segundo constatado por Silva et al. (2004), com a aplicação de doses crescentes de cama de aviário houve aumento significativo no NFE, NGF, MMG e DE, acompanhados pela PG. Apesar do NFE e o NGF serem características determinadas de forma mais acentuada por fatores genéticos, a aplicação da cama de frango proporcionou incrementos nessas características que se refletiram no aumento da produtividade.

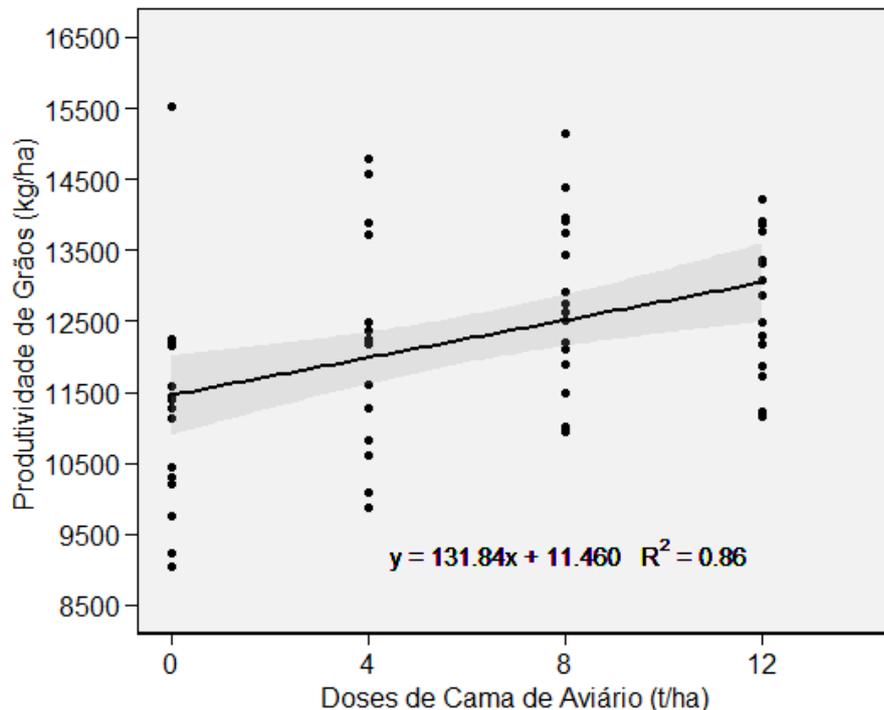
Embora numa condição de solo com elevada acidez, o rendimento de grãos de milho não foi influenciado pelas doses de calcário (Tabela 6). É possível que o cultivo no sistema plantio direto, com elevada cobertura vegetal protagonizada pela cultura da aveia e altos teores de matéria orgânica no solo tenham contribuído para a ausência do efeito da calagem.

Trabalhando numa área de sistema plantio direto consolidado e com alto teor de matéria orgânica, cultivando espécies anuais como aveia e trigo (no inverno) e soja e milho (no verão), durante vários anos de cultivo, Bortolini et al. (2016) observaram pouco efeito da aplicação de calcário sobre o rendimento desses cultivos. A partir dos resultados obtidos os autores sugerem um índice de 50% de saturação por bases como adequado para as condições do estudo.

Porém, a aplicação de cama de aviário, que promoveu alterações nos valores de pH, saturação por bases e alumínio trocável (Figuras 2, 3 e 4, respectivamente), foi capaz de aumentar o rendimento de grãos de milho. Mesmo sem aplicação da cama de aviário o rendimento já pode ser considerado alto (11460 kg ha^{-1}), acima da média estadual para a safra 2020/2021 que foi de 9120 kg ha^{-1} . Porém com a adição de 12 t ha^{-1} de cama de aviário o rendimento atingiu 13042 kg ha^{-1} (Figura 21), promovendo um incremento de 1582 kg ha^{-1} .

Esses resultados podem ser associados ao suprimento de nutrientes, principalmente nitrogênio oriundo da matéria orgânica, pelo tipo de adubo orgânico e pelos resíduos da aveia preta. Assim, podemos inferir que a decomposição da biomassa vegetal é influenciada pela composição química do material em decomposição e pelas características do solo.

Figura 21 – Rendimento de grãos de milho em resposta a aplicação de doses de cama de aviário na cultura da aveia (valores são média de quatro doses de calcário). UTFPR, Pato Branco – PR, 2022



Fonte: Autoria própria (2022)

Observa-se que em todos os tratamentos com cama de frango, a produtividade foi superior à média de produtividade nacional registrada na safra 2020/2021 que foi de 5.301 Kg ha^{-1} (IBGE, 2021). Esses resultados corroboram com Moreira et al. (2002), Sbardelotto e Cassol (2009), onde encontraram em seu trabalho

analisando o tratamento com a menor dose de cama de frango resultados superiores à adubação mineral, mas que não diferiram estatisticamente entre si.

Isso pode ser devido ao efeito residual da cama de aviário, que no caso da cama de aviário, apresentou a taxa de decomposição mais rápida, por ser um experimento de longo prazo com sucessivas aplicações anuais de cama. Pois, grande parte dos nutrientes da cama de aviário encontram-se na forma de compostos orgânicos e necessitam ser mineralizados, para se tornarem disponíveis às plantas. Assim, grande parte do P e N não é imediatamente disponível para as plantas.

Segundo Novakowski et al. (2013) em seu trabalho evidenciou que com o aumento da dose de cama de aviário no verão a produtividade de milho manteve-se superior, atingindo-se uma máxima eficiência técnica com a aplicação de 9 Mg ha⁻¹ de cama de aviário, o que resultou em 10.354 kg ha⁻¹ de grãos de milho.

Deste modo, quando altos níveis de fertilizantes orgânicos são aplicados (8 e 12 t ha⁻¹), estes tendem a disponibilizar os nutrientes de forma gradual ao solo, até certo ponto e depois caem essas concentrações. Conforme Pizzatto (2017), em ensaio de longa duração com aplicação de doses de cama de aviário, evidenciou a possibilidade de decréscimo da produtividade na cultura do milho a partir de doses superiores a 9 t ha⁻¹.

Portanto, isso significa sempre ser importante um acompanhamento, por parte dos usuários da cama de aviário, sobre as alterações promovidas nas características do solo, bem como os seus efeitos sobre o desempenho das culturas, de modo a encontrar uma dose que proporcione os melhores resultados de produtividade, sem comprometer o meio ambiente.

5 CONCLUSÃO

A cama de aviário apresenta efeito residual para as culturas de inverno e verão. Neste caso a cultura do milho, cultivada sem adubação, atinge elevado teto de produtividade valendo-se apenas da adubação com cama de aviário aplicada na cultura de inverno.

A aplicação de cama de aviário promove alterações positivas nos valores de pH, saturação por bases e alumínio trocável, e aumento do rendimento de grãos de milho. O fósforo e o potássio aumentam linearmente com crescentes doses de cama de aviário.

A cama de aviário apresenta características relacionadas a correção da acidez do solo. Mas, a combinação de calcário com cama de aviário, parece ser o maior problema, pois, em qualquer dose de cama de aviário o pH do solo não baixa de 6,0. Assim, a cama de aviário traz, por si só efeito no pH. Porém, por ser uma avaliação pontual percebe-se que a cama de aviário tem efeito sobre o pH, mas, se aplicada anualmente e não devido a uma única aplicação como é para o calcário.

O uso de cama de aviário é uma boa opção para os agricultores da região pelo considerável aumento da fertilidade do solo, principalmente nos teores de fósforo e potássio no solo, nas maiores doses utilizadas. Essa melhoria nutricional promove aumento de rendimento das culturas tanto na sequência da aplicação (inverno), como também nas culturas implantadas sobre efeito residual da aplicação no verão.

A decisão pelo uso ou não da cama em relação à adubação mineral depende da sua concentração química e teor de macronutrientes. O valor da cama de aviário é normalmente determinada por comparação com fertilizante comercial, considerando os valores N, P e K. Entretanto, é importante considerar que a cama de aviário contém também cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), micronutrientes e matéria orgânica que adicionam outros valores em relação ao fertilizante mineral.

Contudo, ao aplicar cama de aviário como fertilizante orgânico em culturas sucessivas, torna-se importante uma análise prévia do solo, pois deve ser considerado o efeito residual, que pode possibilitar uma redução nos custos com adubação no ano seguinte de aplicação.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; MODOLO, A. J.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C. **Grazing intensities and poultry litter fertilization levels on corn and black oat yield**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.3, p.360-368, mar.2012.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. **Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob Sistema Plantio Direto**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n.3, p. 241–248, 2002
- ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - **Relatório Anual**. Brasília. v. 1, n. 1, p. 1-18, 2021.
- ALVES, Rubem. **Sobre o tempo e a eterna idade**. Editora Papirus (Campinas), 1995, 16ª ed., 168p.
- ANDREOTTI, M.; NAVA, I.A.; WIMMER NETO, L.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E. **Fontes de nitrogênio e modos de adubação em cobertura sobre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na "safra das águas"**. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 4, p. 595-602, 2005.
- BRATTI, F. C. **Uso de cama de aviário como fertilizante orgânico na produção de aveia preta e milho**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Dois Vizinhos, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, UTFPR, 2013. 70f.
- BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016. 71p. Disponível em: Acesso em: 07 abr. 2022.
- BHERING, S. B.; & SANTOS, H. G. **Mapa de Solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR. 2008. 74p.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. **Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000. Disponível em: Acesso em 14 de fev de 2022.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, 14th ed. 2008. 965 p.
- BORTOLINI, Diego, Luís César Cassol, Jonatas Thiago Piva, Cristiam Bosi, Kassiano Felipe Rocha. **Surface applied lime dynamics and base saturation index in a consolidated no-tillage área**. *Revista: Comunicata Scientiae* 7(4): 473-485, 2016.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E. L. **Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia preta em resposta a adubação nitrogenada e regime hídrico**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n. 9, p.1101-1106, 2001. Disponível em: Acesso em 11 de fev de 2022.

BÜLL, L. T. **Nutrição mineral do milho**. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145. Disponível em: < http://www.abms.org.br/29cn_milho/07116.pdf> Acesso em 10 de fev de 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. V. 1, n.9 – Brasília: Conab, 2022.

CQFS – RS/SC. Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, 2016. 430p.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. **Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil**. European Journal of Agronomy, v. 66, p. 41-53, 2015.

CALEGARI, A. **Rotação de culturas e plantas de cobertura como sustentáculo do sistema de plantio direto**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Londrina. 2001. p. 241.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. **Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural**. Pesq. Agropec. Bras., v.38, p.729-735, 2003.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p.197-225, 1999.

COSTA, A. M.; BORGES, E. N.; SILVA, A. de A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. **Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada influenciado pela aplicação de cama de frango**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, p. 1991-1998, 2009.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTRY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho: sistema plantio direto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Comunicado Técnico, 51). 7p. 2002.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; FILHO, M. R. A. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de produção, 2. 6a ed. 2010.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. **Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2653-2659, 2008.

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. **Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubo mineral e calcário no rendimento vegetal**. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.6, p.119-124, 1982.

ERNANI, P.R. **Necessidade da adição de nitrogênio para o milho em solo fertilizado com esterco de suínos, cama de aves e adubos minerais**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.8, n.3, p.313-317, 1984.

EDWARDS, D. R. e DANIEL, T.C. **Environmental impacts of farm poultry waste disposal – A review**. Bioresour.Technol., v.41, p.9-33, 1992.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. **Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003.

FEBRAPDP. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2022.

FIGUEROA, E.A.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; WIETHÖLTER, S. **Efeito do Esterco de Ave Poedeira no Rendimento de Grãos de Trigo**; I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Uso dos Resíduos da Produção Animal como Fertilizante 11 a 13 de Março de 2009 – Florianópolis, SC – Brasil.

GIANELLO, C.; ERNANI, P.R. **Rendimento de matéria seca de milho e alterações na composição química do solo pela incorporação de quantidades crescentes de cama de frangos, em casa de vegetação**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, n.3, p.285-290, 1983.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia, Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 642p. 2000.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Florianópolis, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. 130f.

HOLANDA, J. S.; MIELNICZUK, J.; STAMMEL, J.G. **Utilização de esterco e adubo mineral em quatro seqüências de culturas em solo de encosta basáltica do Rio Grande do Sul**. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.6, p.47-51, 1982.

HOFFMANN, I; GERLING, DAN.; KYIOGWOM, U.B. & MANÉ- BIELFELDT, A. **Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote área in northwest Nigeria**. *Agric; Ecosys. Environ*, v.86, p.263-275, 2001.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Mapas climáticos mensais 2020**. Disponível em: < <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Mapas-ClimaticosMensais>>. Acesso em: 20 de jan. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

LANA, R. M. Q.; et al. **Alterações na produtividade e composição nutricional de uma pastagem após segundo ano de aplicação de diferentes doses de cama de frango**. *Biosci. J.*, Uberlândia, v.26, n.2, p.249-256, 2010.

LIEBHARDT, W.C.; GOLT, C; e TUPIN, J. **Nitrate and ammonium concentrations of ground water resulting of poultry manure applications**. *Journal of Environmental Quality*, v.8, p.211- 215, 1979.

MACHADO, S. S.; BUENO, P. R. M.; OLIVEIRA, M. B.; MOURA, C. J. **Concentração de chumbo em alface cultivada com diferentes adubos**

orgânicos. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.10, n.1, p.63- 70, 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants.** 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MALAVOLTA, E; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações.** São Paulo: Nobel, 200 p. 2002.

MELO, W.J. & MARQUES, M. O. **Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas.** In: BETTIOL, Wagner & CAMARGO, Otávio Antônio; (eds). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto.** Jaguariúna, Embrapa, p.109-141. 2000.

MENEZES, J. F. S.; FREITAS, K. R.; CARMO, M. L.; SANTANA, R. O.; FREITAS, M. B. de; PERES, L. C. **Produtividade de massa seca de forrageiras adubadas com cama de frango ejetos líquidos de suínos.** In: Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos de animais, 1., 2009, Florianópolis. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009. 1 CD-ROM.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº15,** de 17 de julho de 2001, Diário Oficial nº138, seção 1, de 18.07.2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 626p. 2002.

MOREIRA, M. C. D. L.; SECCO, D.; ZANÃO Jr., L.A.; TOKURA, L.K.; MARINS, A.C.; PILATTI, M.A.; VILLA, B. **Biological quality indicators of a Haplortox soil under different management systems in Southern Brazil.** Journal of Agricultural Science, v. 10, p. 250-257, 2018.

MOSQUERA-LOSADA, M. R.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N. **Effect of liming and organic and inorganic fertilization on soil carbon sequestered in macro-and microaggregates in a 17-year-old Pinus radiata silvopastoral system.** Journal of Environmental Management, v. 150, p. 28-38, 2015.

NEPAR/SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** 2ª ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NOVAKOWISKI, Jaqueline; Eloi Sandini, Itacir; Kimie Falbo, Margarete; de Moraes, Anibal; Huzar Novakowski, Jackson. **Adubação com cama de aviário na produção de milho orgânico em sistema de integração lavoura-pecuária.** Semina: Ciências Agrárias, vol. 34, núm. 4, julho-agosto, 2013, pp. 1663-1672 Universidade Estadual de Londrina Londrina, Brasil.

NICHOLSON, R.J.N; WEBB, J.; MOORE, A. **A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings.** Biosystems Engineering, v.81, n.4, p.363-377, 2002.

ORTOLANI, E. L.; BRITO, L. A. B. **Enfermidades Causadas pelo uso Inadequado de "Camada-frango" na Alimentação de Ruminantes.** Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária. - Suplemento Técnico, n.22, 2001.

OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; **Desempenho de taro em função de doses de cama de aviário, sob sistema orgânico de produção.** Horticultura Brasileira, Brasília, v.26, n.2, p.149-153, 2008.

OHLAND, R. A. A. et al. **Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pat/v42n1/09.pdf>> Acesso em 28 de fev de 2022.

PAUL, E.A. & CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry.** Academic Press, California, 1996, 340p.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade.** Londrina: IAPAR, 1992.

PAGANI, A.; MALLARINO, A. P. **On-Farm Evaluation of Corn and Soybean Grain Yield and Soil pH Responses to Liming.** Agronomy Journal, v. 107, p. 71-82, 2015.

PRA, M.A.D.; CORRÊA, E.K.; ROLL, V.F.; XAVIER, E.G.; LOPES, D.C.N.; LOURENÇO, F.F.; ZANUSSO, J.T.; ROLL, A.P. **Uso de cal virgem para o controle de Salmonella spp. e Clostridium spp. em camas de aviário.** Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.4, p.1189-1194, 2009.

PRIMAVESI, A.; **Manejo Ecológico do Solo: A Agricultura em Regiões Tropicais.** 9ªed., Nobel, São Paulo, 1990;

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M. de; GALVÃO, J. C. C. **Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha.** Bragantia, Campinas, v. 60, n. 2, p. 79 - 82, 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. **Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 675-684, 1998.

PITTA, C.S.R.; ADAMI, P.F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T.S; FRANCHIN, M.F; CASSOL, L.C; SARTOR, L.R. **Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.36, p.1043-1053, 2012.

PIZZATTO, I. F. **Cama de aviário como fertilizante na produtividade de milho e no acúmulo de nutrientes no solo em experimento de longa duração.** Dissertação De mestrado. UTFPR, Dois Vizinho, 2017, 53f.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

R Development Core Team (2011). R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M. & MOURA, I.M. **Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de Eucalyptus grandis fertilizado com biossólido.** R. Bras. Ci. Solo, v.28, p.623-639, 2004.

- SIMONETE, M.A. **Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. Tese (Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. 89p.
- SBARDELOTTO, G.A & CASSOL, L.C. **Desempenho da cultura do milho submetida a níveis crescentes de cama de aviário**. Synergismus scyentifica, v.4, n.1. 2009.
- SORATTO, R.P. & CRUSCIOL, C.A.C. **Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém implantado**. R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.675-688, 2008.
- SIQUEIRA-NETO et al. **Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment**. Soil and Tillage Research, v. 110, n. 1, p. 187–195, 2010.
- SILVA, J. LIMA, S. P. S.; OLIVEIRA, M.; SILVA. K. M. B. **Efeito de esterco bovino sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 22, n. 2, p. 326-331, mar./abr., 2004. Disponível em: file:///C:/Users/Adm/Downloads/17979-104877-1-PB.pdf. Acesso em 09 de fev de 2022.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. **Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo**. Acta Scientiarum. Agronomy, v.28, p.323- 329, 2006.
- TEDESCO, M. T. et al. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. 2º Ed. Porto Alegre. Departamento de Solos/ UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico 5).
- VANCE, E. D.; BROOKS, P. C.; JENKINSON, D. S. **An extraction method for measuring soil microbial biomass C**. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 19, p. 703-707, 1987.
- VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VEIGAS, I.A. de J.M. **Efeito de diferentes materiais no pH do solo**. Scientia agrícola, Piracicaba, São Paulo. Ed. 49(1). P. 123-128, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161992000400016>. Acesso em 16 maio de 2022.
- VITTI, G.C.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T.A.; GOMES, M.H.F. **Estudos confirmam efeitos favoráveis do gesso agrícola à cultura do milho**. Visão Agrícola nº13, 2015.
- ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. **Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças**. Horticultura Brasileira, v. 32, n. 1, 2014.