

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**PATRICIA MARA DE ALMEIDA**

**EFEITO DO CULTIVO DE ALFAFA SOBRE A CICLAGEM DE NUTRIENTES  
PARA A CULTURA DO MILHO**

**PATO BRANCO  
2022**

**PATRICIA MARA DE ALMEIDA**

**EFEITO DO CULTIVO DE ALFAFA SOBRE A CICLAGEM DE NUTRIENTES  
PARA A CULTURA DO MILHO**

**Effects of alfalfa cultivation on nutrient cycling for corn**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Tangriani Simioni Assmann

Coorientador: Hugo Von Linsingen Piazzetta

**PATO BRANCO**

**2022**



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

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Pato Branco**



PATRICIA MARA DE ALMEIDA

**EFEITOS DO CULTIVO DE ALFAFA SOBRE A CICLAGEM DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO MILHO**

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

Data de aprovação: 09 de Fevereiro de 2022

Prof.a Tangriani Simioni Assmann, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Alceu Luiz Assmann, Doutorado - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (Iapar-Emater)

Prof Paulo Fernando Adami, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 25/02/2022.

*"Dedico A minha família."*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, por poder estar vivenciando esse momento e por estar sempre comigo.

Aos meus pais, Cleimar De Almeida e Marines Maria Alberti, que nunca mediram esforços para apoiar, incentivar e me cuidar, por sempre estarem comigo em todos os momentos. Tudo sempre será por vocês, sou abençoada por estar nessa família, obrigada por tudo. Eu amo vocês!!!

A minha irmã, Kélen, que sempre está ao meu lado. Sou grata por ter uma pessoa tão incrível, que eu vou cuidar durante a minha vida toda. Ligação de sangue, de alma e para sempre, te amo!!!

A minha noninha amada, Angelina, que com sua fé nas orações, ela me protege aonde eu vou. Agradeço também a minha tia Maria e ao meu tio Alecir e sua família, por sempre estarem torcendo e comemorando comigo a cada vitória.

Aos meus amigos-irmãos do "Rebelião", que são família, uma conexão de outras vidas. Estão comigo em todas as horas, acolhendo, apoiando e acreditando em mim sempre. Gratidão. Eu amo vocês!!!

A minha amiga Nataly, a que me conhece melhor do que ninguém. Obrigada por acreditar, por me incentivar a ir sempre em frente e nunca desistir desse meu sonho. Obrigada por estar sempre comigo. Nossa amizade é raridade, tu é minha pessoa e eu te amo.

A minha amiga Barbara e sua mãe Marciani, por terem me acolhido tão bem, pelos conselhos e ajuda de sempre. Gratidão, vocês tem um lugar especial em meu coração.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Tangriani Simioni Assmann pela orientação, ajuda e companheirismo durante esse tempo de mestrado. Sou grata pela oportunidade de ter trabalhado e ser orientada por uma pessoa que sempre admirei, e a admiração só aumentou nesse tempo. Obrigada profe Tangri!!!

Ao meu coorientador Dr<sup>a</sup> Hugo Von Linsingen Piazzeta, que desde o início da graduação vem me acompanhando e nunca mediu esforços para me ajudar, sempre acreditou e torceu por mim. És um ser incrível, de coração gigante, que tem toda minha admiração e que me inspira a sempre ser uma pessoa melhor. Obrigada por tudo professor!!!

Aos meus queridos colegas de pós-graduação, Kamila Fabiane, Bruna Gil, Luryan Tairini Kagimura, Laíse Souza, Igor Severo, e Renan Marré Biazatti que iniciamos e agora encerramos essa etapa lutando juntos e só tenho a agradecer pela parceria e ajuda, e a todos obrigada pela convivência e aprendizados.

Aos professores Dr. Paulo Fernando Adami e Dr. Alceu Luis Assmann por participarem da banca e pelas contribuições feitas para a melhoria deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de forma, direta ou indireta, contribuíram ao longo da minha jornada.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do mestrado, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de incentivo concedida através do processo nº88887.499649/2020-00 para a realização deste trabalho. Ao LAQUA e a central de análises pela disposição do suporte nos laboratórios e ao projeto universal 2016 concebido do processo nº420556/2016-8.

*"Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro de gigantes."(Isaac Newton)*

## RESUMO

A manutenção da cobertura sobre o solo com o uso de alfafa pode ser uma boa possibilidade para o sucesso no plantio direto (SPD), visto que, pode disponibilizar nitrogênio às plantas sucessoras, como o milho por exemplo, sendo viável economicamente ao produtor, além de favorecer o controle de plantas daninhas e manter a qualidade do solo. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar os resíduos de alfafa como adubação verde, e sua liberação de nutrientes, com destaque ao nitrogênio, para a cultura do milho, buscando utilizá-la como principal fornecedor de N e diminuir o uso de fertilizantes. O experimento foi realizado sob delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na parcela principal foram avaliados dois tipos de resíduos de alfafa (dessecado e não dessecado) e quatro doses de N aplicadas em cobertura sobre a cultura do milho (0, 50, 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>) nas subparcelas. Constatou-se que a produção de grãos de milho cultivada sobre a área de alfafa não dessecada foi 32,44% inferior as áreas em que o milho foi cultivado sobre a alfafa dessecada, que equivaleu a 6186 kg de grãos ha<sup>-1</sup>. O resultado de aumento de produtividade em função da aplicação de adubação nitrogenada, foi homogêneo para ambas as situações de cobertura e representada por uma equação quadrática média:  $Y = 6,909 + 31,8x - 0,1262X^2$  R<sup>2</sup>=0,99. Os resíduos de alfafa apresentaram-se como uma alternativa eficiente de cobertura do solo e adubo verde, pois, mesmo devido a pequena quantidade de resíduo de parte aérea sobre o solo (1600 kg MS ha<sup>-1</sup>) não ter disponibilizado altas quantidades de nutrientes reciclados, ainda complementou a nutrição do milho refletindo diretamente na produção e diminuindo a quantidade de fertilizantes normalmente aplicados.

**Palavras-chave:** Cobertura do solo; Leguminosas; Decomposição de resíduos; Nitrogênio.

## ABSTRACT

The maintenance of soil cover with the use of alfalfa can be a practice with a good possibility for success in no-tillage (SPD), since it can make nitrogen available to successor plants, such as corn for example, through the FBN process, being economically viable for the producer, in addition to favoring weed control and maintaining soil quality. Thus, the objective of this work was to evaluate alfalfa residues as green manure, and its release of nutrients, especially nitrogen, for the corn crop, seeking to use it as the main supplier of N and reduce the use of fertilizers. The experiment was carried out under a randomized block design in split plots, with four replications. In the main plot, two types of alfalfa residues (dried and not dried) and four doses of N applied in topdressing on the corn crop were evaluated (0, 50, 100 and 200 kg N ha<sup>-1</sup>) in the main plot. subplots. It was found that the production of maize grains cultivated on the area of non-desiccated alfalfa was 32.44% lower than the areas where maize was cultivated on the desiccated alfalfa, which resulted in 7191 kg of grain ha<sup>-1</sup>. The result of increased productivity as a function of the application of nitrogen fertilization was homogeneous for both coverage situations and represented by a mean quadratic equation:  $Y = 6.909 + 31.8x - 0.1262X^2$  R<sup>2</sup>=0.99. The alfalfa crop was presented as an efficient alternative for soil cover and green manure, because, even having only a small amount of residue of the aerial part of the culture on the ground (1600 kg DM ha<sup>-1</sup>) provided good amounts of nutrients for the maize grown in succession.

**Keywords:** Ground cover; legumes; Decomposition of residues; Nitrogen.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito do pH sobre a produção de alfafa – $p < 0,05$ . . . . .	22
Figura 2 – Croqui experimental . . . . .	28
Figura 3 – Decomposição da matéria seca remanescente (A) e liberação de N (C) e P (E) de acordo com o modelo exponencial genérico $MSR = A e^{-kat} + (100-A)$ , e quantidade de matéria seca remanescente (B), de N (D) e P (F), liberados dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litter-bags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho. . . . .	34
Figura 4 – Liberação do K (A), Ca (C) e Mg (E) de acordo com o modelo exponencial genérico $MSR = A e^{-kat} + (100-A)$ , e quantidade de K (B), de Ca (D) e Mg (F), liberados dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litter-bags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho. . . . .	35
Figura 5 – Produtividade de grãos de milho ( $kg\ ha^{-1}$ ) . . . . .	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise estatística (ANOVA) da taxa de decomposição e liberação dos nutrientes dos resíduos da alfafa a 5% de probabilidade . . . . .	32
Tabela 2 – Resumo da análise estatística (ANOVA) da produtividade de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) sob efeito dos resíduos de alfafa a 5% de probabilidade . . . . .	32
Tabela 3 – Resumo da análise estatística (ANOVA) dos componentes de rendimentos de milho sob efeito dos resíduos de alfafa a 5% de probabilidade . . . . .	32
Tabela 4 – Concentração inicial de macronutrientes em palhada residual de alfafa ( $\text{g/kg}$ ) em cobertura de solo para cultura do milho. Pato Branco-PR, 2013.	33
Tabela 5 – Parâmetros do modelo não-linear ajustado para decomposição da matéria seca remanescente e liberação de nutrientes (N e P) dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litterbags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho. $\text{MSR} = A e^{-kat} + (100-A)$ . . . . .	36
Tabela 6 – Parâmetros do modelo não-linear ajustado para a liberação dos nutrientes (K, Ca e Mg) dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litterbags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho. $\text{MSR} = A e^{-kat} + (100-A)$ . . . . .	36
Tabela 7 – Médias dos componentes de rendimento do milho em manejo dessecado e não dessecado dos resíduos de alfafa . . . . .	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BMS	Biomassa Microbiana do Solo
C/N	Relação entre carbono e nitrogênio
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
Cmic	Carbono Microbiano
Coef.	Coefficiente
Corg	Carbono Orgânico
COT	Carbono Orgânico Total
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILP	Integração Lavoura Pecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Normas Brasileiras
$qCO_2$	Quociente metabólico
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\in$	Pertence
$\Lambda$	Lambda
$\zeta$	Letra grega minúscula zeta
$BaCl_2$	Cloreto de bário
$CHCl_3$	Clorofórmio
$CO_2$	Dióxido de carbono
C	Carbono
Ca	Cálcio
HCl	Ácido clorídrico
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de sódio
P	Pressão
T	Temperatura
V	Volume

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Utilização de plantas de cobertura no solo</b>	<b>18</b>
2.1.1	Utilização de leguminosas como cobertura do solo	20
2.1.2	A cultura da alfafa	21
<b>2.2</b>	<b>Decomposição de resíduos culturais</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Ciclagem de nutrientes</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>A cultura do milho</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>28</b>
3.0.1	Experimento de decomposição de matéria seca (MS) e liberação de nutrientes	29
3.0.2	Rendimento de grãos e componentes do rendimento do experimento com milho	30
3.0.3	Procedimentos estatísticos	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Alfafa</b>	<b>33</b>
4.1.1	Concentração inicial dos nutrientes e produtividade dos resíduos	33
4.1.2	Decomposição de resíduos de alfafa e liberação de nutrientes	33
<b>4.2</b>	<b>Milho</b>	<b>37</b>
4.2.1	Produção e componentes de rendimento	37
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Alfafa</b>	<b>39</b>
5.1.1	Produção de resíduos e concentração de nutrientes	39
5.1.2	Decomposição resíduos de alfafa	39
<b>5.2</b>	<b>Milho</b>	<b>45</b>
5.2.1	Produtividade dos grãos de milho	45
5.2.2	Componentes de rendimento da cultura do milho	46
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>49</b>

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção da cobertura no solo é uma prática que atua reduzindo a ocorrência de erosão, evitando perdas de solo, minimiza a evaporação de água e conseqüentemente aumenta sua infiltração e o armazenamento no solo, e ainda ocasiona incremento nos níveis de matéria orgânica, promovendo condições mais adequadas para o desenvolvimento das plantas (ALVARENGA *et al.*, 2001). Dentre as diversas possibilidades e combinações de espécies de plantas para uso de cobertura do solo, as leguminosas se apresentam como uma alternativa viável.

As espécies de leguminosas podem contribuir com vários efeitos benéficos ao rendimento das culturas de interesse. Percebe-se que as melhorias das condições edáficas promovidas pelo uso de leguminosas como cobertura de solo, estão relacionadas principalmente ao aumento da disponibilidade de nitrogênio (BALDOCK; MUSGRAVE, 1980) (HARRIS; HESTERMAN, 1990), visto que, através da simbiose com bactérias do gênero do *Rhizobium Bradyrhizobium*, adicionam nitrogênio reativo para o sistema pela fixação biológica (FBN) (CLEVELAND *et al.*, 1999) (CREWS, 1999). No processo de FBN as plantas são utilizadas pelas bactérias como fontes de carbono e energia, onde irão liberar o N fixado e convertê-lo a N orgânico (POOLE; ALLAWAY, 2000), favorecendo assim a disponibilização deste nutriente às plantas e ao solo, garantindo maior aporte deste ao sistema.

Além do fornecimento de nitrogênio com o uso de leguminosas como cobertura, outros benefícios como: auxílio no controle da erosão do solo, melhoria da sua estrutura, redução da incidência de plantas daninhas e quebra de ciclos de pragas e doenças (AMADO; MIELNICZUK; FERNANDES, 2000) e (BALLESTA; LLOVERAS, 2010), são relatados como motivadores de aumento de produtividade de culturas sucessoras.

A quantidade de N que a cultura sucessora de interesse poderá aproveitar irá variar de acordo com a sincronização entre a taxa de decomposição da cobertura e a demanda da cultura de interesse pelo nutriente, segundo Amado, Mielniczuk e Fernandes (2000) a partir disso, é necessário conhecer a disponibilidade do nutriente que a leguminosa irá liberar, buscando sempre aumentar o N absorvido pela cultura e reduzir as perdas que ocorrem no sistema solo-planta.

O cultivo de milho sucedendo a alfafa, por exemplo, é uma prática realizada em várias partes do mundo. Em pesquisas já realizadas com essa combinação é relatado que o milho, atingiu seu rendimento máximo sem ou com pouca quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado (BUNDY; ANDRASKI, 1993) e (AFLAKPUI *et al.*, 1994), demonstrando assim que ao combinar o uso de fertilizantes com o uso de leguminosas de cobertura, podem ser obtidas muitas vantagens que contribuem para um agroecossistema sustentável.

Fox e Piekielek (1988) afirmam que o efeito residual da alfafa, contribuindo para a disponibilidade de N, pode durar até mais de um ano, sendo que se depararam com esse

efeito em uma safra de milho no segundo ano, que variou de 67 a 89 kg ha<sup>-1</sup>. [Amado, Mielniczuk e Fernandes \(2000\)](#), fizeram uma associação entre o sistema plantio direto e o uso de leguminosas como cobertura, obtendo aumento significativo nas reservas totais de N do solo, assim como [Bundy e Andraski \(1993\)](#) e [Ballesta e Lloveras \(2010\)](#), que encontraram maiores rendimentos de milho em rotação com alfafa, quando comparado ao milho cultivado em monocultura. Vale ressaltar, que a quantidade de N liberada pela alfafa pode depender das condições edafoclimáticas da região, além do sistema de manejo que é utilizado pelo produtor ([RASSINI, 2001](#)).

Em suma, a alfafa é uma leguminosa que apresenta excelente eficiência na fixação biológica de nitrogênio e muitas vezes substitui o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura sucessora ([MOREIRA \*et al.\*, 2007](#)). Porém, é necessário manter condições favoráveis para que as bactérias fixadoras realizem seu trabalho, como manter uma reposição de nutrientes satisfatória, que é considerado um dos principais fatores que pode garantir a sustentabilidade ([BARCELLOS \*et al.\*, 2008](#)).

Quanto aos outros nutrientes, o fósforo, por exemplo é de grande importância e indispensável para as plantas, quando se eleva seu teor e disponibilidade, resulta em aumento na quantidade e distribuição do sistema radicular da cultura da alfafa ([MOREIRA, 1997](#)). A disponibilidade de potássio (K), a mesma tem sido associada à fixação de nitrogênio na cultura da alfafa em diversos estudos já realizados, visto que, existe forte relação entre o N e K, uma vez que estão entre os nutrientes mais extraídos por diferentes culturas. O potássio está envolvido em algumas reações bioquímicas essenciais para o metabolismo vegetal, já o nitrogênio é um constituinte essencial dos aminoácidos, proteínas, hormônios, clorofila e ácidos nucleicos, e a interação entre eles pode ocorrer em diferentes momentos quando se considera o sistema solo-planta ([VIANA, 2007](#)). Para [Lopes e Guilherme \(2007\)](#), essa interação segue a Lei do Mínimo estabelecida por Liebig em 1862, onde por exemplo, quando o N é aplicado em quantidades suficientes para aumento de produtividade, esta passa a ser limitada pelos níveis baixos de potássio aplicados ao solo.

[Xu, Wolf e Kafkafi \(2002\)](#) citam que esta relação da disponibilidade do nitrogênio e do potássio, é importante no processo de desenvolvimento das plantas, onde, o metabolismo de N nas plantas necessita de boas quantidades de K no citoplasma, pois, se faz relevante na produção de aminoácidos e na produtividade das culturas.

No cultivo da alfafa, o potássio aumenta a eficiência no uso do nitrogênio ([ALMEIDA \*et al.\*, 2014](#)), bem como, pode até ajudar na redução de alguns ataques de pragas e ocorrência de doenças nas plantas ([GREWAL; WILLIAMS, 2002](#)). O fornecimento do potássio para as plantas estimula o aproveitamento do nitrogênio, possibilitando que sua absorção, assimilação, nutrição e, conseqüentemente, a produtividade, sejam aumentadas ([VIANA; KIEHL, 2010](#)), sendo que, a maior absorção de K permite uma assimilação rápida do NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, evitando que fique em níveis altos e ocasione toxidez ([AJAY; MAYNARD; BARKER, 1970](#)) e ([DIBB; WELCH, 1976](#)).

Contudo, alguns produtores hesitam em adotar sistema de cultivo de milho em sucessão a alfafa, pois, ainda há um ceticismo quanto a disponibilização de nitrogênio para a cultura do milho pela alfafa, mesmo com vantagens já apresentadas em relação ao milho em monocultura. Infelizmente, esta situação leva muitas vezes, na perda da oportunidade de redução de custos com fertilizantes e/ou mitigação dos prejuízos ao meio ambiente (PETERSON; RUSSELLE, 1991) (BUNDY; ANDRASKI, 1993).

Mesmo considerando a importância da ciclagem de nutrientes, ainda são poucos os estudos sobre a decomposição e liberação de nutrientes das pastagens e de resíduos vegetais no Brasil, portanto, considerando a relevante importância de se ter informações e dados nessa área de estudo, o objetivo desta pesquisa foi determinar a taxa de decomposição e os padrões de liberação de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) resultantes da decomposição de resíduos de alfafa e seus efeitos na produtividade do milho baseado nas taxas de aplicação de doses crescentes de nitrogênio.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a alfafa como adubação verde sendo essa dessecada ou não, e sua liberação de nutrientes, com destaque ao nitrogênio, para a cultura do milho, buscando utilizá-la como principal fornecedora de N.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a produtividade de MS dos resíduos de alfafa;
- Avaliar os teores de N, P, K, Ca e Mg liberados dos resíduos de alfafa para o milho pela ciclagem de nutrientes;
- Analisar os efeitos da alfafa como cobertura do solo, com e sem dessecação, na produtividade do milho;
- Analisar os efeitos da alfafa como cobertura do solo, com e sem dessecação, nos componentes de rendimento do milho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Utilização de plantas de cobertura no solo

Na busca por sistemas de uso do solo de forma sustentável uma das alternativas utilizadas, almejando também o menor custo e maior produtividade, é a utilização de plantas de cobertura para a produção de palhada, que juntamente com o menor revolvimento do solo são consideradas medidas que reduzem impactos ambientais, resultam em economia ao produtor e maior eficiência na adubação, visto que, parte dos nutrientes que são requeridos podem ser supridos através da liberação dos mesmos, durante o processo de decomposição da palhada (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

A taxa de decomposição do material vegetal da planta de cobertura leva em conta o volume da palhada, as condições de fertilidade do solo, o manejo utilizado e das condições climáticas do local de cultivo, como precipitações e temperatura, as quais afetam a atividade microbiológica do solo. Vale lembrar que a atividade da mesofauna é de grande relevância na etapa inicial da decomposição, onde é exposta uma maior superfície de contato para o ataque da biomassa microbiana (ALVARENGA *et al.*, 2001).

Utilizando espécies de cobertura do solo é possível ter o maior controle de erosão, melhorando propriedades físicas, químicas e também biológicas do solo (ZALAMENA *et al.*, 2013) (ALVARENGA *et al.*, 2001) (VENTURA; WATANABE, 1993). Com a implantação de culturas de cobertura com rusticidade, tolerantes a estresses ambientais e alta produtividade de massa, é possível obter a manutenção de resíduos culturais, diminuição na amplitude térmica e conservação da umidade do solo, além da melhoria nas características e diminuição de perdas do solo e maior retenção de nutrientes, devido ao aumento de matéria orgânica (BRANCALIÃO; MORAES, 2008) (CARVALHO *et al.*, 2008) (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

Tanto a quantidade como a qualidade da palhada que ficará sobre o solo, serão dependentes do sistema de rotação utilizado, além do tipo de planta de cobertura e do manejo, sendo que, é necessário realizar uma seleção das melhores espécies, com maiores potenciais de produção para as condições de cultivo da região, buscando principalmente rápido estabelecimento e produções de fitomassa, que indicam maior oferta de palhada sobre o solo e maior ciclagem de nutrientes, para o alcance de benefícios físicos provindos da cobertura (ALVARENGA *et al.*, 2001).

A permanência desta palhada na superfície do solo se torna relevante, pois, protege o sistema solo-planta, permite o favorecimento na biota do solo e na ciclagem de nutrientes (BRANCALIÃO; MORAES, 2008) (CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO, 2010). Isso posto, Ceretta *et al.* (2002), destacam que é necessário manter a produção de biomassa vegetal e o processo de decomposição mais lento, para que permaneça no solo por mais tempo protegendo-o, sendo que, a velocidade de decomposição dos resíduos culturais irá determinar o tempo que

a cobertura morta irá permanecer sobre a superfície do solo. Quanto mais rápido ocorrer a decomposição consequente aumentará a velocidade de liberação de nutrientes e diminuirá o tempo de proteção do solo, todavia, quando os teores de lignina juntamente com a relação C/N dos resíduos estiverem altos, a decomposição será mais lenta e o solo ficará protegido por mais tempo (FLOSS, 2000).

A partir disso, as espécies podem ser divididas em duas classes, uma de decomposição rápida, onde se incluem as leguminosas, e outra de decomposição mais lenta, as gramíneas, em que pode se utilizar um valor em torno de 25 de relação C/N, que as diferencie e faça uma separação entre as classes (WIDER; LANG, 1982).

Uma das culturas que pode atender a premissa de maior tempo da permanência de resíduos culturais no solo, é a cultura do milho, sendo que, é uma gramínea que apresenta relação C/N de 30 ou maior nas fases de emborrachamento e florescimento (KLIEMANN; BRAZ; SILVEIRA, 2006). Porém, estes materiais vegetais com maior relação C/N, como o caso das gramíneas, ao mesmo tempo que permanecem no solo por maior tempo, podem no início de sua decomposição ocasionar maior imobilização dos nutrientes, deixando-os menos disponíveis para as plantas.

Para Pelá *et al.* (1999), que estudaram sobre diferentes culturas como cobertura do solo, encontraram que o milho apresentou o material vegetal mais resistente, seguidamente a cultura do guandu anão, Wisniewski e Holtz (1997), constataram que a palhada do milho permaneceu por um maior período de tempo no solo, consequência de apresentar alta relação C/N e lignina, mostrando uma perda de 49% de massa em 149 dias, já a cultura da aveia preta, também avaliada, perdeu 71% em 179 dias.

As plantas de cobertura do solo, possuem também capacidade de competição por fatores, como a luz, água e nutrientes (FAVERO *et al.*, 2001) (DIAS-FILHO, 2006), e a partir disto, podem resultar em inibição da germinação de plantas daninhas, pelo método de alelopatia. Segundo GOMES *et al.* (2014), isso pode ocorrer devido a alguns efeitos físicos causados pelo processo de decomposição do material vegetal, como o abafamento e/ou efeitos alelopáticos. A mucuna-preta e o feijão-de-porco, por exemplo, inibem o crescimento da cultura da tiririca (*Cyperus rotundus*) (MAGALHÃES, 1964), e são leguminosas, que por sua vez também podem ser utilizadas como culturas de cobertura, visto que, sua produção de palhada possui um manejo favorável ao aumento do teor e da disponibilidade de nutrientes nos solos, com destaque para o nitrogênio, todavia, possuem uma rápida decomposição, o que acarreta ao solo pouca cobertura e/ou protegido por menor tempo (LOPES; GUILHERME, 2007) (COSTA *et al.*, 2014).

Algumas gramíneas, como a aveia-preta, como cobertura do solo, também podem ocasionar essa redução na incidência de plantas daninhas, (THEISEN; VIDAL; FLECK, 2000), relataram além do aumento na produtividade da soja, a redução da infestação de papuã (*Brachiaria Plantagínea*), com o incremento de palha da cultura da aveia na superfície do solo, concordando com Theisen e Vidal (1999), que constatou o controle na incidência desta planta daninha com o uso de resíduos de aveia-preta e aveia-branca como cobertura do solo, sendo

que, o papuã é uma das plantas daninhas mais encontradas nos cultivos de verão como a soja, e causam prejuízos consideráveis no rendimento e qualidade de produção destas culturas de interesse (CONCENÇO, 2011) (FLECK, 1996).

Aita *et al.* (2001), testando a aveia preta como cobertura do solo para o cultivo do milho, em comparação com algumas espécies de plantas leguminosas, obteve a segunda maior produção de matéria seca, porém, o N acumulado se apresentou menor que o encontrado com o uso das leguminosas. Isso posto, é possível afirmar que as leguminosas de inverno são de grande relevância quando se busca aumentar o aporte de N ao solo.

### 2.1.1 Utilização de leguminosas como cobertura do solo

Em um solo desprotegido, o nutriente mais afetado é o nitrogênio, provocando sérias limitações na produtividade das culturas de interesse, como o milho. Isso ocorre pelo motivo de a matéria orgânica ser a principal fonte deste elemento, e esta se encontrar na superfície do solo ficando mais suscetível a perdas durante um processo de erosão hídrica, por exemplo (DA ROS *et al.*, 2003). Então, a utilização de plantas de cobertura do solo, durante o inverno principalmente, se torna uma das alternativas mais promissoras e eficientes. Na questão do nitrogênio, uma ótima opção é a utilização das leguminosas já que possuem potencial para fixar N<sub>2</sub> atmosférico em simbiose com (*Rhizobium* e *Bradyrhizobium*), e realizar o processo de fixação biológica de nitrogênio, disponibilizando este nutriente para a cultura sucessora e diminuindo os custos com fertilizantes que iriam ser utilizados (FERREIRA; SOUZA; CHAVES, 2012), (RUFINI *et al.*, 2014), (MASCENA, 2014) (CONTI; VITTI, 2021), principalmente para o milho, pelo N ser o nutriente mais requerido e imprescindível para seu desenvolvimento, e então a fertilização nitrogenada ser um componente importante do custo de produção da cultura (AITA *et al.*, 2001).

A quantidade de N que a cultura sucessora de interesse poderá aproveitar irá variar de acordo com a sincronização entre a taxa de decomposição da cobertura e a demanda da cultura de interesse pelo nutriente, segundo Amado, Mielniczuk e Fernandes (2000), Doneda *et al.* (2012) e Schimidt *et al.* (2021) a partir disso, é necessário conhecer a disponibilidade do nutriente que a leguminosa irá liberar, buscando sempre aumentar o N absorvido pela cultura e reduzir as perdas que ocorrem no sistema solo-planta.

É visto que, a utilização de leguminosas como plantas de cobertura é um método eficiente para o aumento da sustentabilidade dos agroecossistemas. Além da disponibilidade de N por meio do processo de fixação biológica, ainda protege o solo contra a erosão, dá maior aporte de biomassa para as áreas cultivadas, realiza a ciclagem de nutrientes e o controle de plantas daninhas (ESPINDOLA, 2005), (ESPINDOLA *et al.*, 2006), (GUERRA *et al.*, 2007).

As espécies de leguminosas perenes, por exemplo, são consideradas boas opções para o consórcio com espécies frutíferas e também aplicada num sistema como plantas forrageiras (BRYAN *et al.*, 2001) (UNDI; KAWONGA; MUSEENDO, 2001). Vale lembrar, que é necessário identificar as espécies para a garantia da eficiência destas plantas de cobertura, conhecendo sobre

suas características e limitações, [Franco, Resende e Campello \(2011\)](#) destacam a importância de ter essa identificação, pois, o fósforo, por exemplo, para as leguminosas pode ser limitante, visto que, além de ser essencial no desenvolvimento das plantas tem sua relevância durante o processo de fixação biológica de nitrogênio.

Alguns trabalhos comparam resultados obtidos com leguminosas e gramíneas como cobertura do solo, [Derpsch e Alberini \(1982\)](#), por exemplo, encontraram que as gramíneas, nabo forrageiro e colza, sempre foram superiores na manutenção de palhada no solo, quando comparadas com as leguminosas, ervilhaca peluda, ervilhaca comum e tremoço amarelo, todavia. [Ros e Aita \(1996\)](#), enfatizam que mesmo as leguminosas, no caso ervilha comum e ervilha forrageira, que possuem crescimento prostrado, apresentarem um crescimento inicial menor que a aveia preta, conseguiram deixar o solo totalmente coberto em 80 dias após a emergência. [Muzilli \(\)](#) trabalhando em um Latossolo do Paraná, constatou que o milho cultivado como cultura sucessora da ervilhaca comum, teve produtividade correspondente a uma dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral no tratamento em pousio invernal.

[Aita et al. \(2001\)](#), encontraram que cerca de 60% do N acumulado na parte aérea das leguminosas foi liberado dos resíduos culturas já nos primeiros 30 dias, e que o nutriente acumulado na parte aérea das leguminosas foi maior do que nas gramíneas avaliadas, onde a cultura que se destacou foi o tremoço com os maiores valores.

As culturas cultivadas em sucessão as plantas leguminosas tem um aumento do rendimento de grãos, além do incremento da adição de resíduos vegetais que não são colhidos do solo, o que beneficia o acúmulo de MOS e carbono ([GODSEY et al., 2007](#)), ([RESENDE, 2011](#)), ([LIMA, 2012](#)).

[Sisti et al. \(2004\)](#) ressaltam que as leguminosas são importantes na estabilização da matéria orgânica do solo, visto que, a cada 10 unidades de carbono sequestrado é preciso imobilizar 1 unidade de nitrogênio. Ainda, [Crews e Peoples \(2005\)](#) enfatizam que, pelo fato de as leguminosas apresentarem baixa relação C/N se espera que imobilizem mais nitrogênio.

Para [Coombs et al. \(2017\)](#), as culturas leguminosas têm a capacidade de aumentar os rendimentos de milho, destacando algumas culturas como a alfafa, que podem disponibilizar maiores quantidades de N para a cultura que será implantada em subsequência de seu cultivo.

### 2.1.2 A cultura da alfafa

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma forrageira perene originária do sudoeste continente asiático, e considerada uma cultura de alta palatabilidade e digestibilidade aos animais, características estas que aumentam o interesse no cultivo da mesma ([GOMES et al., 2002](#)), além de possuir alto potencial de produtividade, qualidade proteica, baixa sazonalidade na produção de forragem e capaz de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) ([SILVA, 2020](#)).

Para a alimentação de rebanhos leiteiros especializados e outros animais de alto valor zootécnico, é uma das culturas mais importantes, pois, além do seu alto valor nutritivo é de

grande aceitação por parte dos animais (RASSINI; FERREIRA; CAMARGO, 2008) (SILVA, 2020) (RODRIGUES; COMERÓN; VILELA, 2008).

(MOREIRA; CARVALHO; EVANGELISTA, 1999), enfatizam que é uma planta com exigências na questão de fertilidade do solo, relacionadas com a correção de acidez do mesmo, juntamente com a disponibilidade de nutrientes, sendo que, é uma das leguminosas mais exigentes em termos de acidez do solo (NÓIA *et al.*, 2014).

Sendo uma leguminosa, a alfafa tem a capacidade de realizar associação simbiótica com bactérias, popularmente rizóbios, realizando o processo de FBN do nitrogênio, visto que, já chegou a disponibilizar até 470 kg de N ha<sup>-1</sup> para as plantas (SILVA, 2020).

A partir disto, quando enfrentar problemas com acidez, ou seja, pH abaixo de 6,8, por exemplo, além do desenvolvimento das raízes ser drasticamente afetado, onde irá ocorrer diminuição do volume de solo explorado pelas mesmas e redução na absorção de nutrientes limitando os efeitos de adubação (Figura 1), a eficiência na fixação de nitrogênio realizada pela bactéria simbiótica *Sinorhizobium meliloti*, específica para a alfafa, também será prejudicada (HONDA; HONDA, 1999). Para Rhykerd e Overdahl (1972), o potencial máximo de produtividade é alcançado com o pH entre 6,5 e 7,5, e quando abaixo disso a fixação simbiótica do N pode ser negativamente afetada.

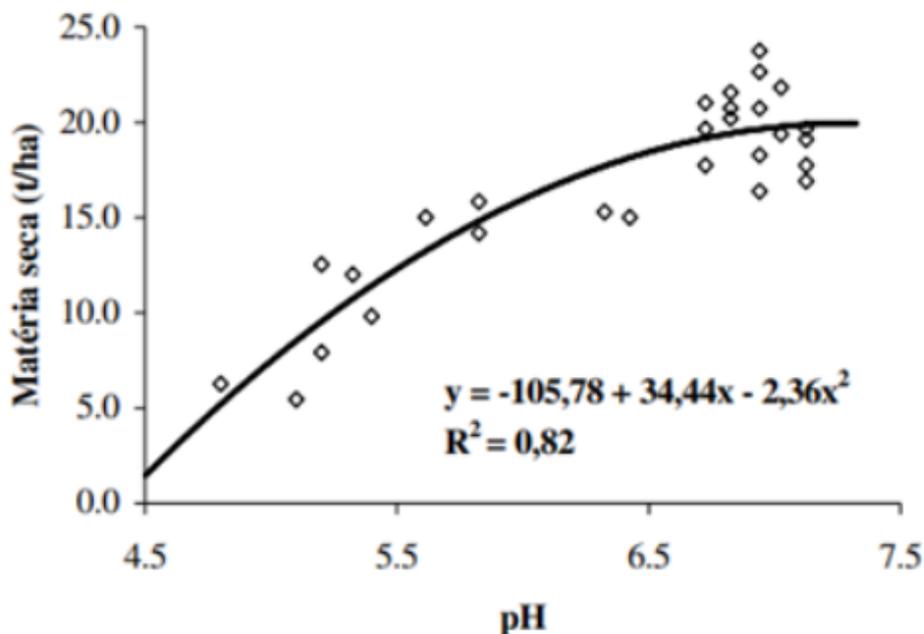


Figura 1 – Efeito do pH sobre a produção de alfafa – p 0,05

Fonte: Undersander et al. (1994).

No Brasil, as regiões Sul e Sudeste possuem condições edafoclimáticas adequadas para que a cultura da alfafa possa produzir o ano todo, uma vez que, nestes locais o potencial na fixação de N, varia em torno de 900 kg ha<sup>-1</sup> por ano, que corresponde ao dobro do que normalmente se encontra em regiões de clima temperado (OLIVEIRA *et al.*, 1999). Oliveira *et*

*al.* (2003) e *Moreira et al.* (2007), constataram que mais de 80% do nitrogênio presente na parte aérea da cultura, é promovido pelo processo de FBN, quando submetida a irrigação.

Na região norte do Paraná, em um Latossolo Roxo Eutrófico, *Rando* (1993), destacam que no cultivo da alfafa como cultura antecessora, as estirpes que permaneceram no solo promoveram resultados satisfatórios no processo de nodulação e no suprimento adequado de N para as plantas.

Nos solos nacionais o nível de P é baixo, por isso para a longevidade e a produtividade da alfafa é necessário realizar a adubação fosfatada, facilitando o estabelecimento e manutenção do estande (*SARMENTO; CORSI; CAMPOS, 2001*). Este nutriente é exigido em menores quantidades pela alfafa quando em comparação com N, K e Ca, todavia, ainda é o nutriente que mais apresenta resposta quando aplicado (*MOREIRA, 1997*) (*MOREIRA et al., 2007*).

*Moreira* (1997), ressalta que o aumento de fósforo contribui na quantidade e também distribuição das raízes desta cultura, colaborando com isto, *Moreira e Malavolta* (2001) em um experimento conduzido em vasos com fontes e doses de P, sob Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, verificaram que a produtividade também é dependente da presença da adubação fosfatada, visto que, quando ausente ocorreu diminuição.

Quanto ao K, para a cultura da alfafa é o nutriente que mais é exportado, por isso é necessária atenção especial para adubação potássica (*MOREIRA et al., 2007*) (*LANYON; SMITH, 1985*). *Lloveras et al.* (2001), encontraram valores de extração de potássio de 1500 kg ha<sup>-1</sup> a 1700 kg ha<sup>-1</sup>, apresentando produção de 21,5 t ha<sup>-1</sup> de MS, em solo de alta fertilidade.

*Rando* (1993), no norte do Paraná, verificou que a adubação potássica aplicada na alfafa, cultivar Crioula, em um latossolo vermelho eutrófico, proporcionou maiores produções de matéria seca em todos os cortes realizados. É importante salientar, que a partir de trabalhos realizados no Sul e Sudeste brasileiros, esta cultivar é considerada a mais produtiva, a qual não possui dormência definida e produz durante todo o ano, além de se adaptar a diversas condições climáticas (*SANTOS et al., 2004*) e ser resistente às doenças e com melhor desenvolvimento (*PEREIRA et al., 1998*).

A alfafa pode ser considerada uma boa cultura de cobertura por ser uma leguminosa que pode contribuir na adição de nitrogênio no sistema solo-planta-animal, *Biezus* (2013) trabalhando com a cultura encontrou para a região Sudoeste do Paraná, que a mesma contribuiu com uma produção média de 800 kg ha<sup>-1</sup> de N, todavia, a cada corte que era realizado, a parte aérea era removida e considerava-se apenas o N contido nas partes que permaneciam no sistema, segundo *Assmann et al.* (2017), se a alfafa tivesse sido conduzida sob pastejo, em torno de 70-90 % do N contido na parte aérea das plantas, iria voltar para o sistema resultando em elevado potencial da fixação biológica de N e conseqüentemente aumento dos estoques deste elemento no solo.

*Bruulsema e Christie* (1987) constataram que o rendimento do milho foi influenciado positivamente quando cultivado em sucessão a alfafa como adubação verde, visto que, ocasionou

aumento do nitrogênio disponível e também, por outros fatores decorrentes da incorporação dos adubos verdes ao solo.

## 2.2 Decomposição de resíduos culturais

Para a melhoria de condições físicas, químicas e biológicas do solo, uma das alternativas considerada viável, é o uso de plantas de cobertura que tenham uma boa produtividade de biomassa (BONJORNO *et al.*, 2010), sendo que, a decomposição destas plantas irá variar de acordo com a qualidade e quantidade de organismos decompositores, da composição química dos resíduos, aonde se incluem a relação C/N, teor de celulose, lignina e hemicelulose, juntamente com características edafoclimáticas do local (MALUF *et al.*, 2015). Vale lembrar, que a relação C/N é considerada um dos principais métodos de definição do tempo de decomposição da palhada (COSTA *et al.*, 2015), e que se indica utilizar plantas com uma relação C/N mais intermediária, segundo Doneda *et al.* (2012), neste caso se incluem espécies de poaceas e fabaceas.

Em um sistema de rotação de culturas, seja em consórcio ou alternância, para Canalli *et al.* (2020), abranger Fabaceas e Poaceas proporciona boas produções de fitomassa e decomposição, levando em conta a ciclagem de nutrientes e a demanda pela cultura sucessora, podendo proporcionar que o solo fique coberto por mais tempo.

A utilização de gramíneas como plantas de cobertura além de contribuírem para proteção do solo, são essenciais na liberação de nutrientes (PERIN *et al.*, 2010), todavia, em relação às leguminosas, disponibilizam menor quantidade de nitrogênio (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). As leguminosas possuem como característica baixa relação C:N o que resulta em liberação no nitrogênio que está na palhada do solo de forma mais rápida, não deixando o solo protegido por muito tempo (SILVA *et al.*, 2006), porém, a disponibilidade de N e outros nutrientes para as plantas sucessoras ocorrem também de forma mais rápida.

## 2.3 Ciclagem de nutrientes

Por motivos ambientais e econômicos, a utilização de fertilizantes em larga escala em sistemas agrícolas, tem sido problemática, sendo indispensável a busca por soluções com redução de custo e menor utilização de insumos, para o alcance de um sistema mais sustentável.

O fluxo entre os compartimentos dos agrossistemas, atmosfera, planta, animal, solo e água se denomina como ciclagem de nutrientes. Este processo envolve diversas etapas e permite que se possa calcular o balanço de nutrientes no sistema, onde estes se movimentam entre os compartimentos por meio de ciclos biogeoquímicos (ANGHINONI, 2017).

Segundo Andrade e Faria (1999), consiste num ciclo que envolve a absorção dos minerais realizado pelas plantas, translocação interna entre os tecidos vegetais das mesmas, e a passagem dos nutrientes em acúmulo na fitomassa novamente para o solo, a atmosfera e a hidrosfera, ficando novamente disponíveis para serem reabsorvidos.

Para o melhor conhecimento sobre estes ciclos biogeoquímicos é preciso levar em consideração as entradas e saídas que ocorrem, além dos nutrientes que retornam ao ambiente (De Sá, 2018). Para Vendramini *et al.* (2007), por exemplo, para uma pastagem o depósito de resíduos vegetais e animais é considerado o principal meio de retorno dos nutrientes para o sistema.

O processo de ciclagem de nutrientes é complexo, e segundo Gama-Rodrigues (2008), se constitui de 3 ciclos, o primeiro é o geoquímico que relaciona a ocorrência das entradas e saídas dos nutrientes no sistema, o segundo é o biogeoquímico que engloba toda a transferência dos nutrientes dentro do sistema solo-plantas, e o terceiro e último, o ciclo bioquímico, que envolve a retranslocação de nutrientes dentro da planta.

É importante ressaltar, que na escolha das espécies que sejam eficazes na ciclagem dos nutrientes, deve ocorrer concomitância entre a liberação de nutriente por parte da cobertura do solo e a demanda que a cultura de interesse cultivada posteriormente requer (BRAZ, 2004). Não obstante, a cultura de cobertura deve possuir uma quantidade e durabilidade satisfatórias da fitomassa produzida (BOER *et al.*, 2008) (LEITE *et al.*, 2010), assim como, avaliar a ciclagem de nutrientes levando em conta que estes possam ser liberados dos resíduos de forma gradativa, para a cultura em sucessão (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

O desenvolvimento em condições de baixa fertilidade do solo e se adaptar com valores baixos de pH, são os atributos que para Alvarenga *et al.* (2001), melhor caracterizam as espécies de melhores resultados na ciclagem.

Quando não é realizada a prática de revolvimento do solo, segundo Boer *et al.* (2007), e se tem a manutenção de resíduos culturais no solo, resulta em menor velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes, ou seja, diminui o ritmo da ciclagem destes. Quando se procura descrever esta liberação de nutrientes pela palhada.

Essa utilização de culturas de cobertura buscando a ciclagem de nutrientes, para Cremones *et al.* (2018), se caracteriza como uma estratégia para melhoria da qualidade ambiental e conseqüentemente a diminuição dos efeitos negativos em decorrência do monocultivo, dentre eles as perdas de nutrientes e solo, assim como, a incidência de plantas daninhas.

Uma ciclagem de nutrientes eficiente, com o máximo de aproveitamento de nutrientes nos sistemas de cultivo tropicais e sub-tropicais do Brasil, para Assmann (2016) pode ser atribuída a alguns fatores, como o sistema de plantio direto que possibilitou a existência de mais um compartimento de armazenamento dos nutrientes para sua futura liberação, a manutenção de plantas vegetando sobre o solo durante todo o ano, protegendo-o de perdas e até contribuir com a diminuição dos gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>), e também a possibilidade de ter plantas forrageiras com sistema radicular agressivo, as quais promovem a exploração de camadas diferenciadas de profundidade de solo, visto que, são consideradas mais adensadas que o sistema radicular de culturas agrícolas.

## 2.4 A cultura do milho

Durante o desenvolvimento de determinada cultura, a extração dos nutrientes do solo é o ponto de definição das exigências nutricionais da planta, diante disto, é preciso que os nutrientes sejam disponibilizados adequadamente, levando em conta o tempo e a forma que irá ser feito, evitando assim riscos de diminuição na produtividade (YAMADA; ABDALLA, 2006).

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos mundialmente. No Brasil, a safra desta cultura tem grande relevância na cadeia de abastecimento agrícola e conseqüentemente no setor econômico do país (CHECHI, 2018).

O nitrogênio e o fósforo para o milho são em grande parte translocados para os grãos, segundo Neumann (2005), por volta de 75% do nitrogênio absorvido do solo é translocado para o grão. Ao incorporar restos de palhada há retorno parcial dos nutrientes extraídos, em especial o potássio e o cálcio, fazendo-se necessária a reposição dos nutrientes para os cultivos subsequentes (YAMADA; ABDALLA, 2006) (COELHO, 2008). Todavia, o nitrogênio por possuir alta eficiência de conversão da radiação em biomassa, é o mais requerido pela cultura, tornando esta adubação uma importante prática de manejo (BORTOLLI, 2016).

Para Melo, Corá e Cardoso (2011) e Gomes *et al.* (2007), pelo N ter efeitos sobre o desenvolvimento da cultura, influencia, por conseguinte o potencial produtivo da mesma, resultando em estímulos no mercado de fertilizantes nitrogenados ser o fator que onera os custos da produção do milho.

Os componentes de rendimento são os indicativos da produtividade do milho, principalmente o número de espigas por planta, número de grãos por espiga e o peso de mil grãos (BORTOLLI, 2016). A adubação para a cultura deve ser realizada buscando dispor os nutrientes em seu período crítico, a adubação nitrogenada, por exemplo, no sul do Brasil é feita levando em conta a quantidade de matéria orgânica do solo e a expectativa de rendimento (Bortonili C. G. *et al.*, 2001).

Em um sistema com plantio direto (SPD), os resíduos gerados pela cultura cultivada como antecessora, torna-se fonte de nutrientes para a cultura de interesse implantada, visto que, pelo não revolvimento do solo a liberação de nutrientes é mais lenta quando comparada a um plantio convencional, devido a interação dos fatores de clima juntamente com a qualidade do resíduo (BOER *et al.*, 2007).

Azevedo Spehar (2002) ressaltam que, a cobertura morta se caracteriza principalmente pela relação C:N, onde as espécies ricas em carbono estrutural apresentam elevada relação C:N e então maior permanência no solo. Todavia, durante o início do processo de decomposição dos resíduos com estas características, grande parte dos nutrientes sofrem imobilização microbiana, e acabam ficando indisponíveis para as plantas (TEIXEIRA *et al.*, 2009) (ASSIS *et al.*, 2003).

Atualmente, gramíneas de inverno como a aveia preta (*Avena strigosa*) são muito utilizadas como cultura antecessora às culturas de verão, como o milho, situação que tem disponibilizado novas alternativas relacionadas com a gestão da adubação nitrogenada para o milho nessas condições, onde se realiza a antecipação da adubação nitrogenada, substituindo a

aplicação tradicional de N nos estágios V5 e V6 do milho, pela aplicação deste nutriente na fase de inverno, na cultura de cobertura (SANGOI; ERNANI; Da Silva, 2007).

Com aplicação de N utilizando a aveia como cobertura, Pauletti e Costa (2000), encontraram efeito na altura de plantas de milho e inserção da espiga, sendo maiores as alturas quanto maior a dose do N aplicado na aveia, corroborando com Sandini *et al.* (2011) que encontrou aumento na produtividade de grãos de milho.

O N aplicado no inverno pode ocasionar maiores rendimentos da pastagem e, consequentemente do produto animal, permanecendo no sistema e com possível uso da cultura sucessora, e permite melhor aproveitamento dos nutrientes, o que caracteriza um sistema de produção dentro dos princípios da sustentabilidade (SARTOR *et al.*, 2012).

Spagnollo *et al.* (2001) enfatizam que o uso de espécies leguminosas também é uma prática eficiente no fornecimento de nitrogênio para culturas cultivadas em sucessão, como o milho por exemplo, podendo ocasionar aumento no rendimento e economia quanto ao uso de fertilizantes nitrogenados.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Estação Experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural - IDR, localizada em Pato Branco - PR, no ano de 2013. A área experimental encontra-se localizada na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas 52° 41' longitude Oeste e 26° 07' latitude Sul, com altitude média de 700 m. O clima da região é classificado como Cfb (subtropical úmido), segundo classificação de Köppen (MAAK, 1981). O solo do local experimental é classificado como Latossolos Ustox, apresentando relevo ondulado de textura argilosa.

A precipitação pluviométrica no ano de 2013, nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, foram 190,3, 125,5, 93,6 e 219,0 mm, respectivamente. No ano seguinte, em 2014, no mês de janeiro a precipitação foi de 224,8 mm, em fevereiro de 0,0 mm e março de 329,5 mm, obtendo como média desses 7 meses 169 mm (IAPAR, 2014).

O delineamento experimental adotado para a condução do experimento foi de blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições (Figura 2). As parcelas foram compostas por dois tipos de resíduos de alfafa (dessecados ou não dessecados) e as subparcelas, com doses crescentes de nitrogênio (0, 50, 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>), aplicadas em cobertura (na forma de uréia) no estágio de V5 a V6 das plantas de milho.

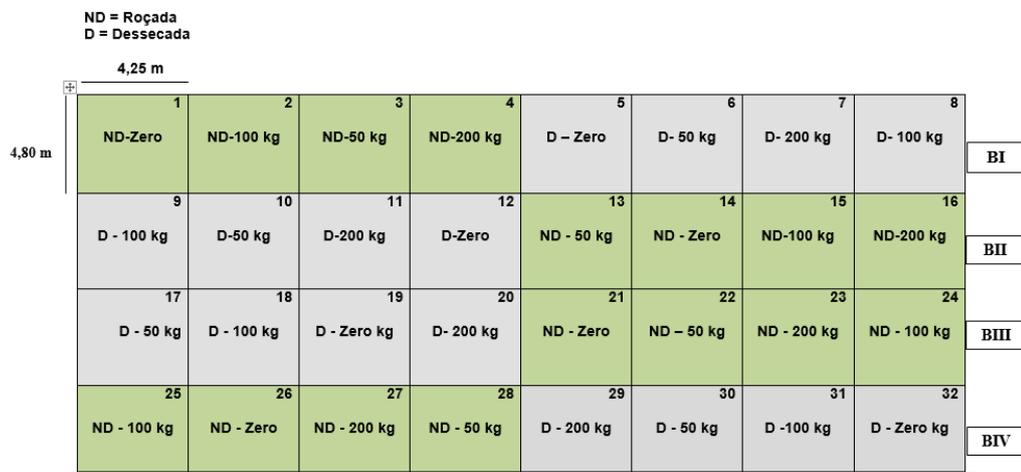


Figura 2 – Croqui experimental

O experimento foi implantado na área em que foi realizada a semeadura da cultura da alfafa, cv. Crioulo, em 27 de setembro de 2010, em sistema de plantio direto com densidade de semeadura de 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, antecedendo a cultura do milho. a mesma foi cultivada por 3 anos. O manejo adotado na alfafa foi de cortes para produção de feno, estes realizados a 7 cm em relação ao solo e quando as plantas atingiram 10 % da floração, durante todo o período (2010 a 2013). Em setembro de 2013, sobre o resíduo de alfafa, foi realizada a semeadura da cultura do milho por meio de plantio direto, com o intuito de avaliar o efeito

residual da fixação biológica de nitrogênio e a taxa de liberação dos nutrientes.

Para a implantação das parcelas com alfafa dessecada, antes do plantio foi aplicado o herbicida Glyphosate na dosagem de 2,5 litros por  $\text{ha}^{-1}$  de produto comercial contendo 360 g  $\text{l}^{-1}$  de ingrediente ativo (Glyphosate). Enquanto nas parcelas com alfafa não dessecada, essas plantas foram cortadas e o material retirado do local.

Após esses manejos, foi implantada a cultura do milho, utilizando o híbrido Pioneer 30F53YH, com espaçamento entre linhas de 80 cm e 6,5 plantas/m linear, utilizando como adubação de base 90 kg  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  e 60 kg  $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$ .

### 3.0.1 Experimento de decomposição de matéria seca (MS) e liberação de nutrientes

Foi avaliada a taxa de decomposição dos resíduos de alfafa, apenas das parcelas dessecadas, bem como a liberação de N, P, K e Ca destes para o milho, pela metodologia do uso de sacos de decomposição, os "litter bags", com metodologia descrita a seguir, em áreas correspondentes à combinação diferente de dose de N-fertilização.

Para a avaliação da velocidade de decomposição, após cada cultivo ou final de cada safra da alfafa, foram coletados, aleatoriamente nas parcelas, amostras de massa seca residual em 10 pontos de 0,5  $\text{m}^2$ , cortando com tesoura rente ao solo para que todo o material existente acima do mesmo fosse removido.

Após a coleta, as amostras foram secas em estufa a 60 °C, por 72 horas e posteriormente pesadas, sendo que 10 g de matéria seca de cada amostra foi alocada em sacos de nylon ("Litter Bags") com malha de 2 mm, medindo 20 x 20 cm. Para melhor acomodar dentro dos "Litter Bags" o material seco foi cortado em fragmentos de aproximadamente 15 cm, após foram lacrados e distribuídos sobre a superfície do solo na área do experimento, buscando representar as condições de plantio direto.

As coletas destes "Litter Bags" dos resíduos de alfafa, foram feitas no tempo 0, 11, 27, 45, 66 83, 116 dias após a deposição dos mesmos no campo, e em seguida o material dos sacos de decomposição foi seco em estufa de ar forçado (55°C).

Após este processo de coleta, foi avaliada a velocidade de decomposição por diferença de peso, baseando-se na quantidade inicial de cada "Litter Bag" (10 g) alocado no início das avaliações, menos a quantidade obtida através das pesagens ao longo do período de avaliação, sendo que, pela diferença de peso é possível calcular a quantidade de material remanescente em determinada data.

Nessas amostras também foram determinados os teores de N pelo método de Kjeldahi (BREMER, 1965) e P, K, Ca e Mg pelo método de digestão nítrico-perclorica (JOHNSON & ULRICH, 1959), seguindo a metodologia descrita por [Tedesco et al. \(1995\)](#).

As taxas de decomposição da matéria seca (MS) dos resíduos culturais das plantas cultivadas no experimento, e a taxa de liberação de nutrientes foram estimadas ajustando-se um modelo de regressão não linear aos valores observados, conforme proposto por [Wider e Lang \(1982\)](#). O modelo ajustado têm a seguinte equação matemática:

$$MSR = A e^{-kat} + (100-A)$$

Onde: MSR = percentagem de MS remanescente ou percentagem do nutriente remanescente em tempo t (dias); ka = taxa constante de decomposição da MS ou liberação de nutrientes do compartimento mais facilmente decomponível (A). Vale lembrar, que a mesma equação foi utilizada para determinar a taxa de liberação dos nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, apenas substituindo na fórmula o MSR por N, P, K, Ca e Mg.

Este modelo considera que a MS dos resíduos culturais ou a quantidade de nutrientes remanescente, pode ser dividida em dois compartimentos, onde apenas a MS ou os nutrientes remanescentes do compartimento mais facilmente decomponível é transformada, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. A MS ou a quantidade de nutriente remanescente do segundo compartimento é considerada mais recalcitrante e, por isso, não sofre transformação no período de tempo considerado. Não obstante, para o ajuste do modelo foi utilizado o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA)).

Após modelo ajustado, e com os valores da constante de decomposição da MS ou de liberação de nutriente de cada compartimento, foi possível calcular o tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ), ou seja, o tempo necessário para 50% da MS ou o nutriente daquele compartimento seja decomposto ou liberado, e para este cálculo foi utilizada a fórmula a seguir, cuja dedução é proposta por [Paul E.A.; Clark \(1989\)](#):

$$T_{1/2} = 0,693/k(a,b)$$

### 3.0.2 Rendimento de grãos e componentes do rendimento do experimento com milho

A produtividade de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi determinada pela colheita do milho, após a correção da umidade para 13%. Para a avaliação do desempenho e dos componentes de rendimento, foram medidas 4 linhas por parcela em uma distância de 2 metros, imediatamente após a contagem do número de plantas por linha para determinação do estande, e com auxílio de régua de três metros e paquímetro, foram medidos altura de planta, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo.

Por conseguinte, as espigas de cada planta foram coletadas e colocadas em sacos individuais devidamente identificados com o número de cada parcela. Cada saco foi determinado de acordo com o número de espigas por área útil, em seguida, 10 espigas de cada um destes sacos, foram retiradas aleatoriamente e foram descascadas e pesadas em balança analítica (Metler PE 1600), onde foi obtido o peso da palha e do sabugo, peso de 1000 grãos e massa total de grãos por espiga, todavia, o número de fileiras de grãos e o número de grãos por fileira foi feito de forma visual e manual. Cada parcela foi determinada com a ajuda do medidor de

umidade Gehaka G800. Além disso, com auxílio de paquímetro e régua, foram determinadas as medidas do diâmetro e comprimento da espiga, respectivamente.

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise estatística. A variância foi avaliada quanto à homogeneidade pelo teste de Bartlett e as variáveis que se mostraram homogêneas foram avaliadas pelo teste F. Quando os resultados mostraram significância a 5 ou 1% de probabilidade, as médias do fator qualitativo (dessecado ou não dessecado) foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (dose de N), as regressões polinomiais foram ajustadas entre os níveis de N (variável independente) e as demais variáveis dependentes, buscando o modelo que melhor expressasse essa relação.

### 3.0.3 Procedimentos estatísticos

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e a transformação dos dados foi realizada quando necessário. Quando os resultados mostraram significância a 5% e 1% de probabilidade, as médias dos fatores qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para os fatores quantitativos, a regressão polinomial foi ajustada. Modelos lineares e quadráticos foram testados e a seleção do modelo foi baseada na significância (menos de 5%) e no coeficiente de determinação. Para a interação significativa, taxas crescentes de N foram avaliadas com alfafa dessecada ou não dessecada, quando a interação não foi significativa, os fatores foram analisados separadamente. A análise estatística foi realizada com R studio e SigmaPlot® versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA).

## 4 RESULTADOS

A velocidade de decomposição dos resíduos de alfafa (MS) foi afetada pela interação Tempo x Doses de N no milho, já a taxa de liberação de nitrogênio apenas pelo fator tempo, assim como ocorreu para o potássio. Todavia, o fósforo, cálcio e magnésio foram afetados pelos fatores isolados tempo e doses de N aplicados no milho (Tabela 1).

**Tabela 1 – Resumo da análise estatística (ANOVA) da taxa de decomposição e liberação dos nutrientes dos resíduos da alfafa a 5% de probabilidade**

Variável	MS	N	P	K	Ca	Mg
Dose (A)	0,0231*	0,4787 <i>ns</i>	0,0005*	0,1354 <i>ns</i>	0,0177*	0,0051*
Tempo (B)	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Interação (AB)	0,0253*	0,9764 <i>ns</i>	0,8950 <i>ns</i>	0,7358 <i>ns</i>	1,0000 <i>ns</i>	0,9651 <i>ns</i>

**Obs: N: nitrogênio; P: Fósforo; K: potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio.. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro. *ns* Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey.**

A produtividade de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi influenciada pelo fator isolado Manejo e fator isolado Dose 2, contudo, os componentes de rendimento desta cultura foram afetados apenas pelo fator isolado manejo, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 2 – Resumo da análise estatística (ANOVA) da produtividade de grãos de milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) sob efeito dos resíduos de alfafa a 5% de probabilidade**

Variável	Produtividade
Dose (A)	0,0467*
Manejo (B)	0,0000*
Interação (AB)	0,9542 <i>ns</i>

**\* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro. *ns* Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey.**

**Tabela 3 – Resumo da análise estatística (ANOVA) dos componentes de rendimentos de milho sob efeito dos resíduos de alfafa a 5% de probabilidade**

Variável	Altura planta(m)	Altura inserção(m)	Nº grão/fileira	Peso total grão/espiga(g)
Dose (A)	0,7568 <i>ns</i>	0,1261 <i>ns</i>	0,1444 <i>ns</i>	0,4824 <i>ns</i>
Manejo (B)	0,0027*	0,0232*	0,0110*	0,0256*
Interação (AB)	0,2970 <i>ns</i>	0,4312 <i>ns</i>	0,2621 <i>ns</i>	0,4510 <i>ns</i>

**\* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro. *ns* Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey.**

## 4.1 Alfafa

### 4.1.1 Concentração inicial dos nutrientes e produtividade dos resíduos

A concentração nutricional inicial e a produtividade dos resíduos de alfafa, que se encontravam sobre o solo, não foram influenciados pela adubação nitrogenada realizada no milho ( $p=1,000$ ), que apresentaram a concentração inicial de N, P, K, Ca e Mg apresentados na tabela 4 e a quantidade de resíduos de alfafa remanescente sobre o solo foi de 1,600,00 kg MS ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 4 – Concentração inicial de macronutrientes em palhada residual de alfafa (g/kg) em cobertura de solo para cultura do milho. Pato Branco-PR, 2013.**

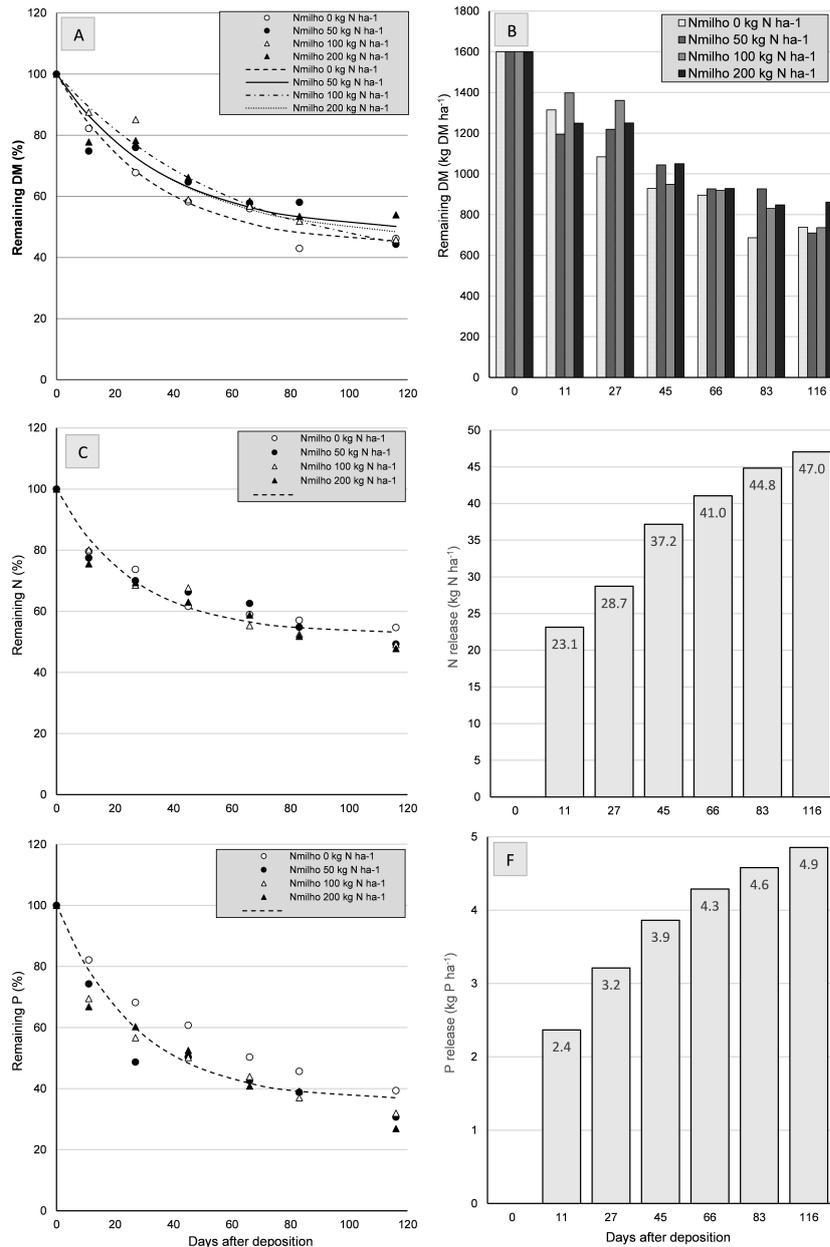
Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg
Concentração (g/kg)	38,4	3,6	15,7	12,3	3,1

### 4.1.2 Decomposição de resíduos de alfafa e liberação de nutrientes

Apenas a velocidade de decomposição dos resíduos de alfafa foi afetada pela interação Tempo x Doses de N no milho ( $p=0,0253$ ), e foi descrita por modelos exponenciais simples (Figura 3A) para cada dose de N aplicada. A velocidade de decomposição dos resíduos se deu mais rapidamente nas parcelas em que não foi aplicado N de cobertura no milho. A quantidade de resíduo de matéria seca restante sobre o solo foi influenciada apenas pelo fator tempo ( $p<0,0001$ ), sendo que, depois de 116 dias de deposição dos resíduos de alfafa restaram em média 750 kg MS ha<sup>-1</sup> de resíduo de alfafa (Figura 3B).

Já a velocidade de liberação de N dos resíduos de alfafa foi afetada apenas pelo fator tempo ( $p=0,0000$ ), conforme observado na figura 3C. Sendo que até os 116 dias foram liberados 47 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 3D).

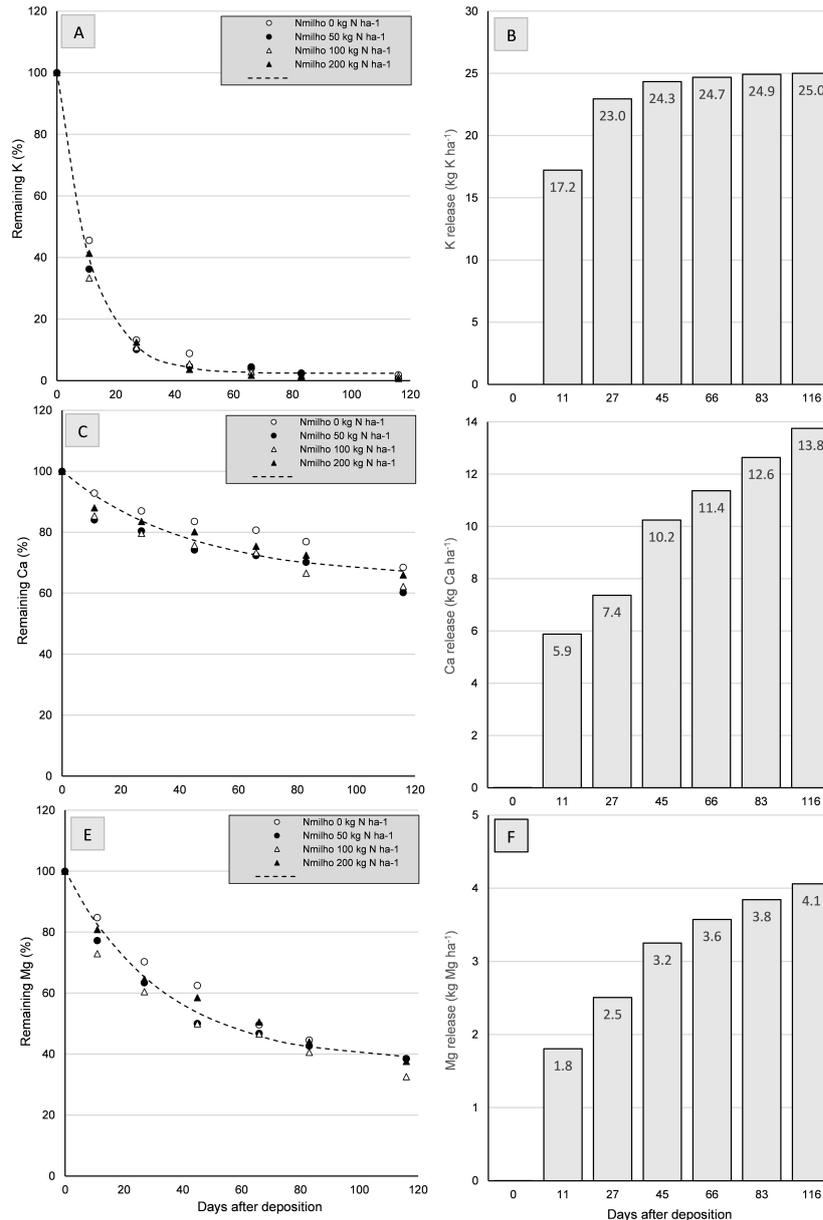
A liberação de P dos resíduos de alfafa foi influenciada pelos fatores isolados Tempo ( $p=0,0000$ ) e doses N aplicados no milho ( $p=0,0005$ ). A liberação de P dos resíduos de alfafa em função do fator Tempo foi representada por um modelo exponencial simples (Figura 3E). Já a liberação de P dos resíduos de alfafa em função aplicação de N sobre o milho foi representada por uma equação polinomial de segundo grau decrescente ( $Y=63,12 - 0,14X + 0,0005x^2$   $P=0,2907$   $R^2=0,91$ ). Sendo que, a maior retenção de P ocorreu quando o N não foi aplicado no milho (64%) e a partir da aplicação de 50 kg N ha<sup>-1</sup> a retenção de P diminuiu para 55% e permaneceu constante a partir dessa dose. Aos 116 dias restaram em torno de 32% de fósforo, o que correspondeu a 4,9 kg P ha<sup>-1</sup> liberado na palhada de alfafa, conforme figura 3f.



**Figura 3 –** Decomposição da matéria seca remanescente (A) e liberação de N (C) e P (E) de acordo com o modelo exponencial genérico  $MSR = A - kat + (100-A)$ , e quantidade de matéria seca remanescente (B), de N (D) e P (F), liberados dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litter-bags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho.

A velocidade de decomposição de K nestes resíduos, foi afetada apenas pelo fator Tempo ( $p=00000$ ), conforme exposto na figura 4A. Aos 116 dias apresentava 1,21% de K restante, valor este que equivaleu a 25 kg K ha<sup>-1</sup> liberado (Figura 4B).

Enquanto o Ca, teve sua velocidade de decomposição influenciada tanto pelo fator isolado Tempo ( $p=0,0000$ ), como pelo fator isolado Doses ( $p=0,0177$ ) (Figura 4C). Em torno de 13 kg Ca ha<sup>-1</sup> foram liberados da palhada de alfafa, conforme segue na figura 4D.



**Figura 4 – Liberação do K (A), Ca (C) e Mg (E) de acordo com o modelo exponencial genérico  $MSR = A e^{-kat} + (100-A)$ , e quantidade de K (B), de Ca (D) e Mg (F), liberados dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litter-bags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho.**

Para o Mg o fator isolado Tempo ( $p=0.0000$ ) e o fator isolado Doses ( $p=0.0051$ ), também afetaram a velocidade de sua decomposição nos resíduos de alfafa (Figura 4E). Aos 116 dias teve liberação de  $4,1 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  dos resíduos (Figura 4F).

Os parâmetros das equações referentes ao modelo exponencial simples de decomposição de MS, que foi influenciada pela interação tempo x doses de N no milho, encontram-se na Tabela 5. A porcentagem de matéria seca do compartimento mais prontamente decomponível (fração ativa) variou de 47,9 a 65,0% em função das doses de nitrogênio aplicadas sobre a cultura do milho (Tabela 5).

Na tabela 5 encontram-se também os parâmetros referentes aos modelos exponenciais

para liberação de nitrogênio e fósforo. Embora, essa tabela apresente os valores das equações individuais para cada dose, como visto anteriormente a liberação de N e P foi influenciada exclusivamente pelo fator tempo, sendo representadas por um modelo único.

**Tabela 5 – Parâmetros do modelo não-linear ajustado para decomposição da matéria seca remanescente e liberação de nutrientes (N e P) dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litterbags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho.  $MSR = A e^{-kat} + (100-A)$ .**

N Dose	Matéria seca				Nitrogênio				Fósforo			
	Fra. At. %	kA	T1/2 dias	R2	Fra. At. %	kA	T1/2 dias	R2	Fra. At. %	kA	T1/2 dias	R2
<b>Alfafa</b>												
0	56,3	0,0307	22,6	94,8	44,6	0,0412	16,8	85,7	62,9	0,0245	28,3	84,2
50	52,0	0,0276	25,1	74,4	46,4	0,0378	18,3	76,9	63,8	0,0467	14,8	76,3
100	65,0	0,0164	42,3	86,4	50,2	0,0329	21,1	62,9	63,7	0,0431	16,1	80,2
200	47,9	0,0305	22,7	77,2	48,7	0,0398	17,4	69,4	67,5	0,0352	19,7	83,8
UNICO					47,4	0,0377	18,4	74,9	63,9	0,0367	18,9	78,8

Em média o compartimento mais prontamente decomponível de N foi de 47,4%, o qual apresentava uma meia vida média de 18,4 dias. O modelo exponencial simples único explicou em média 74,9% (Tabela 5). Já o fósforo apresentou em média 63,9% da fração ativa que correspondia a uma meia vida em média de 18,9 dias.

A porcentagem de K da fração ativa, apresentou em média 97,6% com uma meia vida média de 7,9 dias, onde o modelo exponencial simples único expressou uma média de 97,9% (Tabela 6).

O Ca e o Mg apresentaram um modelo exponencial simples único com média de 53,4 e 88,4%, respectivamente (Tabela 6). O Ca obteve em média 35,2% do compartimento mais prontamente decomponível, correspondendo a uma meia vida média de 30,2 dias. Para o Mg a fração ativa média se apresentou em 62,8% onde a média de meia vida foi 23,2 dias (Tabela 6).

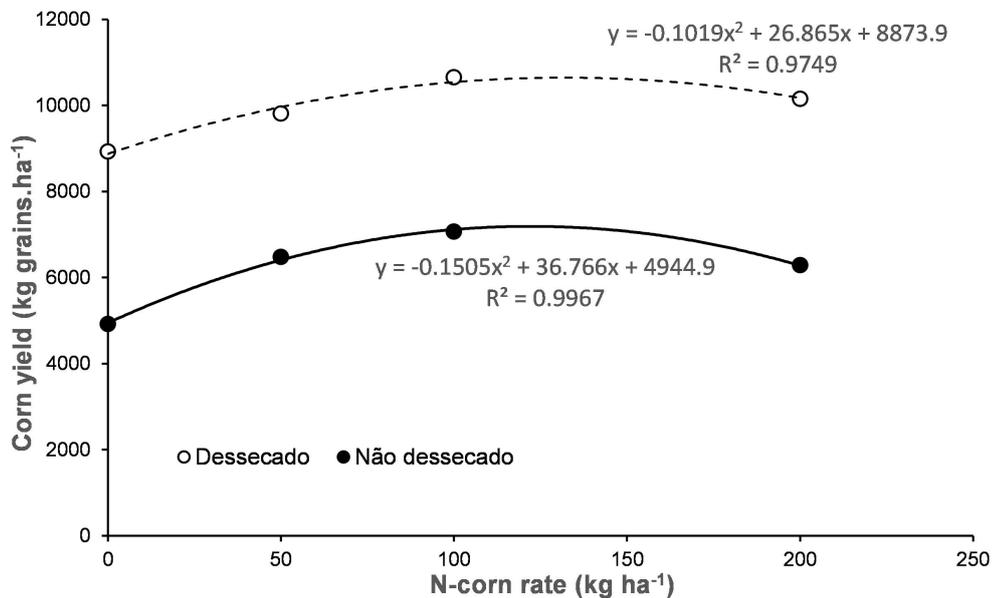
**Tabela 6 – Parâmetros do modelo não-linear ajustado para a liberação dos nutrientes (K, Ca e Mg) dos resíduos de alfafa durante a exposição dos "litterbags" no campo, afetados pelas doses de N aplicadas no milho.  $MSR = A e^{-kat} + (100-A)$ .**

N Dose	Potássio				Cálcio				Magnésio			
	Fra. At. %	kA	T1/2 dias	R2	Fra. At. %	kA	T1/2 dias	R2	Fra. At. %	kA	T1/2 dias	R2
<b>Alfafa</b>												
0	97,1	0,0762	9,1	98,9	39,9	0,0117	59,1	73,8	67,9	0,0201	34,5	89,8
50	97,3	0,0961	7,2	96,2	36,0	0,0297	23,3	53,5	60,6	0,0368	18,8	93,4
100	97,1	0,1023	6,8	99,4	36,3	0,0284	24,4	41,9	63,3	0,0376	18,4	90,9
200	98,9	0,0812	8,5	98,1	34,1	0,0224	30,9	67,3	62,5	0,0275	25,2	85,7
UNICO	97,6	0,0880	7,9	97,9	35,2	0,0229	30,2	53,4	62,8	0,0298	23,2	88,4

## 4.2 Milho

### 4.2.1 Produção e componentes de rendimento

Em relação a variável produtividade dos grãos de milho (Figura 5), a resposta à adubação foi influenciada isoladamente pelo fator Doses ( $p=0,0467$ ) e pelo fator Manejo ( $p=0,0000$ ). Sendo que, a produtividade média de milho nas parcelas dessecadas foi de 9887 kg grãos  $ha^{-1}$  e nas parcelas não dessecadas a produtividade média foi de 6186 kg grãos  $ha^{-1}$ . Mesmo não sendo significativa a interação entre os fatores Dose N milho X Manejo, optou-se por apresentar a curva de resposta à adubação nitrogenada para ambas situações (Figura 5), em que a equação média representativa para ambas as situações, dessecada e não dessecada, é  $Y = 6,909 + 31,8x - 0,1262X^2$   $R^2=0,99$ . Observa-se que máxima eficiência técnica obtida foi na dose de 125 kg N  $ha^{-1}$ , o que correspondeu a uma produtividade de 8912,12 kg  $ha^{-1}$ ,



**Figura 5 – Produtividade de grãos de milho (kg  $ha^{-1}$ )**

Quanto aos componentes de rendimento do milho, as variáveis altura de planta, altura de inserção de espiga, peso total de grãos por espiga e o número de grãos por fileira, foram influenciadas apenas pelo fator Manejo ( $p<0,05$ ), ou seja, com e sem dessecação dos resíduos de alfafa, sendo que nas parcelas dessecadas foram observados os maiores valores para todos esses componentes de rendimento (Tabela 7).

**Tabela 7 – Médias dos componentes de rendimento do milho em manejo dessecado e não dessecado dos resíduos de alfafa**

Váriável	Dessecado	Não dessecado
Altura de planta(m)	2,18	1,99
Altura de inserção de espiga(m)	1,18	0,97
Peso total de grãos/espiga(g)	187,29	166,36
Nºde grãos/fileira (grãos)	33	28

## 5 Discussão

### 5.1 Alfafa

#### 5.1.1 Produção de resíduos e concentração de nutrientes

A relativa baixa quantidade de resíduos de alfafa que restou sobre o solo (1.600,00 kg MS ha<sup>-1</sup>) se justifica pela retirada constante da parte aérea das plantas para a produção de feno. A forrageira quando utilizada para cortes para fenação tem parte do material retirado e, conseqüentemente, extrai parte dos nutrientes para fora do sistema (HASELBAUER, 2017), influenciando na produtividade final.

O processo de fenação, tem por objetivo principal a preservação de recursos forrageiros para períodos de escassez de alimento durante o ano, e a alfafa é considerada no Brasil, a leguminosa forrageira mais utilizada para este fim (ARCANJO, 2016).

Contudo, mesmo a parte aérea das plantas de alfafa tenham sido removidas constantemente, deve-se ressaltar que o sistema radicular permaneceu na área durante pelo menos 3 anos, e que durante este período possivelmente, grandes quantidades de nutrientes foram ciclados por esta via, especialmente o nitrogênio oriundo da fixação biológica nos nódulos radiculares.

A concentração inicial de N, P, K, Ca e Mg (Tabela 4), são valores próximos aos encontrados por Perin e Teixeira (1998), os quais avaliaram a cultura de Mucuna Cinza, que também é uma leguminosa, com 37,61 g N kg<sup>-1</sup>, 2,13 g P kg<sup>-1</sup> e 13,19 g K kg<sup>-1</sup> na parte aérea das plantas. Para Moreira e Malavolta (2001), que trabalhou em casa de vegetação com a utilização de vasos, a concentração de nutrientes desta cultura se limita de 26 a 35 g N kg<sup>-1</sup>, entre 2,5 e 3,5 g P kg<sup>-1</sup>, de 20 a 22 g K kg<sup>-1</sup>, 14 a 20 g Ca kg<sup>-1</sup> e 2,0 a 6,0 g Mg kg<sup>-1</sup>, valores estes que se assemelham aos encontrados no presente trabalho.

#### 5.1.2 Decomposição resíduos de alfafa

Aos 116 dias, restava ainda em torno de 45% dos resíduos de alfafa no sistema (Figura 3A), e é possível comparar estes dados com o trabalho de FABIAN, CORÁ e TORRES (2006), os quais estudaram sobre diferentes plantas de cobertura no cerrado, e para a braquiaria, uma gramínea, obtiveram que após os 120 dias, por volta de 60% do compartimento prontamente decomponível ainda restava no sistema.

Aita e Giacomini (2003), comparando as culturas de gramíneas e leguminosas como cobertura do solo, encontraram após o primeiro mês de avaliação, que a taxa de decomposição das leguminosas superou a das gramíneas, onde 81 % dos resíduos de aveia ainda permanecia na superfície do solo, já a ervilhaca apenas 57 %. Ebertz (2021) também encontrou maior taxa de decomposição para a ervilhaca em comparação com a aveia-preta, e a partir disto, pode-se concordar com o fato de as leguminosas poderem apresentar uma maior decomposição quando

em comparação com as gramíneas, onde as leguminosas, como a alfafa, apresentam menor relação C:N, e conseqüentemente, rápida decomposição e degradação em relação a outros resíduos de gramíneas (NERVIS, 2016) (CERETTA *et al.*, 2002). Carlesso, Ribeiro e Hoehne (2011) também afirmam que quanto maior for essa relação C/N, maior também será o tempo de decomposição do material, ou seja, permanece mais tempo na superfície, e assim vice-versa, concordando com Salton, Hernani e Fontes (1998).

Aita e Giacomini (2003), como apresentado anteriormente, encontraram após o primeiro mês de avaliação, que restavam no sistema 57% dos resíduos de ervilhaca, já para a alfafa neste trabalho aos 30 dias, permanecia ainda em torno de 64%. Mesmo as duas culturas serem leguminosas, esta diferença pode estar relacionada pelo fato de que a alfafa sofreu o processo de cortes durante o cultivo, o que resultou em menor lignificação dos tecidos vegetais e teve essa menor taxa de decomposição dos resíduos, visto que, durante a rebrota se tem maior presença de colmos e estes apresentam menos tecidos lignificados, e com baixos teores de lignina se tem a diminuição na velocidade de decomposição (FLOSS, 2000) (CARVALHO *et al.*, 2009), corroborando com o trabalho de Carvalho *et al.* (2008), os quais enfatizaram que a cultura do guandu teve menor taxa de decomposição devido ao seu alto teor de lignina. Além disso, o fato da alfafa apresentar porte ereto, resulta na maior contribuição do colmo no total da biomassa.

Contudo, Rheinheimer (2000), Aita e Giacomini (2003) e Espindola *et al.* (2006), asseguram que a susceptibilidade dos resíduos vegetais à decomposição possui relação com sua decomposição química, onde se enquadram os teores de celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis, além das relações entre constituintes, com destaque para a relação C/N.

No presente trabalho, o tempo necessário para decompor 50% do compartimento mais prontamente decomponível dos resíduos da alfafa (56,3%), variou de 22,6 a 42,3 dias, valores que se assemelham aos encontrados por Torres *et al.* (2005), que trabalhando com gramíneas e leguminosas como cobertura para as culturas de milho e soja, concluíram que as leguminosas, guandu e a crotalária, apresentaram maior velocidade de decomposição quando comparadas às gramíneas, e para o milho estas apresentaram tempo de meia vida de 22 e 47 dias, respectivamente. Resultados estes, que corroboram com Torres (2014), que avaliando a decomposição dos resíduos de diferentes coberturas de solo para a cultura da soja, observaram também valores de tempo de meia vida menores para as leguminosas quando comparado aos das gramíneas, onde as culturas de milheto e braquiaria apresentaram um tempo de 93 e 70 dias, respectivamente, enquanto para as leguminosas, feijão-de-porco encontraram 52 dias e a crotalária 62 dias. Ebertz (2021) também se deparou diante destas situações, onde em média para a ervilhaca ocorreu um tempo de meia vida de 50 dias, e para a aveia-preta em torno de 100 dias.

O carbono e o nitrogênio são considerados os nutrientes mais importantes para a ocorrência da atividade microbiana, por isso a relação carbono/nitrogênio (C:N) de um resíduo orgânico possui sobre a atividade dos microrganismos uma influência direta, o que

consequentemente, resulta em maior ou menor tempo de decomposição. Não obstante, os microrganismos utilizam em média 25 partes de C para 1 de N assimilada, onde o carbono é fonte de energia e o nitrogênio se faz importante na formação das proteínas e influencia a capacidade de reprodução e crescimento da população dos microrganismos de diversas espécies (CARLESSO; RIBEIRO; HOEHNE, 2012).

Todavia, apesar da biomassa microbiana realizar a imobilização do N, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, ao mesmo tempo, pode ser considerada uma fonte de N mineralizável, sendo que, as formas de N inorgânico, amônio e amônia, são assimilados pelos microrganismos do solo e também pelas plantas, onde sua disponibilidade será dependente da taxa de mineralização, sendo que, se necessário altos índices de biomassa microbiana a concentração de N irá diminuir, ocorrendo o processo de imobilização (PARRON; BUSTAMANTE; PRADO, 2004).

No presente trabalho inicialmente o processo de liberação de N foi mais rápido e posteriormente passou por uma fase mais lenta (Figura 3C), este resultado pode ser explicado pelo fato de que, nesta fase inicial ocorre a decomposição da fração do resíduo mais facilmente decomponível, que possui quantidades favoráveis de N e de carbono, acarretando na maior quantidade de microrganismos, por isso é realizada mais rapidamente, restando uma parte mais recalcitrante de mais difícil decomposição, reduzindo a quantidade de alimento para os microrganismos onde os mesmos irão passar pela fase de morte em que o C e o N disponíveis na biomassa serão reciclados e poderão ser utilizados pelas plantas novamente (VARGAS *et al.*, 1994) (CHRISTENSEN, 1985) (ANDRADE; TAVARES; COUTINHO, 2003), pois, estará reduzindo a imobilização e aumentando o nitrogênio mineral no solo (DONEDA *et al.*, 2012).

Este comportamento de rápida redução nas quantidades remanescentes de resíduos, seguida de outra mais lenta, ocorreu praticamente da mesma forma para todos os nutrientes avaliados (N, P, K, Ca e Mg) (Figura 3 e 4) e foram situações semelhantes às observados por Torres *et al.* (2005). Aita *et al.* (2001), Aita e Giacomini (2003), Giacomini (2003), Crusciol *et al.* (2005) e Doneda *et al.* (2012), os quais estudaram diferentes culturas, sendo elas gramíneas e leguminosas.

Contudo, Reinertsen *et al.* (1984) e Christensen (1985), justificam este comportamento observado, devido a capacidade dos compostos orgânicos, como os carboidratos da fração solúvel em água, serem utilizados como fonte de energia pela população microbiana.

Para Ceretta *et al.* (2002) a elevada decomposição e liberação de N inicial significa que para o melhor aproveitamento desse nutriente, deve ser realizado o quanto antes o cultivo da cultura de interesse, logo após o manejo dessas plantas de cobertura.

Vale lembrar, que os nutrientes contidos nos resíduos nem sempre irão seguir a mesma lógica de decomposição, pois, os nutrientes ficam alojados em toda a planta, por vezes em locais de mais difícil decomposição e/ou em locais de decomposição quase que instantânea (NERVIS, 2016).

O tempo de meia vida médio do N dos resíduos de alfafa foi de 18,4 dias (Tabela 5),

e pode ser considerado baixo, pois, equivale à velocidade de decomposição que apresentaram estes resíduos, onde, com a maior taxa de decomposição (Figura 3C) resultou em um menor tempo de meia vida, explicado pela decomposição ser inversamente proporcional a relação C:N das culturas, como já comentado anteriormente, e por se tratar de uma leguminosa esta relação é baixa, o que ocasionou a maior decomposição (ACOSTA *et al.*, 2014). Torres, Pereira e Fabian (2008) encontraram para a crotalaria, também espécie leguminosa, um tempo de meia vida do N que ficou em média 23 dias, e também teve uma taxa de decomposição maior, próximo ao encontrado no presente trabalho.

Aos 60 dias, no presente trabalho em torno de 40% do N foi liberado (Figura 3C), o que equivaleu a aproximadamente 41 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 3D), valor que se aproxima da lógica descrita por Cabezas *et al.* (2004), os quais citam que com o uso de leguminosas como cobertura, principalmente no sul do país, pode-se reduzir a demanda de N em 50 a 70% para o milho. Cassol *et al.* (2019) avaliando diferentes coberturas do solo, encontrou valores semelhantes aos do presente trabalho quando se tratou de leguminosas, onde aos 60 dias as culturas ervilhaca e tremoço apresentaram uma liberação de 42 e 48 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Ceretta *et al.* (2002), avaliando a liberação de N de diferentes culturas de cobertura para a cultura sucessora, encontraram aos 120 dias 94, 91 e 85% para o nabo forrageiro, aveia + ervilhaca e aveia preta, respectivamente. Acosta *et al.* (2014) trabalhando com a ervilhaca, relataram que a cultura levou em torno de 49 dias para decompor a metade da quantidade dos seus resíduos, já para Ebertz (2021) aos 90 dias havia decomposto aproximadamente 45% do N.

Aos 116 dias ocorreu uma liberação de N de 47 kg N ha<sup>-1</sup>, quantidade esta que pode ser considerada baixa, uma vez que, a demanda por N pela cultura do milho pode ser de até 150 kg N ha<sup>-1</sup> para a produção de 10.644 kg N ha<sup>-1</sup>, todavia, deve-se lembrar que a quantidade de nutriente presente na raiz das plantas não foi estimada, e provavelmente uma considerável quantidade do nutriente deve ter sido liberada durante o período de decomposição deste sistema radicular, especialmente na área em que a alfafa foi dessecada.

Na figura 3E, observa-se que a liberação de fósforo apresenta uma rápida decomposição inicial, estabilizando na sequência. A rápida decomposição inicial, pode estar associada a perda de fósforo solúvel em água, este acumulado nos vacúolos dos tecidos vegetais da planta (BUCHANAN & KING, 1993), podendo contribuir na eficiência do nutriente, diminuindo sua imobilização microbiana e também sua fixação pelos óxidos de ferro (FROSSARD *et al.*, 1995).

O fósforo se encontra em grande parte associado a componentes orgânicos do tecido vegetal (KELLER *et al.*, 2012), por isso, segundo Giacomini *et al.* (2003) sua liberação tem ligação direta com o processo de decomposição pelos microrganismos do solo.

Foi encontrado um tempo de meia vida médio de 18,9 dias para a liberação de P dos resíduos de alfafa (Tabela 5), e segundo Favarato *et al.* (2020), é um valor que indica uma maior velocidade de decomposição, visto que, quando trabalharam com a comparação de

culturas de cobertura, encontraram um tempo de meia vida para o tremoço de 28 dias, e já foi considerado um tempo de liberação rápido, justificado possivelmente pela menor relação C:N que estas espécies leguminosas apresentam, juntamente com uma proporção de folhas maior, onde proporcionam além do aumento da velocidade de decomposição, um maior contato entre as folhas e o solo, resultando em uma área maior para ação dos organismos decompositores, condicionando maior liberação de P dos resíduos culturais [Costa et al. \(2014\)](#).

A extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos que gire em torno de 10 toneladas, é de 42 kg N ha<sup>-1</sup> ([COELHO; FRANÇA, 1995](#)), diante disso, neste trabalho a quantidade de P liberada aos 116 dias, que foi de 4,9 kg P ha<sup>-1</sup> (Figura 3F), não foi suficiente para suprir totalmente a demanda da cultura, isto devido a baixa quantidade de resíduos provenientes dos cortes que foram realizados na cultura da alfafa, o que resulta em baixa quantidade de liberação deste nutriente, assim como para os demais.

Analisando o tempo de meia vida do potássio, é possível observar que foi bem menor em comparação aos demais, com uma média de 7,9 dias (Tabela 6), atestando a velocidade de decomposição ter ocorrido de forma mais rápida (Figura 4A), onde aos 30 dias já havia sido liberado cerca de 90% do K e em torno de 50 dias, quase não havia mais K na matéria seca remanescente, valor próximo ao encontrado por [Teixeira et al. \(2012\)](#). [Gebert et al. \(2016\)](#), observaram mesmo comportamento na decomposição do potássio para o tremoço e ervilhaca. Estes resultados também se assemelham aos de [Assmann et al. \(2017\)](#), onde afirmam que em torno de 80% do potássio é liberado via processo de mineralização, isso em menos de 30 dias,

Resultados semelhantes desta rápida liberação do elemento, foram encontrados por [Giacomini \(2003\)](#), que trabalhando com as culturas de aveia-preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro, constataram que a maior parte do K dos resíduos culturais das plantas de cobertura foi liberada logo após o manejo das espécies, corroborando também com [Pacheco et al. \(2013\)](#) e [Nadal \(2018\)](#), em que ambos observaram este efeito tanto para as gramíneas quanto para as leguminosas. Para [Viola et al. \(2013\)](#), a ervilha forrageira, ervilhaca comum e o tremoço tiveram mais de 90% do potássio na fração mais prontamente decomponível, e apresentaram meia vida inferior a 7 dias. [Nervis \(2016\)](#), trabalhando com aveia preta encontrou um tempo de meia vida de K semelhante ao apresentar 7,84 dias. Isso posto, o potássio é o primeiro elemento a ser liberado na mineralização da matéria seca e seguiu uma relação exponencial semelhante aos demais nutrientes.

O comportamento do potássio neste trabalho ficou dentro da normalidade dos sistemas, pois, em trabalhos realizados por [Nervis \(2016\)](#) e [Bortolli \(2016\)](#), os mesmos encontraram dados que aprovam os encontrados neste, onde encontraram rápida liberação no início, e aos 50 dias, praticamente já não havia mais potássio presente no sistema.

Estes resultados podem ser atribuídos ao fato de que o potássio não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal, atuando apenas em processos fisiológicos da planta e encontrar-se na forma iônica, ficando disperso e sujeito a ser facilmente liberado na decomposição dos resíduos ([COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005](#)) ([MARCELO;](#)

CORÁ; FERNANDES, 2012) (NADAL, 2018). Segundo Anghinoni (2017), por não fazer parte de compostos estruturais das plantas e ser rapidamente liberado para a solução do solo, não depende da atividade microbiana.

Portanto, à medida que ocorre o processo de degradação das plantas de cobertura, a concentração do K no tecido diminui de forma drástica, visto que, após o rompimento das membranas plasmáticas é um elemento facilmente removido em solução (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003) (MALAVOLTA, 1997). É importante ressaltar, que esta liberação acentuada demonstra a alta capacidade de ciclagem deste nutriente favorecendo o cultivo da cultura sucessora.

Não obstante, Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005), explica que o K se movimenta livremente no fluído das células e atua nos processos fisiológicos como no potencial osmótico e elétrico, balanço iônico, funcionamento da membrana celular, dentre outros.

Aos 116 dias nos resíduos de alfafa, teve uma liberação de cálcio de aproximadamente 30% (Figura 4C), que equivaleu a 13,8 kg Ca ha<sup>-1</sup>, restando ainda uma boa quantidade do nutriente presente no sistema. Esta quantidade de cálcio liberada não supre a necessidade do milho, sendo que, para uma produtividade de 10 toneladas ha<sup>-1</sup>, a cultura extrai cerca de 32 kg Ca ha<sup>-1</sup> (COELHO; FRANÇA, 1995).

Viola *et al.* (2013) avaliando a liberação de nutrientes de plantas de cobertura de solo, verificaram que o tremoço foi uma das espécies que teve um dos maiores acúmulos de cálcio nos resíduos, ou seja, nutrientes que permaneceram no sistema. Segundo Moreira *et al.* (2013), este acúmulo encontrado pode ser justificado por serem espécies leguminosas, e as mesmas possuem na composição de sua palhada altos índices de cálcio, quando em comparação a gramíneas. O tempo de meia vida deste nutriente no presente trabalho, foi em média 30,2 dias (Tabela 6), valor próximo ao encontrado por Favarato *et al.* (2020) para a cultura do tremoço (27 dias).

O Ca faz parte da composição estrutural das células, e atua como cofator de algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolipídios (TAIZ; ZEIGER, 2002), por estas características pode ter essa maior dificuldade de ser mineralizado da palhada e então liberado, afirmação que corrobora com Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Brito (2007) que constataram que isso pode estar relacionado com a função que o Ca desempenha na planta, ou seja, a constituição da parede celular, que possui lenta decomposição, ou segundo Maluf *et al.* (2015), devido a imobilização dos microrganismos no resíduo avaliado, seguindo relação estequiométrica entre o material orgânico e a comunidade microbiana.

O magnésio aos 116 dias havia sido liberado 60% (Figura 4E), o que correspondeu a 4,1 kg Mg ha<sup>-1</sup>, quantidade baixa em relação as exigências da cultura do milho, que extrai cerca de 33 kg Mg ha<sup>-1</sup> para a produção de 10 toneladas ha<sup>-1</sup>.

O tempo de meia vida encontrado neste trabalho para o Mg foi em média de 23,2 dias, menor que o Ca com 30,2 dias (Tabela 6), representando uma liberação mais rápida quando se comparam os dois nutrientes, sendo que, este valor de meia vida do Mg para os resíduos de

alfafa foi semelhante ao encontrado por Favarato (2020) para a cultura do tremoço, o qual correspondeu a 19 dias.

Marschner e Rengel (2012) cita que aproximadamente 70% do Mg tem sua atuação no vacúolo da planta, e o restante sofre a mineralização mais lentamente pelo elemento fazer parte de componentes estruturais e então dependentes da decomposição (MALUF *et al.*, 2015). Outro fato que pode explicar uma decomposição mais rápida é o magnésio ser consituente da molécula de clorofila (MÓGOR *et al.*, 2013), portanto, está presente na folha e possivelmente sujeito a uma decomposição mais fácil.

## 5.2 Milho

### 5.2.1 Produtividade dos grãos de milho

A partir de doses mais elevadas de N aplicadas na cultura do milho (Figura 5) se obteve um menor aproveitamento do nutriente pela cultura, que pode ser relacionado ao fato de que o suprimento do nutriente excedeu as necessidades do milho (FERNANDES *et al.*, 2005). Kappes, Arf e Andrade (2013) testando a produtividade do milho sob diferentes manejos de cobertura e doses de nitrogênio, obtiveram resultados semelhantes, em que a partir da dose de 120 kg N ha<sup>-1</sup> N a produção começa a decair, corroborando com Andrioli *et al.* (2008) que em seu trabalho afirmam que doses superiores a 120 kg N ha<sup>-1</sup> provocam diminuição na produtividade, em virtude da cultura do milho não responder a adubação, e com Fernandes *et al.* (2005), os quais constataram que a eficiência do uso de nitrogênio de diversos híbridos de milho testados, diminuiu conforme o aumento da dose de N aplicada.

As maiores produtividades de milho alcançadas neste trabalho a partir do resíduo de alfafa dessecado (10644 kg ha<sup>-1</sup>) e não dessecado (7191 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 5), pode ser considerada uma quantidade satisfatória, visto que, em comparação ao trabalho de Oliveira *et al.* (2011), que buscou avaliar o efeito da dessecação em resíduos de brachiaria para o milho, obteve 6.393 kg ha<sup>-1</sup> e 91 kg ha<sup>-1</sup>, quando dessecado e não dessecado, respectivamente. A maior produção obtida neste trabalho pode estar relacionada ao fato da cultura de cobertura ser uma leguminosa, o que acarreta no maior teor de N e baixa relação C:N destes resíduos, corroborando com Kappes, Arf e Andrade (2013), os quais avaliaram a produtividade do milho a partir de milheto e crotalária como cobertura, e obtiveram 6.847 kg ha<sup>-1</sup> e 7.968 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, obtendo a maior produção com a leguminosa. Ainda, AGOSTINETTO, Dirceu; FERREIRA, Fausto B.; STOCH, Gustavo; FERNANDES, Flavia F.; PINTO (2000) afirmam que essas características ocasionam a rápida decomposição juntamente com a maior disponibilização de nitrogênio e outros nutrientes.

A alfafa como pastagem é de grande importância para a redução de perdas de solo e de água, diminuição do selamento (encrostamento) da camada superficial do solo provocado pelo impacto das gotas da chuva, atua na ciclagem de nutrientes, auxilia no controle de plantas daninhas, aumenta a infiltração de água no solo, dentre outras (AGOSTINETTO, Dirceu;

FERREIRA, Fausto B.; STOCH, Gustavo; FERNANDES, Flavia F.; PINTO, 2000) (SILVA; HIRATA; MONQUERO, 2009). Andrioli *et al.* (2008) e Carvalho *et al.* (2008) demonstram que a crotalaria e o feijão-bravo-do-ceará apresentam favoráveis aspectos para a cobertura do solo, pois, mesmo com a taxa de decomposição rápida, ocasionaram maior produtividade de grãos de milho.

Em relação aos manejos utilizados, a alfafa dessecada ter apresentado valores de produtividade e componentes de rendimento maiores, pode ser justificado pela competição exercida pela cultura da alfafa quando não dessecada, visto que, a mesma apresenta grande competição quando consorciada com outras culturas, concordando com Zhang, Yang e Dong (2011), que constataram que a alfafa teve maior intensidade competitiva em relação ao milho quando em consórcio com o mesmo, e afirmam que existe grande competição da alfafa com gramíneas pelo N inorgânico do solo.

Vale lembrar, que quando não realizada a dessecação da alfafa, as plantas irão continuar se desenvolvendo, e mesmo com benefícios provindos da maior densidade de raízes, como se trata de uma espécie utilizada em cobertura, pode se apresentar com uma situação de risco de competição com a cultura de interesse comercial, neste caso o milho, em virtude de que, terá maior ocupação do espaço físico do solo e por conseguinte maior competição e extração de água e nutrientes (PACHECO *et al.*, 2010).

### 5.2.2 Componentes de rendimento da cultura do milho

Os componentes de rendimento que sofreram influência fator Manejo, nos resíduos de alfafa, apresentando valores maiores quando os resíduos foram dessecados, confirmam a ocorrência de competição de água e nutrientes entre as plantas quando não se realiza a dessecação. Normalmente a altura de plantas, por exemplo, aumenta, chegando a estiolar, devido a competição intraespecífica por luz (MARCHÃO *et al.*, 2005) (ARGENTA *et al.*, 2001) (BRACHTVOGEL *et al.*, 2012), todavia, neste trabalho as plantas milho e alfafa apresentavam dosséis diferentes, o que possivelmente explica estes resultados.

A altura de inserção de espiga se justifica provavelmente por se correlacionar com a altura de plantas, visto que segundo Santos *et al.* (2002) e Sgarbossa *et al.* (2020) a esta variável aumenta juntamente com a altura de plantas.

O peso total de grãos por espiga e o número de grãos por fileira, quando ocorre a dessecação e se obtém maiores valores, possivelmente também pode ser justificado pela não ocorrência da competição entre as plantas, além dos resíduos de plantas forrageiras antecessoras, quando dessecados e não competindo com as culturas de interesse, possibilitarem a sustentabilidade de produção em virtude que a mesma melhora os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, visto que, quando introduzido no sistema são capazes de incrementar teores de matéria orgânica, aumento da infiltração da água no solo, alta ciclagem de nutrientes e consequentemente maior produtividade (COSTA *et al.*, 2015).

Por fim, quando usado o manejo não dessecado, onde as plantas de cobertura

continuam participando do sistema, provocam competição entre as espécies, visto que, a cultura da alfafa apresenta grande necessidade nutricional, por isso, afeta negativamente quando consorciada com outras culturas. A partir disto, é preciso ficar atento a algumas necessidades da cultura de interesse, no caso o milho, para que não ocorra antagonismos e desfavorecimento na produtividade.

## 6 CONCLUSÕES

Devido a quantidade de resíduos de alfafa inicial ser pequena ( $1600 \text{ kg}^{-1}$ ) resultante do constante processo de fenação, observou-se quantidades de retorno de nutrientes relativamente pequenas ( $47 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $4,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $25 \text{ kg K ha}^{-1}$ ,  $13,8 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  e  $4,1 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ ) ao final dos 116 dias de deposição.

A velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos de alfafa foi de  $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$ .

A máxima eficiência técnica da adubação nitrogenada para ambas as situações de manejo foi na dose de  $125 \text{ kg}^{-1}$ , resultando em uma produtividade de  $8912,12 \text{ kg}^{-1}$ . Essa resposta a adubação nitrogenada do milho, quando cultivado na sequência de uma leguminosa, se justifica provavelmente pela constante remoção de nutrientes devido ao processo de fenação da alfafa que ocorreu durante 3 anos.

A produtividade do milho nas parcelas em que não ocorreu a dessecação da alfafa se apresentou menor (32,44%) em relação as parcelas desseçadas, devido a uma competição imposta pelas plantas de alfafa sobre a cultura do milho, o qual neste caso apresentou menores valores de altura de planta e de inserção de espiga, peso total de grãos por espiga e número de grãos por fileira.

## 7 Considerações Finais

A diferença de produtividade obtida entre o manejo dessecado e o não dessecado, equivaleu a aproximadamente 3701 kg grão ha<sup>-1</sup> a mais, o que corresponde a 61 sacas de milho. Considerando a cotação atual do mercado, é possível obter uma lucratividade maior, em torno de R\$ 6100,00 ha<sup>-1</sup>, com a adoção da dessecação dos resíduos da cultura de cobertura.

A ciclagem dos nutrientes dos resíduos de alfafa, quando dessecados, não apresentou altas quantidades de nutrientes ciclados para a cultura do milho, todavia, favoreceu uma complementação da nutrição da cultura de interesse comercial, refletindo diretamente na produção e diminuindo a quantidade de fertilizantes normalmente aplicados.

Isso posto, a cultura da alfafa pode ser considerada uma boa opção de cobertura do solo, se for manejada corretamente, visto que, a mesma pode disponibilizar nutrientes através da ciclagem, para as culturas em sucessão ao seu cultivo.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. d. A. *et al.* Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 5, p. 801–809, 2014. ISSN 16784596.
- AFLAKPUI, G. K. *et al.* Crop management systems for corn (*Zea mays* L.) following established alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 74, n. 2, p. 255–259, 1994. ISSN 00084220.
- AGOSTINETTO, Dirceu; FERREIRA, Fausto B.; STOCH, Gustavo; FERNANDES, Flavia F.; PINTO, J. J. O. Adaptação De Espécies Utilizadas Para Cobertura De Solo No Sul Do Rio Grande Do Sul. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 47–52, 2000. ISSN 2317-2436.
- AITA, C. *et al.* Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157–165, 2001. ISSN 1806-9657.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601–612, 2003. ISSN 0100-0683.
- AJAY, O.; MAYNARD, D. N.; BARKER, A. V. The Effects of Potassium on Ammonium Nutrition of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 1. **Agronomy Journal**, v. 62, n. 6, p. 818–821, 1970. ISSN 0002-1962.
- ALMEIDA, E. I. B. *et al.* Nitrogênio e potássio no crescimento de mudas de pitaia [*Hylocereus undatus* (Haw.) britton & rose]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p. 1018–1027, 2014. ISSN 01002945.
- ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25–36, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/485005>.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241–248, 2002. ISSN 0100-0683.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 179–189, 2000. ISSN 0100-0683.
- ANDRADE, A. G.; TAVARES, S. R. L.; COUTINHO, H. L. C. Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 220, p. 55–63, 2003. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Art6{\\\_}IA220{\\\_}contr{\\\_}da{\\\_}serrapilhaD-mN](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Art6{\_}IA220{\_}contr{\_}da{\_}serrapilhaD-mN).
- ANDRADE, A. G. de; FARIA, S. w. U. C. S. M. de. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Embrapa**, v. 53, n. 3, 1999. ISSN 00029149.

- ANDRIOLI, I. *et al.* Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 32, p. 1691–1698, 2008.
- ANGHINONI, I. *et al.* Ciclagem de nutrientes. **Congresso brasileiro de sistemas integrados de produção agropecuária**, n. December, p. 56–66, 2017.
- ARCANJO, A. H. M. Desidratação e perdas de nutrientes no processo de fenação de leguminosas forrageiras tropicais. **Dissertação de mestrado**, p. 49, 2016.
- ARGENTA, G. *et al.* Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 36, p. 71–78, 2001.
- ASSIS, É. P. M. *et al.* Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 2, p. 107 – 112, 2003.
- ASSMANN, T. S. *et al.* Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária. **1 Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 4 Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**, n. December, p. 67–84, 2017.
- ASSMANN, T. S. S. A. B. Migrando da adubação de culturas para a adubação de sistemas por meio da Integração Lavoura Pecuária. **Integrar GESTÃO E INOVAÇÃO AGROPECUÁRIA**, n. Parte II, p. 1–4, 2016. Disponível em: <https://integrarcampo.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Informativo-Integrar-No-4-Plantio-direto-em-terras-baixas-chegou-a-hora-de-discutir-de-fato-T1\textendashParte-II.pdf>.
- BALDOCK, J. O.; MUSGRAVE, R. B. Manure and Mineral Fertilizer Effects in Continuous and Rotational Crop Sequences in Central New York 1. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 3, p. 511–518, 1980. ISSN 0002-1962.
- BALLESTA, A.; LLOVERAS, J. Nitrogen replacement value of alfalfa to corn and wheat. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 1, p. 159–169, 2010.
- BARCELLOS, A. D. O. *et al.* Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPECIALISSUE, p. 51–67, 2008. ISSN 18069290.
- BIEZUS, V. POTÁSSIO NO SOLO E NA PLANTA E PRODUÇÃO DE ALFAFA CULTIVADA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO SOB DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA. **Dissertação de mestrado**, p. 1–78, 2013.
- BOER, C. A. *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269–1276, 2007. ISSN 0100-204X.
- BOER, C. A. *et al.* Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 843–851, 2008.
- BONJORNO, I. I. *et al.* Effect of winter cover crops on corn growing under zero-tillage system. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, p. 99–108, 2010.

- BORTOLLI, M. A. D. Adubação de Sistemas: Antecipação de Adubação Nitrogenada para a Cultura do Milho em Integração Lavoura-Pecuária. **Tese De Doutorado**, p. 89, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1729>.
- Bortonili C. G. et al. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 26, p. 361–366, 2001.
- BRACHTVOGEL, E. L. et al. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, p. 75–83, 2012.
- BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 393–404, 2008.
- BRAZ, A. J. B. P. et al. Pesquisa Agropecuária Tropical. **Tropical**, v. 34, n. 2, p. 83–87, 2004. ISSN 1517-6398. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253025900003>.
- BRUULSEMA, T. W.; CHRISTIE, B. R. Nitrogen Contribution to Succeeding Corn from Alfalfa and Red Clover 1. **Agronomy Journal**, v. 79, n. 1, p. 96–100, 1987. ISSN 0002-1962.
- BRYAN, H. H. et al. Perennial Arachis spp. as a Multipurpose Living Mulch, Ground Cover and Forage. **Journal of Vegetable Crop Production**, v. 7, n. 2, p. 113–136, 2001. ISSN 10496467.
- BUNDY, L. G.; ANDRASKI, T. W. Soil and Plant Nitrogen Availability Tests for Corn following Alfalfa. **Journal of Production Agriculture**, v. 6, n. 2, p. 200–206, 1993.
- CABEZAS, W. A. R. et al. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado Influence of the previous winter crop and nitrogen fertilization to corn productivity in no-tillage and conventional tillage Es. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1005–1013, 2004.
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77–86, 2010.
- CANALLI, L. B. et al. Residues Decomposition in Crop Rotations under No-till System. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. 1–11, 2020. ISSN 16784324.
- CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. **Revista Destaques Acadêmicos**, n. 4, p. 105–110, 2011.
- CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 3, n. 4, 2012.
- CARVALHO, A. M. de et al. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2831–2838, 2008. ISSN 0100-0683.
- CARVALHO, A. M. de et al. Composição química de plantas de cobertura e decomposição de resíduos vegetais. 2009.

- CASSOL, C. *et al.* **Plantas de cobertura e adubação nitrogenada como fonte de nitrogênio à cultura do milho em plantio direto**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- CERETTA, C. A. *et al.* Produção E Decomposição De Fitomassa De Plantas Invernais De Cobertura De Solo E Milho, Sob Diferentes Manejos Da Adubação Nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 49–54, 2002. ISSN 0103-8478.
- CHECHI, L. *et al.* EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION DEPTH ADJUSTMENT METHODS ON MAIZE YIELD COMPONENTS, GRAIN YIELD AND WATER USE EFFICIENCY. **Irriga, Botucatu**, v. 23, n. July, p. 454–466, 2018.
- CHRISTENSEN, B. T. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: Effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 5, p. 691–697, 1985. ISSN 00380717.
- CLEVELAND, C. C. *et al.* Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N<sub>2</sub>) fixation in natural ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 13, n. 2, p. 623–645, 1999. ISSN 19449224.
- COELHO, A. M. Eficiência Agronômica de Compostos de Aminoácidos Aplicados nas Sementes e em Pulverização Foliar na Cultura do Milho. **Embrapa**, 2008.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. Seja o doutor do seu milho - nutrição e adubação. **POTAFOS**, v. 2, n. 1, p. 1–9, 1995.
- CONCENÇO, G. *et al.* Dinâmica de Plantas Infestantes em Sistemas Integrados de Cultivo. **Embrapa**, 2011.
- CONTI, L.; VITTI, G. Avaliação de genótipos de milho em diferentes sistemas de cultivo. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2021.
- COOMBS, C. *et al.* Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Field Crops Research**, Elsevier B.V., v. 201, p. 75–85, 2017. ISSN 03784290. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.001>.
- COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; CUNHA, G. d. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 563–570, 2005. ISSN 1806-9088.
- COSTA, N. R. *et al.* Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1223–1233, 2014.
- COSTA, N. R. *et al.* Soil properties and carbon accumulation in an integrated crop-livestock system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852–863, 2015. ISSN 18069657.
- CREMONEZ, F. E. *et al.* Uso de plantas de cobertura na entressafra de milho e soja. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018.
- CREWS, T. E. The presence of nitrogen fixing legumes in terrestrial communities: Evolutionary vs ecological considerations. **Biogeochemistry**, v. 46, n. 1-3, p. 233–246, 1999. ISSN 01682563.

- CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, n. 2, p. 101–120, 2005. ISSN 13851314.
- CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Persistence and nutrients release of forage turnip straw utilized as mulching in no-tillage crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161–168, 2005. ISSN 0100204X.
- CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Decomposition rate and nutrient release of oat straw used as mulching in no-till system. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481–489, 2008. ISSN 16784499.
- DA ROS, C. O. *et al.* Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 799–804, 2003. ISSN 0103-8478.
- De Sá, M. E. S. *et al.* Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, v. 12, n. 5, p. 1–9, 2018. ISSN 1982-1263.
- DERPSCH, R.; ALBERINI, J. Experiences with cover crops and lupines in the state of parana, brazil, and its importance for water erosion control. **Schriftenreihe der Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit**, 1982.
- DIAS-FILHO, M. B. Competição e Sucessão Vegetal em Pastagens. **Embrapa**, 2006.
- DIBB, D. W.; WELCH, L. F. Corn Growth as Affected By Ammonium vs. Nitrate Absorbed From Soil 1. **Agronomy Journal**, v. 68, n. 1, p. 89–94, 1976. ISSN 0002-1962.
- DONEDA, A. *et al.* Fitomassa e Decomposição de resíduos de plantas de cobertura Puras E Consorciadas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, n. 1, p. 1714–1723, 2012.
- EBERTZ, M. C. Decomposição e liberação de nitrogênio da biomassa de ervilhaca e aveia-preta no sistema de plantio-direto com diferentes períodos de dessecação. **Trabalho de Conclusão de Curso**, v. 4, n. 1, p. 6, 2021.
- ESPINDOLA, J. A. A. Adubação Verde com Leguminosas. **Embrapa**, 2005.
- ESPINDOLA, J. A. A. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 321–328, 2006.
- FABIAN, A.; CORÁ, A.; TORRES, J. Plantas de cobertura: produção de fitomassa, decomposição e porcentagem de cobertura do solo. **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA**, v. 16, 2006.
- FAVARATO, L. F. *et al.* Persistência E Liberação De Nutrientes De Diferentes Palhadas No Sistema Plantio Direto Orgânico De Milho Verde. **Impacto, Excelência e Produtividade das Ciências Agrárias no Brasil** 4, n. May, p. 26–41, 2020.
- FAVERO, C. *et al.* Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1355–1362, 2001.
- FERNANDES, F. *et al.* Doses, Eficiência e Uso de Nitrogênio por Seis Cultivares de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, p. 195–204, 2005. ISSN 1980-6477.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P. de; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 33–38, 2012.

FLECK, N. G. INTERFERÊNCIA DE PAPIJÁ (*Brachiaria plantaginea*) COM SOJA E GANHO DE PRODUTIVIDADE OBTIDO ATRAVÉS DO SEU CONTROLE NILSON GILBERTO FLECK' RESUMO - Infestações de papuã. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, n. 1987, p. 63–68, 1996.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, v. 57, n. 1, p. 25–17, 2000.

FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P. Red Clover for Succeeding Corn Crops. **Journal of Production Agriculture**, v. 317, n. 7738, p. 313–317, 1988.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. D.; CAMPELLO, E. F. C. Importância das Leguminosas Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas e na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais. **Seminário "Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável"**, n. 21, p. 1–24, 2011. Disponível em: <http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/15.pdf>.

FROSSARD, E. *et al.* Reactions Controlling the Cycling of P in Soils. **Phosphorus in the Global Environment: Transfers, Cycles, and Management**, n. 54, p. 107–138, 1995.

GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais: funcionalidade e sustentabilidade. **Sistema Agroflorestais, Tendência da Agricultura Ecológica nos Trópicos: Sustento da Vida e Sustento de Vida**, v. 1, n. 1, p. 1–36, 2008.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1421–1428, 2007.

GEBERT, F. H. *et al.* Acúmulo e velocidade de liberação de potássio e resíduos de plantas anuais de inverno sob diferentes preparos de solo. **XIX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, n. 1, p. 4, 2016.

GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Practical Diabetes**, v. 30, n. 9, p. 358–360, 2003. ISSN 20472900.

GODSEY, C. B. *et al.* Changes in Soil pH, Organic Carbon, and Extractable Aluminum from Crop Rotation and Tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 3, p. 1038–1044, 2007. ISSN 0361-5995.

GOMES, D. S. *et al.* Supressão de plantas espontâneas pelo uso de cobertura vegetal de crotalária e sorgo Weed suppression by sunn hemp and sorghum cover crop. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 206–213, 2014.

GOMES, F. T. *et al.* Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio: magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1779–1786, 2002.

GOMES, R. F. *et al.* Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 931–938, 2007.

GREWAL, H. S.; WILLIAMS, R. Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 781–795, 2002. ISSN 01904167.

GUERRA, J. G. M. *et al.* Desempenho de Leguminosas Tropicais Perenes como Plantas de Cobertura do Solo. **Embrapa Agrobiologia**, p. 39, 2007.

HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B. Quantifying the Nitrogen Contribution from Alfalfa to Soil and Two Succeeding Crops Using Nitrogen-15. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 1, p. 129–134, 1990. ISSN 0002-1962.

HASELBAUER, F. R. PRODUTIVIDADE DA AVEIA BRANCA CV. IPR 126 SUBMETIDA À NÍVEIS E FORMAS DE PARCELAMENTO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA, COM E SEM CORTES. , v. 6, 2017.

HONDA, C. S.; HONDA, A. M. **Cultura da alfafa**. [S.l.]: Iara Artes Gráficas Ltda, 1999.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. d. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1310–1321, 2013. ISSN 01000683.

KELLER, M. *et al.* Phosphorus forms and enzymatic hydrolyzability of organic phosphorus in soils after 30 years of organic and conventional farming. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Wiley Online Library, v. 175, n. 3, p. 385–393, 2012.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, a. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. D. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21–28, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2165>.

LANYON, L. E.; SMITH, F. W. Potassium nutrition of alfalfa and other forage legumes: Temperate and tropical. **Potassium in Agriculture**, n. 6786, p. 861–893, 1985.

LEITE, L. F. C. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 41, n. 1, p. 29–35, 2010. ISSN 18066690.

LIMA, M. A. *et al.* **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 2012. 347 p.

LLOVERAS, J. *et al.* Soil fertility: Potassium fertilization effects on alfalfa in a Mediterranean climate. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 139–143, 2001. ISSN 00021962.

LOPES, A.; GUILHERME, L. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. **Fertilidade do solo**, p. 2–61, 2007.

MAAK, R. Geografia física do estado do paraná. rio de janeiro. **J. Olympio**, v. 22, 1981.

MAGALHÃES, A. C. Efeito inibidor de extratos de plantas de feijão-de-porco sobre o desenvolvimento da tiririca. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 23, n. UNICO, p. XXIX–XXXIV, 1964.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/eurípedes malavolta, godofredo cesar vitti, sebastião alberto de oliveira.—2. ed., ver. e atual. **Piracicaba: Potafos**, 1997.

MALUF, H. J. G. M. *et al.* Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1681–1689, 2015. ISSN 18069657.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: II - decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1568–1582, 2012.

MARCHÃO, R. L. *et al.* Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, v. 35, n. 2, p. 93–101, 2005.

MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. **Nutrient Availability in Soils**. Elsevier Ltd, 2012. 315–330 p. ISBN 9780123849052. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00012-1>.

MASCENA, A. M. DIAGNÓSTICO DA OCORRÊNCIA DE MICRO-ORGANISMOS SIMBIONTES EM ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA, CEARÁ. **Tese De Doutorado**, p. 97, 2014.

MELO, F. d. B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 27–31, 2011.

MÓGOR, Á. F. *et al.* Teores de clorofila em cultivares de tomateiro submetidas a aplicações foliares de magnésio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 363–369, 2013.

MOREIRA, A. EFEITO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) E CENTROSEMA (*Centrosemapubescens* Benth.) E AVALIAÇÃO DE EXTRA TORES ADÔNIS. **Dissertação de mestrado**, 1997.

MOREIRA, A. *et al.* Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos. **Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 249–255, 1999.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, n. 1, 2001.

MOREIRA, J. F. M. *et al.* Nutrientes em cultivares de *brachiaria brizantha* e *estilosantes* em cultivo solteiro e consorciado. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, n. 240, p. 513–523, 2013. ISSN 0004-0592.

MUZILLI, O. . O manejo da fertilidade do solo: a prática da adubação verde.

NADAL, A. A. CICLAGEM E LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO POR PLANTAS DE COBERTURA NA CULTURA DA SOJA NO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA MATO- GROSSENSE. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2018.

NERVIS, J. N. DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO NITROGÊNIO, POTÁSSIO E FÓSFORO DE PALHADA DE MILHO (ZEA MAYS) EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA TRABALHO. **Trabalho de Conclusão de Curso**, v. 2016-October, n. 380, p. 43, 2016. ISSN 02943506.

NEUMANN, M. et al. RENDIMENTOS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA PLANTA DE MILHO (Zea mays L.) PARA SILAGEM, EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, p. 418–427, 2005.

NÓIA, N. R. de C. et al. Produção de matéria seca de alfafa (medicago sativa L.) em função de doses de calcário. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 310–315, 2014.

OLIVEIRA, P. D. et al. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. Maize intercropped with palisadegrass and pigeon pea in partial desiccation system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1184–1192, 2011.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. Interação entre cultivares, estirpes comerciais de Rhizobium meliloti e fungicidas no incremento da produção de alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 425–431, 1999.

OLIVEIRA, W. S. D. et al. Disponibilidade Hídrica Relacionada ao Conteúdo de Nitrogênio e à Produtividade da Alfafa ( Medicago sativa L . ) Water Availability on Yield and Nitrogen Contents of Alfalfa ( Medicago sativa L . ). **R.Bras-Zootec.**, v. 32, n. 6, p. 1275–1286, 2003.

PACHECO, L. P. et al. Biomass production and nutrient accumulation by cover crops in the Brazilian Cerrado of Piauí State. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 237–246, 2013. ISSN 0006-8705.

PACHECO, L. P. et al. Profundidade de semeadura e crescimento inicial de espécies forrageiras utilizadas para cobertura do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 34, p. 1211–1218, 2010.

PARRON, L.; BUSTAMANTE, M.; PRADO, C. Produção e composição química da serapilheira em um gradiente topográfico em mata de galeria no bioma Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - EMBRAPA Cerrados (Brazil)**, p. 23, 2004. ISSN 1676-918X.

PAUL E.A.; CLARK, F. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2. ed. London: [s.n.], 1989. 272 p.

PAULETTI, V.; COSTA, L. C. Época De Aplicação De Nitrogênio No Milho Cultivado Em Sucessão À Aveia Preta No Sistema Plantio Direto. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 599–603, 2000. ISSN 1678-4596.

PELÁ, A. et al. Avaliação da resistência à decomposição de dez espécies de plantas de cobertura visando o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 53, n. 1, p. 26–33, 1999.

PEREIRA, A. V. et al. Comportamento da alfafa cv. Crioula de diferentes origens e estimativas dos coeficientes de repetibilidade para caracteres forrageiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 4, p. 686–690, 1998. ISSN 01004859.

PERIN, A. et al. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milheto solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 274–281, 2010. ISSN 0034-737X.

- PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G. AVALIAÇÃO INICIAL DE ALGUMAS LEGUMINOSAS HERBÁCEAS PERENES PARA UTILIZAÇÃO COMO COBERTURA VIVA PERMANENTE DE SOLO. II. AMENDOIM FORRAGEIRO, GALÁXIA E CENTROSEMA. **Embrapa**, p. 1–6, 1998.
- PETERSON, T. A.; RUSSELLE, M. P. Alfalfa and the nitrogen cycle in the corn belt. **Journal of Soil and Water Conservation**, Soil and Water Conservation Society, v. 46, n. 3, p. 229–235, 1991.
- POOLE, P.; ALLAWAY, D. Carbon and nitrogen metabolism in rhizobium. **Advances in Microbial Physiology**, v. 43, p. 117–163, 2000. ISSN 00652911.
- RANDO, E. Adubação da alfafa (*medicago sativa* l.) com potássio e enxofre. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. [S.l.: s.n.], 1993. v. 24, p. 67–68.
- RASSINI, J. B. Manejo de Água de Irrigação para Alfafa (*Medicago sativa* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 1681–1688, 2001. ISSN 01004859.
- RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. d. P.; CAMARGO, A. C. de. Cultivo e estabelecimento da Alfafa. In: **Embrapa Pecuária Sudeste**. [S.l.: s.n.], 2008.
- REINERTSEN, S. A. *et al.* Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 16, n. 5, p. 459–464, 1984. ISSN 00380717.
- RESENDE, T. M. CONVERSÃO DE USO E POTENCIAL DE ESTOQUE DO CARBONO NOS DIFERENTES USOS DO SOLO E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIBEIRÃO BOM JARDIM NO TRIÂNGULO MINEIRO (MG). **Dissertação de mestrado**, 2011.
- RHEINHEIMER, D. S. *et al.* ALTERAÇÕES DE ATRIBUTOS DO SOLO PELA CALAGEM SUPERFICIAL E INCORPORADA A PARTIR DE PASTAGEM NATURAL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 1, p. 797–805, 2000.
- RHYKERD, C. L.; OVERDAHL, C. J. Nutrition and fertilizer use. **Alfalfa and Alfalfa Improvement**, p. 333–372, 1972.
- RODRIGUES, A. D. A.; COMERÓN, E. A.; VILELA, D. Utilização da Alfafa em Pastejo para Alimentação de Vacas Leiteiras. **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos**, p. 469, 2008.
- ROS, C. D.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 135–140, 1996.
- ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 27, p. 355–362, 2003.
- RUFINI, M. *et al.* Estirpes de Bradyrhizobium em simbiose com guandu-anão em casa de vegetação e no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 197–206, 2014. ISSN 16783921.
- SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. [S.l.]: Brasília, DF: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998., 1998.

- SANDINI, I. E. *et al.* Residual effect of nitrogen in the maize production in crop livestock integration. **Ciência Rural**, v. 41, n. 8, p. 1315–1322, 2011. ISSN 0103-8478.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; Da Silva, P. R. F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 507–517, 2007. ISSN 18069657.
- SANTOS, A. R. dos *et al.* Boron nutrition and yield of alfalfa cultivar crioula in relation to boron supply. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 496–500, 2004. ISSN 0103-9016.
- SANTOS, P. G. *et al.* Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 597–602, 2002.
- SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F. P. de. Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 381–390, 2001. ISSN 1678992X.
- SARTOR, L. R. *et al.* Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 661–669, 2012. ISSN 0100-0683.
- SCHIMIDT, A. C. C. *et al.* Desempenho de milho cultivado sobre plantas de cobertura e doses de nitrogênio. Curitiba, SC, 2021.
- SGARBOSSA, M. *et al.* Épocas e métodos de manejo de aveia preta na produtividade de milho. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- SILVA, A. C. da; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 22–28, 2009. ISSN 0100204X.
- SILVA, L. A. *et al.* Biomass Yield, Nitrogen Content and Uptake, And Nutritive Value of Alfalfa Co-Inoculated with Plant-Growth Promoting Bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 5, p. 400–420, 2020. ISSN 2411-3123.
- SILVA, P. R. F. da *et al.* Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011–1020, 2006. ISSN 01038478.
- SISTI, C. P. *et al.* Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39–58, 2004. ISSN 01671987.
- SPAGNOLLO, E. *et al.* Análise econômica do uso de leguminosas estivais intercalares à cultura do milho, na ausência e na presença de adubação nitrogenada, no oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 709–715, 2001. ISSN 0100-0683.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology, sinauer associates. Sinauer Associates, 2002.
- TEDESCO, M. jose *et al.* **Analide de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. porto alegre: [s.n.], 1995. 174 p.
- TEIXEIRA, C. M. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 647–653, 2009. ISSN 16799275.

- TEIXEIRA, M. B. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 867–876, 2010. ISSN 01000683.
- TEIXEIRA, M. B. *et al.* Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, v. 30, n. 1, p. 55–64, 2012. ISSN 00734675.
- THEISEN, G.; VIDAL, R. A. Efeito da cobertura do solo com resíduos de aveia preta nas etapas do ciclo de vida do capim-marmelada. **Planta Daninha**, v. 17, n. 2, p. 189–196, 1999. ISSN 1806-9681.
- THEISEN, G.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Redução da infestação de *Brachiaria plantaginea* em soja pela cobertura do solo com palha de aveia-preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 753–756, 2000.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609–618, 2005.
- 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. ISSN 0100204X.
- TORRES, J. L. R. *et al.* CULTIVO DE FEIJÃO E MILHO EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA. **Revista Caatinga**, 2014.
- UNDI, M.; KAWONGA, K. C.; MUSEENDO, R. M. Nutritive value of maize stover/pasture legume mixtures as dry season supplementation for sheep. **Small Ruminant Research**, v. 40, n. 3, p. 261–267, 2001. ISSN 09214488.
- VARGAS, M. A. T. *et al.* **Fixação Biológica De Nitrogênio Em Solos De Cerrados O ) ( Õs**. [S.l.: s.n.], 1994. 83 p. ISBN 8570750056.
- VENDRAMINI, J. *et al.* Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. suppl, p. 139–149, 2007. ISSN 1516-3598.
- VENTURA, W.; WATANABE, I. Green manure production of *Azolla microphylla* and *Sesbania rostrata* and their long-term effects on rice yields and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v. 15, n. 4, p. 241–248, 1993. ISSN 01782762.
- VIANA, E. M. Interação de nitrogênio e potássio na nutrição , no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo. **Dissertação de mestrado**, p. 95, 2007.
- VIANA, E. M.; KIEHL, J. d. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 975–982, 2010. ISSN 00068705.
- VIOLA, R. *et al.* Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto Green manure and nitrogen fertilization in the spring wheat under no-tillage. **Bragantia, Campinas**, v. 1, n. 1, p. 90–100, 2013.
- WIDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Wiley Online Library, v. 63, n. 6, p. 1636–1642, 1982.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 11, p. 1191–1197, 1997.

XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 719–734, 2002. ISSN 01904167.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e. Estratégias de manejo para alta produtividade do milho. **Potafos - Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato**, n. 113, 2006.

ZALAMENA, J. *et al.* Estado nutricional, vigor e produção em videiras cultivadas com plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1190–1200, 2013. ISSN 01002945.

ZHANG, G.; YANG, Z.; DONG, S. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. **Field Crops Research**, Elsevier B.V., v. 124, n. 1, p. 66–73, 2011. ISSN 03784290. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.006>.