



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**DINÂMICA DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CONSÓRCIO DE MILHO
COM ADUBOS VERDES NO SISTEMA ORGÂNICO**

TAINÁ MARTINS CARDOSO

Araras

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**DINÂMICA DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CONSÓRCIO DE MILHO
COM ADUBOS VERDES NO SISTEMA ORGÂNICO**

TAINÁ MARTINS CARDOSO

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

COORIENTADOR: PROF. DR. FABRÍCIO ROSSI

COORIENTADORA: PROF^a. DR^a. MÁRCIA MARIA ROSA MAGRI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de **MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

Araras

2022

Martins Cardoso, Tainá

Dinâmica de fósforo e nitrogênio no consórcio de milho com adubos verdes no sistema orgânico / Tainá Martins Cardoso -- 2022.

55f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Anastácia Fontanetti

Banca Examinadora: Patrícia Marlucci da Conceição, Gabriela Cristina Salgado

Bibliografia

1. Atividade enzimática. 2. Fabaceae. 3. Fixação biológica de nitrogênio. I. Martins Cardoso, Tainá. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Tainá Martins Cardoso, realizada em 30/06/2022.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Anastacia Fontanetti (UFSCar)

Profa. Dra. Patrícia Marlucci da Conceição (UFSCar)

Prof. Dr. Gabriela Cristina Salgado (ESALQ/USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural (PPGADR), a secretária Tereza Cristina pelas orientações e aos colegas de trabalho do NEPAC (Núcleo de Estudo e Pesquisa em Agricultura da Conservação),

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Anastácia Fontanetti, à Profa. Dra. Laura Fernanda Simões da Silva, aos técnicos Marcos e João Marcos do Departamento de Desenvolvimento Rural (DDR) e meus coorientadores Profa. Dra. Márcia Maria Rosa Magri e Prof. Dr. Fabrício Rossi que tornaram possível a construção deste trabalho.

Aos meus pais, Marcia e Alexandre e aos grandes professores e professoras que tive, por sempre acreditarem na educação e na ciência e por me guiarem. À minha irmã Taila e minha namorada Taís, pelos cuidados e por me incentivarem.

Agradeço aos colegas de turma no PPGADR, pelas longas conversas e ensinamentos e aos colegas de trabalho da Hydroplantas por compreenderem e me disponibilizarem tempo.

Agradeço aos membros da banca pelo aceite, empenho e conhecimento construído.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1 Panorama da produção de milho orgânico e principais desafios.....	04
2.2 Ciclo do N em sistemas agrícolas.....	08
2.3 Ciclo do P em sistemas agrícolas.....	10
2.4 Dinâmica do N e P no consórcio de milho com leguminosas... ..	11
2.5. Atividade enzimática e a dinâmica de P no sistema solo/planta.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Área experimental.....	17
3.2. Delineamento experimental.....	19
3.3 Avaliações.....	20
3.3.1 Milho.....	20
3.3.2 Leguminosas.....	21
3.3.3 Solo.....	22
3.4 Análises dos dados.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Milho.....	24
4.2 Leguminosas.....	29
4.3 Solo.....	31
5 CONCLUSÕES	38
6 LITERATURA CITADA	39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Temperaturas mínima, média e máxima (°C) mensal e precipitação pluviométrica média diária (mm) e total (mm) registradas durante a condução do experimento. Araras/SP, safra 2020/21.	17
Tabela 2. Altura e Massa seca do milho (MSM) em função dos sistemas de produção, fertilização com composto orgânico e estádios fenológicos V8 (oito folhas expandidas) e R4 (grãos pastosos). Araras/SP, safra 2020/21.	24
Tabela 3. Acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho no estádio R4 (grão pastoso) em função dos sistemas de produção e da fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.	26
Tabela 4. Acúmulo de Ca e S na parte aérea do milho no estádio R4 do milho em função dos sistemas de produção e da aplicação de composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21	27
Tabela 5. Massa de 100 grãos e produtividade do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.	28
Tabela 6. Massa seca das leguminosas nos estádios V8 (oito folhas expandidas) e R6 (maturação fisiológica) do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.	29
Tabela 7. Acúmulo de nutrientes na massa seca das leguminosas no estádio fenológico R6 (maturação fisiológica) do milho em função dos sistemas de produção e da fertilização com composto orgânico Araras/SP, safra 2020/21	30
Tabela 8. Determinação de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo no estádio R4 (grão pastoso) do milho em função dos sistemas de produção e da fertilização com composto orgânico Araras/SP, safra 2020/21.	32
Tabela 9. Determinação dos teores de P-resina e pH do solo no estádio R4 (grão pastoso) do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.	34
Tabela 10. Atividades das enzimas fosfatase ácida e fosfatase alcalina nos estádios fenológicos V8 (oito folhas expandidas) e R4 (grãos pastosos) do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balanço hídrico mensal do município de Araras/SP, para o período de julho de 2020 a junho de 2021. Araras/SP, safra 2020/21.	18
---	----

DINÂMICA DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CONSÓRCIO DE MILHO COM ADUBOS VERDES NO SISTEMA ORGÂNICO

Autor: TAINÁ MARTINS CARDOSO

Orientador: PROF^a. DR^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

Coorientador: PROF. DR. FABRÍCIO ROSSI

Coorientadora: PROF^a. DR^a. MÁRCIA MARIA ROSA MAGRI

RESUMO

O cultivo de milho em consórcio com leguminosas (Fabaceae) é uma alternativa para aumentar a disponibilidade de nitrogênio (N) e fósforo (P) no sistema solo/planta. Entretanto, em cultivos consorciados é necessário conhecer a dinâmica desses nutrientes no solo e a absorção pelas plantas, durante o mesmo ciclo, a fim de otimizar os processos em sistema orgânico. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do consórcio de milho com duas espécies de leguminosas a *Crotalaria spectabilis* Rhot. e guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na dinâmica de P e N no solo e a relação com o acúmulo de nutrientes nas plantas e a produtividade de grãos de milho, durante a mesma safra, em sistema orgânico. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2 com 4 repetições. O primeiro fator foram os sistemas de cultivo: milho e crotalária (MC); milho e guandu-anão (MG); milho, crotalária e guandu-anão (MCG) e milho em monocultivo (M). O segundo fator, foi a ausência (A) ou presença (P) de fertilização com composto orgânico. Foram avaliadas as características agrônômicas do milho: altura, massa seca, acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas plantas de milho, massa de 100 grãos e produtividade de grãos do milho. Para as leguminosas avaliaram-se a massa seca e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes nas plantas. Também avaliaram-se os teores de amônio, nitrato, fósforo e o pH do solo, as atividades das enzimas fosfatase ácida e fosfatase alcalina no solo. O consórcio com duas espécies de leguminosas (guandu-anão e *C. spectabilis*) favoreceu o acúmulo de N pelas plantas de milho, quando comparado ao consórcio de milho com guandu-anão. A fertilização com composto orgânico elevou o teor de nitrato e a atividade da fosfatase ácida no solo. O guandu-anão em consórcio com o milho não aumentou a disponibilidade de P para o cereal e, não alterou a atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina e o pH do solo. Conclui-se que o consórcio de milho com *C. spectabilis* e guandu-anão, não interfere no desenvolvimento das plantas, aumenta o teor de N foliar do milho, porém sem efeitos na produtividade de grãos.

Palavras-chave: atividade enzimática; Fabaceae; fixação biológica de nitrogênio; nutrição mineral.

NITROGEN AND PHOSPHORUS DYNAMICS ON MAIZE GREEN MANURE INTERCROPPING IN ORGANIC SYSTEM

Author: TAINÁ MARTINS CARDOSO

Adviser: PROF^a. DR^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-adviser: PROF. DR. FABRÍCIO ROSSI

Co-adviser: PROF^a. DR^a MÁRCIA MARIA ROSA MAGRI

ABSTRACT

Maize-legume intercropping is an alternative to improve N and P availability in soil/plant system. However, it is necessary to understand nutrients dynamics in soil and its uptake by plants in the intercropping system to optimize the process in organic systems during the same crop year. This work aimed to evaluate effect of intercropping with maize and two species of legume *Crotalaria spectabilis* Rhot. and Pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) on soil P and N dynamics, and the relation with the nutrients accumulation in plants and corn grain yield, during the same crop year, in an organic system. The experiment was a factorial design with four levels of intercropping: maize-*Crotalaria spectabilis* (MC); maize-Pigeon pea (MG); Maize-*Crotalaria spectabilis*-Pigeon pea (MCG) and maize monocropping (M) and two levels of fertilization: without fertilizer (A) and fertilization using an organic compound (P), with four replications. It measured maize agronomic characteristics like height, dry leaf matter, nutrient accumulation, dry matter of 100 grains, and grain yield. For legumes, it was estimated dry leaf matter and nutrient accumulation. Also, it measured soil NH_4^- and NO_3^- concentration, beyond P concentration, pH and the acid and alkaline phosphatases activity in the soil. Maize-*Crotalaria spectabilis*-Pigeon pea intercropping improved maize N accumulation when compared to Maize intercropping with Pigeon pea. Fertilization using organic manure elevated the NO_3^- and acid phosphatase activity on soil. Maize-legume intercropping did not affect maize growth neither corn yield. Pigeon pea in an intercropped with maize did not increase P availability to the maize as well did not altered acid and alkaline phosphatases in the soil or soil pH. The maize intercropping with with *C. spectabilis* and Pigeon pea does not affect plant development, it increases the leaf N content of maize, without effects on grain yield.

Key-words: enzyme activity; Fabaceae; nitrogen biological fixation; mineral fertilizer.

1 INTRODUÇÃO

O milho está entre os principais grãos produzidos em sistema orgânico. No ano de 2019 a área de produção mundial com cereais orgânicos foi de 5,1 milhões de hectares e, o milho ocupou 14% desse total, atrás apenas do trigo, com 32% da área (WILLER, YUSSEFI-MENZLER e SORENSEN, 2021). Porém, diferente do que ocorre com milho convencional, o Brasil não está entre os maiores produtores mundiais deste cereal em sistema orgânico (WILLER, YUSSEFI-MENZLER e SORENSEN, 2021; FAOSTAT, 2021). Fato este que dificulta a consolidação das cadeias produtivas de proteína animal orgânica (FONTANETTI et al., 2006).

A cultura do milho é exigente em nutrientes, especialmente em nitrogênio (N) e fósforo (P). O fornecimento destes nutrientes em quantidade suficiente, por meio de fertilizantes orgânicos, como esterco e, ou composto, comumente utilizados em sistemas orgânicos, é oneroso, em função do volume exigido, gasto energético e, pelos valores gastos com transporte e aplicação. Souza et al. (2008) destacam que em sistemas orgânicos 28,8% dos custos energéticos durante a fase de campo são referentes ao uso de composto orgânico, sendo o custo mais expressivo desta fase na produção de hortaliças orgânicas.

Otimizar os processos biológicos já existentes no sistema solo/planta é uma alternativa para aumentar a disponibilidade de nutrientes para o milho, reduzindo o uso de fertilizantes orgânicos. Dentre esses destacam-se, principalmente em condições tropicais, a ciclagem do P orgânico (GARLAND et al., 2017) e o aporte de N via fixação biológica, com a inclusão de plantas da família Fabaceae nos sistemas de produção (MULLER et al., 2017).

A otimização dos processos biológicos e de exploração e uso do N torna-se mais expressivo em sistemas com reduzida disponibilidade de nutrientes, como os sistemas orgânicos (BEDOUSSAC et al., 2015; LORI et al., 2017; SNAPP, COX e PETER, 2019). Igualmente, a ciclagem de P orgânico está entre os processos mais importantes para a disponibilidade deste nutriente às plantas, principalmente em sistemas com baixa fertilidade do solo nos quais

a matéria orgânica é a principal fonte de P (DODD e SHARPLEY, 2015), assim como em sistemas orgânicos.

Sistemas consorciados que utilizam leguminosas (Fabaceae) são preferidos, principalmente devido à sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio em associação com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* (DU et al., 2020; DUCHENE, VIAN e CELETTE, 2017). A eficiência dos consórcios entre os cereais e as leguminosas é atribuída à forma complementar pelas quais as plantas utilizam o N, sendo que o N acumulado pelas leguminosas é proveniente em grande parte do N atmosférico, enquanto os cereais absorvem o N mineral disponível no solo, evitando-se então a competição entre as plantas pela mesma fonte de N (BEDOUSSAC et al., 2015; LITHOURGIDIS et al., 2011; XUE et al., 2016).

No Brasil, no sistema convencional tem sido difundido os consórcios de milho com guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e milho com crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth), denominado Sistema Santa Brígida. Neste sistema os consórcios têm como objetivo o incremento de N no solo/planta via fixação biológica, sem reduzir a produtividade do milho (OLIVEIRA et al., 2010).

As espécies do gênero *Crotalaria* spp. têm sido utilizadas devido ao rápido crescimento, boa produção de biomassa, ciclagem de nutrientes e capacidade de aportar N via FBN (FONTANETTI et al., 2006; BARBOSA et al., 2020).

O guandu-anão além de aportar N por meio da FBN, influencia a dinâmica de P no solo/planta, pois, é capaz de solubilizar P por meio da exsudação de ácidos orgânicos (AE et al., 1990) e enzimas fosfatases (ASCENCIO, 1996) e, ou por estimular o crescimento de microrganismos solubilizadores de fosfato (CARNEIRO et al., 2004), além de eficiente uso deste nutriente (GARLAND et al., 2017; KAMH et al., 2002).

Estudos apontam que as interações entre o N e P ocorrem de diversas maneiras. A disponibilidade de N no solo é capaz de influenciar a absorção de P pelo milho e aumentar a atividade das enzimas fosfatases na rizosfera (MORAIS et al., 2015), a disponibilidade de P pode aumentar a FBN (HUHE et

al., 2014). Ademais, a FBN tem a capacidade de disponibilizar P por meio da acidificação da rizosfera (GARLAND et al., 2017).

Apesar do potencial em aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, pouco se sabe sobre as estratégias de absorção de P e N que os sistemas consorciados utilizam, nem como as plantas “companheiras” (consorciadas) podem se beneficiar com essa liberação (GARLAND et al., 2017). Da mesma forma não se sabe qual é a contribuição das enzimas neste processo, visto que informações sobre a atividade enzimática no solo em sistemas consorciados são escassas (BORASE et al., 2020).

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos dos consórcios de milho com *Crotalaria spectabilis* e guandu-anão na dinâmica do fósforo e nitrogênio no solo e, a relação com o acúmulo de nutrientes nas plantas e produtividade de grãos de milho, durante a mesma safra, em sistema orgânico.

As hipóteses testadas foram:

I. O consórcio de milho, *C. spectabilis* e guandu-anão, aumenta o teor de N no solo e o teor de N foliar do milho, no mesmo ciclo, sem prejuízos ao desenvolvimento das plantas, contribuindo para o incremento da produtividade de grãos do milho;

II. O consórcio de milho, *C. spectabilis* e guandu-anão, aumenta a disponibilidade de P para o milho no mesmo ciclo produtivo, sem prejuízos ao desenvolvimento das plantas aumentando a produtividade de grãos do milho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Panorama da produção de milho orgânico e principais desafios

A área mundial de produção orgânica aumentou 365% entre os anos de 2000 e 2017 (LIMA et al., 2019). Estima-se que em 2019 havia cerca de 72,3 milhões de hectares de produção orgânica, sendo 35,9 milhões de hectares localizados na Oceania, seguido de Europa (16,5 milhões de hectares) e América Latina (8,3 milhões de hectares) (WILLER, YUSSEFI-MENZLER e SORENSEN, 2021).

As vendas de produtos orgânicos atingiram 106 bilhões de euros em 2019 e tiveram como principais compradores Estados Unidos (42% das vendas mundiais), União Europeia (39%) e China (8%) (WILLER, YUSSEFI-MENZLER e SORENSEN, 2021). A tendência é que o crescimento continue nos próximos anos visto que há demanda dos consumidores por produtos saudáveis, seguros e de baixo impacto social e ambiental (LIMA et al., 2019).

Em 2019 a área mundial da produção de cereais em sistema orgânico foi de 5,1 milhões de hectares, o que representa 0,7% da produção total, sendo o milho o segundo cereal mais produzido (14%), atrás apenas do trigo (33,32%) (WILLER, YUSSEFI-MENZLER e SORENSEN, 2021).

Os dados estatísticos sobre a produção e comercialização de produtos orgânicos no Brasil são incipientes e, por vezes, defasados, pois não há no país o levantamento periódico e a sistematização desses dados, dificultando assim o seu acompanhamento, investimentos e pesquisas na área (LIMA et al., 2019).

No Brasil a área de produção orgânica atingiu 1,3 milhões de hectares no ano de 2019, e o país é o maior mercado de produtos orgânicos da América Latina (WILLER, YUSSEFI-MENZLER e SORENSEN, 2021). Entre os anos de 2010 e 2018 verificou-se o crescimento médio anual de 19% de unidades de produção orgânica no país (LIMA et al., 2019). Neste país, destaca-se a apicultura com a produção de mel e outros produtos apícolas, açúcar, etanol e arroz. O país possui atividades de extrativismo (principalmente ligado à produção e coleta de castanhas) e atividades não agrícolas como a aquicultura (LIMA et al., 2019).

Atualmente existem por volta de 7.787 unidades produtoras de milho orgânico no país, com maior representação na Região Sudeste, que abriga 1.823 propriedades, sendo 987 no estado de São Paulo (MAPA, 2022). De acordo com Santos e Tivelli (2017), na safra de 2015/16, a produção nacional de milho orgânico representou cerca de 0,03% da produção total.

A Instrução Normativa MAPA nº 46 de 06 de outubro de 2011 determina que os sistemas orgânicos de produção animal devem usar alimentação orgânica, que pode ter origem na própria unidade ou unidades externas, desde que elas sigam o sistema orgânico de produção (BRASIL, 2011). Assim, a diminuta oferta de milho orgânico é um empecilho ao crescimento da pecuária orgânica nacional e o aumento da produção é necessário para atender as demandas (SANTOS e TIVELLI, 2017).

Entre os principais desafios técnicos para a produção de milho em sistema orgânico estão o manejo de plantas espontâneas e o fornecimento de nutrientes, principalmente o nitrogênio e fósforo em quantidade e sincronia com a demanda da cultura.

O N é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas de milho e afeta diretamente a formação de espigas, a produtividade de grãos (SILVA et al., 2005), altura de plantas, altura da inserção das espigas, comprimento de espigas, massa seca das plantas e teor de proteínas nos grãos (PINHO et al., 2009). Fernandes, Uhde e Wunsch (2007) avaliando a fertilidade dos solos em áreas de produção orgânica de soja e milho identificaram o déficit de 150 Kg ha⁻¹ de N, por ser o elemento exportado em maior quantidade em relação aos demais.

A deficiência de N nos estádios iniciais do desenvolvimento do milho acarreta a redução dos óvulos nos primórdios da espiga, já que é neste período que ocorre a diferenciação das partes da planta (SILVA et al., 2005).

Büll (1993) aponta que a absorção máxima de N ocorre aos 80 dias após a emergência das plantas de milho com quantidade necessária de 180 Kg ha⁻¹ de N. Já Mengel e Barber (1974) verificaram que a absorção de N pelas plantas de milho aumenta com a idade da planta, com absorção máxima aos 50 dias após plantio quando o milho atingiu a taxa média de absorção de N por

planta de 1200 $\mu\text{moles}/\text{dia}$. De acordo com os autores, após esse período ocorre queda na absorção.

A extração de nutrientes pelas plantas de milho depende da produtividade obtida e do acúmulo de nutrientes nos grãos (PINHO et al., 2009). Boa parte do N absorvido pelo milho é translocado para os grãos, podendo chegar a uma taxa de 77% (COELHO, 2006). Desta forma, cerca de 80 % do N absorvido pelo milho é exportado pelos grãos, enquanto 20% ficam na massa seca da parte aérea (COELHO et al., (1992).

Pinho et al. (2009) indicam que para produzir uma tonelada de grãos de milho é necessário em média 25 Kg de N. Ainda, para cada tonelada de grãos produzida a exportação de N é de 16,1 Kg (RESENDE et al., 2012). Sichoocki et al. (2014) obtiveram o maior rendimento de grãos (7550 Kg ha^{-1}) com aplicação de 150 Kg de N no cultivo de milho safrinha.

O P é um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento das plantas, sendo o segundo elemento que mais limita a produção de grãos (SOUSA et al., 2010). Nas plantas, o fósforo compõe ácidos nucleicos, membrana celular e fosfolipídeos, participa da ativação de enzimas, reações de óxido-redução, além de participar da produção de energia (ATP), fotossíntese e respiração (CARDOSO e ANDREOTE, 2016; MARSCHNER, 2012).

A absorção de P pelas plantas de milho é crescente nos estádios iniciais de desenvolvimento, com máxima absorção aos 50 dias após plantio quando o milho atinge a taxa média de absorção de P por planta de 70 $\mu\text{moles}/\text{dia}$ (MENGEL e BARBER, 1974). Büll (1993) mostra que o pico de absorção de P pelo milho ocorre entre 80 e 100 dias após a emergência.

Pinho et al. (2009) indicam que para produzir uma tonelada de grãos de milho é necessário em média 5,55 Kg de P. Ainda, para cada tonelada de grãos de milho produzida a exportação de P_2O_5 é de cerca de 7,5 Kg (RESENDE et al., 2012). A exportação de P pelos grãos de milho pode chegar a 86% (COELHO, 2006).

Conhecer a demanda nutricional das plantas em decorrência dos estádios fenológicos é necessário para o correto manejo da adubação e manutenção da fertilidade do solo, evitando-se perdas de nutrientes (PINHO et

al., 2009). Os adubos orgânicos têm sido utilizados na agricultura pois proporcionam melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo contribuindo para o crescimento das plantas (DAS et al., 2021; SACCO et al., 2015). Estes também têm efeito residual quanto a disponibilidade de nutrientes (MOHANTY, PAIKARAY e RAJAN, 2006).

No entanto, os fertilizantes orgânicos, como esterco e, ou composto, comumente utilizados em sistemas orgânicos apresentam baixas concentrações de nutrientes, fato que implica no uso de elevados volumes, onerando os custos com transporte e aplicação (ARRUDA et al., 2011). Somase a isso a dinâmica de decomposição e mineralização dos fertilizantes orgânicos, pois para melhor aproveitamento deve haver sincronia entre o período de mineralização e a demanda nutricional da planta, durante o mesmo ciclo de cultivo (GASKELL e SMITH, 2007; SACCO et al., 2015).

MÜLLER et al. (2017) destacaram que, o aumento das áreas de produção orgânica terá como desafio o suprimento de N. Os autores sugerem como estratégias: a otimização do manejo das leguminosas (Fabaceae), ampliação das fontes de resíduos orgânicos utilizados e, melhoria da eficiência no uso dos nutrientes.

Ainda, quanto a melhorar a eficiência no uso de nutrientes em sistemas orgânicos, o fósforo merece especial atenção. Pois, é um recurso limitado e muitos solos têm baixa disponibilidade deste nutriente (NOVAIS e SMYTH, 1999). Garland et al. (2017) destacam como estratégias, principalmente em condições tropicais, a ciclagem do P orgânico e o P da biomassa microbiana.

2.2 Ciclo do N em sistemas agrícolas

O nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas plantas. Sua fonte primária no solo é derivada do N atmosférico que pode ser transferido para o solo de duas maneiras. Na primeira o nitrogênio elementar é naturalmente transformado em óxidos por meio de descargas elétricas na atmosférica, esses óxidos são convertidos em ácido nítrico que é carregado para o solo através das chuvas, dando origem ao nitrato que pode ser

absorvido pelas plantas. A segunda fonte de N para o solo é a fixação biológica de N por microrganismos (RAIJ, 2011).

O N no solo pode ser encontrado na forma orgânica e na forma mineral (inorgânica). O N mineral é constituído pelos íons amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), que são disponíveis para as plantas. O N orgânico é a principal forma do N no solo e é constituído pelos componentes da matéria orgânica do solo e depende da mineralização, isto é, da transformação da forma orgânica para a mineral para se tornar disponível para as plantas (CARDOSO e ANDREOTE, 2016; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; RAIJ, 2011).

A mineralização do N orgânico é realizada por microrganismos heterotróficos e enzimas extracelulares excretadas por estes. Neste processo, as enzimas extracelulares quebram as formas orgânicas de N em partes menores que podem ser absorvidas pelos organismos ou então são mineralizados para a forma amoniacal (CARDOSO e ANDREOTE, 2016).

Em seguida a amônia é oxidada a nitrito em um processo chamado nitrificação, no qual bactérias Nitrossomonas e Nitrobacter excretam as enzimas monooxigenase da amônia e oxidoreductase da hidroxilamina que atuam na conversão da amônia em nitrito (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Em solos bem drenados este processo ocorre rapidamente (RAIJ, 2011).

Com o auxílio na enzima oxidoreductase do nitrito, o nitrito formado é oxidado a nitrato em uma etapa denominada nitratação. A velocidade de degradação do nitrito é maior do que a do amônio, fazendo com que este não se acumule facilmente no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O amônio, por se tratar de um cátion, se mantém adsorvido pelas cargas negativas solo; enquanto nitrito, que é um ânion, é repellido pelas cargas negativas do solo, permanecendo na solução do solo, o que o torna móvel e suscetível à lixiviação (RAIJ, 2011). No solo o nitrito é uma forma tóxica de N para as plantas, e rapidamente é oxidado a nitrato, que é a principal forma utilizada pelas plantas. (CARDOSO e ANDREOTE, 2016; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; RAIJ, 2011).

As perdas de N nos sistemas de produção dependem da forma química que este é aplicado, das características do solo e das condições climáticas. O

manejo incorreto da adubação nitrogenada pode acarretar perdas de N por volatilização na forma de amônia que podem corresponder até 50% da dose aplicada (SOUZA et al., 2019). Lemos et al. (2014) indicaram perdas de N por volatilização em sistema orgânico de produção de milho no valor de 80 Kg ha⁻¹ de amônia. No mesmo trabalho a perda foi reduzida quando se adicionou feijão-de-porco consorciado com o milho. Outra forma de perda de N é através da lixiviação na forma de nitrato que pode poluir recursos hídricos (WEBER e MCCANN, 2015). Portanto, técnicas para uso eficiente de N são importantes para a sustentabilidade da agricultura (SOUZA et al., 2019; WEBER e MCCANN, 2015).

Na fixação biológica de nitrogênio o N₂ é reduzido a NH₃ em um processo enzimático dirigido por microrganismos. Neste processo a enzima nitrogenase é responsável por romper a ligação tripla existente entre os dois átomos de nitrogênio do N atmosférico. Desta maneira o elemento é hidrogenado a amônio e passa a ser incorporado ao metabolismo do microrganismo fixador, constituindo então parte do N orgânico do solo (BRUIJN, 2015; RAIJ, 2011).

Os microrganismos fixadores de N₂ podem ser de vida livre, de associação com as raízes ou porções aéreas das plantas, ou ainda microrganismos fixadores simbióticos que fazem associações com as plantas (VIEIRA, 2017).

Em plantas leguminosas (Fabaceae) a FBN é feita pela associação simbiótica com um grupo de bactérias denominadas rizóbio, que formam estruturas especializadas, chamadas nódulos, nas raízes das plantas. Nessa associação as plantas oferecem fontes de carbono para as bactérias, que por sua vez fixam o N atmosférico, transformando-o em amônia que pode ser utilizada pelas plantas (BRUIJN, 2015).

No processo de formação de nódulos as raízes das plantas liberam compostos flavonóides e isoflavonóides que atuam como sinais para as bactérias que como resposta expressam genes de nodulação. Quando estes genes são ativados o processo de infecção tem continuidade dando origem à formação dos nódulos (CARDOSO e ANDREOTE, 2016).

A enzima nitrogenase é sensível ao oxigênio, desta forma bactérias aeróbicas da espécie *Azobacter* mantém o nível de O_2 baixo nas células para proteger a enzima do contato com o O_2 . Já a estratégia usada pelas leguminosas (Fabaceae) em seus nódulos é a síntese de proteínas, como destaque para a leghemoglobina, que tem o papel de controlar a concentração de oxigênio nos nódulos evitando, assim, que a nitrogenase seja degradada (BRUIJN, 2015; VIEIRA, 2017).

Dentre os fatores que influenciam a FBN por leguminosas têm-se a concentração de N mineral no solo, que quando elevada afeta negativamente a formação de nódulos e a atividade da enzima nitrogenase; baixos teores de P no solo, que reduzem a atividade da enzima nitrogenase e a formação de nódulos (VIEIRA, 2017). O molibdênio e o cobalto são elementos essenciais para a FBN, sendo o molibdênio um constituinte da nitrogenase enquanto o cobalto é necessário para a síntese da leghemoglobina (VIEIRA, 2017).

2.3 Ciclo do P em sistemas agrícolas

O P presente no solo tem origem na decomposição de rochas que liberam íons fosfato (PO_4^{-3}) em sua solução (CARDOSO e ANDREOTE, 2016). No solo o P pode ser facilmente retido por processos de fixação e retenção, tornando-se indisponível para as plantas (RAIJ, 2011). O P é pouco móvel no solo e pode ser encontrado na forma orgânica ou na forma inorgânica, sendo absorvido pelas plantas na forma inorgânica, preferencialmente como fosfato ($H_2PO_4^-$) (CARDOSO e ANDREOTE, 2016; RAIJ, 2011).

As formas de P inorgânico são classificadas entre P lábil e P não lábil. O P não lábil representa a maior parte do P no solo e é quimicamente estável de forma que sua disponibilidade para as plantas é baixa, enquanto o P-lábil representa o P disponível para plantas e microrganismos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

As formas orgânicas de P, que tem como origem os resíduos vegetais e a biomassa microbiana, representa cerca de 5 a 40% do P total encontrado nos solos, o que torna o P orgânico uma importante fonte de P para as plantas (CARDOSO e ANDREOTE, 2016). Microrganismos heterotróficos realizam a mineralização do P orgânico do solo por meio da liberação de enzimas do tipo

fosfatases, fitases e nucleases, que são capazes de hidrolisar compostos orgânicos, disponibilizando P inorgânico na solução do solo (GAIERO et al., 2020; GHOSH et al., 2018). O fósforo inorgânico disponibilizado poderá ser novamente absorvido por plantas e microrganismos (GAIERO et al., 2020).

Microrganismos do solo e da rizosfera também participam do ciclo do P no processo da solubilização de P. A solubilização de P se dá por meio da produção de ácidos orgânicos que dissolvem o material fosfatado ou atuam como quelantes de cátions ligados a ânions fosfatados, disponibilizando então o P no sistema (CARDOSO e ANDREOTE, 2016). Ainda, ácidos orgânicos originários de processos microbianos podem contribuir com o aumento do P inorgânico no solo devido a sua capacidade de solubilização de fontes de P presentes em rochas fosfatadas (CARDOSO e ANDREOTE, 2016).

2.4 Dinâmica do N e P no consórcio de milho com leguminosas

Sistemas consorciados, também conhecidos como mistos têm sido empregados na agricultura orgânica (YU et al., 2016). Dentre os benefícios de sua utilização destacam-se a prestação de serviços ecossistêmicos como o controle de pragas e doenças, manejo de plantas espontâneas, melhoria na abundância e diversidade de agentes polinizadores, melhoria na qualidade e produtividade das culturas, mitigação da poluição e conservação do solo (BEDOUSSAC et al., 2015; BROOKER et al., 2015; DARYANTO et al., 2020; MARTIN-GUAY et al., 2018).

Os consórcios, geralmente combinam cereais com leguminosas (Fabaceae), devido à complementaridade no uso do recurso N. A leguminosa aproveita o N advindo da fixação biológica de nitrogênio em associação com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* (DU et al., 2020; DUCHENE, VIAN e CELETTE, 2017) e, o cereal pode obter o N do solo (RASEDUZZAMAN e JENSEN, 2017).

Nos consórcios o N atmosférico fixado pelas leguminosas pode ser transferido para as plantas não leguminosas por meio da exsudação de compostos solúveis de N pelas leguminosas; pela associação entre as raízes das plantas e fungos micorrízicos arbusculares; ou ainda pela decomposição

de folhas, raízes e nódulos das leguminosas (CRUZ e MARTINS, 1997; SANT'ANNA et al., 2018; THILAKARATHNA et al., 2016; ZHANG et al., 2017) no mesmo ciclo e, ou em sucessão.

No Brasil, Oliveira et al. (2010) estudaram um sistema de plantio conhecido como Santa Brígida. Trata-se do consórcio de milho com guandu-anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth), o qual foi explorado inicialmente para a produção de palha para o sistema de plantio direto e incremento de N via fixação biológica de nitrogênio, sem reduzir a produtividade do milho.

A *C. spectabilis* é uma planta anual arbustiva de clima tropical e subtropical, pertencente à família Fabaceae, que possui porte mediano, podendo chegar até 1,5 m de altura, com raízes pivotantes e apresenta crescimento inicial lento (BARRETO e FERNANDES, 2001).

No ensaio realizado por Berriel et al. (2020) a principal fonte de N para a *C. spectabilis* foi o N atmosférico com uma proporção de N advindo da FBN de mais de 90%, o que resultou em elevado acúmulo de N em sua biomassa.

Souza et al. (2019) avaliando a produtividade de grãos de milho cultivado em consórcio com a *C. spectabilis* semeada na linha e na entrelinha do milho, ambas na densidade 2,7 sementes m⁻¹, indicaram que as produtividades obtidas (4345 e 4424 kg ha⁻¹) foram equivalentes à do milho solteiro (4236 kg ha⁻¹). Tal fato foi explicado pela forma complementar a qual as plantas adquirem o N, sendo as leguminosas capazes de fixar o N atmosférico enquanto os cereais absorvem N mineral disponível no solo.

O guandu-anão é uma planta da família Fabaceae de clima tropical e subtropical, com semeadura indicada para o início da estação chuvosa (AMABILE, FERNANDES e PIMENTEL, 2008). Possui elevada produção de biomassa e habilidade de FBN sem necessidade de inoculação com microrganismos (GARLAND et al., 2017).

Garland et al. (2017) estudaram o consórcio de milho com guandu em ambiente controlado como estratégia para melhorar a qualidade física e a fertilidade do solo. Os resultados indicaram que o consórcio aumentou de 89

para 96% a fixação biológica de nitrogênio, elevando a disponibilidade e absorção de N pelas plantas de milho.

Gallo et al. (2017) verificaram o aumento da produtividade de grãos de milho orgânico no consórcio com guandu-anão. Em seu trabalho o consórcio com densidade de guandu-anão de 30 plantas m^{-1} semeado na linha do milho e duas linhas semeadas na entrelinha do milho proporcionou a produtividade de 7,5 t ha^{-1} de grãos, superior ao monocultivo de milho, que atingiu 5,8 t ha^{-1} . Isso ocorreu, de acordo com os autores, devido a densidade de leguminosas a qual elevou a FBN e, como consequência, a absorção de N pelas plantas de milho, que foi comprovado pelo maior teor de N nas folhas (GALLO et al., 2017).

Os consórcios também são indicados como alternativa para aumentar a eficiência de fósforo na agricultura (CU, HUTSON e SCHULLER, 2005). Em sistemas de baixo input o consórcio de cereal com leguminosa pode ser uma alternativa para melhorar o aproveitamento do P (EICHLER-LÖBERMANN et al., 2021).

No consórcio de milho com tremoço branco (*Lupinus albus*) a leguminosa foi capaz de melhorar a absorção de P pelas plantas de milho sem ter seu crescimento prejudicado. Isso ocorreu devido à capacidade do tremoço em elevar a disponibilidade de P no solo por meio de alterações na rizosfera que incluem a liberação de ácidos orgânicos, enzimas fosfatases e alteração no pH (DISSANAYAKA et al., 2015).

O guandu-anão também influencia a dinâmica de P no sistema solo planta, pois é capaz de solubilizar P por meio da exsudação de ácidos orgânicos (AE et al., 1990) e enzimas fosfatase (ASCENCIO, 1996), além de eficiente uso deste nutriente (GARLAND et al., 2017; KAMH et al., 2002) e estímulo ao crescimento de microrganismos solubilizadores de fosfato (CARNEIRO et al., 2004).

Garland et al. (2017) verificaram que o consórcio de milho com guandu foi capaz de elevar a quantidade de fosfatase ácida e reduzir o teor de P orgânico no solo, indicando a capacidade desse sistema (consórcio) em se utilizar de fontes orgânicas de P para a nutrição das plantas.

Bonfanti (2019) verificou aumento no teor foliar de P por plantas de milho consorciadas com leguminosas quando comparadas com milho solteiro em sistema orgânico. Em seu trabalho o milho solteiro obteve o teor de P de 1,66 g Kg⁻¹, enquanto o no consórcio milho / crotalária / guandu-anão na densidade de 6 plantas m⁻¹ (sendo três plantas de cada leguminosa) o milho obteve 2,14 g Kg⁻¹ e apresentou a mesma produtividade de grãos do milho solteiro. No mesmo trabalho o tratamento de milho com guandu-anão, na densidade de 5 plantas m⁻¹ proporcionou o teor de P ainda maior, de 3,35 g Kg⁻¹, entretanto tal tratamento reduziu a produtividade.

2.5 Atividade enzimática e a dinâmica de P no sistema solo/planta

A atividade enzimática é dinâmica e responsiva à práticas de manejo e alterações ambientais, desta forma tem sido sugerida como um indicador da qualidade biológica do solo, visto que é capaz de indicar a ciclagem de nutrientes pela ação de microrganismos, representando então as funções microbianas do solo (BHAT et al., 2017; BORASE et al., 2020; TANG et al., 2021).

Um indicador da ciclagem de P orgânico no solo é a enzima fosfatase. As fosfatases são enzimas extracelulares liberadas por microrganismos e raízes de plantas que catalisam monoésteres em uma determinada faixa de pH, sendo assim classificadas como fosfatases ácidas (pH ótimo por volta de 6,5) e fosfatases alcalinas (pH ótimo por volta de 11) (EIVAZI e TABATABAI, 1977). Apesar da vegetação também ser capaz de elevar a atividade enzimática a partir da extrusão direta de enzimas pelas raízes (BARROS et al., 2018), ou pelo incentivo à atividade dos microrganismos (BELO et al., 2013), a maior contribuição para a liberação de enzimas é originária da ação de microrganismos (BÜNEMANN, 2015; CARNEIRO et al., 2004).

A produção de fosfatases é iniciada pela redução da absorção de P por microrganismos (CARDOSO e ANDREOTE, 2016). Gatiboni et al. (2008) avaliaram a atividade de fosfatases ácidas e P armazenado na biomassa microbiana, e constataram que a redução na disponibilidade de P no solo elevou a atividade de fosfatases ácidas. Tais resultados colaboram com os

encontrados por Vilela et al. (2012) onde, sob baixas doses de adubação, a atividade de fosfatases ácidas foi maior, indicando que a biomassa microbiana usa como mecanismo a liberação de fosfatases para mineralização do P orgânico, tornando-o uma importante fonte de nutrientes para as plantas.

O trabalho de Bhat et al. (2017) evidencia a importância da atividade biológica do solo para a manutenção dos teores de P no solo em sistema orgânico. Verificou-se que em um Vertissolo com pH de 8,7 cultivado com diversas espécies (algodão, soja e trigo) sob sistema orgânico, quando comparado com um sistema convencional, obteve maior atividade da enzima fosfatase alcalina. Esse resultado foi atribuído ao crescimento de microrganismos promovido pela adição de matéria orgânica via adubação.

Borase et al. (2020) verificaram que a liberação da enzima fosfatase alcalina em um solo com pH 8,1 foi 80% maior na rotação de guandu e trigo quando comparada à rotação de milho e trigo. A presença de uma leguminosa (guandu) elevou a quantidade de carbono orgânico no solo, permitindo a proliferação de microrganismos produtores de enzimas.

Roohi et al. (2020) avaliaram os efeitos do tipo de fertilização na atividade de fosfatases no consórcio de milho com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. cv. White Star) (duas linhas de milho e duas linhas de feijão-caupi). Os tratamentos consistiram no consórcio sob três diferentes tipos de adubação, sendo elas composto orgânico, adubo formulado NPK e composto orgânico + adubo formulado NPK, além de um tratamento controle sem adubação. O tratamento fertilizado com composto orgânico + adubo formulado NPK proporcionou o aumento na atividade das fosfatases ácida e alcalina. Tal resultado foi atribuído ao enriquecimento do solo que proporcionou maior atividade de microrganismos produtores de enzimas extracelulares.

O efeito da adubação na atividade de fosfatases também foi estudado por Borase et al. (2020) que avaliando a atividade de enzimas fosfatase em diferentes rotações de culturas verificaram que a aplicação de NPK + biofertilizante + esterco quando comparado ao uso de fertilizantes inorgânicos proporciona maior atividade de fosfatase ácida e alcalina.

O manejo orgânico do solo eleva a atividade de fosfatase ácida em comparação ao manejo convencional (fertilizante químico), visto que os resíduos orgânicos aumentam a atividade biológica no solo (KIBOI et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi realizado entre os meses de dezembro de 2020 a maio de 2021, durante a safra de verão 2020/21, em área pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizado no município de Araras, SP (latitude 22°18'27,75" Sul e longitude 47°23'09,83" Oeste), altitude de 692 m . O clima é o Cwa, tropical úmido, com verões quentes e invernos secos (KÖPPEN, 1948).

Os valores de temperaturas mínima, média e máxima mensal e, precipitação pluviométrica média diária e total, registradas ao longo do experimento estão sumarizados na Tabela 1. A precipitação média diária foi utilizada para a confecção do balanço hídrico mensal para a cultura do milho (ROLIM, SENTELHAS e BARBIERI, 1998) (Figura 1).

Tabela 1. Temperaturas mínima, média e máxima (°C) mensal e precipitação pluviométrica média diária (mm) e total (mm) registradas durante a condução do experimento. Araras/SP, safra 2020/21.

Meses	Temperatura °C			Precipitação mm	
	Mínima	Máxima	Média	Total	Média dia
Dez. 2020	18,5	30,0	24,3	267,6	8,6
Jan. 2021	19,4	30,7	25,0	168,5	5,4
Fev. 2021	18,0	29,8	23,9	227,0	8,1
Mar. 2021	17,9	30,0	24,0	122,9	4,0
Abr. 2021	14,2	27,3	20,7	21,8	0,7
Mai. 2021	11,9	26,2	19,1	11,0	0,4

Elaborado a partir de dados do CIIAGRO.

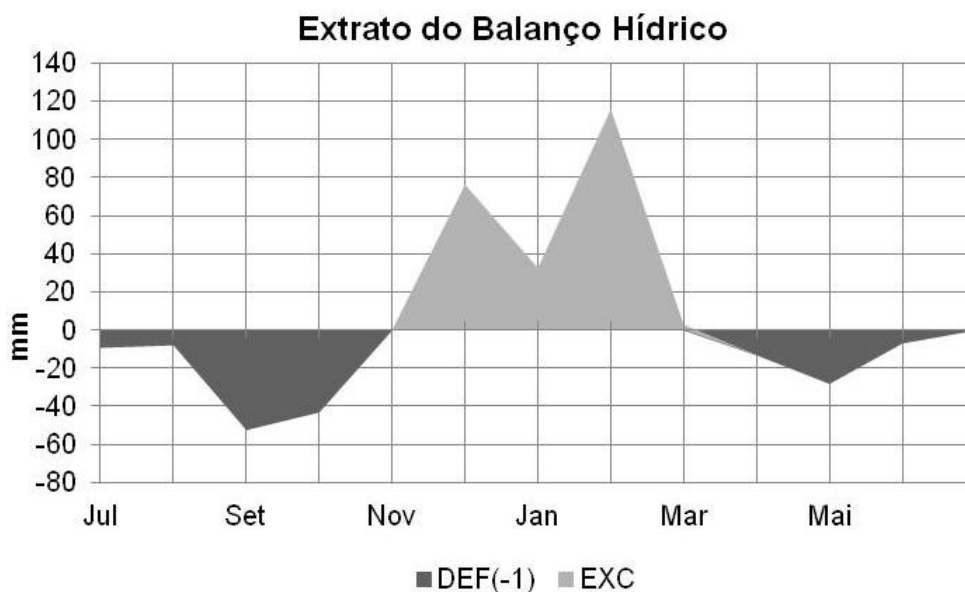


Figura 1. Balanço hídrico mensal do município de Araras/SP, para o período de julho de 2020 a junho de 2021. Araras/SP, safra 2020/21.

A área experimental é cultivada em sistema orgânico há 11 anos. Nas safras de verão cultiva-se milho consorciado com adubos verdes, entre eles feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) (2009/10, 2010/11 e 2011/12); puerária (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth), soja perene (*Neonotonia wightii* (Wight & Arn.)) e calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) (2013/14 e 2014/15); crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth) (2016/17), crotalária e guandu-anão (2017/18 e 2018/19). Já nas entressafras faz-se o cultivo de adubos verdes de inverno como aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.). Na entressafra antecessora à instalação do experimento a área permaneceu em pousio, sem plantas de cobertura.

O solo é classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico de textura argilosa (YOSHIDA e STOLF, 2016). As características químicas do solo são: P resina (31 mg dm³); M.O (39 g dm³); pH em CaCl₂ (5,9); K (6,0 mmoc dm³); Ca (57 mmoc dm³); Mg (21 mmoc dm³); H + Al (26 mmoc dm³) e V (76 %).

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 4 repetições, em esquema fatorial 4 x 2. O primeiro fator foi determinado pelos consórcios: (MC) milho e crotalária, na densidade 5 plantas m^{-1} ; (MG) milho e guandu-anão, na densidade 5 plantas m^{-1} e (MCG) milho, crotalária e guandu-anão, na densidade 6 plantas m^{-1} (três plantas de cada leguminosa) e (M) milho monocultivo. O segundo fator, foi a ausência (A) ou presença (P) de fertilização com composto orgânico.

A parcela experimental foi composta por 5 linhas de milho com 5 m de comprimento espaçadas a 0,70 m entre si. Para as avaliações foram utilizadas as três linhas centrais, excluindo-se 0,50 m de suas extremidades.

O preparo do solo foi efetuado por duas operações de gradagem, grade aradora seguida por grade niveladora. De acordo com as características químicas do solo apresentadas anteriormente, não houve necessidade de correção por calagem.

As leguminosas *Crotalaria spectabilis* cv. comum e guandu-anão cv. IAPAR 43 foram semeados na linha de cultivo do milho, simultaneamente a este, nas densidades de 5 plantas m^{-1} nos consórcios MC e MG e de 3 plantas m^{-1} de cada leguminosa (total de 6 plantas m^{-1}) no consórcio MCG, conforme Bonfanti (2019). O milho híbrido simples P3898 foi semeado na densidade de 5 sementes por metro, visando o estande de 60.000 plantas ha^{-1} , após desbaste. A semeadura do milho e das leguminosas foi realizada manualmente no dia 21 de dezembro de 2020.

No estágio V2 (duas folhas expandidas) do milho, aproximadamente 24 dias após plantio (DAP), realizou-se o controle mecânico das plantas espontâneas nas entrelinhas com enxada, não houve controle nas linhas de cultivo.

No estágio V4 (quatro folhas expandidas) do milho (31 DAP) realizou-se a adubação, nos tratamentos correspondentes, utilizando-se composto orgânico comercial Visafertil® que foi depositado sobre a superfície do solo nas linhas do milho. Aplicou-se a dose de 13,27 t ha^{-1} , massa seca, no intuito de alcançar a produtividade de 6 a 8 t ha^{-1} (COELHO, 2006). A composição

química do composto orgânico: N (1,90%), P₂O₅ (1,48%), K (1,45%), CaO (11,53%), MgO (1,32%), SO₄ (1,01%), M.O (20,69%), Cu (100 mg dm⁻³), Fe (18977 mg dm⁻³), Mn (566 mg dm⁻³), Zn (153 mg dm⁻³), umidade de 18% e densidade de 0,662 Kg L⁻¹.

No estágio V4 do milho fez-se o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith.)) e da cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott)) utilizando-se o inseticida Tracer®, autorizado pela legislação brasileira para a produção orgânica (BRASIL, 2021). O produto foi aplicado em área total na dose de 50 ml ha⁻¹ seguindo as recomendações da bula.

A colheita das espigas foi realizada manualmente quando o milho atingiu o estágio R6 (maturação fisiológica), 155 dias após plantio (DAP).

3.3 Avaliações

3.3.1 Milho

Para quantificação da massa seca da parte aérea do milho (MSM) foram coletadas 5 plantas por parcela nos estádios V8 (oito folhas expandidas) 51 dias após plantio (DAP) e R4 (grão pastoso) 93 DAP, momento em que também se avaliou a altura de 10 plantas por parcela, utilizando régua graduada, medindo-se da base da planta no solo até a última folha completamente expandida, dados apresentados (m planta⁻¹). Após a avaliação de altura, as plantas foram cortadas rentes ao solo, separadas em colmo e folhas no estágio V8 e, em colmo, folhas + pendão (as espigas foram descartadas) no estágio R4 e posteriormente levadas para estufa com ventilação forçada de ar na temperatura de 65°C para secagem por 48 horas, os dados foram apresentados em massa seca por planta (g planta⁻¹) (MOREIRA et al., 2014).

No estágio R4 foram coletadas 10 plantas de milho por parcela para a determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes da parte aérea do milho. As plantas foram cortadas rentes ao solo, separadas em colmo, folhas + pendão (as espigas foram descartadas) e posteriormente secas em

estufa com ventilação forçada de ar na temperatura de 65°C por 48 horas. Em seguida o material foi processado em moinho tipo Willey e analisados quanto aos teores de macronutrientes e micronutrientes (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1989), para a determinação do acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho, dados apresentados em Kg ha^{-1} .

Após a colheita, as espigas de milho das plantas localizadas nas três linhas centrais de cada parcela foram processadas em debulhador elétrico estacionário, e em seguida determinou-se a massa total de grãos e a massa de 100 (cem) grãos por parcela (massa média de três amostras de 100 grãos por parcela), as massas total e de 100 grãos foram corrigidas para 13% de umidade. Os dados foram apresentados em produtividade de grãos (t ha^{-1}) e massa média de 100 grãos (g).

3.3.2 Leguminosas

Para a determinação da massa seca da parte aérea das leguminosas (MSL) foram coletadas 5 amostras de plantas contidas em um metro por parcela nos períodos referentes aos estádios V8 e R6 do milho, 51 e 159 DAP, respectivamente. Em seguida as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada de ar na temperatura de 65°C por 48 horas para a determinação da massa seca por hectare (Kg ha^{-1}) (adaptado de MOREIRA et al., 2014).

As massas secas da parte aérea das leguminosas coletadas no estádio R6 do milho foram processadas em moinho tipo Willer para análise dos teores de macronutrientes e micronutrientes, segundo a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989). Os valores obtidos em g Kg^{-1} foram multiplicado pela MSL (Kg ha^{-1}) para obtenção do acúmulo de macronutrientes e micronutrientes da parte aérea das leguminosas em Kg ha^{-1} .

As amostras obtidas no consórcio milho, crotalária e guandu-anão (MCG) foram compostas pelo volume do material processado de cada espécie, proporcional ao número de plantas coletadas por metro linear (BONFANTI, 2019).

3.3.3 Solo

Para as avaliações dos teores de amônio e nitrato no solo, P (resina) e pH do solo e das enzimas fosfatase ácida e fosfatase alcalina foram coletadas três subamostras de solo por parcela, sendo duas na linha de cultivo e duas a uma distância de 0,30 m desta, na profundidade de 0 a 0,20 m, formando uma amostra composta por parcela (adaptado de BONFANTI, 2019). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em caixas isotérmicas com gelo e levadas ao laboratório.

As amostras para avaliação dos teores de amônio e nitrato no solo, P (resina) e pH do solo foram coletadas nos estádios R4 do milho, 93 DAP, e as amostras para avaliação das enzimas fosfatase ácida e fosfatase alcalina foram coletadas nos estádios V8 e R4, 51 e 93 DAP, respectivamente.

Posteriormente, em laboratório as amostras compostas coletadas por parcela foram subdivididas em três subamostras: amostras para a determinação dos teores de NH_4^+ e NO_3^- seguindo o método Kjeldahl (YASUHARA e NOKIHARA, 2001) que foram imediatamente acondicionadas em sacos plásticos, congeladas e armazenadas em freezer até a realização das análises; amostras para a determinação dos teores de P (resina) e pH (CaCl), armazenadas em temperatura ambiente até o momento das análises conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) e amostras para a determinação da atividade enzimática de fosfatase ácida e alcalina, mantidas em temperatura ambiente até o momento da quantificação, de acordo com a metodologia descrita por Tabatabai (1994).

3.4 Análises dos dados

Para as análises estatísticas das variáveis altura do milho, massa seca do milho, enzima fosfatase ácida, enzima fosfatase alcalina, utilizou-se esquema fatorial 4X2X2, quatro sistemas de produção (M, MC, MG, MCG), presença e ausência da fertilização com composto orgânico e duas épocas de avaliação (estádios fenológicos V8 e R4 do milho).

Para as análises estatísticas das variáveis massa de cem grãos, produtividade do milho, P resina, pH do solo, amônio, nitrato, acúmulo de nutrientes na massa seca da parte aérea do milho, utilizou-se esquema fatorial 4X2 quatro sistemas de produção (M, MC, MG, MCG) e presença e ausência da fertilização com composto orgânico.

Para massa seca de leguminosas utilizou-se esquema fatorial 3X2X2, três sistemas de produção (MC, MG, MCG), presença e ausência da fertilização com composto orgânico e duas épocas de avaliação (estádios fenológicos V8 e R6 do milho). E para o acúmulo de nutrientes na massa seca da parte aérea das leguminosas utilizou-se esquema fatorial 3X2, três sistemas de produção (MC, MG, MCG), presença e ausência da fertilização com composto orgânico. Os valores de massa seca de leguminosas e acúmulo de nutrientes na massa seca da parte aérea das leguminosas foram transformados pela equação $\log(x)$ para atender a normalidade dos dados.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias, quando significativas ($p \leq 0,05$), foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Milho

A altura e a massa seca das plantas de milho não foram influenciadas pelos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico (Tabela 2). A maior altura e acúmulo de massa seca das plantas ocorreu no estágio R4 do milho (Tabela 2). A média de altura das plantas de milho foi de 1,56 m (Tabela 2), inferior à altura de 2,57 m relatada pela empresa para o mesmo genótipo (PIONEER, [s.d.]).

Tabela 2. Altura e massa seca do milho (MSM) em função dos sistemas de produção, fertilização com composto orgânico e estádios fenológicos V8 (oito folhas expandidas) e R4 (grãos pastosos). Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	Altura* m	MSM g planta ⁻¹
M	1,37 ^{ns}	72,75 ^{ns}
MC	1,32	69,80
MG	1,34	76,22
MCG	1,36	77,79
Composto²	Altura m	MSM g planta ⁻¹
Presente	1,35 ^{ns}	72,36 ^{ns}
Ausente	1,34	75,91
Estádios	Altura m	MSM g planta ⁻¹
V8	1,14 b	64,01 b
R4	1,56 a	84,26 a
CV (%)	20,99	2,34

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p \leq 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (Presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

A cultivar utilizada é um híbrido simples precoce, com ciclo em torno de 65 dias até o pendoamento. A semeadura em dezembro pode ter contribuído para que a cultivar atingisse rapidamente os graus-dias necessários para o pendoamento, reduzindo a altura e produção de massa seca. O conceito de graus-dia parte do princípio de que o desenvolvimento de uma espécie vegetal está relacionado com o meio em cada fase fenológica ou no ciclo da cultura e é controlado a partir da soma térmica diária necessária para cada estágio

(RENATO et al., 2013). Temperaturas diurnas e noturnas altas, como as verificadas durante o experimento (Tabela 1), aumentam as UC (unidades calóricas), conseqüentemente a soma térmica, de forma que cultivares superprecoces e precoces atingem rapidamente os graus dias, florescendo com menor altura e acumulando menor massa seca.

Oligini et al. (2019) avaliando a produção de milho consorciado com leguminosas semeadas na entrelinha simultaneamente a este, identificaram que a altura do milho nos consórcios com *C. spectabilis*, e guandu, nas densidades de crotalária e guandu de 15 e 30 kg ha⁻¹, respectivamente, não diferiram do milho solteiro. Gallo et al. (2017) avaliando o consórcio de milho orgânico com guandu-anão também observaram que os diferentes arranjos de plantas nos consórcios não afetaram o acúmulo de massa seca das plantas de milho.

Os sistemas de produção influenciaram o acúmulo de N e K na parte aérea do milho mas não houve influência sobre o acúmulo de P e Mg (Tabela 3). O milho no consórcio com *C. spectabilis* e guandu-anão (MCG) acumulou maior quantidade de N quando comparado com o milho e guandu-anão (MG), mas não diferiu dos sistemas monocultivo do milho e consórcio milho e *C. spectabilis* (MC) (Tabela 3). Resultado semelhante foi observado por Bonfanti (2019), a qual verificou aumento do índice de clorofila (IC) nas folhas de milho consorciado com *C. spectabilis* e guandu-anão. De acordo com a autora, o cultivo concomitantemente das duas leguminosas, provavelmente, maximizou a disponibilidade e absorção do N, refletido no aumentando do IC foliar do milho. No consórcio do milho com guandu-anão (MG), provavelmente o guandu-anão competiu pelo nitrogênio com o milho.

O K acumulado na massa seca do milho foi maior no consórcio com *C. spectabilis* (MC) quando comparado com o milho solteiro (M) e o consórcio milho com guandu-anão (MG) (Tabela 3).

Tabela 3. Acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho no estágio R4 (grão pastoso) em função dos sistemas de produção e da fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	N	P	K	Mg
		kg ha⁻¹		
M	13,78ab*	2,34 ^{ns}	16,95b	3,17 ^{ns}
MC	14,11ab	2,33	20,90a	2,95
MG	13,44b	2,68	17,38b	3,33
MCG	17,31a	2,13	18,62ab	3,13
Composto²	N	P	K	Mg
		kg ha⁻¹		
Presente	14,11 ^{ns}	2,21 ^{ns}	18,46 ^{ns}	3,19 ^{ns}
Ausente	15,20	2,52	18,47	3,09
CV (%)	18,03	25,04	11,54	11,00

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p \leq 0,05$). *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

Quanto ao P os resultados diferem de outros trabalhos da literatura. Bonfanti (2019) observou maior teor de P nas folhas de milho em consórcio com guandu-anão (5 plantas m⁻¹). Teixeira et al. (2005) também observaram maior teor de P na parte aérea das plantas de milheto (*Penisetum typhoides* (Burm.) Stapf) consorciadas com guandu-anão.

Quanto ao P os resultados diferem de outros trabalhos da literatura. Bonfanti (2019) observou maior teor de P nas folhas de milho em consórcio com guandu-anão (5 plantas m⁻¹). Teixeira et al. (2005) também observaram maior teor de P na parte aérea das plantas de milheto (*Penisetum typhoides* (Burm.) Stapf) consorciadas com guandu-anão.

Para o acúmulo de Ca na parte aérea do milho, quando se aplicou composto orgânico não houve diferença entre os sistemas de produção (Tabela 4). Entretanto, na ausência da fertilização o tratamento MG proporcionou a maior concentração do nutriente.

Tabela 4. Acúmulo de Ca e S na parte aérea do milho no estágio R4 do milho em função dos sistemas de produção e da aplicação de composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.

Sistemas de produção ¹	Ca		S	
	Presente	Ausente	Presente	Ausente
M	6,46aA*	5,58bA	3,05aA	2,56aB
MC	5,94aA	5,00bA	2,61bA	2,82aA
MG	6,06aB	8,39aA	2,34bcA	2,21bA
MCG	6,53aA	5,84bA	2,05cA	1,98bA
CV (%)	10,79		7,22	

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ($p < 0,05$).

O milho tem baixa capacidade de competição pelo Ca (CURY et al., 2012). Por isso, não houve diferença no acúmulo de Ca quando o milho foi fertilizado com composto orgânico, ou seja, havia disponibilidade do nutriente.

O maior acúmulo de S na parte aérea do milho com fertilização foi observado no milho solteiro (Tabela 4). Durante o processo de fixação biológica as plantas leguminosas demandam elevadas quantidade de S, de modo que a falta deste nutriente é responsável pela queda na FBN (BECANA, WIENKOOP e MATAMOROS, 2018; VARIN et al., 2010), justificando o maior acúmulo de S no milho solteiro. Já na ausência da fertilização, observou-se menor acúmulo de S no milho solteiro em relação ao fertilizado (Tabela 4). Ou seja, o composto orgânico foi eficiente no fornecimento de S para o milho solteiro.

Quanto a massa de 100 grãos e produtividade de grãos de milho não se verificou efeitos dos sistemas de produção e da presença ou ausência da fertilização com composto orgânico (Tabela 5).

Tabela 5. Massa de 100 grãos e produtividade do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	Massa de 100 grãos g	Produtividade Kg ha ⁻¹
M	19,87 ^{ns}	2103,88 ^{ns}
MC	20,11	2090,41
MG	20,45	2305,55
MCG	20,81	2388,52
Composto²	Massa de 100 grãos g	Produtividade Kg ha ⁻¹
Presente	20,62 ^{ns}	2239,37 ^{ns}
Ausente	20,00	2204,81
CV (%)	10,07	25,31

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p < 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (Presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

As leguminosas não interferiram na produtividade de grãos de milho. Os baixos valores de produtividade de grãos de milho obtidos no experimento, mesmo em sistema orgânico, cuja a média de produtividade na literatura varia entre 3650 e 7297 kg ha⁻¹ (FIGUEIREDO et al., 2015; OLIVEIRA, MOREIRA e FERREIRA, 2013), e menor que a média nacional para a safra 2020/21 que foi de 4316 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021), podem estar relacionados ao complexo de enfezamento, causado por um grupo de bactérias da classe Mollicutes, transmitido pela cigarrinha *Dalbulus maidis* (Hemiptera Cicadelidae), praga mais conhecida como cigarrinha-do-milho que têm gerado elevadas perdas de produtividade de grãos de milho na região, apesar do genótipo de milho utilizado apresentar tolerância. Destaca-se que apesar da semeadura tardia do milho, não houve deficiência hídrica nos estádios de maior exigência pelas plantas de milho (Figura 1).

A ausência do efeito da fertilização com composto orgânico na produtividade de grãos, provavelmente, deve-se a elevada fertilidade inicial do solo, conforme indicado pelas características químicas do mesmo (M. O. = 39 g dm⁻³).

Porém, é importante destacar que a aplicação do composto orgânico no estágio V4 do milho pode ter reduzido a disponibilidade de nutrientes durante o período de maior exigência do milho.

4.2 Leguminosas

No estágio V8 o menor acúmulo de massa seca das leguminosas foi observado no consórcio de milho com *C. spectabilis* e guandu-anão (MCG) (Tabela 6). Indicando provável competição entre as duas leguminosas quando cultivadas concomitantemente, reduzindo a produção de massa seca no estágio V8 (Tabela 6). Já no estágio R6 o maior acúmulo ocorreu no consórcio com guandu-anão (MG) e os demais não diferiram entre si (Tabela 6), indicando que o guandu-anão intensificou seu crescimento após o estágio V8 do milho.

Como era esperado houve aumento da produção de massa seca das leguminosas em todos os sistemas quando compara-se o estágio V8 e R6 (Tabela 6). Não houve efeito da fertilização na produção de massa seca das leguminosas (Tabela 6).

Tabela 6. Massa seca das leguminosas nos estádios V8 (oito folhas expandidas) e R6 (maturação fisiológica) do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção ¹	Massa seca das leguminosas Kg ha ⁻¹	
	V8	R6
MC	304,2212aB	918,1537bA
MG	258,7962aB	1333,335aA
MCG	165,8250bB	826,7862bA
Composto ²	Massa seca das leguminosas Kg ha ⁻¹	
Presente	620,03 ^{ns}	
Ausente	649,01	
CV (%)	39,83	

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p \leq 0,05$). *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

Os sistemas de produção e a fertilização com composto orgânico não afetaram o acúmulo de nutrientes na massa seca das leguminosas (Tabela 7).

Tabela 7. Acúmulo de nutrientes na massa seca das leguminosas no estágio fenológico R6 (maturação fisiológica) do milho em função dos sistemas de produção e da fertilização com composto orgânico Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	N	P	K	Ca	Mg	S
	Kg ha ⁻¹					
MC	118,11 ^{ns}	5,94 ^{ns}	84,81 ^{ns}	73,28 ^{ns}	14,04a	5,69 ^{ns}
MG	128,24	6,35	63,42	51,01	13,85a	4,46
MCG	91,70	6,71	56,71	39,02	7,65b	6,27
Composto²	N	P	K	Ca	Mg	S
	Kg ha ⁻¹					
Presente	109,89 ^{ns}	6,39 ^{ns}	64,37 ^{ns}	58,88 ^{ns}	10,20 ^{ns}	4,67 ^{ns}
Ausente	115,47	6,27	72,26	49,99	13,50	6,28
CV (%)	10,51	24,56	8,74	12,34	17,82	27,05

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p \leq 0,05$). *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

Analisando a produção de massa seca das leguminosas nos diferentes consórcios é possível inferir sobre a influência desse fator no acúmulo de nutrientes pelo milho. O menor acúmulo de N na massa seca do milho consorciado com o guandu-anão (MG) quando comparado ao consórcio milho com *C. spectabilis* e guandu-anão (Tabela 3), pode estar associado a uma possível competição entre o milho e o guandu-anão.

No estágio R6 (maturação fisiológica) a produção de massa seca do guandu-anão foi maior (Tabela 6), indicando que o guandu-anão intensificou seu crescimento após o estágio V8 do milho, avivando a competição desta leguminosa por nutrientes com as plantas de milho após o estágio V8, como o nitrogênio.

Pinho et al. (2009) relatam que o N é acumulado em pequenas quantidades nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, com incremento após 44 dias da emergência, estágio fenológico V6 (seis folhas expandidas). Posteriormente, o acúmulo de N é linear até os estádios finais de desenvolvimento do milho. O maior crescimento do guandu-anão após o estágio V8 do milho pode ter intensificado a absorção de N por está

leguminosa, reduzindo o N disponível para o milho. Quanto ao acúmulo de K na massa seca das leguminosas, apesar de não ter ocorrido diferença entre as espécies, o acúmulo de K na *C. spectabilis* foi numericamente superior ao do guandu-anão (Tabela 7).

A *C. spectabilis* apresenta lento acúmulo de massa seca no início de seu desenvolvimento, o qual intensifica-se a partir de 45 DAE, atingindo o máximo aos 104 DAE e, o maior acúmulo de K na massa seca ocorre por volta dos 90 DAE (BARBOSA et al., 2020). Quando comparamos a produção de massa seca e a marcha de absorção de K da *C. spectabilis* com a do milho, verifica-se que são diferentes. A maior absorção de K pelo milho ocorreu aproximadamente entre os 30 e 55 DAE (V3-V10) (Pinho et al., 2009) e da *C. spectabilis*, conforme mencionado, por volta dos 90 DAE, o que provavelmente, explique o maior acúmulo de K no milho em consórcio com esta leguminosa (MC) quando comparado ao consórcio com guandu-anão (MG) (Tabela 3).

O aumento de Ca na parte aérea do milho quando em consórcio com guandu-anão (MG) (Tabela 3), corrobora com o menor valor de Ca na massa seca do guandu-anão, apesar de não ter ocorrido diferença entre os sistemas de produção (Tabela 7), ou seja, o guandu-anão foi menos eficiente na absorção de Ca em consórcio com o milho. O guandu comparado a outras leguminosas imobiliza menor quantidade de Ca em seus tecidos, isto é, absorve menos Ca, e maior quantidade de K, P e N (ALVARENGA et al., 1995), explicando a maior disponibilidade de Ca para o milho em consórcio, na ausência de composto orgânico (Tabela 3).

4.3 Solo

Não houve efeito dos sistemas de produção na concentração de NH_4^+ e NO_3^- no solo no estágio V8 do milho. Porém, houve aumento da concentração de NO_3^- no solo fertilizado com composto orgânico (Tabela 8). Diferente dos resultados deste trabalho, Bonfanti (2019) identificou aumento da concentração de NH_4^+ no solo sob consórcios de milho com leguminosas em relação ao milho solteiro, com destaque para o consórcio de milho com *C. spectabilis* e guandu-anão na densidade de 10 plantas de cada leguminosa. A autora justificou o aumento em função da menor volatilização de N- NH_3 do composto

orgânico e, também a fixação biológica de nitrogênio, ambos efeitos verificados nos consórcios com maior produção de massa seca das leguminosas.

Tabela 8. Determinação de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo no estádio R4 (grãos pastosos) do milho em função dos sistemas de produção e da fertilização com composto orgânico Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	NH_4^+ mg Kg⁻¹	NO_3^- mg Kg⁻¹
M	41,1662 ^{ns}	31,8337 ^{ns}
MC	28,1662	21,3325
MG	25,3325	21,3337
MCG	31,1662	24,0000
Composto²	NH_4^+ mg Kg⁻¹	NO_3^- mg Kg⁻¹
Presente	30,9994 ^{ns}	28,9169 a
Ausente	31,9162	20,3331 b
CV (%)	44,76	39,34

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p \leq 0,05$). *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

Na produção de milho orgânico com aplicação de composto orgânico, a volatilização de N-NH_3 ocorre de forma expressiva (80 kg ha^{-1}), porém foi reduzida quando o milho estava em consorciado com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC.) (LEMOS et al., 2014). Também, a fixação de N atmosférico realizada pelas leguminosas no consórcio com o milho pode contribuir para aumentar a concentração de NH_4^+ no solo pela excreção direta de compostos nitrogenados e, ou, pela decomposição de nódulos e raízes (COSTA e SILVA, 2008).

No entanto, aparentemente, ambos os efeitos dependem da elevada produção de massa seca pelas leguminosas. Fato não observado no presente trabalho, pois as produções de massa seca das leguminosas, em todos os sistemas de produção foi reduzida (Tabela 6). Bonfanti (2019) observou valores maiores de massa seca de leguminosas em consórcio com o milho sob manejo orgânico. Em seu trabalho a produção de massa seca do guandu-anão consorciado com milho, na densidade 5 plantas m^{-1} , semeado na linha do

milho, foi de 3812,36 kg ha⁻¹, enquanto o consórcio de milho / crotalária / guandu-anão na densidade de 6 plantas m⁻¹ (sendo três plantas de cada leguminosa), semeados na linha do milho, produziu 2328,65 kg ha⁻¹ de massa seca de leguminosas.

O milho absorve N tanto na forma de NO₃⁻ como NH₄⁺, porém a forma preferencial de absorção da maioria das cultivares é a de NO₃⁻ (GOTT et al., 2014). Conforme mencionado anteriormente, a maior absorção de N pelo milho ocorre após os 44 dias da emergência, estágio fenológico V6 (seis folhas expandidas) e após esse período a absorção é menor, encerrando-se aproximadamente no estágio R2 (grãos bolhas), 80 dias após a emergência (PINHO et al., 2009; BÜLL, 1993). O aumento dos teores de nitrato no solo no estágio R4, 93 DAP do milho (Tabela 8), indica que provavelmente a mineralização do N-orgânico, advindo do composto orgânico ocorreu fora do período de maior demanda do milho.

Uma das hipóteses testadas neste trabalho foi que os sistemas de produção, em especial os consórcios MG e MCG, em função da presença do guandu-anão, aumentariam a disponibilidade e a absorção de P pelas plantas de milho. Tal hipótese baseou-se nas premissas de que o guandu-anão é capaz de solubilizar P por meio da exsudação de ácidos orgânicos (AE et al., 1990) e enzima fosfatase (ASCENCIO, 1996), bem como, estimular o crescimento de microrganismos solubilizadores de fosfato (CARNEIRO et al., 2004).

No entanto, não houve diferença entre os sistemas de produção para o teor de P-resina e pH do solo no estágio R4 do milho (Tabela 9). Corroborando com os resultados obtidos para o acúmulo de P na parte aérea do cereal, o qual não diferiu entre os sistemas de produção (Tabela 3).

Tabela 9. Determinação dos teores de P-resina e pH do solo no estágio R4 (grãos pastosos) do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	P-resina mg dm³	pH Ca Cl₂
M	72,1662 ^{ns}	6,2825 ^{ns}
MC	66,3337	6,3000
MG	65,6675	6,1662
MCG	68,1662	6,1675
Composto²	P-resina mg dm³	pH Ca Cl₂
Presente	71,5831 ^{ns}	6,2912 ^{ns}
Ausente	64,5837	6,1669
CV (%)	18,39	3,32

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p \leq 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (Presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

O teor de P disponível (P-resina) no solo, anterior a implantação do experimento, foi de 31 mg dm⁻³. Este valor é considerado elevado para o desenvolvimento das culturas (SOBRAL et al., 2015). Notou-se ainda que no período correspondente ao estágio R4 de desenvolvimento do milho a quantidade de P disponível no solo foi aproximadamente duas vezes superior ao teor de P inicialmente observado (Tabela 9). Provavelmente, devido a mineralização do P orgânico advindo da matéria orgânica do solo, visto que, também não se observou efeito da fertilização com composto orgânico no acúmulo de P na parte aérea do milho (Tabela 3).

O pico de absorção de P pelas plantas de milho ocorre entre 80 e 100 dias após emergência (PINHO et al., 2009). Ou seja, no período de maior demanda pelo milho a quantidade de P disponível no solo foi suficiente para o desenvolvimento da cultura.

O método utilizado, neste trabalho, para determinar o P do solo, resina trocada de íons, permite a avaliação do chamado fósforo lábil, por dissolução gradativa de compostos fosfatados da fase sólida do solo e transferência de íons ortofosfato para a resina de troca iônica (RAIJ e QUAGGIO, 2001), ou seja, indica o P disponível na solução do solo. Neste sentido, o método utilizado não avalia o P adsorvido no solo. Garland et al. (2017) evidenciaram

que o P orgânico mineralizado no consórcio de milho com guandu não foi absorvido pelas plantas de milho, pois possivelmente ficou retido no solo por processos de adsorção e retenção de P solúvel. O solo da área experimental apresenta na profundidade de 0-0,10 e de 0,10-0,20 m, 45 e 47 % de argila (TREVISAN et al., 2021). Solos com maior textura argilosa e originários de rochas básicas apresentam maior capacidade de retenção de P (VALLADARES, PEREIRA e ANJOS, 2003), como o Nitossolo vermelho da área experimental.

Quanto ao pH do solo, era esperado acidificação nos sistemas consorciados, fato não observado neste trabalho (Tabela 9). Cu, Hutson e Schuller (2005) verificaram a acidificação do pH do solo no consórcio de trigo com tremoço branco (*Lupinus albus* L.) e maior teor de P na parte aérea do trigo em consórcio com o tremoço, quando comparado com o trigo em monocultivo. De acordo com os autores, no consórcio, a disponibilidade de P foi reduzida em função da FBN realizada pelo leguminosa, desta forma, ocorreu aumento da liberação de H⁺ pelas raízes do tremoço para equilibrar os níveis do anión citrato no solo, acidificando o mesmo. A acidificação de solos alcalinos tende a aumentar a solubilidade dos fosfatos de Ca²⁺ e Mg²⁺, disponibilizando o fosfato para a planta. Como mencionado anteriormente os níveis de P do solo da área experimental são elevados, fato que pode ter inibido este processo.

Ainda sobre a dinâmica de P, não houve efeito dos sistemas de produção para a atividade das enzimas fosfatases ácida e alcalina. No entanto, houve efeito da fertilização com composto orgânico e dos estádios de desenvolvimento do milho (Tabela 10).

Tabela 10. Atividades das enzimas fosfatase ácida e fosfatase alcalina nos estádios fenológicos V8 (oito folhas expandidas) e R4 (grãos pastosos) do milho em função dos sistemas de produção e fertilização com composto orgânico. Araras/SP, safra 2020/21.

Sistema de produção¹	Fosfatase ácida µg PNF g ⁻¹ solo hora ⁻¹	Fosfatase alcalina µg PNF g ⁻¹ solo hora ⁻¹
M	501,75 ^{ns}	481,33 ^{ns}
MC	495,83	485,42
MG	522,92	513,25
MCG	523,50	502,25
Composto²	Fosfatase ácida µg PNF g ⁻¹ solo hora ⁻¹	Fosfatase alcalina µg PNF g ⁻¹ solo hora ⁻¹
Presente	532,42 a*	504,25 ns
Ausente	489,58 b	486,88
Estádios	Fosfatase ácida µg PNF g ⁻¹ solo hora ⁻¹	Fosfatase alcalina µg PNF g ⁻¹ solo hora ⁻¹
V8	349,17 b	366,46 b
R4	672,83 a	624,67 a
CV (%)	0,55	0,61

^{ns} Não significativo de acordo com o teste F ($p < 0,05$). * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$). ¹M (Milho solteiro); MC (Milho e crotalária); MG (Milho e guandu-anão); MCG (Milho, crotalária e guandu-anão). ²Presente (Presença de composto orgânico); Ausente (Ausência de composto orgânico).

A atividade das fosfatases depende das espécies vegetais presentes no consórcio e da fertilização (WANG et al., 2014). Embora algumas leguminosas apresentem capacidade de elevar a atividade enzimática no solo (BORASE et al., 2020), esse fato não foi observado no trabalho. Para a fosfatase ácida, os valores observados nos tratamentos que receberam fertilização com composto orgânico foram superiores aos dos tratamentos com ausência de composto orgânico (Tabela 10), isso porque o aumento da matéria orgânica no solo favorece a atividade da microbiota e como consequência eleva a sua atividade enzimática (BÍLÁ; ŠARAPATKA; ČÁP, 2016; BORASE et al., 2020).

A atividade da fosfatase ácida é predominante em solos ácidos enquanto a da fosfatase alcalina é predominante em solos alcalinos (EIVAZI e TABATABAI, 1977). Borase et al. (2020) verificaram que a adubação orgânica proporcionou maior atividade da fosfatase alcalina quando comparado com fosfatase ácida, tal fato foi justificado pelo pH alcalino do solo (8,1). Embora, para sistemas agrícolas o valor médio de pH do solo igual a 6, verificado no

experimento, não seja considerado ácido, esse não é o pH ideal para a atividade da fosfatase alcalina. O pH ótimo para as fosfatases ácidas está em torno de 6,5 e de 11 para as fosfatases alcalinas (EIVAZI e TABATABAI, 1977).

Cabe destacar que a avaliação de pH do solo foi realizada no estágio R4 do milho, aproximadamente 62 dias após a aplicação do composto orgânico (estádio V4 do milho). Durante a decomposição inicial dos resíduos orgânicos ocorre a acidificação do solo, devido a ionização de ácidos carboxílicos, fenólicos e álcoois terciários da matéria orgânica, entretanto no estágio final de mineralização da matéria orgânica, a oxidação libera elétrons aumentando o pH dos solos (SOUSA, MIRANDA e OLIVEIRA, 2007). Ou seja, provavelmente a adubação com composto orgânico, estimulou a atividade da fosfatase ácida, principalmente na região em que foi aplicado o composto.

Enzimas estão relacionadas com a quantidade de matéria orgânica do solo e a biomassa microbiana (FRANKENBERGER e DICK, 1983). As maiores atividades de fosfatase ácida e alcalina ocorreram no período correspondente ao estágio R4 do milho (Tabela 10). De acordo com Omenda et al. (2019) maiores teores de carbono e fósforo orgânico estimulam a atividade das enzimas fosfatases. Assim, provavelmente, ao final do ciclo do milho houve maior estímulo à atividade das enzimas.

5 CONCLUSÕES

O guandu-anão em consórcio com o milho não aumenta a disponibilidade de P para o cereal, em solo com elevado teor de fósforo.

O consórcio com duas espécies de leguminosas (guandu-anão e *C. spectabilis*) aumenta o acúmulo de N pelas plantas de milho, sem efeitos na produtividade de grãos.

A fertilização com composto orgânico eleva o teor de nitrato e a atividade de fosfatase ácida no solo.

6 LITERATURA CITADA

ABIMILHO - Associação Brasileira das indústrias do milho. Estatísticas do consumo de milho. Disponível em <<http://www.abimilho.com.br/estatisticas/consumo>> Acesso em março, 2022.

AE, N. et al. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. **Science**, v. 248, n. 4954, p. 477–480, 1990.

ALVARENGA, R. C. et al. De Interesse Para a Conservação E Recuperação De Solos1. p. 175–185, 1995.

AMABILE, R.; FERNANDES, F.; PIMENTEL, A. Avaliação da resposta de genótipos de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) na região do Cerrado. **Ceres.Ufv.Br**, v. 55, n. 3, p. 231–235, 2008.

ARRUDA, O. G. DE et al. Comparison between the costs of substituting mineral fertilization with eucalyptus cellulose residues. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 576–583, 2011.

ASCENCIO, J. GROWTH STRATEGIES AND UTILIZATION OF PHOSPHORUS IN CAJANUS CAJAN L. MILLSP. AND DESMODIUM TORTUOSUM (Sw.) DC UNDER PHOSPHORUS DEFICIENCY. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 27, p. 1971–1993, 1996.

BARBOSA, I. R. et al. Dry matter production and nitrogen, phosphorus and potassium uptake in *Crotalaria juncea* and *Crotalaria spectabilis*1. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 50, p. 1–10, 2020.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso de adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. **Circular Técnica 20**, p. 1–7, 2001.

BARROS, F. M. DO R. et al. Silvopastoral systems drive the nitrogen-cycling bacterial community in soil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 3, p. 281–290, 2018.

BECANA, M.; WIENKOOP, S.; MATAMOROS, M. A. Sulfur Transport and Metabolism in Legume Root Nodules. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 10 out. 2018.

BEDOUSSAC, L. et al. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p. 911–935, 2015.

BELO, E. DOS S. et al. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e

efeito na atividade microbiana em um latossolo vermelho de cerrado. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 107–116, 2013.

BERRIEL, V.; MONZA, J.; PERDOMO, C. H. Cover crop selection by jointly optimizing biomass productivity, biological nitrogen fixation, and transpiration efficiency: Application to two crotalaria species. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1–12, 2020.

BHAT, N. A. et al. Soil biological activity contributing to phosphorus availability in vertisols under long-term organic and conventional agricultural management. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. September, p. 1–11, 2017.

BÍLÁ, P.; ŠARAPATKA, B.; ČÁP, L. The influence of type and dosage of exogenous organic matter on chosen biochemical soil properties. **Soil and Water Research**, v. 11, n. No. 4, p. 220–227, 12 out. 2016.

BONFANTI, L. Nutrição e disponibilidade de nitrogênio no consórcio de milho orgânico com diferentes densidades de fabáceas. 2019.

BORASE, D. N. et al. Long-term impact of diversified crop rotations and nutrient management practices on soil microbial functions and soil enzymes activity. **Ecological Indicators**, v. 114, p. 106322, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa no 46, de 6 de outubro de 2011**. Dispõe sobre sistemas orgânicos de produção animal e vegetal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 6 de outubro de 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 52, de 15 de março de 2021**. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. 55. ed. Brasil, 23 mar. 2021

BROOKER, R. W. et al. Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, v. 206, n. 1, p. 107–117, 2015.

BRUIJN, F. J. Biological Nitrogen Fixation. In: **Principles of Plant-Microbe Interactions**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 215–224.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: **Cultura do milho**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63–145.

BÜNEMANN, E. K. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus - A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 89, p. 82–98, 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. [s.l.]

Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2016.

CARNEIRO, R. G. et al. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 661–669, 2004.

COELHO, A. M. et al. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 189, p. 61–67, 1992.

COELHO, A. M. Nutrição e Adubação do Milho Introdução. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 10, 2006.

COSTA, A. S. V. DA; SILVA, M. B. DA. Sistemas de consórcio milho feijão para a região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 663–667, abr. 2008.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/34779_9ec59c49528b037aadde144a7af2743f>. Acesso em janeiro 2022.

CRUZ, A. F.; MARTINS, M. A. Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 559–565, dez. 1997.

CU, S. T. T.; HUTSON, J.; SCHULLER, K. A. Mixed culture of wheat (*Triticum aestivum* L.) with white lupin (*Lupinus albus* L.) improves the growth and phosphorus nutrition of the wheat. **Plant and Soil**, v. 272, n. 1–2, p. 143–151, 2005.

CURY, J. P. et al. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 287–296, jun. 2012.

DARYANTO, S. et al. Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. **Agricultural Systems**, v. 178, p. 102761, 2020.

DAS, S. K. et al. Organic nutrient sources and biochar technology on microbial biomass carbon and soil enzyme activity in maize-black gram cropping system. **Biomass Conversion and Biorefinery**, n. 0123456789, 2021.

DISSANAYAKA, D. M. S. B. et al. Interspecific facilitation of P acquisition in intercropping of maize with white lupin in two contrasting soils as influenced by different rates and forms of P supply. **Plant and Soil**, v. 390, n. 1–2, p. 223–236, 2015.

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Recognizing the role of soil organic

phosphorus in soil fertility and water quality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 282–293, 2015.

DU, Q. et al. Relay-intercropping soybean with maize maintains soil fertility and increases nitrogen recovery efficiency by reducing nitrogen input. **Crop Journal**, v. 8, n. 1, p. 140–152, 2020.

DUCHENE, O.; VIAN, J. F.; CELETTE, F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 148–161, 2017.

EICHLER-LÖBERMANN, B. et al. Mixed cropping of maize or sorghum with legumes as affected by long-term phosphorus management. **Field Crops Research**, v. 265, n. March, 2021.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. **Soil Biol. Biochem**, v. 9, p. 167–172, 1977.

FAOSTAT. Statistics division, food and agriculture organization of the United Nations. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em outubro, 2021.

FERNANDES, S. B. V.; UHDE, L. T.; WÜNSCH, J. A. A fertilidade do solo em sistemas orgânicos de cultivo de soja. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 1541-1544, 2007.

FIGUEIREDO, M. DE L. C. et al. Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4%. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p. 1175–1183, 2015.

FONTANETTI, A.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. C. dos; MIRANDA, G. V. Produção de milho orgânico no sistema plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p.127-136, jul./ago. 2006.

FRANKENBERGER, W. T.; DICK, W. A. Relationships Between Enzyme Activities and Microbial Growth and Activity Indices in Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, n. 5, p. 945–951, 1983.

GAIERO, J. R. et al. Effect of long-term plant biomass management on phosphatase-producing bacterial populations in soils under temperate grassland. **Applied Soil Ecology**, v. 151, n. September 2019, p. 103583, jul. 2020.

GALLO, A. DE S. et al. Macronutrient content and accumulations in different arrangements of dwarf pigeon pea intercropped with corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 11, p. 897–904, 2017.

GARLAND, G. et al. Plant-mediated rhizospheric interactions in maize-pigeon pea intercropping enhance soil aggregation and organic phosphorus storage. **Plant and Soil**, v. 415, p. 37–55, 2017.

GASKELL, M.; SMITH, R. Nitrogen sources for organic vegetable crops. **HortTechnology**, v. 17, n. 4, p. 431–441, 2007.

GATIBONI, L. C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1085–1091, 2008.

GHOSH, S. et al. Quantifying the relative role of phytase and phosphatase enzymes in phosphorus mineralization during vermicomposting of fibrous tea factory waste. **Ecological Engineering**, v. 116, p. 97–103, jun. 2018.

GOTT, R. M. et al. Fontes e Épocas de Aplicação de Nitrogênio no Milho Safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 24–34, 30 abr. 2014.

HUHE et al. Effect of Abandonment on Diversity and Abundance of Free-Living Nitrogen-Fixing Bacteria and Total Bacteria in the Cropland Soils of Hulun Buir, Inner Mongolia. **PLoS ONE**, v. 9, n. 9, p. e106714, 2014.

KAMH, M. et al. Mobilization of phosphorus contributes to positive rotational effects of leguminous cover crops on maize grown on soils from northern Nigeria. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 165, n. 5, p. 566–572, 2002.

KIBOI, M. N. et al. Microbial biomass and acid phosphomonoesterase activity in soils of the Central Highlands of Kenya. **Geoderma Regional**, v. 15, 2018.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. In: [s.l.] Fondo de Cultura Económica, 1948. p. 469.

LEMOS, J. P. et al. Disponibilidade De Nitrato E Amônio E Quantificação De Amônia Volatilizada Em Área De Cultivo De Milho Nos Sistemas De Plantio Direto Tradicional E Orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 4, n. 2, p. 101–111, 2014.

LIMA, S. K. et al. Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no brasil. **Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, p. 52, 2019.

LITHOURGIDIS, A. S. et al. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. **European Journal of Agronomy**, v. 34, n. 4, p. 287–294, 2011.

LORI, M. et al. Organic farming enhances soil microbial abundance and

activity—A meta-analysis and meta-Regression. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, p. 1–26, 2017.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 1989, 201 p.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/cadastro-nacional-produtores-organicos>>. Acesso em janeiro 2022.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. [s.l: s.n.].

MARTIN-GUAY, M. O. et al. The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 767–772, 2018.

MENGEL, D. B.; BARBER, S. A. Rate of Nutrient Uptake per Unit of Corn Root Under Field Conditions. **Agronomy Journal**, v. 66, n. 3, p. 399–402, 1974.

MOHANTY, S.; PAIKARAY, N. K.; RAJAN, A. R. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. **Geoderma**, v. 133, n. 3–4, p. 225–230, 2006.

MORAIS, T. P. DE et al. Aspectos morfofisiológicos de plantas de milho e bioquímico do solo em resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Ceres**, v. 62, n. 6, p. 589–596, 2015

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. **Editora UFLA**, p. 407–447, 2006.

MOREIRA, S. G. et al. Massa seca e macronutrientes acumulados em plantas de milho cultivadas sob diferentes espécies de cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 218–231, 2014.

MULLER, A. et al. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2017.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa:UFV, 1999

OLIGINI, K. F. et al. **Produtividade de milho consorciado com espécies forrageiras no sudoeste do Paraná**, 2019.

OLIVEIRA, R. B. R. DE; MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA, J. M. Adaptability and stability of maize landrace varieties. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n.

6, p. 2555–2564, 2013.

OLIVEIRA, P. et al. Sistema Santa Brígida – Tecnologia Embrapa: Consorciação de Milho com Leguminosas. In: Circular T ed. [s.l.] Embrapa Arroz e Feijão, 2010. p. 16.

OMENDA, J. A. et al. Soil Organic Carbon and Acid Phosphatase Enzyme Activity Response to Phosphate Rock and Organic Inputs in Acidic Soils of Central Highlands of Kenya in Maize. **International Journal of Plant & Soil Science**, p. 1–13, 2019.

PINHO, R. G. V. et al. Marcha de Absorção de Macronutrientes e Acúmulo de Matéria Seca em Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157–173, 30 ago. 2009.

PIONEER. Produto marca Pioneer P3898. Disponível em: < https://www.pioneer.com/content/dam/dpagco/pioneer/la/br/pt/files/Milho_Verao-Safrinha-P3898-05.pdf >. Acesso em julho 2022.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de Nutrientes**. Piracicaba: [s.n.].
RASEDUZZAMAN, M.; JENSEN, E. S. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 91, n. September, p. 25–33, 2017.

RENATO, N. DOS S. et al. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 382–388, 2013.

RESENDE, A. V. DE et al. Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central. **Embrapa Milho e Sorgo. (Circular Técnica, 181)**, p. 1–12, 2012.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p.133-137, 1998.

ROOHI, M. et al. Effects of cropping system and fertilization regime on soil phosphorous are mediated by rhizosphere-microbial processes in a semi-arid agroecosystem. **Journal of Environmental Management**, v. 271, n. December 2019, p. 111033, 2020.

SACCO, D. et al. Six-year transition from conventional to organic farming: Effects on crop production and soil quality. **European Journal of Agronomy**, v. 69, p. 10–20, 2015.

SANT'ANNA, S. A. C. et al. Biological nitrogen fixation and soil N₂O emissions from legume residues in an Acrisol in SE Brazil. **Geoderma Regional**, v. 15, p.

e00196, 2018.

SANTOS, N. C. B. DOS; TIVELLI, S. W. Como produzir milho orgânico? In: Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Centro de Inteligência em Orgânicos, 2017. p. 56.

SICHOCKI, D. et al. Resposta do milho safrinha à dose de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 48–58, 2014.

SOBRAL, L. F. et al. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E)**, p. 13, 2015.

SILVA, E. C. DA et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 353–362, jun. 2005.

SNAPP, S. S.; COX, C. M.; PETER, B. G. Multipurpose legumes for smallholders in sub-Saharan Africa: Identification of promising 'scale out' options. **Global Food Security**, v. 23, p. 22–32, 2019.

SOUSA, D.M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S.A. de. Acidez do solo e sua correção. In: Fertilidade do solo, 107 p. (eds. NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V., V.H., BARROS, N. F., FONTES. R. L.F., CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J.C.L.). SBCS, Viçosa, 2007.

SOUSA, S. M. DE et al. Importância da morfologia radicular na eficiência da aquisição de fósforo. **Documentos (Embrapa)**, p. 33, 2010.

SOUZA, J. L. DE et al. Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 4, p. 433–440, 2008.

SOUZA, R. T. DE et al. Maize-crotalaria intercropping systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 1455–1467, 2019.

TANG, X. et al. Sugarcane/peanut intercropping system improves the soil quality and increases the abundance of beneficial microbes. **Journal of Basic Microbiology**, v. 61, n. 2, p. 165–176, 2021.

TEIXEIRA, C. M. et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-de-porco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p. 93–99, 2005.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. In: TEIXEIRA, P. C. et al. (Eds.). . 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. p. 574

- THILAKARATHNA, M. S. et al. Nitrogen fixation and transfer of red clover genotypes under legume–grass forage based production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 106, n. 2, p. 233–247, 29 nov. 2016.
- TREVISAN, M. et al. Temperatura e umidade do solo no consórcio de milho com *Crotalaria spectabilis* e *Cajanus cajan* em sistema orgânico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e539101422443, 13 nov. 2021.
- VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. DOS. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 111–118, 2003.
- VARIN, S. et al. How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Trifolium repens* L.)? **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 1, p. 225–234, jan. 2010.
- VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. [s.l: s.n.]. v. 1
- VILELA, L. A. F. et al. Desenvolvimento inicial de milho crioulo em um latossolo vermelho de cerrado submetido à esterilização. **Global Science and Technology**, v. 05, n. 2, p. 69–78, 2012.
- WANG, Z. G. et al. Intercropping enhances productivity and maintains the most soil fertility properties relative to sole cropping. **PLoS ONE**, v. 9, n. 12, p. 1–24, 2014.
- WEBER, C.; MCCANN, L. Adoption of Nitrogen-Efficient Technologies by U.S. Corn Farmers. **Journal of Environmental Quality**, v. 44, n. 2, p. 391–401, 2015.
- WILLER, H.; YUSSEFI-MENZLER, M.; SORENSEN, N. **The world of organic agriculture: Statistics and emerging trends 2021**. [s.l: s.n.].
- XUE, Y. et al. Crop acquisition of phosphorus, iron and zinc from soil in cereal/legume intercropping systems: a critical review. **Annals of Botany**, v. 117, n. 3, p. 363–377, mar. 2016.
- YASUHARA, T.; NOKIHARA, K. High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.49, p.4581-4583, 2001.
- YOSHIDA, F. A.; STOLF, R. Mapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar - Araras/SP. **Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2016.
- YU, Y. et al. A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. **Field Crops Research**, v. 198, p. 269–279,

2016.

ZHANG, H. et al. Nitrogen uptake and transfer in a soybean/maize intercropping system in the karst region of southwest China. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 20, p. 8419–8426, out. 2017.