

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOYCE LAURINDO DA CRUZ

**EFEITO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOBRE AS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO**

DOIS VIZINHOS

2021

JOYCE LAURINDO DA CRUZ

**EFEITO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOBRE AS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO**

**Effect of different production systems on the chemical characteristics of the soil**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Adami.  
Coorientadora: MSc. Karine Fuschter Oligini.

DOIS VIZINHOS

2021



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

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

**JOYCE LAURINDO DA CRUZ**

**EFEITO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOBRE AS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/dezembro/2021

---

Paulo Fernando Adami (Orientador)  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Laércio Ricardo Sartor  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Samanta Cristina Cecato  
União de Ensino do Sudoeste do Paraná - Unisep

DOIS VIZINHOS

2021

Dedico este trabalho à minha família, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui, e aos meus amigos, orientador e coorientadora, que estiveram comigo ao longo dessa caminhada.

## RESUMO

Atualmente, na agricultura, além de buscar altas produtividades, têm se dado bastante atenção para a preservação ambiental e do solo. Neste sentido, conhecer as relações complexas entre solo, safras e práticas de manejo é importante para elaborar sistemas de produção agrícola equilibrados e conservacionistas, visando à melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Deste modo, este trabalho tem o objetivo de avaliar se o efeito de diferentes sistemas de produção (sucessão versus rotação de culturas) com ou sem a adoção de plantas de cobertura na safrinha de verão e no período de outono/inverno influencia as características químicas do solo. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, em um Latossolo Vermelho Distroférico, com relevo suave e textura argilosa. O solo foi inicialmente analisado em 2018 e em 2020, após 2 anos de efeito de quatro sistemas de produção, em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 7 com parcelas subdivididas e três repetições. Diante disso, o fator A refere-se a diferentes culturas comerciais cultivadas na safra (soja, milho, feijão) e o fator B refere-se a 7 estratégias de uso das subparcelas na segunda safra de verão (safrinha) e entressafra, sendo compostas por uso de plantas de cobertura e culturas de grãos na safrinha. Em geral, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (2019), observou-se que os teores médios dos nutrientes e indicadores de fertilidade do solo avaliados se encontravam em parâmetros altos ou muito altos em 2018 e assim foram mantidos em 2020, sendo que alguns tratamentos com plantas de cobertura apresentaram teores mais elevados em relação aos sistemas exclusivos com grãos. Houve interação dos fatores sistemas x profundidade para os teores de fósforo para as análises iniciais (2018) e em 2020 em relação a sistemas x uso do solo na profundidade de 0-10 cm, porém, no perfil do solo em profundidade mais elevada (20-40 cm) não houve efeito dos diferentes usos do solo. Por outro lado, o potássio (K) foi um dos nutrientes que se apresentou mais sensível ao uso do solo, apresentando resultados significativos para cultivo em todas as profundidades. Conclui-se que tanto as plantas de cobertura como de grãos apresentam boa capacidade de ciclagem de nutrientes sendo que o uso de brachiaria e do mix de plantas de cobertura, na segunda safra de verão, se destacam em relação às demais espécies. Contudo, ressalta-se a necessidade de mais anos de estudo, para ver em longo prazo o efeito destes manejos em alguns atributos como matéria orgânica e pH do solo, principalmente quando avaliado em profundidade do solo.

**Palavras-chave:** Plantas de cobertura. Rotação de Culturas. Atributos do solo. Nutrientes.

## ABSTRACT

Currently, in agriculture, in addition to seeking high productivity, a lot of attention has been paid to environmental and soil preservation. In this sense, knowing the complex relationships between soil, crops and management practices is important to develop balanced and conservationist agricultural production systems, aimed at improving the biological, physical and chemical properties of the soil. Thus, this work aims to evaluate whether the effect of different production systems (succession versus crop rotation) with or without the adoption of cover crops in the summer season and in the autumn/winter period influences the chemical characteristics of the crop. ground. The experiment was carried out in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, in a Dystroferic Red Latosol, with smooth relief and clayey texture. The soil was initially analyzed in 2018 and in 2020, after 2 years of the effect of four production systems, in a randomized block design in a 4 x 7 factorial scheme with split plots and three replications. Therefore, factor A refers to different commercial crops grown in the harvest (soybeans, corn, beans) and factor B refers to 7 strategies for using the subplots in the second summer (harvest) and off-season crops, being composed by the use of cover crops and grain crops in the off-season. In general, according to the Manual of Fertilization and Liming for the State of Paraná (2019), it was observed that the average levels of nutrients and soil fertility indicators evaluated were in high or very high parameters in 2018 and so were maintained in 2020, and some treatments with cover crops had higher levels compared to exclusive systems with grains. There was an interaction of systems x depth factors for phosphorus contents for the initial analyzes (2018) and in 2020 in relation to systems x land use at a depth of 0-10 cm, however, in the soil profile at higher depth (20 -40 cm) there was no effect of different land uses. On the other hand, potassium (K) was one of the nutrients that was more sensitive to land use, showing significant results for cultivation at all depths. It is concluded that both cover crops and grains have good nutrient cycling capacity and the use of brachiaria and the mix of cover crops in the second summer crop stand out in relation to the other species. However, it emphasizes the need for more years of study, to see in the long term the effect of these managements on some attributes such as organic matter and soil pH, especially when evaluated in depth of the soil.

**Keywords:** Cover plants. Crop Rotation. Soil attributes. Nutrients.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis da análise inicial do solo (Ca, Mg, SB, H+Al e CTC em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , K em $\text{mg dm}^{-3}$ , pH em $\text{CaCl}_2$ , e M.O. em $\text{g dm}^{-3}$ ) nas diferentes profundidades. Dois Vizinhos, PR, 2021.	29
Tabela 2 - Variáveis da análise inicial do solo (M.O. em $\text{g dm}^{-3}$ , pH em $\text{CaCl}_2$ , H+Al e CTC em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) em relação aos diferentes sistemas de produção na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	30
Tabela 3 - Interação entre sistema de produção versus profundidade de amostragem para a variável fósforo (P). Dois Vizinhos, PR, 2021.	31
Tabela 4 - Variáveis da análise do solo em relação aos diferentes sistemas de produção na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	32
Tabela 5 - Uso de solo na safrinha na profundidade de 10-20 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	33
Tabela 6 - Teores de fósforo (P) na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	34
Tabela 7 - Teores de Potássio (K) na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	37
Tabela 8 - Variáveis da análise do solo (Mg, H+Al, Ca, SB e CTC em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) em relação aos diferentes sistemas de produção nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	39
Tabela 9 - Teores de Potássio (K) na profundidade de 10-20 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	42
Tabela 10 - Variáveis da análise (Ca, Mg, SB, H+Al e CTC em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) do solo em relação aos diferentes sistemas de produção na profundidade de 20-40 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	43
Tabela 11 - Teores de Potássio (K) na profundidade de 20-40 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Av + Nabo	Consórcio aveia + nabo
Cfa	Clima subtropical
C/N	Carbono e nitrogênio
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC efetiva ou t	Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
H+Al	Acidez potencial
M.O.	Matéria orgânica
M.O.S.	Matéria orgânica do solo
M+C	Milheto + Crotalária
SB	Soma de Bases
TFSA	Terra fina seca ao ar
UE	União Europeia
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
UTFPR-DV	Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Dois Vizinhos



## LISTA DE SÍMBOLOS

pH	Potencial hidrogeniônico
H	Hidrogênio
Al	Alumínio
Ca	- Cálcio
N	Nitrogênio
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de fósforo
K <sub>2</sub> O	Óxido de potássio
N <sub>2</sub>	Dinitrogênio
K	Potássio
P	Fósforo
m	Saturação por Alumínio
V ou V%	Saturação por Bases
Mg	Magnésio
S	Enxofre
Cl	- Cloro
Fe	Ferro
Cu	Cobre
Mo	Molibdênio
Zn	Zinco
Mn	Manganês
B	Boro
ns	não significativo
C.V. (%)	Coefficiente de variação
P (<0,05)	Probabilidade

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	13
<b>2.1</b>	<b>Sistemas de produção</b>	13
2.1.1	Rotação de culturas	13
2.1.2	Sucessão de culturas	14
2.1.2.1	<u>Milho (<i>Zea mays</i>)</u>	15
2.1.2.2	<u>Soja (<i>Glycine max</i>)</u>	16
2.1.2.3	<u>Trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>)</u>	17
<b>2.2</b>	<b>Benefícios das plantas de cobertura para o solo</b>	17
<b>2.3</b>	<b>Atributos químicos do solo</b>	19
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	21
<b>3.1</b>	<b>Localização da área e caracterização do local</b>	21
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos</b>	21
<b>3.3</b>	<b>Instalação e condução do experimento</b>	25
<b>3.4</b>	<b>Análises estatísticas</b>	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	29
<b>4.1</b>	<b>Parâmetros iniciais de fertilidade do solo - Safra 2018/2019</b>	29
<b>4.2</b>	<b>Parâmetros da fertilidade do solo na Safra 2020/2021</b>	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	47
	<b>REFERÊNCIAS</b>	48

## 1 INTRODUÇÃO

As práticas de manejo do solo e das culturas provocam mudanças em seus atributos físicos, químicos e biológicos, que podem proporcionar diminuição da qualidade, o que afetará a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (DEXTER; YOUNGS, 1992). A utilização do solo de forma intensa, sem haver planejamento, ocasiona a diminuição da sua fertilidade, tornando-se necessário realizar adubações mais constantes visando equilibrar as suas propriedades químicas de acordo com a necessidade de cada cultura (CQFS - RS/SC, 2004).

O conhecimento das relações complexas entre solo, safras e práticas de manejo, é necessário para desenvolver sistemas de produção agrícola equilibrado e com cunho conservacionista, uma vez que as adoções, por exemplo, da sucessão de culturas associada às más práticas culturais têm ocasionado a diminuição da produtividade, degradação do solo e dos recursos naturais, e ocorrência de pragas e doenças (FIALHO, 2020), assim como aumento na resistência de plantas daninhas.

Em razão disso, a busca por sistemas produtivos integrados tem crescido cada vez mais, proporcionando ao produtor uma visão do sistema como um todo, podendo gerar elevadas produtividades para suprir as demandas de mercado, e mesmo assim manter a sustentabilidade do sistema. Porém, para isso é necessário utilizar de forma mais eficiente os recursos naturais. Os sistemas integrados de cultivo, principalmente a rotação de culturas, pode ser um importante aliado para esta realidade (FIALHO, 2020).

Os sistemas de produção trazem diversos benefícios, como a prevenção do surgimento de plantas daninhas de controle dificultado e a ciclagem de nutrientes (LOSS et al., 2011). Ainda, no sistema de rotação de culturas podem ser utilizadas plantas de cobertura, que, posteriormente, complementarão os teores de matéria orgânica (M.O.).

O uso de plantas de cobertura no país, visando contribuir para a melhoria do manejo e conservação do solo e da água, vem sendo utilizada com excelentes resultados sob as mais diversas condições de produção (MOTTER et al., 2015). Esta prática promove maior equilíbrio nas relações solo-água-planta.

Em decorrência da não incorporação no solo da massa vegetal produzida, há a ocorrência da decomposição natural das plantas, favorecendo a ciclagem de nutrientes (MENEZES et al., 2009). Os nutrientes presentes no solo que não forem utilizados pela cultura subsequente, seja por conta da sua baixa capacidade de absorção ou por se localizarem

abaixo do sistema radicular da mesma, podem ser utilizados mais tarde por outras espécies vegetais, por meio da decomposição e da mineralização dos seus resíduos, podendo, assim, contribuir na diminuição do uso de fertilizantes também nas próximas safras (BORKERT et al., 2003; PACHECO et. al., 2011, 2013; NETO et al., 2014; SILVA et al., 2014).

Por fim, cabe salientar que neste trabalho buscou-se avaliar os efeitos da rotação de culturas com ou sem a adoção de plantas de cobertura no período de entressafra sobre as características química do solo em detrimento da sucessão de culturas com uso da segunda safra de verão com viés grãos. Acredita-se que um arranjo produtivo que trabalhe com um sistema de combinação de espécies, épocas de semeadura, grupos de maturação, híbridos, segunda safra com grãos e plantas de cobertura possa ofertar maior estabilidade produtiva e econômica para o produtor rural.

As plantas de cobertura, além de devolverem os nutrientes ao solo pelo processo de ciclagem e disponibilidade de nutriente (transformação do fósforo mineral em fósforo orgânico), a um nível mais elevado do que ocorre na sucessão de culturas, como soja-milho ou ainda milho-soja, podem reduzir a pressão de pragas e doenças e se mostrarem viáveis quando analisados sob a perspectiva de médio e longo prazo.

Diante deste contexto, espera-se com o presente trabalho que o sistema que adota rotação de culturas e plantas de cobertura traga benefícios superiores em relação ao sistema de sucessão sobre os parâmetros químicos do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistemas de produção

O sistema de produção é constituído por um conjunto de sistemas de cultivo, no contexto de uma propriedade rural, e são determinados com base nos fatores de produção daquele determinado local, como por exemplo a área, recursos financeiros e mão-de-obra, o que deve ser relacionado com a gestão deste processo (HIRAKURI et. al., 2012).

Os sistemas de produção que agregam M.O. tendem a aumentar o teor de carbono orgânico no solo, auxiliando na manutenção da sustentabilidade agrícola. A percepção da matéria orgânica do solo (MOS) em tais sistemas, permite traçar estratégias de manejo, as quais agregam conteúdo orgânico, aumentando a qualidade do complexo solo-vegetação-ambiente ao longo dos anos (LOSS et. al., 2011).

Diante do exposto, afirma-se que os sistemas de produção possuem papel importante no período de entressafra. Podem ser citados como benefícios destes sistemas, a prevenção do surgimento de plantas daninhas com controle dificultado e a reciclagem de nutrientes pelas plantas de cobertura, que transmitiram estes nutrientes para a cultura sucessora, que é a de importância (TORRES et al., 2008).

#### 2.1.1 Rotação de culturas

Define-se como rotação de culturas a alternância ordenada de culturas distintas em um determinado espaço de tempo, na mesma época e estação do ano (EMBRAPA, 2011). Os sistemas de rotação oferecem diversos benefícios para a qualidade química do solo. Isso se dá porque a rotação de culturas permite um crescimento de fitomassa, ou seja, parte aérea e raízes, ao solo, que juntamente com o sistema de plantio direto complementar os teores de MOS. (BAYER; MIELNICZUK, 1999)

Dentre os benefícios da MOS sobre a qualidade do solo e produtividade das culturas, pode-se citar a melhoria da estrutura física do solo, o fornecimento de nutrientes para as culturas principais, maior disponibilidade de alguns nutrientes, como, por exemplo, o fósforo, maior capacidade de troca catiônica do solo (CTC), entre outros (EMBRAPA, 2011).

O nitrogênio é um elemento importante para o aumento da reserva de matéria orgânica no solo (FRANCHINI et. al., 2007). Isso se dá porque o nitrogênio tem papel fundamental no aumento das adições de fitomassa ao solo, ainda mais quando se trata de

gramíneas. Em um viés ambiental e energético, a forma mais eficaz de chegar ao nitrogênio em sistemas de produção é através de espécies leguminosas utilizadas em rotação de culturas.

Quando se fala em rotação de culturas, um dos principais benefícios associados a este sistema é a reciclagem de nutrientes. O planejamento realizado de forma correta possibilita o uso de espécies vegetais com sistemas radiculares maiores, capazes de atingir camadas mais profundas do perfil de solo, que proporciona melhor aproveitamento de nutrientes presentes em camadas diferentes do solo (CALLEGARI, 2000).

O sistema de rotação de culturas também torna possível a combinação e/ou alternância de plantas com exigências nutricionais distintas e habilidades na absorção de nutrientes. Desta forma, os nutrientes que não são absorvidos por uma planta, seja por conta da sua baixa capacidade de absorção ou por estarem localizados em camadas abaixo de onde o sistema radicular das plantas atinge, podem ser utilizados posteriormente por outras espécies vegetais por meio da decomposição e da mineralização dos seus resíduos, contribuindo no uso apropriado de fertilizantes nas culturas em sucessão (BORKERT et al., 2003; PACHECO et al., 2011, 2013; NETO et al., 2014; SILVA et al., 2014).

### 2.1.2 Sucessão de culturas

A fertilidade do solo é um dos principais fatores correspondentes à produtividade das culturas. Quando utilizadas práticas irregulares, é possível observar baixa produtividade das espécies em decorrência da carência da fertilidade do solo (COELHO; FRANÇA, 1995).

O sistema de sucessão de culturas a adubos verdes pode melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo, e, conseqüentemente, aumentar a produtividade. Em decorrência dessas condições, esse sistema contribuirá no equilíbrio dos nutrientes no solo, além de proporcionar melhor aproveitamento de insumos agrícolas (HERNANI et al., 1995).

Apesar disso, a resposta das culturas decorre da interação de fatores, como teor de lignina, relação C/N, propriedades do solo, características da cultura em questão e o clima (AMABILE et al., 1994).

Na região sul do Brasil, os sistemas de produção mais utilizados são o soja/milho, milho/soja/trigo e milho/trigo. Isso se dá pelo fato desta região possuir o inverno com temperaturas mais baixas e chuvas regulares, o que permite um bom progresso da cultura do trigo e, conseqüentemente, gera bons resultados produtivos e econômicos (CONAB, 2020).

Além disso, a soja é uma cultura muito lucrativa para o produtor, a qual é a mais cultivada nas propriedades rurais, porém, o sistema de sucessão acaba exigindo manejos e

investimentos mais elevados para poder manter o equilíbrio produtivo, portanto mesmo sendo lucrativo é um sistema que deve ser planejado para que não seja estabelecido apenas duas culturas na mesma área no decorrer dos anos.

#### 2.1.2.1 Milho (*Zea mays*)

Segundo estimativas da CONAB, 2021, espera-se para as três safras de milho referente ao ano agrícola 2020/21 que a produção brasileira alcance 87 milhões de toneladas, representando uma redução de 15% em relação à safra 2019/20. Já para a safra 2021/22, há uma expectativa de produção de 116,7 milhões de toneladas, prevendo um aumento esperado de 28% da produtividade das lavouras.

Na primeira safra 20/21, a maior região produtora de milho no país continuou sendo a região Sul, em que o estado do Rio Grande do Sul foi o maior produtor, com produção de aproximadamente 4,39 milhões de toneladas, seguido pelo estado do Paraná, com produção de 3,12 milhões de toneladas e Santa Catarina, com 1,98 milhões de toneladas. Em relação a produtividade, a média brasileira obteve 4.366 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto na região sul do Brasil, o estado do Paraná obteve a maior produtividade, com 8.373 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de Santa Catarina, com 5.722 kg ha<sup>-1</sup> e Rio Grande do Sul, com 5.476 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021).

Em relação à produção das três safras no ano agrícola 20/21 a região Centro-Oeste lidera este quesito, com cerca de 48,47 milhões de toneladas produzidas, onde o estado do Mato Grosso representa 68% da produção total, com 33.250 toneladas. O ranking de produção é seguido pela região Sul, com uma grande diferença produtiva em relação à primeira região, obtendo quase 16 milhões toneladas produzidas, onde o estado do Paraná ocupa a primeira colocação, com 9.614 toneladas, que representam 60% da produção total do estado (CONAB, 2021).

Quando se diz respeito à produtividade do milho é importante frisar que esta cultura é influenciada por vários fatores ambientais, salientando-se principalmente a temperatura. A temperatura ideal encontra-se entre 24 e 30°C durante o dia e com noites mais amenas. Ainda, esta cultura necessita de uma média de 2,5 mm de água por dia em seu período vegetativo, e cerca de 5 a 7,5 mm de água por dia no período reprodutivo (CRUZ et. al., 2010). De acordo com SÁ et. al., 2011, para obter a produção de uma tonelada de milho são necessários aproximadamente 21,6; 3,4 e 16,3 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O.

O milho atua como uma importante matéria prima para a alimentação de animais, tendo alto volume de produção por área, além de proporcionar boa quantidade de matéria seca

ao sistema de produção. Entretanto, entre o cultivo de uma cultura e outra (soja e milho) há um grande período de pousio, que poderá propiciar o desenvolvimento de plantas daninhas (ROMAN et al., 2006).

A cultura do milho demanda bastante nitrogênio no decorrer do seu ciclo. Para obter uma produtividade superior, é recomendado a fertilização nitrogenada em cobertura como forma de repor a quantidade utilizada pelo solo (SOARES, 2017).

Esta cultura quando cultivada em sucessão a leguminosas auxilia com quantidades maiores de nitrogênio para a cultura, e ainda aperfeiçoa o aproveitamento do nitrogênio advindo de fertilizante nitrogenado pela espécie, através da fixação biológica ou pela ciclagem de nitrogênio das camadas subsuperficiais com a integração de biomassa (SILVA et. al., 2003).

Entretanto, as doses de nutrientes disponibilizadas pelas gramíneas podem ser iguais ou maiores às inseridas pelas leguminosas. Isso depende da quantidade de fitomassa e dos teores de lignina, nitrogênio, celulose e hemicelulose na parte aérea da planta (CARVALHO et. al., 2011; CARVALHO et. al., 2012).

#### 2.1.2.2 Soja (*Glycine max*)

Atualmente, a cultura da soja é a oleaginosa mais produzida no mundo. De acordo com dados obtidos pela CONAB, 2021, na safra 2020/2021 a produção alcançou o patamar de 366,2 milhões de toneladas, sendo o Brasil o maior produtor, contando com 138 milhões de toneladas. O segundo maior produtor mundial foi os EUA, com 114,7 milhões de toneladas. Cenário um diferente do que se tinha na safra 2018/19, onde essa colocação se inverteia.

O Brasil é o maior exportador de soja no mundo, com 81,7 milhões de toneladas exportadas, tendo a China como principal importadora, cerca de 55 milhões de toneladas da produção de soja brasileira é destinada ao país (USDA 2021; CONAB, 2021).

Em concordância com dados da safra 2020/21, no Brasil o maior produtor de soja foi o estado do Mato Grosso, com produção de 35,9 milhões de toneladas, seguido pelo Rio Grande do Sul com 20,1 milhões de toneladas e em terceiro lugar, o estado do Paraná com 19,8 milhões de toneladas. A produtividade nacional é de 3.517 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a média paranaense é de 3.537 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021).

Os fatores ambientais influenciam diretamente na produtividade da soja, principalmente quando se trata de comprimento do dia e da temperatura (CARVALHO et. al.,



2002), visto que é uma planta de dia curto e temperatura ideal entre 20 e 30°C (GARCIA et. al., 2007).

### 2.1.2.3 Trigo (*Triticum aestivum* L.)

O trigo é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ficando atrás apenas da cultura do milho. Sua produção mundial na safra 2020/21 estimou-se em 773,6 milhões de toneladas, tendo como os maiores produtores China, União Européia, Índia, Rússia, EUA, Canadá, Austrália, Paquistão, Ucrânia e Turquia (COÊLHO, 2021).

De acordo com a CONAB, 2021, a China que anteriormente ocupava a segunda posição do ranking, neste levantamento retorna à primeira colocação, com produção estimada de 136 milhões de toneladas, seguida da União Europeia, a segunda maior produtora, contando com 135,8 milhões de toneladas.

O Brasil segue na 15ª posição, com produção estimada de 6,2 milhões de toneladas de trigo. Os estados da região sul do país são os responsáveis por 88,7% da produção nacional, onde o estado do Paraná foi o maior produtor, com 3,08 milhões de toneladas, seguido do Rio Grande do Sul, que produziu 2,2 milhões de toneladas e, por último, Santa Catarina, com 181 mil toneladas. Apesar do baixo volume de produção, a maior produtividade encontra-se no estado de Santa Catarina, com 3.350 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021).

Esta cultura é de suma importância para os produtores sulistas, pois é cultivada no período de inverno, quando não há nenhuma outra cultura que proporcione retorno financeiro semelhante à soja e/ou milho, sendo possível usufruir da infraestrutura da propriedade não só para as culturas de verão. A adoção do seu cultivo no período de inverno otimiza a possibilidade de rotação de culturas, auxilia na dinâmica de manejo de plantas daninhas e pode ainda melhorar a produtividade da soja cultivada na sequência devido a persistência de sua palhada residual (CANZIANI; GUIMARÃES, 2009).

Como nas demais culturas, a qualidade e produtividade deste cereal tem alta dependência das condições ambientais, sendo ideal baixa precipitação pluviométrica e não ocorrência de geada no período de reprodução e colheita. A temperatura média deve ser menor que 25°C no período de seu desenvolvimento inicial, para que haja um bom perfilhamento e produtividade (PASINATO et. al., 2014).

## **2.2 Benefícios das plantas de cobertura para o solo**

Cultivando diversas espécies de plantas de cobertura, é possível melhorar a conservação do solo e da matéria orgânica, além de proporcionar grande aumento no rendimento das culturas subsequentes, e proporcionar significativa viabilidade econômica (CALEGARI, 2006).

Entre as espécies utilizadas na adubação verde, as leguminosas se destacam por formar associações simbióticas com bactérias que realizam a fixação de  $N_2$ , e a baixa relação C/N, associada à existência de compostos solúveis, auxilia na rápida decomposição e mineralização, com significativo aporte de nitrogênio ao sistema solo-planta (AITA et. al., 2001; PERIN et. al., 2004; FERREIRA et. al., 2011; PARTELLI et. al., 2011).

Em contrapartida, a utilização de gramíneas pode diminuir a perda de N, através de reciclagem de nutrientes e imobilização em sua fitomassa, ao mesmo tempo em que sua baixa decomposição, beneficiada pela alta relação C/N, oferece cobertura por um período maior ao solo (PERIN et. al., 2004; CABEZAS et. al., 2004).

Conforme os estudos de Heinzmann, 1985, o nabo forrageiro é uma espécie que possui potencial para elevar a disponibilidade de nitrogênio no solo. Essa espécie não contém a capacidade de realizar fixação de  $N_2$  atmosférico, entretanto, possui capacidade elevada de extrair nitrogênio de camadas mais profundas do perfil de solo.

Algumas plantas de cobertura de verão possuem o benefício de produzir uma grande quantidade de massa verde, alta quantidade de nitrogênio fixado biologicamente e realizam a cobertura do solo durante os períodos de chuvas mais intensas, sendo o maior ponto crítico, a utilização do solo no decorrer do período em que são cultivadas as principais culturas comerciais de verão (TAVARES et al., 2008). Já as plantas de cobertura de inverno protegem os solos no período de entressafra, colaboram no controle de pragas e plantas daninhas e diminuem a lixiviação de nutrientes no perfil do solo (CALEGARI, 2002; CARVALHO et al., 2015). Em geral, as plantas de cobertura e os adubos verdes exercem função importante na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles oriundos de fertilização mineral, que não são aproveitados totalmente pelas plantas, quanto daqueles provindos de mineralização da MOS (TORRES et. al., 2008).

Ademais, quando se utiliza plantas de coberturas em conjunto com sucessão de culturas (milho-soja), em plantio direto, há melhoria nas propriedades físicas do solo, como por exemplo, porosidade, resistência à penetração e densidade do solo, proporcionando diminuição da compactação do solo, melhoria na infiltração e retenção da água no perfil e controle na erosão, os quais são fatores de suma importância para a sustentabilidade da atividade agrícola (KAUANO; PASSOS, 2008; ALVES; SUZUKI, 2004).

### 2.3 Atributos químicos do solo

A utilização intensiva do solo, sem que haja um planejamento e controle, gera uma diminuição da sua fertilidade, sendo necessário adubações cada vez maiores, com o objetivo de obter as mesmas produtividades nos cultivos. Deste modo, é importante conhecer os atributos químicos do solo, pois são essenciais para as recomendações de fertilizantes e corretivos (CQFS - RS/SC, 2004).

Entre os variados atributos químicos do solo, o Potencial Hidrogeniônico (pH), teores de Cálcio (Ca), Potássio (K), Fósforo (P), Capacidade de troca catiônica (CTC) e Matéria Orgânica (M.O.), merecem destaque por conta de sua importância. A partir desses e outros atributos é possível realizar o cálculo de Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC ou T), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC Efetiva ou t), acidez potencial (H + Al), Saturação por Alumínio (m) e Saturação por Bases (V) (ZANON, 2013).

No solo existem macros e micronutrientes, estes são considerados essenciais para que as plantas completem seu ciclo. Os macronutrientes são necessários em grandes quantidades e têm função estrutural para as plantas, sendo eles o N, P, K, Ca, Mg e S. Os micronutrientes são necessários em menores quantidades, fazem parte das enzimas e possuem função reguladora, são eles o Cl, Fe, Cu, Mo, Zn, Mn e B. A divisão entre os macronutrientes e micronutrientes não significa que um tenha mais importância que o outro para as plantas, eles apenas são necessários em quantidades e concentrações distintas (AGROLINK, n.d.).

A CTC do solo representa a quantidade de cátions presentes na superfície do complexo ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$ ), que representa a graduação da capacidade de liberação dos nutrientes. Pode-se dizer que quando o solo estudado apresenta condições ao pleno desenvolvimento da planta, o percentual elevado de CTC é ocupado por cátions essenciais, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , em condições de equilíbrio de cátions. De outro ponto de vista, quando um alto percentual de CTC é ocupada por cátions possivelmente tóxicos, por exemplo,  $\text{H}^{+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , é possível que as culturas da área sofram com o efeito da acidez (RONQUIM, 2010).

A SB é representada pela soma dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$ . Por sua vez, a Saturação por Bases (V%), é a relação entre a SB e CTC, sendo um indicativo importante das condições gerais de fertilidade do solo. Diante disso, os solos são classificados em eutrófico (quando V% é maior ou igual a 50%) e distróficos (quando V% é menor que 50%). Quando o índice de V% está baixo, isso significa que a maioria das cargas negativas dos colóides do

solo está sendo neutralizada por  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ , sendo que o indicado para a maioria das culturas são valores entre 50 e 80% (LOPES; GUILHERME, 2007).

O P é um elemento fundamental para o crescimento das plantas, isso se dá porque ele compõe as macromoléculas essenciais como DNA, RNA, ADP e ATP, e participa ativamente no transporte de energia na planta e na divisão celular. Outra função de suma importância do P é na formação estrutural das membranas. O P pode ser encontrado no solo em formas orgânicas, que não são absorvidas pelas plantas, e para que ocorra essa absorção é necessário que ocorra o processo de mineralização para conversão do P em inorgânico (NUNES et. al., 2013). Este nutriente é absorvido pelas plantas em quantidades menores que o N, mas em solos intemperizados, esse elemento é o mais utilizado nas adubações por conta da capacidade de alguns solos em adsorver fosfatos, que formarão complexos de superfície de esfera interna, o deixando inutilizável para as plantas absorverem (VILAR; VILAR, 2013).

Diferente de outros nutrientes, o K não tem função estrutural na planta, mas é fundamental na sua nutrição, por realizar a regulação das enzimas relacionadas à fotossíntese, por exercer função imprescindível na abertura e fechamento dos estômatos, regulando a turgidez das células, além de influenciar no crescimento radicular e, também, na qualidade dos frutos (KANO, et. al., 2010; ELMER; DATNOFF, 2014).

Ante a importância do conhecimento dos atributos químicos para o manejo adequado do solo, vários estudos são desenvolvidos partindo da análise destes, principalmente avaliando a interação entre os sistemas de manejo e a disponibilidade nutricional das plantas (ZANON, 2013).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da área e caracterização do local

O estudo foi conduzido da safra verão de 2018 à safra verão de 2020/2021, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV) – Paraná, localizada a 25° 33' Sul e 51° 29' Oeste a uma altitude média de 530 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (subtropical úmido), a temperatura média do mês mais quente é 22°C e do mês mais frio 18°C e a precipitação média anual é de 2.029 mm (IAPAR, 2021).

O tipo de solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, com textura argilosa e relevo suave (BHERING et al., 2009). A área onde o experimento está localizado (Figura 1) vem sendo manejada com sistema de plantio direto desde a década de 90, com utilização de sistema de rotação de culturas e práticas conservacionistas de manejo de solo, como a adoção de terraço base larga.

**Figura 1 - Imagem da área experimental localizada na UTFPR-DV antes do início do estabelecimento do experimento, em 2018 (à esquerda), e, posteriormente, com o experimento estabelecido, em 2019 (à direita).**



**Fonte: Autoria própria (2020).**

#### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O estudo consiste em avaliar os atributos químicos do solo que foi cultivado sobre quatro sistemas de produção, sendo estes em esquema fatorial 4x7 em delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. As diferentes profundidades de amostragem não entraram como fator, sendo realizada uma análise para cada profundidade (0-10, 10-20 e 20-40 cm). Apenas para o melhor entendimento dos dados

iniciais da fertilidade, foi considerado a profundidade como fator, considerando um delineamento de quatro sistemas de produção e três profundidades, porque ainda não havia o efeito dos diferentes manejos na segunda safra de verão. Desta forma, o fator A refere-se a 4 sistemas de produção (2 sistemas de sucessão e 2 sistemas de rotação conforme quadro 1) e o Fator B ao uso de solo na segunda safra de verão com viés comercial (soja, milho, feijão) ou plantas de cobertura (crotalária, lablab, milheto, brachiaria, mix) totalizando 7 subparcelas, que serão compostas por uso de plantas de cobertura e culturas de grãos na safrinha.

As unidades experimentais do fator A são formadas por parcelas de 56 metros de comprimento por 40 metros de largura totalizando 2240 m<sup>2</sup> por parcela, dentro dessas parcelas estão inseridas as subparcelas (fator B), compostas por duas passadas de semeadora (4,5 metros de largura) e 56 metros de comprimento. Desta forma, eram 12 parcelas em três blocos (4 sistemas x 3 repetições) com 7 subparcelas em cada um, conforme mostra a figura 2.

**Figura 2 - Área do experimento com as 12 parcelas distribuídas a campo.**



**Fonte: Autoria própria (2020).**

O quadro 1 apresenta os quatro sistemas de produção considerando dois sistemas de sucessão de culturas (sistema 1 - milho/soja safrinha e sistema 2 - soja/milho safrinha) e dois sistemas de rotação de cultura (sistema 3 e 4). É possível observar também o planejamento

para três anos agrícolas (Ano 1, 2 e 3), sendo a parcela principal representada pelo cultivo na safra e as subparcelas pela segunda safra de verão (safrinha).

**Quadro 1 - Espécies utilizadas nos 4 sistemas de produção ao longo do período de três anos agrícolas.**

Sistema	Ano 1		Ano 2		Ano 3 –				
	Parcela principal	Sub-parcela Entressafra	Parcela principal	Sub-parcela Entressafra	Parcela principal	Sub-parcela entressafra			
1	Milho	Soja	Av + Nabo *	Milho	Soja	Av + Nabo	Milho	Soja	Av + Nabo
		Feijão	Av + Nabo		Feijão	Av + Nabo		Feijão	Av + Nabo
		Crotalária	Av + Nabo		Crotalária	Av + Nabo		Crotalária	Av + Nabo
		Lab Lab	Av + Nabo		Lab Lab	Av + Nabo		Lablab	Av + Nabo
		Milheto	Av + Nabo		Milheto	Av + Nabo		Milheto	Av + Nabo
		-	-		Mix	Av + Nabo		Mix	Av + Nabo
		Brachiaria	Av + Nabo		Brachiaria	Av + Nabo		Brachiaria	Av + Nabo
2	Soja	Feijão	Aveia	Soja	Feijão	Aveia	Soja	Feijão	Aveia
		Milho	Aveia		Milho	Aveia		Milho	Aveia
		Crotalária	Aveia		Crotalária	Aveia		Crotalária	Aveia
		Lab Lab	Aveia		Lab Lab	Aveia		Lablab	Aveia
		Milheto	Aveia		Milheto	Aveia		Milheto	Aveia
		-	-		Mix	Mix		Mix	Mix
		Brachiaria	Aveia		Brachiaria	Aveia		Brachiaria	Aveia
3	Feijão	Soja	Av + Nabo	Milho	Soja	Av + Nabo	Soja	Milho	Av + Nabo
		Milho	Av + Nabo		Feijão	Av + Nabo		Soja	Av + Nabo
		Crotalária	Av + Nabo		Crotalária	Av + Nabo		Crotalária	Av + Nabo
		Lab Lab	Av + Nabo		Lablab	Av + Nabo		Lablab	Av + Nabo
		Milheto	Av + Nabo		Milheto	Av + Nabo		Milheto	Av + Nabo
		-	-		Mix	Av + Nabo		Mix	Mix
		Brachiaria	Av + Nabo		Brachiaria	Av + Nabo		Brachiaria	Av+Nabo
4	Soja	Crotalária	Trigo	Soja	Feijão	Av + Nabo	Milho	Soja	Trigo
		Brachiaria	Trigo		Milho	Av + Nabo		Feijão	Trigo
		M+C*	Trigo		Brachiaria	Av + Nabo		Brachiaria	Trigo
		Milheto	Trigo		Milheto	Av + Nabo		Milheto	Trigo
		Lab Lab-	Trigo		Mix	Av + Nabo		Mix	Trigo
		-	-		Crotalária	Av + Nabo		Crotalária	Trigo
		Pousio	Trigo		Lablab	Av + Nabo		Lablab	Trigo

\* Av + Nabo: consórcio aveia + nabo. M+C: Milheto + Crotalária. Mix: Milheto+Crotalária+Brachiaria. Fonte: Autoria própria (2021).



### 3.3 Instalação e condução do experimento

Foram utilizados dados iniciais dos parâmetros da fertilidade do solo, com uma avaliação na safra verão 2018/2019 e uma final na safra verão 2020/2021, porém, o experimento segue perene em campo com intenção de se obter análises para os próximos anos.

Para implantação das parcelas foi utilizada uma semeadora - adubadora de arrasto hidráulica da marca SEMEATO® modelo SHM 11/13, composta por 5 linhas e acoplada a um trator John Deere® 5605.

A área vem de um histórico de plantio direto, com conservação do solo, ainda em 2018, foram aplicadas 2,5 toneladas por hectare de calcário para correção do solo e elevação do pH.

O espaçamento entre blocos foi de 10 metros de largura, a fim de facilitar as manobras do conjunto trator – semeadora. O espaçamento entre linhas adotado para a cultura da soja, milho e feijão foi de 0,45 metros com profundidade de semeadura entre 3 e 4 cm. Para a cultura do trigo e as plantas de cobertura se utiliza espaçamento de 17 e 34 cm entre linhas respectivamente.

A semeadura das culturas de grãos (soja, milho, feijão, trigo) foi realizada conforme zoneamento agroclimático da região em todos os anos, ocorrendo em alguns momentos à antecipação em alguns dias em função das boas condições de ambiente para semeadura (ex: antecipação do milho devido às boas condições de umidade do solo). Em relação aos ciclos vegetativos das espécies, foram adotados genótipos unindo a época de semeadura, com o objetivo de viabilizar a segunda safra de verão, onde se optou por materiais de ciclo precoce ou superprecoces posicionados dentro da janela produtiva. Em síntese, buscou-se adotar um nível intermediário, para não favorecer um sistema em detrimento do outro.

As cultivares de soja utilizadas no verão no primeiro ano foi Nidera 5445IPRO® para os sistemas 2 (semeadura 21/09/2018) e 4 (semeadura 23/10/2018) e na safra 2019/2020 optou-se pela utilização das cultivares Pioneer 95R90IPRO® (sistema 2) e Pioneer 95R51 IPRO® (sistema 4) com semeadura realizada nos dias 13 de setembro e 11 de outubro de 2019, respectivamente, já na safra 2020/2021 a cultivar adotada foi novamente a Pioneer 95R51IPRO® (sistema 2 e 3), semeadas em 29 de setembro.

Para a escolha das cultivares, considerou-se seu potencial produtivo na região, assim como seu ciclo, visando uma boa produtividade na safra e a viabilidade da cultura na segunda safra. Neste sentido, a semeadura da soja safrinha ocorreu nos dias 01 de fevereiro (sistema

01), 03 de janeiro de 2019 (sistema 3) e 24 de janeiro de 2020 (sistemas 1 e 3) na segunda safra. Ainda no terceiro ano, foi semeada no dia 09 de fevereiro. A cultivar de soja semeada foi a TMG 7062IPRO<sup>®</sup> para ambos os anos estudados. Isso por ser um material com grupo de maturação 6.2 e apresentar maior potencial de rendimento na safrinha.

Para o milho no verão foi utilizado o híbrido Pioneer 30F53VYHR<sup>®</sup> com semeadura realizada no dia 30 de agosto, para ambos os sistemas utilizados (sistema 1 e 3 na safra) nos dois primeiros anos, já no terceiro ano foi adotado o híbrido Pioneer 3016VYHR<sup>®</sup> com semeadura em 27 de agosto, para os sistemas 1 e 4. Vale ressaltar que, no sistema 3, a cultura do milho foi utilizada somente na safra 2019/2020, pois na safra anterior utilizou-se a cultura do feijão e na safra 2020/2021 soja. No primeiro ano, a semeadura de milho na segunda safra ocorreu nos dias 01 de fevereiro (pós-soja) e 03 de janeiro de 2019 (pós-feijão) respectivamente. O híbrido Pioneer 3380HR<sup>®</sup> foi semeado na segunda safra em ambos os sistemas no primeiro ano de estudo, enquanto que, para o segundo ano utilizou-se o híbrido P3754PWU com plantio realizado nos dias 24 de janeiro e 18 fevereiro de 2020 (sistemas 2 e 4) e no terceiro ano o híbrido P3282VYH, semeado em 09 de fevereiro (sistemas 2 e 3).

O plantio do feijão na safra de verão (2018/2019) foi realizado no dia 26 de setembro de 2018 (sistema 03), sendo utilizado a cultivar ANFC09<sup>®</sup>. Nos dois anos seguintes, não foi estabelecido o feijão na safra, apenas em safrinha. Para tanto, foi adotada a cultivar ANFC110<sup>®</sup> com semeadura realizada no dia 01 de fevereiro de 2019 (sistemas 1 e 2), no primeiro ano. No segundo e terceiro ano o feijão foi semeado apenas na segunda safra, em todos os sistemas estudados, onde a semeadura da cultivar ANFC09<sup>®</sup> ocorreu nos dias 24/01/2020 para os sistemas 1, 2 e 3 e 18/02/2020 para o sistema 4 no segundo ano, e terceiro ano foi utilizado a cultivar triunfo, semeada dia 09/02 em todas as parcelas. As diferenças entre épocas de semeadura ocorrem em função dos distintos arranjos entre os sistemas de produção. Soja cultivada após trigo, automaticamente atrasa a semeadura do feijão na segunda safra.

As plantas de cobertura foram semeadas após a colheita das culturas de verão (teor de umidade de 22% para milho, 16% para soja e 13% para feijão) (Quadro 1) com taxa de semeadura de 20 kg ha<sup>-1</sup> de Crotalária e Milheto, 12 kg ha<sup>-1</sup> de Urochloa e 35 kg ha<sup>-1</sup> de Lablab. Na safrinha de 2019 os sistemas 1, 2 e 3 receberam as plantas de cobertura de forma isolada, ou seja, cada planta de cobertura em uma subparcela, enquanto que no sistema 4 optou-se também pela implantação de mix de plantas de cobertura associado ao uso destas isoladamente. Já nos demais anos foi incluído uma subparcela de mix de plantas em todos os sistemas. No primeiro ano de estudo, utilizou-se o mix de Milheto + Crotalária (14 + 6 kg ha<sup>1</sup>)

e no segundo e terceiro ano, optou-se pelo uso do mix de Milheto + Crotalária + Urochloa (12 + 6 + 4 kg ha<sup>-1</sup>).

Após o cultivo das plantas de cobertura, foi realizado no primeiro ano de cultivo, a semeadura de aveia (30 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo (10 kg ha<sup>-1</sup>) nos sistemas 1 e 3, e aveia solteira (50 kg ha<sup>-1</sup>) no sistema 2, e trigo no sistema 4. A semeadura da entressafra ocorreu no dia 29/04/2019 para todos os sistemas onde foram cultivadas as plantas de cobertura de inverno. No segundo ano, o sistema 4 não recebeu o cultivo de trigo e posicionou-se o consórcio de aveia+ nabo, assim como os sistemas 1 e 3. Já no sistema 2 manteve-se o cultivo da aveia solteira, com data de semeadura em dia 25/05/2020 para os sistemas. No terceiro ano, se manteve a estratégia de aveia solteira (sistema 2) e aveia+nabo (sistema 2 e 3), com semeadura no dia 08/05/2021, ainda no terceiro ano o trigo foi novamente estabelecido no sistema 4.

O trigo foi semeado via semeadora de fluxo contínuo no primeiro ano na data de 27 de maio de 2018, e no 3º ano no dia 19 de maio de 2021, com espaçamento entre linhas de 17 cm e profundidade de semeadura de 2,5 cm. A cultivar de trigo utilizada no experimento foi a TBIO Toruk® e TBIO Audaz com taxa de semeadura de 150 kg ha<sup>-1</sup> no primeiro e 3º ano respectivamente.

Com relação a correção do solo, foi aplicado 3 toneladas de calcário calcítico em setembro de 2018 a fim de elevar o pH para 6,0. Com relação à adubação de base das culturas, na safra 2018/19 e 2019/20, foi padronizada uma aplicação de 130 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 65 kg de K<sub>2</sub>O, divididos da seguinte forma: 350 kg há<sup>-1</sup> do formulado 05-20-10 aplicados na safra de verão e 300 kg ha<sup>-1</sup> do mesmo formulado na segunda safra. A diferença para o total de K<sub>2</sub>O, foi aplicado via cloreto de potássio em cobertura após a semeadura das culturas de verão. Na safra 2020/21, foi utilizado o formulado 04-30-10 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>, para a primeira safra e 160 kg ha<sup>-1</sup> na segunda safra de verão para todos os tratamentos, totalizando 138 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 46 kg de K<sub>2</sub>O hectare ano. Também foram aplicados equivalente a 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> via uso de cloreto de potássio em cobertura. O trigo foi semeado apenas uma adubação de 150 kg de ureia na base no terceiro ano, uma vez que o P e K haviam sido aplicados na planta de cobertura cultivada anteriormente, seguindo uma lógica de adubação de sistemas e visando reduzir o impacto da mobilização de nitrogênio nas subparcelas que continham gramíneas.

A adubação de cobertura foi baseada na aplicação de fontes de nitrogênio e potássio, sendo que o nitrogênio foi aplicado entre os estádios V4 e V6 na cultura do milho (180 kg há<sup>-1</sup> na 1º safra e 100 kg ha<sup>-1</sup> na 2º para o milho), e V2 a V3 no feijão (60 kg N ha<sup>-1</sup>) enquanto

que, a soja, e plantas de cobertura receberam apenas o nutriente através da adubação de base. O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados conforme recomendação da Embrapa (PIRES et al., 2014), assim como os demais manejos utilizados.

Para avaliação das características químicas do solo (uma avaliação inicial em 2018 e uma final em 2020), seguiu-se a metodologia de coleta de amostras compostas de três sub amostras, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, para cada uma das subparcelas de cada sistema de produção, utilizando um trado do tipo Holandês de 2” de aço inox.

Posterior à coleta, as amostras foram acomodadas em sacos plásticos, com as respectivas identificações, em seguida foram levadas para secar ao ar livre, seguindo posteriormente para o processo de destorroamento, passando pela peneira com malha de 2,0 mm de diâmetro, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Em seguida, as amostras (totalizando 252 amostras) foram encaminhadas ao laboratório Labsolos da cidade de Pato Branco para análises químicas, sendo avaliado: pH em  $\text{CaCl}_2$  (relação 0,01 M), teores de fósforo e sódio (P e Na), e de potássio (K) extraídos por Mehlich<sup>-1</sup> (relação 1:10) o K disponível, por fotometria de chama; e MO por fotolorimetria; o hidrogênio + alumínio (H+Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis extraídos por  $\text{KCl}^1$  mol  $\text{L}^{-1}$ . As determinações foram realizadas seguindo métodos descritos por Tedesco et al. (1995). Após as determinações e com posse das análises, seguiu-se com os cálculos de soma de bases (SB), CTC em pH 7,0 e a saturação por bases (V). Ao final foram fornecidos laudos com os dados da química do solo para posterior análise e processamento.

### **3.4 Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P < 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ), assim seguindo os desdobramentos necessários com auxílio do programa estatístico STATGRAPHICS<sup>®</sup> (MANUGISTICS, 1997).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Parâmetros iniciais de fertilidade do solo - Safra 2018/2019

Inicialmente, em 2018, foi realizada uma caracterização química do solo (Tabela 1), na qual é possível observar que os teores dos principais nutrientes se encontravam em teores médios a muito altos, conforme Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, 2019, apontando um solo fértil.

**Tabela 1 - Variáveis da análise inicial do solo (Ca, Mg, SB, H+Al e CTC em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , K em  $\text{mg dm}^{-3}$ , pH em  $\text{CaCl}_2$ , e M.O. em  $\text{g dm}^{-3}$ ) nas diferentes profundidades. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Profundidade	M.O.	pH	K	Ca	Mg	SB	V%	H+Al	CTC
0-10	43,13 a	5,53 a	242,12 a	6,34 a	2,20 a	9,16 a	69,69 a	4,03 b	13,21 a
10-20	35,91 b	5,15 b	148,52 b	5,30 b	2,23 a	7,92 b	63,16 b	4,71 a	12,62 a
20-40	29,79 c	4,80 c	79,95 c	4,21 c	1,75 b	6,14 c	52,13 c	5,28 a	11,44 b
P (< 0,05)	0,0002	0,0000	0,0000	0,0005	0,0121	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000
CV	5,38	6,04	18,15	20,86	20,59	15,88	10,53	14,88	6,01

**Letras minúsculas na coluna. Fonte: Autoria própria (2021).**

Observa-se que as variáveis M.O, pH, K, Ca, SB, V% diminuem seus teores com o aumento da profundidade do solo, o que já era esperado, dado o fato que teores de matéria orgânica (M.O), por exemplo, são encontrados em maior quantidade na camada superficial do solo, por conta das práticas de manejo do sistema plantio direto que vinha sendo aplicado, beneficiando o aumento da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (WUTKE, 2014), assim como pela baixa mobilidade de alguns nutrientes quando se adota apenas adubação mineral.

Para a variável magnésio (Mg), não houve diferença entre as camadas de 0-10 e 10-20 cm, no entanto, estas diferiram da camada de 20-40 (Tabela 1). Estas diferenças são explicadas pelo manejo dos corretivos e fertilizantes, onde, no sistema plantio direto, adotado no experimento, a calagem é feita em cobertura e os fertilizantes depositados no sulco a uma profundidade de 6 a 8 cm.

Para a variável H+Al observa-se que as profundidades de 10-20 e 20-40 cm não apresentaram diferenças entre si. Em relação ao teor de CTC do solo, os valores não diferiram nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, apresentando superioridade quando comparado a profundidade de 20-40 cm (Tabela 1).

Ainda, para as variáveis M.O, pH, V%, H+Al e CTC (Tabela 2) ocorreu diferença em relação ao sistema, onde para M.O. o sistema 4 foi superior aos demais sistemas, esse resultado possivelmente pode estar relacionado a aleatoriedade nas amostragens, uma vez que, nesse período ainda não tinha efeito direto dos tratamentos.

**Tabela 2 - Variáveis da análise inicial do solo (M.O. em g dm<sup>-3</sup>, pH em CaCl<sub>2</sub>, H+Al e CTC em cmol. dm<sup>-3</sup>) em relação aos diferentes sistemas de produção na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Tratamentos	M.O.	pH	V%	H+Al	CTC
Sistema 1	33,66 c	4,88 b	57,20 <sup>ns</sup>	5,04 a	11,85 b
Sistema 2	36,97 b	5,16 b	61,86	4,66 a	12,63 a
Sistema 3	36,12 b	5,44 a	66,68	4,03 b	12,30 b
Sistema 4	38,57 a	5,15 b	60,90	4,98 a	12,91 a
P (< 0,05)	0,0002	0,0105	0,0412	0,0209	0,0363
CV	5,38	6,04	10,53	14,88	6,01

**Letras minúsculas na coluna. Fonte: Autoria própria (2021).**

Em relação ao pH, o sistema 3 apresentou superioridade em relação aos demais (Tabela 2), no entanto, para a maioria dos sistemas os índices de pH se encontram adequados para as culturas que foram implantadas na sucessão. Segundo, Fageria e Zimmermann (1998) o pH ideal para as culturas produtoras de grãos, como soja, feijão, milho e trigo, está em torno de 6,0. O pH do solo pode afetar diretamente as raízes da planta e alterar a capacidade de absorção de outros nutrientes. Se ele for superior a 8,0, a planta pode não conseguir absorver Fe, Zn, e Mn suficientes para si, apesar da disponibilidade alta de fósforo (DHALIWAL et. al., 2019).

Para V% os sistemas não diferiram entre si. Já para H+Al, os sistemas 1, 2 e 4 não diferem entre si, sendo superiores ao sistema 3. Para CTC não houve diferença entre os sistemas 2 e 4, que foram superiores aos demais (Tabela 2), apontando que o estado nutricional/químico inicial do solo se encontrava em bom estado, de acordo com os dados obtidos nas análises de solo iniciais.

Em relação aos teores iniciais de fósforo (P) no solo, houve interação entre os sistemas de produção versus profundidade de amostragem (Tabela 3), onde foi possível observar que para todos os sistemas, o teor de P diminuiu à medida que a profundidade de amostragem aumentou, ressaltando que mesmo em histórico de sistema de plantio direto, este nutriente não apresenta mobilidade no perfil do solo. Em estudos realizados por Bertol et al. (2010) estes dados se confirmam, demonstrando que o P se concentra na camada superficial

do solo, principalmente nos primeiros 2,5 cm de profundidade. A baixa mobilidade deste nutriente é confirmada pelo seu acúmulo nas camadas superficiais do solo, pelo fato da ocorrência de aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, decomposição da matéria orgânica e baixa fixação em consequência do pequeno contato com os componentes inorgânicos do solo (PEREIRA, 2009).

**Tabela 3 - Interação entre sistema de produção versus profundidade de amostragem para a variável fósforo (P). Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Sistema x profundidade	P mg dm <sup>-3</sup>		
	0-10	10-20	20-40
Sistema 1	28,94Aa	9,97 Ab	2,04 Ac
Sistema 2	20,10Ba	13,15Ab	2,43 Ac
Sistema 3	28,01Aa	11,49Ab	2,82 Ac
Sistema 4	30,32Aa	11,74Ab	3,23 Ac
P (< 0,05)	0,0478		
CV	25,26		

**Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha. Fonte: Autoria própria (2021).**

Entre os sistemas de produção, para a profundidade de 0-10 cm, o sistema 2 apresentou menores teores de P em relação aos demais sistemas. Para a profundidade de 10-20 e 20-40 não houve diferença entre os sistemas de produção, mostrando que a área tinha um histórico de manejo similar (Tabela 3).

No sistema de plantio direto dá-se um aumento de M.O. nas camadas superficiais do solo por conta da presença de palhada, a qual tende a diminuir conforme aumenta a profundidade. Gonçalves et al. (1985), expõe que uma das características importantes que ocasionam a adsorção do P é a matéria orgânica, que possui interação com óxidos de Al e Fe, e, por conta disso, ocorre uma redução dos sítios de fixação. Desta forma, a fixação do P tende a ser menor, e, em decorrência disso, a planta aproveita melhor o elemento proveniente da adubação fosfatada.

A disponibilidade de P em sistema de plantio direto pode aumentar em até 1,4 mg dm<sup>-3</sup> por ano, em virtude das aplicações recorrentes de fertilizantes. A decomposição de resíduos vegetais, gerando liberação de fósforo orgânico, também colabora para tal acúmulo, que, a depender da espécie de cobertura utilizada, pode ser redistribuído no perfil (CORRÊA et al., 2003).

Ainda, teores de fósforo por possuírem baixa mobilidade no perfil do solo, são beneficiados pelo sistema de rotação de culturas com inclusão de diversas espécies com distintos sistemas radiculares, portanto, esses dados iniciais apontam que mesmo tendo histórico de plantio direto, o manejo de rotação até então adotado não foi suficiente para levar o fósforo em profundidade.

#### 4.2 Parâmetros da fertilidade do solo na Safra 2020/2021

Após o estabelecimento dos sistemas de produção, com diferentes manejos em safra e safrinha, podem-se observar os efeitos dos sistemas de produção sobre as variáveis de fertilidade do solo, as quais foram avaliadas de forma separada por profundidade de amostragem (0-10; 10-20 e 20-40 cm).

É possível observar na tabela 4, que as variáveis M.O. e pH não apresentaram interação para nenhuma das profundidades analisadas, porém, diferiram quanto ao sistema de produção.

**Tabela 4 - Variáveis da análise do solo (M.O. em  $\text{gdm}^{-3}$  e pH em  $\text{CaCl}_2$ ) em relação aos diferentes sistemas de produção nas diferentes profundidades. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Tratamento	Sistemas de Produção					
	0-10 cm		10-20 cm		20-40 cm	
	M.O.	pH	M.O.	pH	M.O.	pH
Sistema 1	41,27 b	5,75 <sup>ns</sup>	36,60 b	5,12 b	26,76 b	4,92 ab
Sistema 2	41,07 b	5,86	37,83 b	5,23 ab	31,94 a	4,95 ab
Sistema 3	44,18 a	5,93	41,18 a	5,38 a	29,69 ab	5,03 a
Sistema 4	38,44 c	5,94	36,56 b	5,13 b	28,68 ab	4,80 b
Média	41,24	5,87	38,04	5,22	29,27	4,92
P (< 0,05)	0,0000	0,3912	0,0001	0,0269	0,0016	0,0118
CV	7,57	6,6	8,8	5,78	13,95	4,57

**Letras minúsculas na coluna. Fonte: Autoria própria (2021).**

Na profundidade de 0-10 e 10-20 cm os maiores teores de M.O. foram encontrados para o sistema 3 (Tabela 4), o qual adota manejo de rotação de culturas com plantas de cobertura nas entressafras de verão e inverno. Já para a profundidade de 20-40 cm, o sistema 2 foi superior ao sistema 1, que adota o cultivo de milho, apontando uma maior concentração de teores de matéria orgânica no sistema que adota soja na safra de verão e aveia no inverno.



Isso se dá por conta da soja ser uma leguminosa e pertencer ao grupo de culturas que possuem baixa relação C/N, apresentando rápida decomposição e alta mineralização de nutrientes, o que faz com que ela seja uma ótima fonte de nutrientes para o solo (MENEZES, 2018). Ao contrário da soja, o milho é uma gramínea que possui alta relação C/N, portanto sua decomposição ocorre de forma mais lenta (ALVARENGA et al., 2001).

Na profundidade de 0-10 cm, o baixo teor de M.O. no sistema 4 (Tabela 4) pode ser efeito da adoção de pousio na entressafra de 2019, onde a falta de cobertura quando comparado aos demais sistemas que sempre apresentavam elevada biomassa, acabou reduzindo os teores de matéria orgânica superficial neste respectivo sistema.

Para a profundidade de 10-20 cm ocorreu diferença para o teor de M.O. em função do uso do solo na segunda safra de verão (Tabela 5), onde a adoção de Lablab se destacou em relação uso de soja e milho safrinha, porém não distinguiu do uso das demais espécies de cobertura.

**Tabela 5 - Uso de solo na safrinha na profundidade de 10-20 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**  
Uso de Solo na Safrinha - 10-20 cm

Tratamento	M.O. g dm <sup>-3</sup>
Feijão	36,16 b
Soja	36,08 b
Milheto	38,64 ab
Crotalária	39,41 ab
Lablab	40,54 a
Mix	38,92 ab
Brachiária	36,55 ab
Média	38,047
P (<0,05)	8,8
CV	0,0076

**Letras minúsculas na coluna. Fonte: Autoria própria (2021).**

Ainda, é possível observar que o uso de culturas de grãos apresenta valores de M.O. semelhantes ao uso de milheto, crotalária, mix e brachiaria (Tabela 5), apontando um incremento oriundo da palhada semelhante entre essas espécies, justificado possivelmente pela fisiologia de cada cultura, onde as gramíneas possuem tecidos mais lignificados e, portanto, mais persistentes no solo, assim como, a elevada produção de biomassa entregue

pelo mix de cobertura. No entanto, o teor de matéria orgânica no solo demora muitos anos de manejo para apresentar grandes diferenças, podendo estes valores ainda estarem correlacionados com o histórico da área.

Não houve diferença significativa para Ca, Mg, V%, CTC, SB e H+Al na profundidade de 0-10 cm, apresentando um valor médio de 6,83 cmol dm<sup>-3</sup>, 3,15 cmol dm<sup>-3</sup>, 77,60%, 14,00, 10,59, e 3,10 respectivamente.

Para a variável teor de fósforo na profundidade de 0-10 cm, observa-se que ocorreu interação entre os fatores (sistema x uso do solo na segunda safra de verão), onde no sistema 1 o uso do solo com plantas de cobertura, sendo elas milheto, crotalária, lablab, mix e brachiária, com nabo+aveia no inverno, foram superiores ao uso de plantas de grãos (Tabela 6).

**Tabela 6 - Teores de fósforo (P) na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Tratamentos	Teor de Fósforo (P) mg dm <sup>-3</sup>						
	0-10 cm						
	Culturas*	Culturas+	Milheto	Crotalária	Lablab	Mix	Brachiária
Sistema 1	14,61 Bb	15,01 Bb	25,67 Aa	26,62 Aa	28,61 Aa	29,55 Ba	32,16 Aa
Sistema 2	21,00 ABa	23,65 Aa	24,28 Aa	19,14 Aa	22,18 Aa	27,54 Ba	23,39 Ba
Sistema 3	27,93 Ab	28,37 Ab	30,69 Ab	23,32 Ab	28,79 Ab	43,24 Aa	31,18 ABb
Sistema 4	22,42 ABa	24,48 Aa	22,84 Aa	24,82 Aa	21,84 Aa	30,26 Ba	25,83 ABa
CV (%)	15,27						
P (<0,05)	0,0010						

\* Soja/Feijão/Milho; + Feijão/Soja/Milho. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha. Fonte: Autoria própria (2021).

Já no sistema 2, quando há o cultivo de soja na primeira safra verão, o aporte de fósforo é igual tanto para as plantas de cobertura como para as plantas de grãos (Tabela 6), mostrando que mesmo a cultura da soja tendo a exportação de nutrientes pelos grãos, como a cultura do milho, ela se sobressai em relação a disponibilização/ciclagem de fósforo. Ainda, a cultura da soja por ser uma leguminosa, acaba disponibilizando prontamente este nutriente nas camadas superficiais, comportamento semelhante aos das plantas de cobertura.

No sistema 3 é possível observar que o mix obteve resultados superiores em relação às demais plantas de cobertura e de grãos (Tabela 6), uma vez que o uso de combinações de espécies de cobertura, associando duas gramíneas e uma leguminosa, entrega ao sistema todos os benefícios destas espécies simultaneamente, incluindo a disponibilidade de fósforo em

superfície. Por outro lado, o sistema 4 apresenta teores de fósforo igual para todos os manejos, onde possivelmente o efeito do uso de pousio e de trigo na entressafra pode ter gerado um efeito semelhante ao uso de plantas de cobertura, por não ter a extração de nutrientes pelos grãos na colheita.

Gama (2007) verificou que maiores teores de P no solo são encontrados em sistemas de rotação, enquanto os menores teores foram encontrados em áreas que não possuíam rotação, como áreas de pousio. Este fato se deu porque provavelmente as áreas de rotação de culturas reduziram os processos de adsorção de fósforo ao solo, tornando-o mais disponível na solução do solo.

Em relação ao uso do solo, a utilização de soja na segunda safra de verão em rotação com feijão, milho e soja e aveia+nabo na entressafra de inverno (sistema 3) apresentou uma superioridade de produção de fósforo em relação ao uso no sistema 1, ou seja, no sistema de rotação foi possível disponibilizar mais nutrientes, como o fósforo, em relação ao sistema de sucessão com milho na safra de verão, no entanto, não houve diferença em relação ao sistema 2 e do sistema 4, apontando que a adoção de soja ou feijão na safrinha pode ser promissora quando em sucessão a outra leguminosa.

Quanto ao uso de feijão na segunda safra, os sistemas 2, 3 e 4 demonstraram maiores teores de fósforo em comparação ao sistema 1, o qual adota sucessão de milho na safra verão, tendo comportamento semelhante ao uso de soja na safrinha (Tabela 6). De acordo com Franchini et al. (2011), em razão das distintas necessidades nutricionais entre as espécies leguminosas e gramíneas, a liberação de nutrientes que permanece no solo, após o cultivo, são distintas para ambas as espécies, o que favorece o desenvolvimento vegetal, quando intercaladas ou rotacionadas.

Gama (2007) diz que a utilização de sistemas de cultivo que acarretam no aumento da deposição de biomassa têm colaborado no acontecimento de alterações na fertilidade do solo. O plantio direto ou até mesmo o sistema de integração lavoura-pecuária são sistemas que auxiliam neste fator. Esta adoção permite um bom acréscimo nos teores de nutrientes, entre eles, principalmente o P na superfície do solo, em decorrência à deposição de resíduos vegetais (MENEZES et al. 2002). Gama (2007) ainda cita que a decomposição destes resíduos disponibiliza compostos orgânicos, que disputam pelos mesmos sítios de absorção do fósforo, desta forma, o P se torna mais disponível às plantas.

O milheto, crotalária e lablab não apresentaram diferença significativa entre os sistemas, sugerindo que qualquer uma destas espécies quando adotadas em sucessão ou rotação, entregam os mesmos benefícios ao solo e às plantas. No entanto, o uso de mix de

espécies e a brachiária apresentaram diferença entre os sistemas, onde no mix quando unido do sistema de rotação (sistema 3) foi superior aos demais sistemas, o que pode ser atribuído à elevada formação de biomassa e efeito dos sistemas radiculares atuando simultaneamente, e o uso de brachiária o sistema 1 em sucessão ao milho foi superior ao sistema de sucessão com soja (sistema 2), mas não diferiu dos sistemas de rotação (3 e 4) (Tabela 6).

Segundo Arruda et al. (2021) ao estudarem inúmeras espécies de plantas de cobertura, obtiveram que a *Urochloa* foi a espécie que mais absorveu nitrogênio e fósforo, concentrando os mesmos na sua composição foliar, já o milheto apresentou maior densidade de esporos de fungos micorrízicos, os quais colaboram na captação e absorção de nutrientes pelas plantas. Ainda, os mesmos autores, ressaltam que a elevada produção de biomassa com concentrações de nutrientes elevadas em sua constituição, pode ser uma importante estratégia para o alcance de satisfatórios desempenhos agrônômicos de espécies vegetais cultivadas em sucessão, principalmente em sistemas de consórcio ou rotação de culturas.

Em relação aos teores de potássio na profundidade de 0-10 cm (Tabela 7), é possível observar que no sistema 1 e 3 a brachiaria apresentou superioridade em relação às demais culturas, mas não apresentou diferença significativa em relação ao mix no sistema 1. Já para o sistema que adota sucessão de soja na safra de verão (sistema 2), apenas a brachiaria apresentou aumento no teor de potássio em relação às demais culturas.

Estes resultados positivos do uso de brachiaria e mix, podem estar atrelados ao fornecimento de nitrogênio e demais nutrientes, estruturação do solo e a palhada residual, resultante da lenta decomposição do milheto e crotalária. Ainda, a brachiaria solteira ou em consórcio apresenta raízes vigorosas que reciclam o nutriente em profundidade, isso somado ao uso de uma crucífera e gramínea no inverno, gera maiores disponibilidades de nutrientes, como o potássio.

**Tabela 7 - Teores de Potássio (K) na profundidade de 0-10 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Teor de Potássio (K) mg.dm <sup>3</sup>							
0-10 cm							
Trat.	Culturas*	Culturas+	Milheto	Crotalária	Lablab	Mix	Brachiária
S1	162,50ABdc	127,40 Bd	162,50 Bdc	239,20ABdcb	243,10ABcb	328,90ABab	367,90 Aa
S2	128,70Bc	161,20ABcb	166,40 Bcb	213,20ABcb	221,00ABcb	253,50 Bb	406,90 Aa
S3	243,10Ac	252,20Acb	297,70Acba	254,80 Acb	299,00Acba	361,40 Aba	386,10 Aa
S4	245,70 Aa	170,30 ABa	189,80 Ba	145,60 Ca	158,60 Ba	247,00 Ba	189,80 Ba
CV (%)	19,32						
P (<0,05)	0,0002						

S1 = Sistema 1; S2 = Sistema 2; S3 = Sistema 3; S4 = Sistema 4; \* Soja/Feijão/Milho; + Feijão/Soja/Milho. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha.

Fonte: Autoria própria (2021).

O sistema radicular pivotante do nabo é algo de destaque, pela sua agressividade, capaz de explorar as camadas do solo mais adensadas em profundidades superiores a 2,50 m (BUENO; RODRIGUES, 2019). O nabo forrageiro apresenta amplo efeito na disponibilidade de nutrientes no solo, resultante da presença de ácidos orgânicos em seu tecido, tais como, cítrico e o málico (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). O mix de verão e de inverno permite uma liberação lenta dos nutrientes, proporcionando maiores concentrações para as culturas em sucessão (DONEDA et al., 2012).

Para o sistema 4, não ocorreu alteração nos teores de potássio com os manejos empregados em safrinha e entressafra de inverno, ou seja, o uso de plantas de cobertura e culturas de grãos em rotação com uso de trigo não altera em curto prazo os teores de potássio no solo.

De modo geral, as culturas de grãos e o milheto apresentam resultados inferiores ao uso de plantas de cobertura tanto no sistema de rotação quanto no de sucessão de culturas, tal resultado pode ser justificado pela exportação de nutrientes, acúmulo e decomposição dos resíduos. Para a cultura do milho, por exemplo, são translocados de 77 a 86% de P, 70 a 77% de N, 47 a 69% de Mg, 26 a 43% de K e 3 a 7% de Ca. Sendo assim, em média o potássio tem uma exportação para o grão de 4 a 7 kg ha<sup>-1</sup>. Desta maneira, isso provoca que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo boa parte dos nutrientes, sobretudo o potássio e cálcio, contidos na palhada (COELHO, 2006), ressaltando a importância de um adequado sistema de rotação de culturas.

O potássio (K) é um dos macronutrientes mais importantes para a planta. Este elemento não possui função estrutural, entretanto tem participação em outras funções importantes, como participar de reações na forma de um catalisador, atuar como ativador enzimático e em outras funções regulatórias, como o controle osmótico dos estômatos (KINPARA, 2003).

Em relação às diferentes estratégias de uso do solo em cada sistema, é possível observar na tabela 7, que de modo geral, as culturas de grãos, disponibilizam maiores teores de potássio nos sistemas de rotação, seguido por sucessão de milho e soja. Ainda, o uso de todas as espécies de cobertura estudadas, se destacaram quando associadas ao sistema de rotação (sistema 3), seguido pelos sistemas de sucessão (sistemas 1 e 2). Segundo Pereira (2009), por ser um dos nutrientes mais ciclados, preocupa-se em utilizar plantas de cobertura intercalares como fonte de potássio.

Em relação ao uso específico de brachiária, a mesma revelou contribuir com o menor teor de potássio quando adicionada ao sistema 4, ou seja, uma rotação que adota trigo na

entressafra de inverno e manejos mais tardios em comparação aos demais sistemas de produção (Tabela 7).

A manutenção ou aumento da fertilidade do solo visando o melhor desenvolvimento das plantas é um dos desafios presente na agricultura, para que isso ocorra é necessário fornecer nutrientes essenciais para as culturas, entre eles o K, o qual tem sua disponibilidade influenciada por fatores como solo, clima e a cultura (NOVAIS et. al., 2007).

No que diz respeito aos indicadores químicos de qualidade do solo na profundidade de 10-20 cm, tem-se que os teores de Mg, V% e H+Al, não apresentaram interação entre os fatores, apenas efeito dos sistemas isoladamente, o que também é observado para estas variáveis e para Ca, SB e CTC na profundidade de 20-40 cm (Tabela 8).

**Tabela 8 - Variáveis da análise do solo (Mg, H+Al, Ca, SB e CTC em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) em relação aos diferentes sistemas de produção nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

10-20 cm						
Tratamento	Mg	V%	H+Al			
Sistema 1	1,74 ab	57,86 b	4,80 a			
Sistema 2	2,08 a	63,16 ab	4,51 ab			
Sistema 3	1,89 ab	64,53 a	3,98 b			
Sistema 4	1,60 b	58,99 ab	4,48 ab			
Média	1,83	61,14	4,44			
P (< 0,05)	0,0145	0,0097	0,0372			
CV	26,21	11,75	20,08			
20-40 cm						
Tratamento	Ca	Mg	SB	V%	H+Al	CTC
Sistema 1	3,22 b	1,42 b	4,75 b	49,89 b	4,75 a	9,53 ab
Sistema 2	3,83 a	1,76 a	5,69 a	54,56 a	4,53 a	10,07 a
Sistema 3	3,61 ab	1,66 ab	5,41 ab	56,60 a	3,97 b	9,39 b
Sistema 4	3,34 ab	1,43 b	4,88 ab	48,99 b	4,98 a	9,94 ab
Média	3,505	1,57	5,18	52,51	4,56	9,73
P (< 0,05)	0,0364	0,0068	0,0113	0,0000	0,0000	0,0303
CV	20,44	22,78	19,46	10,20	14,23	8,50

Letras minúsculas na coluna. Fonte: Autoria própria (2021).

Também para profundidade de 10-20 cm, não houve diferença significativa para Ca, SB e CTC, que tiveram média geral de  $5,02 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , 7,12 e 11,73, respectivamente.

Sendo assim, na profundidade de 10-20 cm os teores de Mg foram superiores no sistema de sucessão com soja (sistema 2) em relação ao sistema 4, porém não diferiu dos demais (Tabela 8). Já para V% nesta profundidade, o sistema 3 foi superior ao sistema 1, mas não diferiu dos sistemas 2 e 4, apontando que a soma de bases é beneficiada pelo manejo de rotação de culturas em relação ao de sucessão com milho na safra verão, ressaltando a importância da associação de diferentes espécies, uma vez que, quanto maior a V% e CTC indica maior disponibilidade dos nutrientes. Os teores de CTC e qualidade das argilas e matéria orgânica são critérios que melhor definem a fertilidade do solo (GLÓRIA, 1992).

A soma de bases (SB) é expressa pela soma de cátions  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ . Já a saturação por bases (V%) é expressa pela relação entre a SB e a CTC, multiplicado por 100, a qual é um ótimo indicador da situação em que o solo se encontra quanto à sua fertilidade, sendo utilizada até como parte da nomenclatura dos solos. De acordo com a V%, os solos são divididos em solos eutróficos (férteis), onde  $V\% \geq 50\%$  e solos distróficos (pouco férteis), onde  $V\% < 50\%$ . Ainda, alguns solos distróficos podem ser bastante pobres de cátions  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$  e possuir teor de alumínio trocável muito alto, em que a saturação por alumínio (m%) é maior que 50%. Esses solos são classificados como alcalinos (muito pobres), onde  $\text{Al trocável} \geq 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $m\% \geq 50\%$ .

A CTC do solo representa a quantidade de cátions presentes na superfície do complexo ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), que representa a graduação da capacidade de liberação dos nutrientes. Desta forma, quando o solo estudado apresenta condições ao pleno desenvolvimento da planta, o percentual elevado de CTC e V% é ocupado por cátions essenciais, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , em condições de equilíbrio de cátions. De outro ponto de vista, quando um alto percentual de CTC é ocupada por cátions possivelmente tóxicos, por exemplo,  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , é possível que as culturas da área sofram com o efeito da acidez (RONQUIM, 2010).

Ainda, de acordo com Ronquim (2010) um baixo valor de CTC aponta que o solo possui baixa aptidão para reter cátions na forma trocável. Sendo assim, as adubações e calagens devem ser feitas de forma parcelada para evitar perdas superiores por meio de lixiviação.

Para a maioria das culturas, valores de V% entre 50 e 80% e de pH entre 6,0 e 6,5 resultam numa boa produtividade (LOPES; GUILHERME, 2007; RONQUIM, 2010).

Em relação a H+Al na mesma profundidade, o sistema 1 apresentou superioridade em relação ao sistema 3, não se diferenciando dos demais (Tabela 8). Na profundidade de 20-40 cm também ocorreu diferença em relação ao sistema, onde os teores de Ca e Mg



apresentaram teores semelhantes, com superioridade no sistema 2 em comparação ao sistema 1, porém não diferiu dos sistemas 3 e 4 no caso do Ca e do sistema 3 para o Mg (Tabela 8), mostrando que possivelmente a adoção da cultura da soja na safra verão, assim como de rotação fornece maior teor Ca e Mg, influenciando na acidez do solo e disponibilidade dos demais nutrientes.

Para SB na profundidade de 20-40 cm o sistema 2 apresentou superioridade quando relacionado ao sistema 1, mas não se diferenciou dos demais. Ainda, nesta profundidade, a V% nos sistemas 2 e 3 foram superiores aos demais sistemas. Já o sistema 3 apresentou os menores valores de  $l\ H+Al$  em relação aos demais sistemas. Para CTC o sistema 2 foi superior ao sistema 3, mas não apresentou diferença dos demais (Tabela 8).

Para o teor de P na profundidade de 10-20 e 20-40 cm, não houve diferença significativa, nem interação entre sistemas de produção e estratégias de manejo na safrinha, tendo uma média geral de 5,785 e 1,74 mg.dm<sup>3</sup> respectivamente. Evidenciando a baixa mobilidade deste nutriente no perfil do solo, e pelo mesmo, expressar seus teores mais altos na camada superficial (PEREIRA, 2009), necessitando de mais tempo de manejo para que se tenha efeito em profundidade.

No que se refere aos teores de potássio na profundidade de 10-20 cm observa-se que em média os valores estão altos de acordo com o Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (2019). Ainda é possível verificar que ocorreu interação entre os fatores analisados (sistema x uso do solo) (Tabela 9). Desta maneira, referente aos teores de potássio na profundidade de 10-20 cm, o sistema 1, o uso das espécies de grãos e plantas de cobertura não diferiram entre si, expondo que em sistema de sucessão de milho na safra, todas as espécies estudadas disponibilizam teores de potássio semelhantes em profundidade intermediária, sendo necessário, analisar este nutriente com os demais (Tabela 9).

No sistema 2 o uso de mix e brachiária apontaram disponibilizar maior teor de potássio em comparação ao uso de feijão, mas não apresentou diferença em relação aos demais, isso demonstra que sistemas que adotam a cultura da soja na safra verão em sistema de sucessão são otimizados quanto aos teores de potássio quando se adota uma gramínea na sequência. Comportamento semelhante foi encontrado, para os teores de K no sistema 3, onde o uso de lablab e mix foram superiores ao uso de espécies de grãos, milheto e crotalária, mas não diferiram do uso de brachiária. Assim como no sistema 1, no sistema 4, que empregou sistema de rotação com trigo, os usos de solo não diferem entre si (Tabela 9).

**Tabela 9 - Teores de Potássio (K) na profundidade de 10-20 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Teor de Potássio (K) mg.dm <sup>-3</sup>							
10-20 cm							
Tratamentos	Culturas*	Culturas+	Milheto	Crotalária	Lablab	Mix	Brachiária
Sistema 1	123,50 Aa	106,60 Aa	141,70 Aa	139,10 Aa	126,10 Ba	140,40 Ba	135,20ABa
Sistema 2	66,30 Bb	85,80 Aab	80,60 Bab	87,10 ABab	97,50 BCab	132,60 Ba	133,90ABa
Sistema 3	113,10ABc	128,70 Abc	126,10ABbc	110,50 ABc	213,20 Aa	210,60 Aa	180,70Aab
Sistema 4	124,80 Aa	93,60 Aa	118,30 ABa	80,60 Ba	67,60 Ca	75,40 Ca	83,20 Ba
CV	22,16						
P (<0,05)	0,0001						

\* Soja/Feijão/Milho; + Feijão/Soja/Milho. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha. Fonte: Autoria própria (2021).

Em relação ao uso de cada estratégia de manejo dentro dos sistemas na profundidade de 10-20 cm, observa-se que o uso das culturas de feijão/soja e milho disponibilizam teores mais elevados de K nos sistemas 1 e 4 em relação ao sistema 2. Já o uso das demais culturas de grãos não diferem em relação aos sistemas, fornecendo valores semelhantes ao de K ao usar soja/milho (Tabela 9).

Quanto à crotalaria, o sistema 1 apresentou superioridade de teores de K em relação ao sistema 4, mas não se diferenciou dos demais sistemas. Já o lablab e mix, apresentou maiores concentrações com os manejos adotados no sistema 3. Ainda, a brachiária possibilitou as maiores concentrações de K nos sistemas 3 em comparação ao sistema 4, porém não se diferenciou dos demais (Tabela 9).

As gramíneas nos sistemas de produção agrícola, além de proteger o solo contra as adversidades climáticas, beneficia o aporte do carbono, principalmente por rizo deposição (THIVIERGE et al., 2016). Por outro lado, as leguminosas, solteiras e, especialmente as consorciadas, apresentam a habilidade de absorver nutrientes de camadas do subsolo entre 1,0 e 1,5 m (GATHUMBI et al., 2003).

Com relação aos indicadores químicos de qualidade do solo na profundidade de 20-40 cm, observa-se que os teores de Ca, Mg, SB, V%, H+Al e CTC não apresentaram interação entre os fatores analisados, apenas efeito dos sistemas de produção isoladamente (Tabela 10).

**Tabela 10 - Variáveis da análise (Ca, Mg, SB, H+Al e CTC em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) do solo em relação aos diferentes sistemas de produção na profundidade de 20-40 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Tratamento	Ca	Mg	SB	V%	H+Al	CTC
20-40						
Sistema 1	3,22 b	1,42 b	4,75 b	49,89 b	4,75 a	9,53 ab
Sistema 2	3,83 a	1,76 a	5,69 a	54,56 a	4,53 a	10,07 a
Sistema 3	3,61 ab	1,66 ab	5,41 ab	56,60 a	3,97 b	9,39 b
Sistema 4	3,34 ab	1,43 b	4,88 ab	48,99 b	4,98 a	9,94 ab
Média	3,505	1,57	5,18	52,51	4,56	9,73
P (< 0,05)	0,0364	0,0068	0,0113	0,0000	0,0000	0,0303
CV	20,44	22,78	19,46	10,20	14,23	8,50

Letras minúsculas na coluna. Fonte: Autoria própria (2021).

À vista disso, tem-se que os teores de Ca e SB apresentaram melhores resultados no sistema 2 quando comparados ao sistema 1, não diferindo dos demais, apontando que maiores

teores do nutriente podem ser encontrados em sistemas que utilizam sucessão de cultivo com soja na safra de verão e sistemas de rotação de culturas que adotam cultivo de soja e milho no tarde. Vasconcellos et. al. (1988) obtiveram maiores teores de potássio, cálcio e magnésio em sistemas de rotação ao confrontado com demais sistemas, por exemplo sucessão de cultivo.

O Mg por sua vez, demonstrou comportamento semelhante ao Ca, em que os mais altos teores foram encontrados no sistema 2, porém este resultado foi superior do que o encontrado nos sistemas 1 e 4.

A variável V% exibiu seus melhores resultados nos sistemas 2 e 3, que adotam sucessão de soja na safra e rotação de culturas com soja e milho na primeira safra, ambos os sistemas com plantas de cobertura nas entressafras, sendo a de inverno com nabo+aveia e aveia solteira, respectivamente, sendo superiores aos demais sistemas.

Os resultados de H+Al foram melhores nos sistemas de sucessão de cultivos do que nos sistemas de rotação com cultivo de culturas de grãos tardias. A presença de Al no solo é relacionada ao pH, quanto mais ácido for o solo, maiores serão as chances de se ter alumínio de forma tóxica no mesmo (ALVES et. al., 2004). Alguns fatores podem favorecer a ocorrência de acidez e alumínio, entre eles, em áreas de plantio direto a realização de correções apenas na superfície do solo. Por ser um elemento gradiente, a tendência é que tenha mais alumínio no solo à medida que a profundidade aumenta, onde na maioria das áreas este elemento é encontrado em profundidades superiores a 20 cm.

Para CTC o sistema 2 foi superior ao sistema 3, mas não apresentou diferença dos demais, isso mostra que em profundidades maiores a capacidade de troca catiônica da sucessão se assemelha a rotação de culturas quando considerado um período de tempo relativamente curto.

Quanto aos teores de potássio na profundidade de 20-40 cm (Tabela 11), é possível observar que houve interação entre os fatores sistemas versus uso do solo, em que no sistema 1 e 2 não houve diferença nos teores de potássio em relação ao uso de diferentes culturas, tanto de grãos quanto de cobertura.

**Tabela 11 - Teores de Potássio (K) na profundidade de 20-40 cm. Dois Vizinhos, PR, 2021.**

Teor de Potássio (K) mg.dm <sup>3</sup>							
20-40 cm							
Tratamentos	Culturas*	Culturas+	Milheto	Crotalária	Lablab	Mix	Brachiária
Sistema 1	39,00 Ba	44,20 Aa	28,60 Aa	39,00 Aa	33,80 Ba	40,30 Ba	37,70 Ba
Sistema 2	32,50 Ba	42,90 Aa	54,60 Aa	36,40 Aa	27,30 Ba	46,80 ABa	28,60 Ba
Sistema 3	37,70 Bc	36,40 Ac	39,00Abc	36,40 Ac	68,90 Aabc	74,10 Aab	84,50 Aa
Sistema 4	80,60 Aa	54,60 Aa	26,00 Ab	28,60 Ab	29,90 Bb	29,90 Bb	29,90 Bb
CV (%)	34,28						
P (<0,05)	0,000						

\* Soja/Feijão/Milho; + Feijão/Soja/Milho. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha. Fonte: Autoria própria (2021).

A mobilidade do potássio é considerada intermediária quando comparada ao nitrato e ao fósforo, ou seja, sua lixiviação não é tão severa quanto o primeiro e nem possui fixação tão boa quanto o segundo (ALCARDE et al., 2000). Esse fator ocorre com mais facilidade em solos arenosos, baixo teor de argila, pobres em matéria orgânica e CTC (VILELA et al., 2002).

Assim como a mobilidade de outros cátions, a do potássio diminui ao passo que as densidades de cargas negativas dos colóides do solo aumentam (ERNANI et al., 2007).

No sistema 3 os teores de potássio, apresentaram superioridade quando foi adotado o uso de brachiária em relação a adoção de feijão, soja, milho e crotalária, mas não apresentou diferença em relação ao uso de lablab e mix (Tabela 11), comportamento semelhante ao encontrado na profundidade de 10-20 cm, evidenciando o potencial das gramíneas e a otimização de processos que os mix de plantas fornecem ao solo e para cultura na sequência.

Já no sistema 4, o uso de culturas de grãos foram superiores aos demais, possivelmente efeito da palhada residual do trigo, associada às plantas de cobertura da entressafra de inverno, que fornecem liberação intermediária de nutrientes pela aveia e aumento de potássio pelo uso de nabo. Segundo a Fundação MS (2021), aos 74 dias após a semeadura, o cultivo de aveia + nabo forrageiro, apresentou aumento nos teores de macronutrientes, principalmente de potássio, comportamento também identificado para milho consorciado com guandu.

Em relação ao uso do solo, a inclusão de feijão nos sistemas apresentou maior teor de potássio no sistema 4, sendo superior aos demais sistemas. Quanto à soja, milho e crotalária os sistemas não diferiram entre si. Já no uso de lablab e brachiária, o sistema 3 apresentou superioridade de potássio em relação aos demais sistemas de produção. Ainda, na inserção de mix, o sistema 3 apresentou superioridade aos sistemas 1 e 4, mas não se diferenciou do sistema 2 (Tabela 11).

Vale ressaltar, que em sistemas de rotação a adoção de plantas de cobertura na segunda safra de verão não extingue as culturas comerciais de grãos (feijão, milho, soja), elas apenas contribuem na resiliência do sistema, formando palhada para a manutenção do sistema de plantio direto e permitindo a adubação sistêmica.

Neste sentido, o planejamento do produtor deve ser sempre em curto, médio e longo prazo, associando espécies de cobertura, cultivares, híbridos, adequando suas épocas de semeadura, culturas antecessoras. Esse manejo irá diversificar os sistemas, deixando os mesmos mais sustentáveis, reduzindo o uso de adubações nitrogenadas e reduzindo os custos de produção.

## 5 CONCLUSÃO

Os teores médios dos nutrientes e indicadores de fertilidade do solo avaliados encontram-se em parâmetros altos ou muito altos em 2018 e mantiveram-se altos a muito altos em 2020 em função do manejo adotado, de acordo com a interpretação descrita no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, 2019.

O teor de fósforo (P) do solo diminui à medida que aumenta a profundidade do solo para as análises de 2018 e apresentou diferença de 0-10 cm em função do manejo adotado, onde o uso de plantas de cobertura aumentou os teores de P quando comparado ao sistema milho-safrinha grãos. No entanto, em profundidade mais elevada no perfil do solo (20-40 cm) não houve efeito dos diferentes usos do solo.

O teor de potássio (K) foi um dos nutrientes que apresentou maior variação em função dos diferentes sistemas de uso do solo, apresentando bons resultados para cultivo em todas as profundidades. Tantas plantas de cobertura como de grãos fornecem boa capacidade de ciclagem de nutrientes, no entanto, o uso de brachiaria e mix na segunda safra de verão se destaca em relação às demais espécies.

O percentual de matéria orgânica foi similar entre os tratamentos, demonstrando que são necessários mais anos de estudo, para ver a longo prazo o efeito destes manejos sobre esta variável.

## REFERÊNCIAS

- AITA, C. et al. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- ALCARDE, J.C.; GOMES, P.F.; MALAVOLTA, E. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2000. 596p.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.
- ALVES, VERA MARIA CARVALHO et al. Toxidez por alumínio e hidrogênio no crescimento de raízes de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 02, 2004.
- AMABILE, R.F.; CORREIA, J.R.; FREITAS, P.L. de; BLANCANEUX, P.; GAMALIEL, J. Efeito do manejo de adubos verdes na produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1193-1199, 1994.
- ARRUDA, B.; HERRERA, W. F. B.; GARCÍA, J. C. R.; TURNER, C.; PAVINATO, P. C. Cover crop species and mycorrhizal colonization on soil phosphorus dynamics. **Rhizosphere**, v. 19, 2021.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BERTOL, Oromar João et al. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1841-1850, 2010.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; BOGNOLA, I. A.; CURCIO, G. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; MANZATTO, C. V.; AGLIO, M. L. D.; SILVA, J. S. **Mapa de solos do Estado do Paraná**, legenda atualizada, Embrapa Florestas, 2009.
- BORKERT, Clóvis Manuel et al. Mineral nutrients in the shoot biomass of soil cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.
- BUENO, Jeferson Belmiro; RODRIGUES, Gilberto Aparecido. Palha sobre o solo no crescimento da cultura do nabo forrageiro em área degradada. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 370-377, 2019.
- CABEZAS, W. R.L. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, 2004.
- CALEGARI, A.; CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura: dificuldades para sua adoção. **ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA**, v. 7, p. 145-152, 2000.



CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, **Revista Agroecologia Hoje**, v. 2, n.14, p. 659-668, 2002.

CANZIANI, J. R.; GUIMARÃES, V. D. A. O trigo no Brasil e no mundo: cadeia de produção, transformação e comercialização. In: CUNHA, G. R. da (Ed.). **Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 29-72.

CARVALHO, A.M.; COELHO, M.C.; DANTAS, R.A.; FONSECA, O.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C.C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop Pasture Science**, v.63, p.1075-1081, 2012.

CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F.; OLIVEIRA, M.F.; VELLO, N.A. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 311-320, 2002.

CARVALHO, A.M.; SOUZA, L.L.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p.

COELHO, Antônio M. Nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2006.

COELHO, Jackson Dantas. Trigo: produção e mercados. 2021.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. Núcleo Regional Sul, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: NRS-RS/SC – SBCS, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra de grãos**. Brasília: Conab, v.7, n.12, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 2 segundo levantamento, novembro. 2021.

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

DE CARVALHO, Marco Antonio Camillo et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

DEXTER, A.R. e YOUNGS, I.M. **Soil physic toward 2000**. Soil Till. Res., 24:101-106, 1992.

DONEDA, A.; et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, n.6, p. 1714 – 1723. 2012.

ELMER, W. H.; DATNOFF, L. E. Mineral Nutrition and Suppression of Plant Disease. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, California, v. 4, p. 231-244, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00251-5>.

ERNANI, Paulo Roberto et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-401, 2007.

FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, n.17, p.2675- 2682, 1998.

FERREIRA, E. P. B. et al. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 695-701, 2011.

FERREIRA, Wenderson Sousa et al. Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde-GO. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 31, n. 3, p. 291-297, 2016.

FIALHO, Arlini Rodrigues. **SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA EM SUCESSÃO A CULTURAS ANUAIS DE COBERTURA**. 2020.

FRANCHINI, J. Crispino et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 18-29, 2007.

FRANCHINI, Julio Cezar et al. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

GAMA, Ailton Júnio Manzi. **Sistema de rotação e adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar no cerrado**. 2007.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A.E.; LOPES, I.O.N.; PORTUGAL, F.A.F. **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Embrapa. Londrina, 2007. (Circular Técnica 51)

GATHUMBI, S. M.; CADISCH, G.; BURESH, R. J.; GILLER, K. E. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen 15 placement. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 573-582, 2003.

GIACOMINI, Sandro J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

GIRACCA, E.M.N.; NUNES, J.L.S. Nutrientes. **Agrolink**, Brasil, n.d. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes\\_361443.html](https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_361443.html)>. Acesso em: 07 out. 2020.

GLÓRIA, N. A. da. Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica. **Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções**, Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1992.

GONÇALVES, JL M. et al. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, n. 2, p. 107-111, 1985.

HEINZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.

HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C.; SANTON, J.C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. 93p.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi et al. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: Embrapa Soja, v. 14, 2012.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 287-291, 2010.

KAUANO, E. E.; PASSOS, E. Análise do uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio da Gama, Tijucas do Sul – PR. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 6, n. 2, p. 181- 190, 2008.

KINPARA, D. I. A importância estratégica do potássio para o Brasil. **Embrapa Cerrados- Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., SCHULTZ, N., ANJOS, L. H. C., e SILVA, E. M. R. (2009). Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44 (1), 68-75.

MENEZES, Eline Jesus de. **Alterações do nitrogênio e dos nutrientes em solo cultivado com plantas de cobertura e milho em sucessão**. 2018.

MENEZES, M. D. JUNIOR, J. A. J.; MELLO, C. R.; DILVS, S. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, 2009.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G.; VALLE, D.; MELLO, I. **Plantio Direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

NETO, Adalbert Horvathy et al. Consórcio de sorgo granífero e braquiária na safrinha para produção de grãos e forragem. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 132-141, 2014.

NUNES, E. N.; FERNANDES, Y. T. D.; MONTENEGRO, I. N. A.; ALVES, C. A. B.; SOUTO, J. S. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 5, p. 90 - 95, 2013.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade brasileira de Ciência do solo. p. 551-594, 2007.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011

PARTELLI, F. L. et al. Biologic dinitrogen fixation and nutrient cycling in cover crops and their effect on organic Conilon coffee. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 3, p. 995-1006, 2011

PAULETTI, V; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná** - 2. ed. - Curitiba. Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - NEPAR-SBCS, 2019.

PASINATO, A.; SANTI, A.; DALMAGO, G.A.; CUNHA, G.R.; PIRES, J.L.F. **Cultivo de trigo: zoneamento agrícola**. Embrapa Trigo: Passo Fundo, 2ed, abr. 2014. (Sistemas de Produção 4)

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p. 35- 40, 2004.

PEREIRA, Hamilton Seron. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Revista visão agrícola**. Nº9, 2009.

RONQUIM, Carlos César. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.

RONQUIM, C. C. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%)**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2010. p. 10-12.

SÁ, J.C.M.; FERREIRA, A.O.; BRIEDIS, C.; VIEIRA, A.M.; FIGUEIREDO, A.G. Extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho afetados por níveis de palha. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.33, n.4, p. 715-722, 2011.

SILVA, A. G.; MORAES, L. E.; HORVATHY NETO, A.; TEIXEIRA, I. R.; SIMON, G. A. Consórcio sorgo e braquiária na entrelinha para produção de grãos, forragem e palhada na entressafra. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 697-705, 2014.

SILVA, E.C; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.477- 486, 2006.

SANTOS, G. G., SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1171-8, 2012

SOARES, Daiane dos Santos. **Biomassa vegetal e atributos do solo em diferentes sistemas de produção sob plantio direto no Cerrado**. 2017.

S.S. Dhaliwal, R.K. Naresh, Agniva Mandal, Ravinder Singh, M.K. Dhaliwal, Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review, **Environmental and Sustainability Indicators**, Volumes 1–2, 2019.

TAVARES, R. L; MELO, A. S; ANDRADE, A. G; ROSSI, C. Q; CAPECHE, C. L; BALIEIRO, F. C; DONAGEMMA, G. K; CHAER, G. M; POLIDORO, J. C; MACEDO, J. R; PRADO, R. B; FERRAZ, R. P. D; PIMENTA, T. S. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 2008.

THIVIERGE, M.N.; ANGERS, D. AS.; CHANTIGNY, M. H.; SEGUIN, P.; VANASSE, A. Root traits and carbon input in field-grown sweet pearl millet, sweet sorghum, and grain corn. **Agronomy Journal**. 108: 459-471, 2016

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

USDA. United States Department of Agriculture. **Safra mundial de soja 2018/19 – 8º levantamento do USDA**. Informativo FIESP, dez. 2019b. Disponível em: < <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/>>. Acesso em: 05 out. 2020.

USDA. United States Department of Agriculture. **Safra Mundial de Soja 2021/22 - 7º Levantamento do USDA**. Informativo FIESP, nov. 2021. Disponível em: <

<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

VASCONCELLOS, C. A.; SANS, L. M. A.; PACHECO, E. B. Influência da rotação de culturas no sistema radicular do milho e em algumas características químicas de um latossolo vermelho-escuro distrófico da região de Sete Lagoas. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., 1986, Belo Horizonte. Anais... Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1988. p. 523-530., 1988.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital: Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Ponta Grossa, v. 8, n. 2, p. 37 - 44, 2013.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, J. E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 169-183.

WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. v.1, p.59. 168.

ZANON, C.A.F. Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes coberturas vegetais no sul do Estado do Espírito Santo. **Monografia (Engenharia Florestal)**, v. 59, 2013.