

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS DOIS VIZINHOS  
CURSO DE AGRONOMIA

ANDERSON WELTER

**DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE  
COBERTURA DO SOLO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2016

ANDERSON WELTER

**DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE  
COBERTURA DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso II, do curso de Agronomia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

DOIS VIZINHOS

2016



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Dois Vizinhos  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação do Curso de Agronomia



## TERMO DE APROVAÇÃO

DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES POR PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

por

ANDERSON WELTER

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado(a) em 05 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Orientador: Paulo Cesar Conceição  
UTFPR campus Dois Vizinhos

---

Laercio Ricardo Sartor  
UTFPR campus Dois Vizinhos

---

Sidnei Kuster Ranno  
UTFPR campus Dois Vizinhos

---

Angélica Signor Mendes  
Responsável pelos Trabalhos de  
Conclusão de Curso

---

Lucas da Silva Domingues  
Coordenador do Curso  
UTFPR campus Dois Vizinhos

“A folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do curso”

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por guiar meu caminho e sempre estar presentes em todos os momentos, colocando em meu convívio pessoas mais que especiais.

Aos meu pais Valmir e Elci Welter pelos ensinamentos básicos e primordiais para a formação dos princípios e valores pessoais, pelo companheirismo, pelo exemplo a ser seguido e principalmente pela compreensão e fé depositada.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Conceição pelo aceite e incentivo ao desafio proposto, pela orientação, conselhos, amizade, conversas e principalmente por todo o período de orientação durante a graduação e pela confiança em mim depositada.

Aos amigos e colegas de Iniciação Científica (Cidimar Cassol, Dionata Ricardo Piske, Ezequiel Dal Bosco, Maiara Karini Haskel) que auxiliaram de uma forma ou outra nas diversas atividades realizadas, seja nas coletas a campo ou nas horas dedicadas às análises e determinações laboratoriais. O apoio e auxílio de vocês foram muito importantes.

Aos pós doutorandos Jaqueline Machado de Oliveira e Vitor Cauduro Girardello pelo auxílio e sugestões quanto as dúvidas em laboratórios e também durante a elaboração do trabalho.

Ao CNPQ pela concessão de bolsa de estudos (PIBITI).

À UTFPR pela disponibilização de sua estrutura para que as atividades fossem desenvolvidas, tanto a campo quanto a parte laboratorial.

À todas as pessoas, que mesmo não citadas, contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO, sem vocês não seria possível!!!**

WELTER, A. **Disponibilização de nutrientes por plantas de cobertura do solo.** 48f., 2016. Trabalho de conclusão de curso II – Bacharelado em Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

## RESUMO

A ciclagem de nutrientes está intimamente relacionada com a capacidade de absorção destes pelas plantas de cobertura do solo. O aporte de resíduos vegetais na superfície do solo proporciona maior ciclagem dos nutrientes favorecendo a assimilação pelas culturas em sucessão. Nas taxas de decomposição da palhada e liberação de nutrientes tem se a qualidade do resíduo como fundamental parâmetro regulador, sendo marcante a diferença entre poáceas, fabáceas e brássicas. Deste modo, o objetivo do trabalho foi quantificar a taxa de decomposição da palhada e a liberação de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio de plantas de cobertura hibernais sob sistema plantio direto. As avaliações ocorreram na safra 2015/2016, em área experimental estabelecida com plantio direto desde 2010, cujo histórico anterior era de cultivo de grãos, localizada na UNEPE de culturas anuais da UTFPR, Campus Dois Vizinhos. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho, tendo o clima definido, conforme Köppen, como Cfa (subtropical úmido), sem estação seca definida. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas principais compreenderam o cultivo de oito sistemas de plantas de cobertura hibernais sob plantio direto (PD), antecessoras a cultura do milho. Os sistemas de plantas de cobertura hibernais utilizados foram: aveia preta, azevém, centeio, tremoço azul, ervilhaca comum, nabo forrageiro, aveia + ervilhaca (A+E), aveia + ervilhaca + nabo (A+E+N). Nas subparcelas constituiu-se duas doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N), fornecidos por meio de ureia na cultura principal (milho). As fabáceas e o nabo forrageiro apresentaram maior concentração de N, K, Ca e Mg na fitomassa seca. A adubação nitrogenada (180 kg N ha<sup>-1</sup>) favoreceu o maior acúmulo de N, Ca e Mg na massa seca das plantas de cobertura, entretanto, para o K o efeito foi negativo. O fornecimento de 180 kg N ha<sup>-1</sup> proporcionou maior acúmulo de N para os sistemas aveia, centeio, nabo forrageiro e tremoço azul em relação a ausência da adubação nitrogenada, enquanto que para o acúmulo de Mg, o mesmo efeito foi observado para o consórcio A+E+N e nabo forrageiro. A taxa de decomposição dos consórcios foi intermediária ao obtido para o cultivo isolado destas espécies, proporcionando manutenção de 39% de seus resíduos. A ervilhaca comum e azevém obtiveram as maiores taxas de decomposição dos resíduos, com manutenção final de 30% do material vegetal. Os consórcios obtiveram liberação de N (55 kg ha<sup>-1</sup>) similar ao fornecimento proporcionado pela ervilhaca comum em cultivo solteiro. O potássio se apresentou como o nutriente com a maior taxa de liberação, com concentração final, aos 120 dias, menor que 2% para todos os resíduos. Dentre os nutrientes avaliados o Ca apresentou a menor taxa de liberação, seguida pelo P. Os consórcios, de modo geral, apresentaram as maiores taxas de liberação para o N, P, K e Mg.

**Palavras chave:** espécies hibernais; taxa de decomposição; teor de nutrientes; liberação de nutrientes.

WELTER, A. **Availability of nutrients by ground cover plants**. 48f., 2016. Trabalho de conclusão de curso II – Bacharelado em Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

### ABSTRACT

The nutrient cycling is closely related to the soil absorption capacity of the plants. The contribution of vegetal residues to the soil surface allows a greater cycling of the nutrients favoring the assimilation by the cultures in succession. In the rates of straw decomposition and nutrient release, the quality of the residue as the main regulatory parameter is marked, with the difference between poaceous, fabaceous and brassic. Thus, the objective of this work was to quantify the straw decomposition rate and the release of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium and Magnesium from winter cover crops under no - tillage system. The evaluations took place in the 2015/2016 harvest, in an experimental area established with no-tillage since 2010, whose previous history was of grain cultivation, located at UNEPE of annual crops of UTFPR, Campus Dois Vizinhos. The soil of the region is classified as Red Latosol, with the climate defined, according to Köppen, as Cfa (subtropical humid), without defined dry season. The experimental design was a randomized complete block design with subdivided plots and three replications. The main plots included the cultivation of eight systems of winter cover crops under no - tillage (PD), predecessor to maize. The winter cover plants used were: black oats, ryegrass, ryegrass, blue lupine, common vetch, forage turnip, oats + vetch (A + E), oats + vetch + turnip (A + E + N). In the subplots two doses of nitrogen (0 and 180 kg ha<sup>-1</sup> of N) were supplied by urea in the main crop (maize). Fabaceae and forage turnip showed higher concentration of N, K, Ca and Mg in dry biomass. Nitrogen fertilization (180 kg N ha<sup>-1</sup>) favored the greatest accumulation of N, Ca and Mg in the dry mass of the cover plants, however, for K, the effect was negative. The supply of 180 kg N ha<sup>-1</sup> provided higher N accumulation for the oats, rye, forage turnip and blue lupine systems in relation to the absence of nitrogen fertilization, whereas for the Mg accumulation, the same effect was observed for the consortium A + E + N and forage turnip. The decomposition rate of the consortia was intermediate to that obtained for the isolated cultivation of these species, providing maintenance of 39% of their residues. The common vetch and ryegrass obtained the highest rates of decomposition of the residues, with final maintenance of 30% of the vegetal material. The consortia obtained release of N (55 kg ha<sup>-1</sup>) similar to the supply provided by common vetch in single crop. Potassium presented as the nutrient with the highest release rate, with final concentration at 120 days, less than 2% for all residues. Among the evaluated nutrients, Ca presented the lowest release rate, followed by P. Consortia, in general, had the highest release rates for N, P, K and Mg.

**Keywords:** cool season species; decomposition rate; content of nutrients; nutrients release.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Médias quinzenais de temperatura média diária do ar (°C) e precipitação pluvial acumulada (mm), durante o período de avaliação, safra 2015/2016. UTFPR campus Dois Vizinhos, 2016. .... 19

Figura 2- Matéria seca remanescente dos sistemas de plantas de cobertura hibernais ao longo de 120 dias, após distribuição das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos, 2016. A+E+N= Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E= Aveia+Ervilhaca. .... 30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Produção de matéria seca (MS) e composição química inicial dos resíduos culturais das plantas de cobertura hibernais, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	24
Tabela 2- Desdobramento da interação para os teores de nitrogênio total (N) e magnésio (Mg) na matéria seca (MS) das plantas de cobertura, antecedentes ao cultivo do milho, com doses de 0 e 180 kg ha <sup>-1</sup> de N-mineral na cultura comercial. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016. ....	27
Tabela 3- Quantidade de nitrogênio total (N) (kg ha <sup>-1</sup> ) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição a campo. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016. ....	33
Tabela 4- Quantidade de fósforo (P) liberado (kg ha <sup>-1</sup> ) pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	35
Tabela 5- Quantidade de potássio (K) liberado (kg ha <sup>-1</sup> ) pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	37
Tabela 6- Quantidade de cálcio (Ca) liberado (kg ha <sup>-1</sup> ) pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	38
Tabela 7- Quantidade de magnésio (Mg) liberado (kg ha <sup>-1</sup> ) pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.....	39



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1 PLANTIO DIRETO .....	11
2.2 PLANTAS DE COBERTURA.....	12
2.2.1 Plantas de Cobertura Hibernais .....	13
2.3 TAXA DE DECOMPOSIÇÃO .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	18
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	19
3.3 PARÂMETROS AVALIADOS.....	21
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
4.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	24
4.2 MATÉRIA SECA REMANESCENTE EM SUPERFÍCIE DO SOLO.....	30
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com a utilização do sistema plantio direto (SPD) o objetivo é o incremento de nutrientes, sobretudo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas camadas superficiais do solo, tendo em vista que além de não existir o revolvimento do solo, ocorre um acúmulo dos nutrientes nos resíduos vegetais, sendo posteriormente decompostos e liberados na camada superficial do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

A utilização de plantas de cobertura, com a implantação e consolidação do SPD, vem cada vez mais adquirindo espaço nas áreas de cultivo em todo o Brasil, no intuito de atender as premissas básicas do SPD, sendo para isso de suma importância a seleção de plantas de cobertura com elevado potencial de produção de fitomassa e aporte de carbono (C) e nitrogênio (N), além do conhecimento das taxas de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais das espécies, visando uma disponibilização gradativa dos nutrientes de forma que haja melhor aproveitamento pela cultura em sucessão (CRUSCIOL et al., 2008; DONEDA et al., 2012).

A liberação dos nutrientes contidos nos tecidos vegetais, é determinada por fatores bióticos e abióticos, os quais governam o processo de decomposição dos materiais (PERIN et al., 2010). Entre os fatores, a relação C/N dos resíduos vegetais aportados na superfície tem fundamental importância na decomposição do material vegetal e na imobilização/mineralização do N, também influenciando na dinâmica de liberação dos demais macronutrientes (GIACOMINI et al., 2003a).

A taxa de liberação dos nutrientes também é dependente da característica intrínseca de cada nutriente, de acordo com a condição que o mesmo se encontra no tecido vegetal. O K é o nutriente mais abundante nos tecidos vegetais e pelo fato de se apresentar na forma iônica, sua liberação dos resíduos vegetais é quase total já nas primeiras semanas, assim, como o Mg que está presente também em compostos iônicos e moléculas solúveis. Por outro lado Ca e P são constituintes das estruturas do tecido vegetal, assim apresentando elevada recalcitrância e estreita relação com a mineralização do resíduo (ROSOLEM et al., 2003; PERIN, 2010).

O aporte de N no sistema de cultivo, por meio de adubação nitrogenada realizada na cultura de interesse econômico, no sul do Brasil com maior destaque para o milho devido à alta quantidade utilizada, também tem influência nas plantas de cobertura quando estas são cultivadas em sucessão (SHEVTSOVA et al., 2003).

A disponibilização de N mineral por meio da adubação possibilita elevada produção de matéria seca pelas plantas e, conseqüentemente, maior acúmulo de nutrientes em seus órgãos. Além disso, o fornecimento deste nutriente contribui para a diminuição da relação C/N dos resíduos vegetais, deste modo favorecendo a atividade dos microrganismos na decomposição e, assim, possibilitando a liberação dos nutrientes contidos no material vegetal (CARVALHO, 2009; PERIN et al., 2010).

Deste modo, o aporte de resíduos vegetais pelas espécies de plantas de coberturas, na superfície do solo, resulta em maior eficiência na ciclagem dos nutrientes, assim favorecendo sua assimilação pela cultura subsequente, principalmente, àqueles que possuem potencial de lixiviação como o N e o K, ou ainda, que são adsorvidos pelo solo com maior facilidade, como o P (CARVALHO, 2009).

Diante disto, o objetivo do trabalho foi quantificar a taxa de decomposição da palhada e a liberação de N, P, K, Ca e Mg de plantas de cobertura hibernais sob sistema plantio direto.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PLANTIO DIRETO

O SPD teve sua origem na Inglaterra, no ano de 1955, com o intuito de auxiliar no controle da erosão hídrica. A expansão e consolidação do plantio direto foi possível devido ao desenvolvimento de novas tecnologias e ao avanço das já existentes na época, possibilidade esta que ocorreu nos Estados Unidos (EUA) no início da década de 60 (LANDERS, 2005; MELLO; CONCEIÇÃO, 2008).

No Brasil, o pioneirismo do plantio direto, em escala comercial, ocorreu no estado do Paraná, em 1972, com o produtor Herbert Bartz do município de Rolândia, situado no norte do estado (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Sendo o sistema difundido para outras regiões do Paraná e posteriormente para todo o Brasil, deste modo, se consolidando como novo sistema de conservação do solo e incremento de produtividade (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008).

O SPD possui como princípios básicos o mínimo revolvimento do solo, a rotação de culturas, a elevada e constante deposição de palha sobre o solo, através da manutenção da cobertura do mesmo por resíduos vegetais na superfície. Requisitos estes fundamentais para a construção gradativa da qualidade do solo, por meio do aumento da matéria orgânica do solo e da atividade biológica. Deste modo, o êxito da implantação do sistema plantio direto é dependente do tempo de permanência dos resíduos sobre a superfície, que é variável de acordo com a quantidade e qualidade do resíduo adicionado, bem como da ação dos organismos decompositores (GATIBONI et al., 2009).

A mudança do modo de cultivo se deu devido aos problemas ambientais e econômicos, sendo estes constantemente observados pelos produtores que praticavam o sistema convencional de preparo do solo. Questões como a grande exposição do solo às chuvas e sua compactação nas camadas subsuperficiais (pé de arado, pé de grade) que conseqüentemente reduzem a capacidade de infiltração da água no solo, acarretavam grandes perdas de solo por erosão e também devido a formação de enxurradas. Como conseqüências da ineficiente utilização do sistema convencional, comumente era observado alagamentos e a destruição de

construções quando se tinha a ocorrência de chuvas intensas (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

Este sistema de preparo conservacionista, constitui uma forma de manejo que favorece a proteção do solo e a ciclagem de nutrientes, com a realização da semeadura das culturas em sucessão sobre os resíduos vegetais acumulados da cultura anterior (CARVALHO; AMABILE, 2006).

O SPD, apresenta ainda diversos outros benefícios, tais como, diminuição no consumo de combustíveis fósseis, menor quantidade de mão de obra necessária, menor gasto de maquinários e tempo para implantação das culturas, aumento na quantidade de matéria orgânica na camada superficial do solo, elevação da atividade biológica, melhoria nas características físicas do solo e na produtividade das culturas (CONCEIÇÃO et al., 2005; SILVA, 2006).

Mediante a substituição do preparo convencional pelo SPD e sua difusão em âmbito mundial, a busca por plantas de cobertura do solo aumentou pelo fato que sua utilização associada a sistemas de manejo conservacionista beneficiam a manutenção e melhoria da qualidade do solo (atributos físicos e químicos) e, também, o controle da erosão (TRABUCO, 2008).

## 2.2 PLANTAS DE COBERTURA

A utilização de plantas de cobertura do solo foi amplamente difundida pela expansão e consolidação do SPD, que novamente desencadeou a inclusão destas plantas nos sistemas de cultivo buscando atender premissas básicas deste sistema de manejo, como a adição de elevadas quantidades de biomassa e a permanente cobertura do solo (NAKHONE; TABATABAI, 2008).

As principais razões pelos quais se faz a utilização de plantas de cobertura do solo durante determinado período do ano estão relacionados aos inúmeros benefícios proporcionados ao sistemas de cultivo, onde se destaca o fornecimento de cobertura vegetal para a proteção do solo, a menor variação de temperatura em superfície e a manutenção da umidade do solo (CALEGARI, 2004).

As plantas de cobertura tem ainda a capacidade de proporcionar melhor estruturação do solo e favorecer a infiltração de água por meio do aumento da

agregação e aeração do solo (PORTELLA et al., 2010); promover a ciclagem de nutrientes (como é o caso das fabáceas, através da adição de nitrogênio via fixação biológica de nitrogênio (FBN); possibilitar a competição e/ou supressão de plantas daninhas e, ainda, tem a capacidade de promover, após longos períodos de utilização, o aumento dos teores de matéria orgânica e, deste modo, proporcionando melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo (CALEGARI, 2004; NEGRINI, 2007; TEIXEIRA, 2010).

A intensidade e qualidade desses efeitos das plantas de coberturas são muito variáveis e dependentes de fatores como, época de semeadura e do manejo das plantas, da espécie utilizada, do tempo de permanência dos resíduos vegetais sobre o solo e, principalmente, das condições ambientais e climáticas do local de cultivo (NETO et al., 2008).

Diversas são as espécies de plantas com possibilidade de cultivo no intuito de se obter cobertura do solo no período de verão e inverno. Entre as mais utilizadas, estão as espécies pertencentes as famílias *Fabaceae*, *Poaceae* e *Brassicaceae* (GIACOMINI et al., 2003a; SILVA et al., 2007).

### 2.2.1 Plantas de Cobertura Hibernais

Na região sul do Brasil a maior adesão na utilização de plantas de cobertura do solo é pelas espécies hibernais, ou de inverno como são comumente denominadas, fato este, relacionado às condições edafoclimáticas e aos sistemas de cultivos praticados na região, independentemente do tamanho da área produtiva. O principal fator por essa maior aceitação no período de inverno é o fato que, durante este período do ano existem menores ocupações de áreas com culturas de interesse econômico, em contrapartida, no verão, quase a totalidade das áreas são destinadas aos cultivos de soja, milho e feijão, tornando menor a possibilidade e aceitação de utilização de plantas de cobertura neste período (CALEGARI, 2004).

As espécies mais estudadas, no sul do Brasil, a fim de proporcionar cobertura do solo e ciclagem dos nutrientes na época outono/inverno são a aveia preta (*Avena strigosa*), a ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e, recentemente, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). Porém, existem outras espécies, como o tremoço

(*Lupinus spp.*) e a ervilha forrageira (*Pisum sativum*), que são passíveis de utilização neste período (GIACOMINI et al., 2003a; CALEGARI, 2004).

O nabo forrageiro por seu potencial de ciclagem de nutrientes, principalmente P, o qual ele apresenta uma “absorção de luxo”, bem como grande capacidade de extrair N de camadas subsuperficiais do solo, em condições de altos níveis fertilidade do solo e M.O, tendo em vista seu sistema radicular profundo e vigoroso e, as fabáceas (tremoço, ervilha forrageira e ervilhaca comum) pela sua capacidade de fixação biológica de N, apresentam condições benéficas de fornecimento deste e de outros macronutrientes aos cultivos em sucessão também devido a estreita relação C/N dos resíduos (GIACOMINI et al., 2003<sup>a</sup>; DONEDA et al., 2012).

Apesar das vantagens proporcionadas pelo cultivo de fabáceas e brássicas como cobertura do solo no período de inverno, é essencial o desenvolvimento de práticas culturais, como a consorciação de diferentes famílias de plantas, que propiciem maior tempo de permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo (SILVA et al., 2007).

O cultivo destas famílias (fabáceas e brássicas), quando realizadas em sistemas solteiros, possui a vantagem de fornecer elevada produção de fitomassa, igual ou até superior às poáceas. Além disso, apresentam a capacidade de proporcionar maior fornecimento de N a cultura em sucessão, em função de associação simbiótica com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> ou ainda pela eficiente extração de nutrientes do solo (nabo forrageiro). No caso das fabáceas, reduz se a necessidade de aporte de N por meio de adubos sintéticos, incrementando a fertilidade do solo através de adição de matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, principalmente N, P e K, benefício proporcionado também pelo cultivo do nabo forrageiro (OHLAND, 2005; CASTRO; DEVIDE, 2015).

Porém, a rápida decomposição dos resíduos das fabáceas, oriunda de sua baixa relação C/N, resulta em uma baixa persistência da palhada sobre o solo, apresentando-se geralmente desprotegido no início do estabelecimento da cultura do milho. Além disso, não ocorre uma adequada sincronia entre a liberação dos nutrientes e a demanda dos mesmos pelo milho, especialmente o N, que acaba sendo perdido por lixiviação na forma de nitrato (SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2007)

Com objetivo de agregar a capacidade de fixação biológica do  $N_2$  proporcionada pelas fabáceas, associada ao maior tempo de permanência da palhada das poáceas, devido sua alta relação C/N, alguns produtores iniciaram a utilização simultânea de duas ou mais espécies em mesmo local e ao mesmo tempo, sistema este denominado de consorciação de plantas de cobertura (FIORIN; SCHNELL; RUEDELL, 2007).

A utilização de sistemas de consorciação de plantas de cobertura de diferentes espécies possibilita o aumento da qualidade e da quantidade de resíduos, incremento da matéria orgânica e, proporciona uma maior agregação do solo, sendo este sistema mais utilizado com o cultivo de plantas de cobertura hibernais (CARVALHO; AMABILE, 2006).

### 2.3 TAXA DE DECOMPOSIÇÃO

As espécies de plantas de cobertura, com sistema radicular profundo e agressivo, apresentam a capacidade de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo disponibilizando-os na superfície após o manejo (dessecação, rolagem ou ainda o uso de ambos) da parte aérea das plantas e sua decomposição pelos fatores bióticos e abióticos. A presença de resíduos culturais na superfície do solo constitui uma importante reserva de nutrientes, onde sua disponibilização pode ocorrer de forma rápida e intensa em condições de altos índices pluviométricos e alta temperatura, ou lenta e gradual como na ocorrência de estiagem (ROSOLEM et al., 2003).

A relação C/N é o principal fator intrínseco responsável pela taxa de decomposição dos resíduos, tanto no sistema convencional e ainda com maior ênfase nos sistemas conservacionistas de manejo do solo (TORRES et al., 2005). A taxa de decomposição do resíduo é controlada pelos atributos qualitativos do material, principalmente, pela relação C/N e o teor de lignina, associada ao manejo da palhada e o tamanho dos fragmentos vegetais. Este parâmetro é uma variável de importância, também, na ciclagem dos nutrientes, estando ela intimamente relacionada com a capacidade de absorção dos nutrientes que cada espécie de cobertura do solo desempenha (TEIXEIRA et al., 2010).



Diversos são os fatores que influenciam na decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais, entre eles se destacam a atuação de macro e microrganismos responsáveis pela decomposição, a composição química do resíduo, o manejo realizado e as condições edafoclimáticas da região, principalmente as condições de precipitação pluviométrica e temperatura. Esses fatores em conjunto ou de maneira isolada podem desempenhar diferentes intensidades de influência sob a atividade biológica do solo (PERIN et al., 2010).

Os processos bioquímicos implicados no processo de decomposição dos materiais orgânicos e na liberação de nutrientes (N, P e S) possuem como principais responsáveis no seu processo a ação de fungos, bactérias e actinomicetos. A ação destes organismos, juntamente com a fauna do solo, possibilita a melhoria das características físicas do solo, como a aeração, infiltração, agregação de partículas e a retenção de água (FUJIMAKI; MCGONIGLE; TAKEDA, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O sistema de decomposição é extremamente complexo, podendo sua duração ser de alguns meses até anos para que a degradação e a mineralização do material sejam finalizadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Durante este processo ocorre a liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), formação de húmus e biomassa microbiana, sendo realizada a transformação do material orgânico particulado em materiais solúveis passíveis de absorção pelos microrganismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CRUSCIOL et al., 2008).

Deste modo, são considerados indicadores de qualidade de uma planta de cobertura, a taxa de cobertura do solo e a persistência de sua palhada, a capacidade de ciclagem de nutrientes, com ênfase na mobilização de nutrientes lixiviados ou que sejam pouco solúveis, sendo liberados de forma gradativa a cultura subsequente (CRUSCIOL et al., 2008).

O cultivo de plantas de cobertura antecedendo culturas comerciais, cultivadas em sistema de rotação de culturas, com sistemas radiculares distintos que possibilitem a exploração de volumes distintos de solo, tem a capacidade de promover a ciclagem de nutrientes, deste modo, contribuindo para a manutenção e/ou aumento da produtividade das culturas, além de possibilitar a diminuição dos custos de produção (BERTIN et al., 2005).

O emprego de poáceas para a cobertura do solo tem a capacidade de amenizar as perdas de N, por meio da reciclagem e imobilização do nutriente em

sua fitomassa, associado a sua baixa taxa de decomposição, que em razão de sua elevada relação C/N, proporciona cobertura mais prolongada da superfície do solo (PERIN et al., 2004). Porém, a utilização de espécies desta família em culturas solteiras, principalmente como planta de cobertura hiberna pode causar prejuízos à cultura cultivada em seguida, quando esta também for uma poácea, tendo em vista esta imobilização dos nutrientes, com maior destaque para o N, devido sua decomposição mais lenta pela biota do solo (SILVA et al., 2006; KRAMBERGER et al., 2009).

A taxa de decomposição dos resíduos das plantas de cobertura, tanto em culturas puras quanto em consórcios, é uma variável fundamental para a determinação da ciclagem de nutrientes no plantio direto pelo fato deste conhecimento possibilitar a determinação do processo de liberação dos nutrientes, pelas plantas de cobertura para a cultura em sucessão (AITA; GIACOMINI, 2006; KLIEMANN et al., 2006). Essa taxa é determinada pelo tempo de permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo e a liberação dos nutrientes (LEITE et al., 2010).

A consorciação de plantas de cobertura mais utilizada é a de poáceas e fabáceas, em alguns casos as poáceas são substituídas por brássicas ou ainda se realiza um consórcio entre três espécies de plantas. No consórcio é possível equilibrar a taxa de decomposição e liberação de N pelos resíduos culturais, pelo fato da fitomassa fornecida ao solo apresentar relação C/N intermediária àquelas fornecidas pelas culturas na forma isolada proporcionando o fornecimento de N (GIACOMINI et al., 2003b, SILVA et al., 2007) pela inserção da fabácea.

A utilização das poáceas em consórcios não só contribui para elevar a quantidade de biomassa, mas também atua na reciclagem de nutrientes, sobretudo, no bombeamento de K das camadas subsuperficiais para a superfície do solo, mais especificamente pela aveia preta, tendo em vista sua absorção de luxo do nutriente, além do aproveitamento do P residual das adubações anteriores (GIACOMINI et al., 2003a; SILVA et al., 2007; CRUSCIOL, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

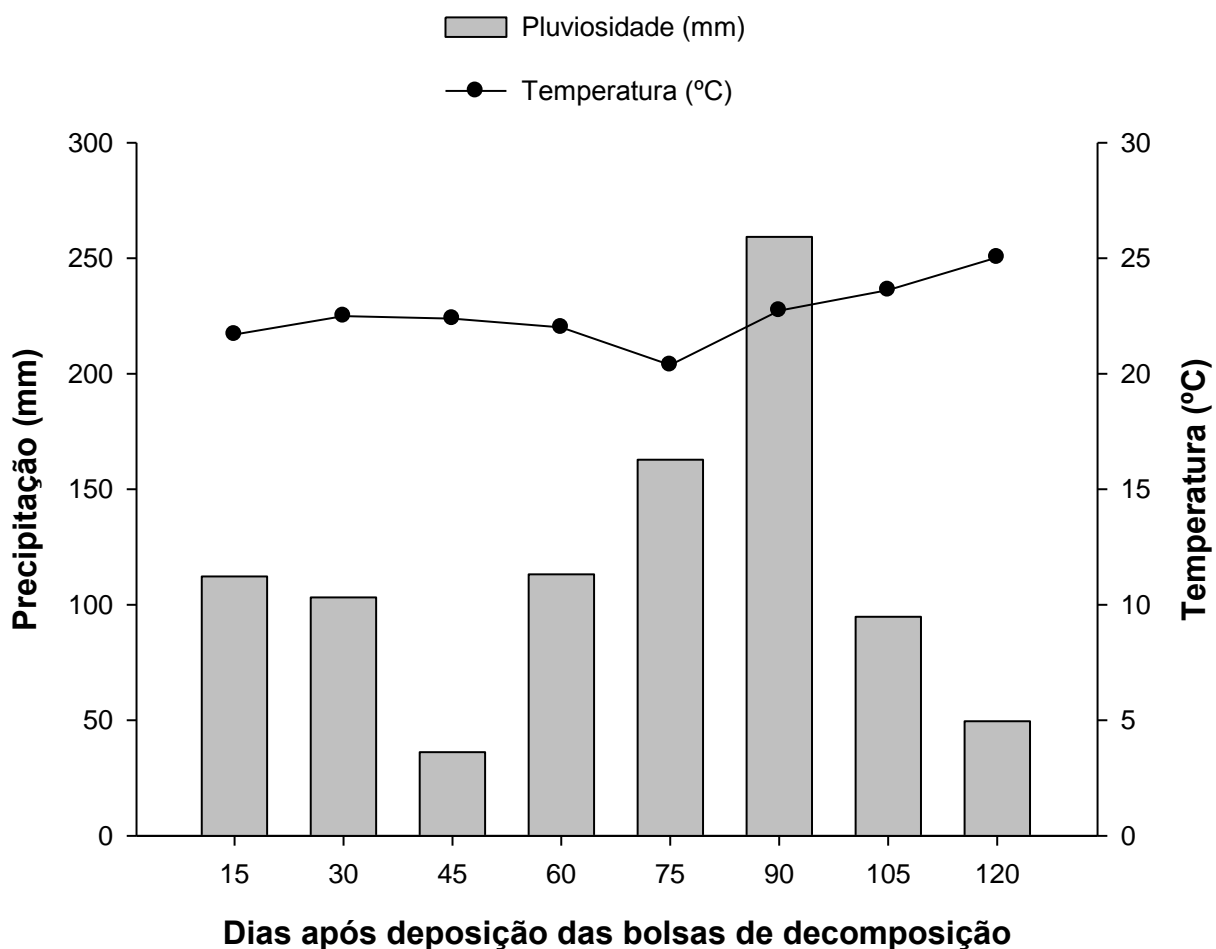
#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, situada na latitude de 25° 42' 52" S e longitude de 53° 03' 94" O, a 520 metros acima do nível do mar. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho (CABREIRA, 2015). A classificação do clima da região é Cfa (subtropical úmido) sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013).

A área experimental vêm sendo conduzida desde o ano de 2010 na Unidade de Ensino e Pesquisa do setor de culturas anuais, sendo anteriormente utilizada para a produção de grãos sem um manejo de solo adequado e estabilizado. O trabalho compreende o uso de diferentes plantas de cobertura hibernais, sob plantio direto, antecedendo o cultivo de milho para produção de grãos, com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-mineral em cobertura e na ausência da aplicação de N-mineral em cobertura na cultura do milho, tendo como ano agrícola avaliado a safra 2015/2016.

Os dados climáticos de precipitação pluvial e da temperatura média do ar, correspondentes ao período experimental, foram obtidos de uma unidade de estação meteorológica do INMET, localizada na Estação Experimental da UTFPR, campus Dois Vizinhos (Figura 1).

**Figura 1-** Médias quinzenais de temperatura média diária do ar (°C) e precipitação pluviométrica acumulada (mm), durante o período de avaliação, safra 2015/2016. UTFPR campus Dois Vizinhos, 2016.



### 3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizados oito sistemas com plantas de cobertura do solo, antecedentes ao cultivo do milho sob plantio direto. As espécies hibernais e suas respectivas densidades de semeadura utilizadas foram:

1. Aveia Preta – (*Avena strigosa* Schreb) 90 kg ha<sup>-1</sup>
2. Azevém – (*Lolium multiflorum* Lam.) 50 kg ha<sup>-1</sup>
3. Centeio – (*Secale cereale* L.) 50 kg ha<sup>-1</sup>
4. Tremoço Azul – (*Lupinus angustifolius* L.) 100 kg ha<sup>-1</sup>
5. Ervilhaca Comum – (*Vicia sativa* L.) 40 kg ha<sup>-1</sup>

6. Nabo Forrageiro – (*Raphanus sativus* L.) 15 kg ha<sup>-1</sup>

7. Aveia + Ervilhaca (A+E) - 60 + 40 kg ha<sup>-1</sup>

8. Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) - 60 + 30 + 10 kg ha<sup>-1</sup>

No intuito de avaliar a capacidade das plantas de cobertura em disponibilizar N para a cultura subsequente, as parcelas foram subdivididas, sendo utilizadas doses de N-mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) fornecidas na fase inicial de desenvolvimento (estágio V3 a V4) da cultura do milho, na forma de ureia (45% de N). A adição do N-mineral foi efetuada em forma manual em dose única e sob condições de elevada umidade do solo (ocorrência de precipitação no dia anterior a aplicação, bem como após sua realização), sendo a aplicação realizada próximo as linhas de semeadura aos 36 dias após a semeadura do milho.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com três repetições, sendo que nas parcelas principais, de 5 x 10 m, foram estabelecidas as plantas de coberturas do solo (fator A), nas subparcelas, de 5 x 5 m, fez-se a aplicação das doses de adubação nitrogenada por cobertura (fator B).

Precedendo a semeadura das coberturas hibernais, realizou-se aplicação de herbicida com o intuito de controle das plantas daninhas em toda área. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada no dia 13/05/2015 de forma mecanizada com espaçamento de 0,17 m entre linhas e sem adubação de base ou de cobertura. Devido a problemas com a viabilidade das sementes de tremoço branco, bem como a dificuldade na aquisição de sementes, a semeadura da cultura foi realizada 20 dias após a implantação das demais espécies, sendo ela substituída pelo tremoço azul.

O manejo das plantas de cobertura foi realizado aos 114 dias após a semeadura (06/09) por meio da aplicação mecanizada de herbicida (*Glifosato* 1,2 L ha<sup>-1</sup> i.a).

A semeadura da cultura do milho (AG 9045), sobre a palhada das plantas de cobertura, ocorreu 17 dias após o manejo, em 21/09/2015, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de semeadura de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Como adubação de base, realizada juntamente com a semeadura, utilizou-se o fertilizante formulado 0:20:20, o que promoveu o fornecimento da mesma quantidade de P e K em todas as parcelas (50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).

### 3.3 PARÂMETROS AVALIADOS

A coleta de matéria seca (MS) das plantas de cobertura, necessária para determinar a quantidade de tecido vegetal a ser acondicionada em cada bolsa de decomposição, foi realizada na data de 31/08/15 (110 dias após a semeadura). No momento da coleta, de modo geral, a ervilhaca encontrava-se no início do florescimento, o azevém e o tremoço azul não apresentava flores (estádio vegetativo), e o nabo forrageiro estava no final de seu ciclo. As demais espécies (aveia, centeio) encontravam-se em pleno florescimento/enchimento de grão.

Para coleta do material vegetal utilizou-se quadro metálico de área conhecida (0,25 m<sup>2</sup>), sendo realizadas coletas em dois pontos aleatórios por parcela. Após a coleta o material foi acondicionado em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura de 55°C durante 72 horas. Após a total secagem do material realizou-se a pesagem das amostras para obtenção da produção de MS de cada parcela.

A decomposição e liberação dos nutrientes foram determinados por meio de bolsas de decomposição (*litter bags*) confeccionadas com tecido de *voil*, nas dimensões de 0,2 x 0,2m, totalizando 0,04 m<sup>2</sup>, com malha inferior a 1 mm. Na confecção das bolsas utilizou-se material vegetal previamente seco em estufa de circulação de ar forçado e fracionado em partes de aproximadamente 10 cm, sendo que as quantidades de MS utilizadas no preenchimento das bolsas, representam de maneira proporcional a produção de MS presente na parcela avaliada.

Para os consórcios realizou-se a separação botânica do material vegetal, sendo determinada a produção de MS de cada espécie e de acordo com a quantidade de material vegetal produzido por cada planta realizou-se a composição das bolsas de decomposição (*litter bags*).

A campo foram depositadas 7 bolsas de decomposição, de mesmo peso, nas respectivas parcelas do material de origem. Sua deposição foi efetuada no momento da semeadura do milho, entre as linhas de semeadura. Uma amostra (tempo zero) serviu como controle não sendo depositada a campo, mas armazenada em local seco e protegido.

A quantificação da taxa de decomposição das plantas de cobertura foi realizada através da determinação de perda de massa, sendo realizada a coleta de

uma bolsa por tratamento nos intervalos de tempo pré-determinados de 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias após a deposição do material a campo (correspondendo aos mesmos dias após a semeadura do milho).

Após cada coleta, as bolsas de decomposição foram secas em estufa de circulação forçada de ar, durante 48 horas, sob temperatura de 65°C e, em seguida realizada a pesagem do material vegetal remanescente em balança semi-analítica. Posteriormente, o resíduo vegetal foi triturado em moinho de facas, tipo Willey, com peneira de 20 mesh e submetido a caracterização química para estimar a taxa de liberação dos nutrientes ao longo do tempo.

A extração dos teores de P, K, Ca e Mg das amostras foram realizadas por meio de digestão sulfúrica de acordo com metodologia proposta por Tedesco (1995), bem como as determinações de K, Ca e Mg. A determinação de P realizou-se conforme metodologia proposta por Murphy e Riley (1962), por meio de espectrofotometria. A digestão das amostras e a determinação dos teores de N dos resíduos foi realizada conforme metodologia descrita por Embrapa (1999).

A estimativa final da liberação de nutrientes pelas plantas de cobertura foi calculada por meio da diferença entre os tores de cada nutriente do tempo zero (T0) em relação a cada período de coleta a campo.

### 3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados das taxas de decomposição dos resíduos vegetais das plantas de cobertura foram demonstrados por modelos não lineares de regressão, com decaimento exponencial duplo, seguindo a equação matemática abaixo (WIEDER; LANG, 1982):

$$MSR = A \cdot \exp(-K_a \cdot t) + (100 - A),$$

em que MSR= porcentagem de matéria seca remanescente no tempo t (dias); A é a proporção do compartimento do resíduo lábil; (100-A) é a proporção do compartimento do resíduo recalcitrante;  $K_a$ = taxa constante de decomposição da MS do compartimento mais facilmente decomponível.

Os dados de MS e de liberação de nutrientes foram analisados quanto a normalidade por meio do teste de Lilliefors, sendo então submetidos a análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade, com o auxílio do software Assistat 7.6 Beta (2012), desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

Para os dados que não apresentaram normalidade foram efetuadas as transformações necessárias para que os mesmos cumprissem os princípios do teste de normalidade de Lilliefors, sendo aplicadas as seguintes transformações:

- Nitrogênio: transformação ( $1/\text{raiz de } X$ ) para a composição química da matéria seca; raiz de  $X$  para os dados aos 15 dias e  $\log(x)$  para os dados aos 75, 90 e 120 dias;
- Fósforo: transformação (raiz de  $X$ ) para os dados aos 45 dias;
- Potássio: transformação  $\log(x)$  para a composição química da matéria seca e transformação (raiz de  $X$ ) para os dados aos 15 dias;
- Cálcio: transformação (raiz de  $X$ ) para a composição química da matéria seca e  $\log(x)$  para os demais dados do nutriente;
- Magnésio: transformação (raiz de  $X$ ) para os dados de liberação do nutriente (45 e 60 dias).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Não houve efeito residual do N aplicado ( $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na cultura do milho, para a produção de fitomassa seca das plantas de cobertura em sucessão (Tabela 1). A produção de MS pelos sistemas de cobertura, principalmente para os consórcios e poáceas, demonstrou superioridade ao obtido por Ziech et al. (2015) no mesmo experimento, nas safras agrícolas de 2010 e 2011, apresentando um rendimento 1,5 e 1,6 vezes superior para os consórcios e a aveia preta, respectivamente.

**Tabela 1-** Produção de matéria seca (MS) e composição química inicial dos resíduos culturais das plantas de cobertura hibernais, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Produção		Composição Química			
	MS	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha <sup>-1</sup>	-----g Kg <sup>-1</sup> de MS-----				
A+E	6,78 a	15,39 b**	2,38 <sup>ns</sup>	19,55 a	3,66 d	2,21 c**
A+E+N	6,69 a	15,54 b	2,43	16,94 b	6,97 c	2,35 c
Aveia	7,48 a	11,86 c	2,16	14,99 b	2,97 d	1,07 d
Azevém	3,75 b	13,91 b	2,45	24,58 a	6,33 c	2,30 c
Centeio	7,40 a	10,87 c	2,05	13,62 b	2,49 d	0,98 d
Ervilhaca Comum	2,39 c	28,07 a	2,56	23,81 a	8,52 b	4,71 b
Nabo Forrageiro	3,75 b	14,89 b	2,30	15,05 b	11,78 a	5,13 a
Tremoço Azul	1,22 c	25,77 a	2,39	15,99 b	11,75 a	4,85 b
<b>CV (%)</b>	<b>21,02</b>	<b>4,74</b>	<b>12,21</b>	<b>6,43</b>	<b>8,21</b>	<b>3,99</b>
<b>Adução Nitrogenada</b>						
0 N	4,91 <sup>ns</sup>	15,87 b	2,37 <sup>ns</sup>	19,90 a	6,46 b	2,92 b
180 N	4,96	18,21 a	2,31	16,23 b	7,15 a	2,99 a
<b>CV (%)</b>	<b>14,09</b>	<b>5,02</b>	<b>20,53</b>	<b>3,69</b>	<b>6,37</b>	<b>1,90</b>

Onde: \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ).

\*\*Interação significativa, dados expressos na tabela 2.

(A+E) = consórcio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Oscilações de produtividade de fitomassa pelas espécies de plantas de cobertura são comuns, até quando cultivadas em mesmo local, tendo em vista que a produção de fitomassa é altamente dependente das condições climáticas, edáficas e

fitossanitárias de cada região, bem como da particularidade de cada ano agrícola que se realiza o cultivo (AMADO et al., 2002).

O rendimento de MS dos consórcios e das poáceas, com exceção ao azevém, foi superior em relação as demais plantas (fabáceas e brássica), com rendimentos médios entre 6,69 e 7,48 Mg ha<sup>-1</sup> para o consórcio A+E+N e a aveia preta, respectivamente. Deste modo, evidencia-se o elevado potencial de produção de fitomassa e rápido estabelecimento que as poáceas apresentam, inclusive quando consorciadas com espécies de outras famílias botânicas (GIACOMINI et al., 2003a; CRUSCIOL, 2008).

A aveia preta demonstrou elevada produção de MS (7,48 Mg ha<sup>-1</sup>), correspondendo a uma produção 3 e 6 vezes maior que aquela proporcionada pela ervilhaca comum e pelo tremoço azul, respectivamente, que apresentaram as menores quantidades de MS produzida. O maior rendimento de MS da aveia pode ser atribuído à sua grande capacidade de perfilhamento e devido sua maior rusticidade (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

Em condições de um Latossolo Vermelho, Cherubin et al. (2014) obtiveram rendimentos de MS elevados para aveia preta (8,34 Mg ha<sup>-1</sup>) e o consórcio A+E+N (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>), concordando com os dados encontrados neste trabalho. Sequinatto et al. (2014), sobre um Argissolo Vermelho no estado do Rio Grande do Sul, também obtiveram elevada produção de MS para a aveia preta (8,1 Mg ha<sup>-1</sup>).

A baixa produtividade das fabáceas, em relação a seu potencial, está associada a reduzida emergência de ambas as espécies à campo (constatação visual) e, para o tremoço azul, houve um agravamento da situação devido à forte incidência de formigas saúvas (*Atta spp.*) nas parcelas de cultivo. Carvalho et al. (2007), na região do primeiro planalto paranaense, obtiveram também baixas produtividades de MS para as fabáceas avaliadas, na faixa de 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca para a ervilhaca comum.

A produção de MS obtida para o azevém e o nabo forrageiro, 3,75 Mg ha<sup>-1</sup>, foi intermediária ao obtido nos demais tratamentos, resultado semelhante ao obtido por Ziech et al. (2015), Carvalho et al. (2007) e Giacomini et al. (2003a). Apesar de o azevém pertencer a família das poáceas, proporcionou baixa produção de MS quando comparado as demais espécies da família avaliadas, isso devido ao longo ciclo de desenvolvimento da cultura e pelo fato de na época da coleta de matéria seca o azevém ainda se apresentar no estágio vegetativo. Cherubin et al. (2014)

obtiveram baixa produtividade de MS para o azevém, com 3,21 Mg ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca, concordando com a produção de MS observada neste trabalho.

Os teores de P na MS apresentaram valores entre 2,05 e 2,56 g kg<sup>-1</sup> para o centeio e a ervilhaca comum, respectivamente, não havendo diferença estatística entre os sistemas de plantas de cobertura, bem como para as doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1).

Para os teores de K a adubação nitrogenada resultou em menor absorção do nutriente quando aplicado N-mineral (180 kg ha<sup>-1</sup>). Dado este que contrapõe o obtido por Rossato (2004), onde o efeito residual das doses de N-mineral aplicado ao milho proporcionou aumento no acúmulo de K ao passo que as doses de N foram aumentando.

A menor concentração de K nos tecidos das plantas de cobertura, quando aplicado N-mineral, pode ser explicado devido uma possível limitação do nutriente nesse sistema. Tendo em vista que, quando realizada a adubação nitrogenada maiores foram as produtividades obtidas na cultura do milho, dados estes obtidos por Ziech (2016) neste mesmo experimento em anos anteriores. Deste modo, ocorrendo maior exportação do nutriente via grão de milho ao longo dos anos, quando comparado a ausência de adubação em cobertura, ocasionando uma possível limitação de K disponível no solo que acaba por reduzir a quantidade absorvida pelas plantas de cobertura, mesmo para as que apresentam grande eficiência em sua absorção.

Na concentração de K na fitomassa seca das plantas de cobertura, a ervilhaca comum, o azevém e o consórcio A+E apresentaram os maiores teores do nutriente na MS, acumulando 23,81; 24,58 e 19,55 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Maiores teores de K para a ervilhaca também foram obtidos por Giacomini et al. (2003b) que obteve superioridade na concentração em relação a aveia preta, assim, demonstrando a habilidade da fabácea na absorção do K disponível no solo. Qualidade esta também expressa no consórcio, que apresentou concentração de K 23% maior que o cultivo isolado de aveia.

A superioridade do azevém na absorção de K, de 39 e 44%, em relação a aveia e o centeio, está relacionada a potencialidade que a espécie possui em absorver o K em formas menos trocáveis, disponibilizando-o nas camadas superficiais do solo (JUO; LAL, 1979). Os demais sistemas de cobertura avaliados

não diferiram entre si, obtendo teores de K entre 13,62 e 16,94 g kg<sup>-1</sup> de fitomassa seca.

Do mesmo modo que ocorreu para o N e o Mg, a adubação nitrogenada (180 kg ha<sup>-1</sup>) atuou de forma positiva na concentração de Ca elevando em 9,6% seus teores nos tecidos vegetais das plantas de cobertura. Obteve-se elevados teores de Ca para o nabo forrageiro (11,78 g kg<sup>-1</sup>) e para o tremoço branco (11,75 g kg<sup>-1</sup>) correspondendo a uma concentração 75% superior em relação a aveia, que apresentou um dos menores teores de Ca em seus tecidos (2,97 g kg<sup>-1</sup>). Viola et al. (2013), avaliando o acúmulo de macronutrientes por plantas de cobertura hibernais, obteve também maior quantidade de Ca acumulado nos tecidos vegetais do nabo forrageiro e de tremoço.

A concentração de Ca no consócio A+E+N foi intermediária (6,97 g kg<sup>-1</sup>) ao obtido pelo cultivo destas mesmas espécies isoladamente, porém não diferindo do azevém. O teor de Ca obtido para o consócio A+E (3,66 g kg<sup>-1</sup>) foi semelhante ao observado na aveia em cultivo isolado, isso possivelmente pelo fato deste consócio apresentar maior predominância da poácea em sua composição.

Os teores de N e Mg na MS dos sistemas de plantas de cobertura apresentaram interação significativa para as doses de adubação nitrogenada aplicada na cultura do milho (Tabela 2).

**Tabela 2-** Desdobramento da interação para os teores de nitrogênio total (N) e magnésio (Mg) na matéria seca (MS) das plantas de cobertura, antecedentes ao cultivo do milho, com doses de 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-mineral na cultura comercial. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Teor de Nitrogênio		Teor de Magnésio	
	0 N	180 N	0 N	180 N
	-----g kg <sup>-1</sup> de MS-----		-----g kg <sup>-1</sup> de MS-----	
A+E	15,50 cA	15,28 bA	2,19 eA	2,24 eA
A+E+N	14,42 cA	16,67 bA	2,30 dB	2,41 dA
Aveia	10,57 eB	13,14 cA	1,07 fA	1,08 fA
Azevém	14,17 cA	13,65 cA	2,30 dA	2,29 eA
Centeio	9,23 fB	12,51 cA	0,93 gA	1,02 fA
Ervilhaca Comum	30,08 aA	26,06 aA	4,72 cA	4,71 cA
Nabo Forrageiro	12,11 dB	17,68 bA	4,97 aB	5,30 aA
Tremoço Azul	20,89 bB	30,65 aA	4,84 bA	4,87 bA
<b>CV (%)</b>	<b>5,02</b>		<b>1,90</b>	

Onde: \*Médias para interação seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada teor de nutriente, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott (P<0,05). (A+E) = consócio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consócio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

A utilização de N-mineral em cobertura na cultura principal, proporcionou maiores teores de N no tecido vegetal da aveia, centeio, nabo forrageiro e tremoço azul, resultando no incremento de 19, 26, 31 e 32% no teor de N na MS destas plantas de cobertura. Este efeito pode ser atribuído a maior quantidade de N presente na MS da cultura do milho oriunda da aplicação de ureia em cobertura proporcionando, deste modo, maior quantidade do nutriente no sistema, bem como elevando a taxa de decomposição e, conseqüentemente, acelerando o processo de mineralização (ROSSATO, 2004; VIOLA et al., 2013).

Este resultado evidencia a capacidade das poáceas em imobilizar o N disponível no solo diminuindo, assim, as perdas deste nutriente por lixiviação no perfil de solo, fato este também observado por Giacomini et al. (2003b). A maior concentração de N nos tecidos do nabo confirma sua elevada eficiência no aproveitamento do N do solo, promovendo a ciclagem deste nutriente também nas camadas mais subsuperficiais, tendo em vista seu sistema radicular pivotante e vigoroso. Rossato (2004) avaliando o acúmulo de N no nabo forrageiro em diferentes doses de N-mineral aplicado ao milho observaram teores do nutriente mais elevados nas maiores doses de N aplicado (120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>).

A maior concentração de N no tecido do tremoço azul, quando aplicado N-mineral, possivelmente está relacionado aos problemas ocorridos durante o desenvolvimento da espécie, tendo em vista que a semeadura mais tardia aliada a infestação de formigas tenha prejudicado o crescimento, absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, a simbiose com bactérias fixadoras de N.

As observações de Ziech (2016) em condições normais de condução do tremoço branco, demonstraram efeitos negativos da adubação nitrogenada (180 kg ha<sup>-1</sup>) em relação ao acúmulo de N, sendo constatada redução de 21,1% na quantidade presente nos tecidos. Deste modo, o N remanescente da aplicação no milho, possibilitou que as plantas suprissem melhor parte da necessidade de N por meio da maior quantidade de N presente no sistema, assim, resultando em maior concentração do nutriente em seus tecidos.

As maiores concentrações de N na MS foram observadas nos sistemas constituídos pelas fabáceas isoladas, ervilhaca comum e tremoço branco, e os menores para as poáceas, tanto na aplicação de N-mineral quanto na ausência de N-mineral (Tabela 2). As fabáceas, que apresentam capacidade de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, tem a competência de fixar elevadas quantidades

de N em seus tecidos (GIACOMINI et al., 2003b), enquanto que as poáceas não apresentam esta característica tornando-se, deste modo, dependentes do N presente no solo e de sua capacidade em absorve-lo.

A concentração média de 28 kg de N para cada Mg de MS, obtida para a ervilhaca comum, assemelha-se com resultados médios obtidos em três anos agrícolas por Giacomini et al. (2003b) e Ziech (2016), obtendo 31,8 e 32 kg de N, respectivamente.

Os consórcios apresentaram teores de N intermediários ( $15,50 \text{ g kg}^{-1}$ ) aos observados para as poáceas e fabáceas em ambas as doses de adubação nitrogenada, possivelmente, devido ao efeito da presença da fabácea, tendo em vista sua capacidade de FBN. O nabo forrageiro também obteve teores intermediários, não diferindo dos consórcios, apesar de não realizar a fixação do  $\text{N}_2$  atmosférico, assim, demonstrando sua elevada capacidade na ciclagem do nutriente (GIACOMINI et al., 2003b; OHLAND, 2005; CASTRO; DEVIDE, 2015).

Para os teores de Mg na MS a utilização de N-mineral em cobertura na cultura do milho proporcionou maior acúmulo do nutriente nos tecidos para o nabo forrageiro ( $5,30 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o consórcio A+E+N ( $2,41 \text{ g kg}^{-1}$ ), correspondendo a teores de 6,0 e 4,5% superior ao obtido na ausência de adubação nitrogenada. A adubação nitrogenada, associada a anos agrícolas com fatores climáticos e pluviométricos favoráveis, apresenta o potencial de promover um efeito positivo na absorção de nutrientes pelas plantas (OLIVEIRA, 2011).

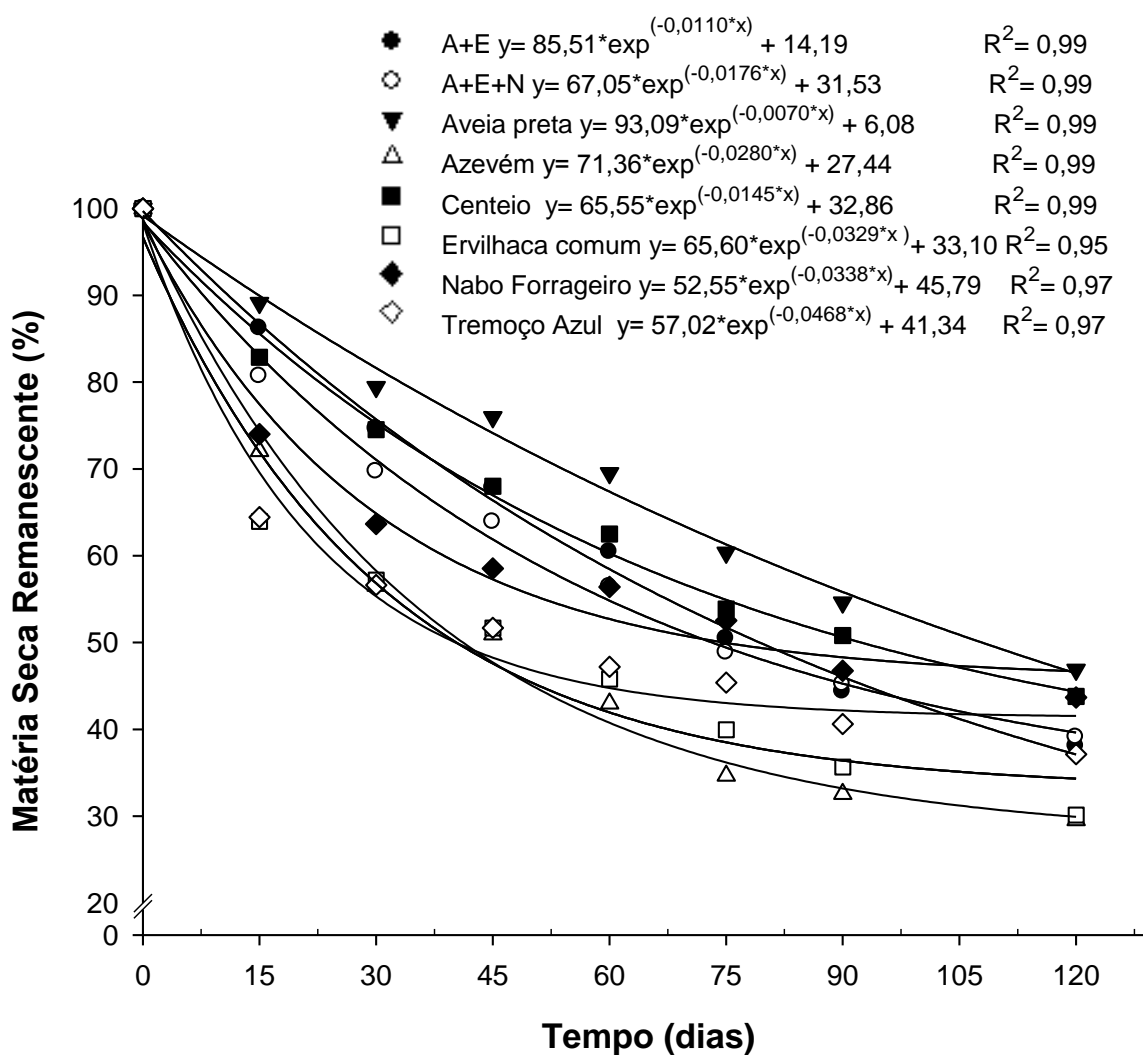
O nabo forrageiro e o tremoço azul, em ambas as doses, demonstraram superioridade nos teores de Mg na massa seca em relação as demais plantas de cobertura. A concentração do nutriente também foi elevada na ervilhaca comum ( $4,72 \text{ g kg}^{-1}$ ), sendo apenas inferior ao nabo e o tremoço. Em contrapartida, para a aveia e o centeio foram obtidas as menores concentrações do nutriente na MS ( $1,07$  a  $0,98 \text{ g kg}^{-1}$  de MS), bem como para o consórcio A+E tendo em vista a maior presença da poácea no sistema.

O consórcio A+E+N e o azevém apresentaram teor de Mg de 2,35 e 2,30  $\text{g kg}^{-1}$  de MS, respectivamente, teores intermediários aos demais sistemas de plantas de cobertura avaliados. Quando comparado ao teor de Mg da aveia, que apresentou uma das menores quantidades do nutriente, o consórcio A+E+N e o azevém foram 53% e 54% superiores, respectivamente, na capacidade de concentração do mesmo em seus tecidos.

## 4.2 MATÉRIA SECA REMANESCENTE EM SUPERFÍCIE DO SOLO

A cinética de decomposição dos resíduos dos sistemas de plantas de cobertura ocorreu de forma diferenciada, havendo oscilações em função do tipo de estrutura vegetal (folhas, caules, flores) e qualidade do material (teores de N, relação C/N, celulose), principalmente durante os primeiros dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição sobre o solo (Figura 2).

**Figura 2-** Matéria seca remanescente dos sistemas de plantas de cobertura hibernais ao longo de 120 dias, após distribuição das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos, 2016. A+E+N= Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E= Aveia+Ervilhaca.



As variações em relação as taxas de decomposição dos resíduos, estão relacionadas ao volume de precipitação ocorrida. Durante os 120 dias de condução do experimento, ocorreram condições climáticas incomuns excepcionais para a

região, com decorrência de elevados índices pluviométricos, com total acumulado de 931,2 mm, temperaturas amenas (Figura 1) e baixa incidência de luz solar, em virtude de ocorrência de dias consecutivos com nebulosidade.

De maneira geral, a decomposição dos materiais vegetais apresentou uma fase inicial rápida e posteriormente um período mais lento de perda de massa, sendo observadas apenas alteração na intensidade de ocorrência deste processo entre as famílias e as espécies (DONEDA, 2010). Apesar da baixa temperatura no período inicial, 20°C, a elevada pluviosidade registrada até os 30 dias, 215 mm (Figura 1), foi determinante na elevação da decomposição dos resíduos das plantas de cobertura.

A ervilhaca comum e o tremoço azul apresentaram as maiores taxas de decomposição inicial dos resíduos, onde, 15 DAD do material a campo, persistiam 64% do total de MS produzida para as duas espécies. Após esse período, o tremoço azul apresentou estabilização na taxa de decomposição de seus resíduos que persistiu até o final das avaliações, fato este também constatado por Ziech et al. (2015) para o tremoço branco. No mesmo período, a aveia preta manteve 89% da palhada em superfície ( $6,66 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

O azevém, apesar de pertencer a família das poáceas, apresentou comportamento semelhante a ervilhaca comum a partir dos 30 DAD das bolsas de decomposição. A taxa de permanência dos resíduos do azevém era de 56% e para a ervilhaca de 57%, ao final do período de avaliação e, a manutenção dos resíduos na superfície do solo foi de 32% e 36% para o azevém e a ervilhaca comum, respectivamente.

A taxa de decomposição diferenciada do azevém, quando comparada as outras espécies pertencentes a sua família, é resultado, possivelmente da época em que se efetuou a coleta do material vegetal, período este que o azevém havia atingido apenas o estágio vegetativo de seu desenvolvimento e, deste modo, pode não ter representando o verdadeiro potencial da cultura (relação C/N e acúmulo de massa) (ZIECH, 2016), tendo em vista que as demais plantas de cobertura avaliadas, com exceção ao tremoço azul, avaliadas apresentavam se no estágio de florescimento e/ou de grão leitoso.

A decomposição para os consórcios apresentou comportamento semelhante ao obtido para o cultivo isolado de aveia preta até os 30 DAD, com manutenção de 75 e 70% para A+E e A+E+N, respectivamente, concordando com o resultado obtido



por Ziech (2016) avaliando a mesma combinação de consórcios, constatou permanência de 78 e 73% dos resíduos sobre o solo.

Ao fim do período avaliado (120 dias) ambos os consórcios mantiveram menos de 40% dos resíduos sobre o solo. Resultado semelhante também foi obtido por Ziech et al. (2015), que no período de 122 dias de avaliação, as mesmas combinações de consorciação proporcionaram a manutenção de 41% de seus resíduos em superfície.

A menor taxa de decomposição dos resíduos dos consórcios, quando comparada a utilização da fabácea em cultivo isolado, possibilita a permanência por um maior período de tempo dos resíduos culturais sobre o solo e, deste modo, favorece a manutenção de umidade e também a proteção do solo contra processos erosivos (AITA; GIACOMINI, 2003), apresentando vantagem em relação ao cultivo da poácea isolada, por meio da adição de N ao solo possibilitado pela consorciação.

O nabo forrageiro apresentou uma taxa de decomposição diferenciada, possivelmente influenciada pela condição que a cultura apresentava quando realizada a coleta do material, que se encontrava em fase final de ciclo (constatação visual), com queda de grande parte das folhas. Esta situação resultou em uma proporção mais elevada de colmos e síliquas no material, alterando assim, a relação C/N e, por consequência, reduzindo a taxa de decomposição de seus resíduos (ZIECH et al., 2015), sendo observado a permanência de 74% e 44% da fitomassa seca produzida sobre o solo, aos 15 e 120 dias, respectivamente. Ao final do período avaliado o nabo forrageiro apresentou permanência dos resíduos similar a aveia (47%) e ao centeio (44%).

Apesar do comportamento diferenciado apresentado pelo nabo forrageiro, os resultados de decomposição de seus resíduos corroboram com o encontrado por Medrado et al. (2011), que verificou permanência de 84% da fitomassa seca inicial para a cultura nos 30 dias iniciais e de 53% ao decorrer de 161 dias. Ziech et al. (2015) constataram manutenção de 91% e 62% da MS produzida pelo nabo forrageiro, aos 23 e 122 dias respectivamente, resultado este superior ao encontrado no presente trabalho.

### 4.3 LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES

A adubação nitrogenada efetuada em cobertura na cultura do milho, apresentou efeito significativo sobre a liberação de N dos sistemas de plantas de cobertura, a partir dos 75 dias até o término das avaliações, onde a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou liberação média 23% superior a ausência de adubação nitrogenada (Tabela 3).

**Tabela 3-** Quantidade acumulada de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição a campo. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Liberação de Nitrogênio (DAD)						
	15	30	45	60	75	90	120
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----						
A+E	21,80 b	23,90 b	45,42 a	46,98 a	47,44 a	49,25 a	54,76 a
A+E+N	33,92 a	35,64 a	44,19 a	44,95 a	45,32 a	48,47 a	55,00 a
Aveia	12,74 b	18,85 b	20,75 b	24,22 b	26,20 b	29,34 b	32,61 b
Azevém	14,15 b	16,20 b	17,94 b	22,47 b	24,71 b	27,69 b	29,27 b
Centeio	15,88 b	21,23 b	24,65 b	25,52 b	24,03 b	25,99 b	31,75 b
Ervilhaca Comum	32,98 a	36,81 a	42,29 a	43,62 a	45,24 a	46,94 a	50,55 a
Nabo Forrageiro	17,88 b	18,59 b	21,86 b	25,82 b	27,50 b	29,38 b	31,34 b
Tremoço Azul	9,70 b	12,91 b	15,13 b	17,47 b	17,83 b	18,48 c	20,53 b
<b>CV (%)</b>	32,95	57,37	39,79	40,28	9,48	9,19	9,33
<b>Adubação Nitrogenada</b>							
0 N	17,69 <sup>ns</sup>	19,94 <sup>ns</sup>	31,03 <sup>ns</sup>	28,22 <sup>ns</sup>	29,41b	31,79 b	33,37 b
180 N	22,07	25,90	31,03	34,55	35,29 a	37,10 a	43,36 a
<b>CV (%)</b>	24,05	50,18	30,69	37,08	9,36	9,04	7,35

Onde: \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott (P<0,05). ns= não significativo pelo teste Skott-Knott (P<0,05).

\*\* Interação significativa, dados expressos na tabela 4.

(A+E) = consórcio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Na liberação de N a ervilhaca comum se destacou na quantidade do nutriente, tanto em cultivo solteiro quanto consorciada com nabo e/ou aveia. Nos 15 dias iniciais a ervilhaca comum e o consórcio A+E+N apresentaram as maiores quantidades de N liberado, disponibilizando 49 e 32% do total acumulado na MS, respectivamente. Ziech (2016) obteve quantidades de N liberado, para os mesmos sistemas de cobertura, entre 30 e 40 kg ha<sup>-1</sup>, validando os resultados obtidos.

Os tratamentos constituídos por aveia preta, azevém, centeio, nabo forrageiro e tremoço azul não diferiram entre si na liberação de N durante todo o período de avaliação, apresentando liberação inicial (15 dias) entre 9,70 e 17,88 kg ha<sup>-1</sup> e, liberação final do nutriente, 120 dias, entre 22,00 e 32,61 kg ha<sup>-1</sup>.

Aos 45 dias ocorreu o pico de liberação de N para todas as plantas de cobertura avaliadas, sendo observado a partir deste período, de modo geral, uma estabilização na disponibilização do nutriente, isto possivelmente devido a permanência da fração menos lábil nos resíduos (ZIECH, 2016). A partir dos 45 dias, o consócio A+E apresentou elevação na taxa de liberação de N (45,42 kg ha<sup>-1</sup>), assemelhando se, assim, na quantidade liberada com a ervilhaca comum e o consócio A+E+N, com 42,29 e 44,19 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente, assim permanecendo até o final das avaliações.

A taxa de liberação de N das poáceas, aos 45 dias, caracterizou se pela disponibilidade inferior do elemento ao solo, com liberação entre 17,94 e 24,65 kg ha<sup>-1</sup> de N, porém não diferindo estatisticamente do nabo forrageiro e tremoço azul. Ziech (2016) aos 45 dias de avaliação, obteve liberação de 26; 21 e 18 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente para as mesmas espécies, respectivamente, concordando com os resultados obtidos.

Aos 120 dias a ervilhaca comum e os consórcios A+E e A+E+N disponibilizaram respectivamente 50,55; 54,76 e 55,00 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente, quantidades estas que correspondem a 52% e 75% do total de N acumulado na MS dos consórcios e da ervilhaca comum, respectivamente. Ziech (2016) com avaliação aos 120 DAD das bolsas de decomposição a campo, obteve liberação semelhante para os consórcios A+E e A+E+N, 53 e 47 kg ha<sup>-1</sup> de N para um ano agrícola (2014/2015). No mesmo estudo a autora obteve liberação de 55 e 52 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente, na média de avaliação de três anos, para ervilhaca comum e o consócio A+E+N, respectivamente.

Em virtude do maior equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização, a consorciação entre fabáceas, poáceas e brássicas, acaba possibilitando uma liberação intermediária de N em relação aos cultivos solteiros, assim como, apresenta potencial de manutenção dos resíduos vegetais na superfície, auxiliando para uma proteção do solo superior à aquela fornecida pelas fabáceas (ZIECH et al., 2015).

Deste modo, constata-se que a combinação entre fabáceas, poáceas e brássicas, possibilita um equilíbrio na liberação de N, contribuindo de maneira semelhante ao cultivo solteiro das fabáceas. Contudo, o consórcio apresenta maior capacidade de produção de fitomassa aliado a menor taxa de decomposição da palhada (DONEDA et al., 2012), bem como elevada capacidade de ciclagem de nutrientes das camadas subsuperficiais, devido a presença do nabo forrageiro, além de permanência dos resíduos sobre o solo intermediária aos cultivos solteiros (ZIECH et al., 2015).

Quanto a liberação de P as plantas de cobertura apresentaram uma fase inicial mais lenta de liberação do nutriente, sendo que aos 60 DAD das bolsas de decomposição à campo foi observado o pico de liberação do nutriente por todos os tratamentos avaliados (tabela 4), com posterior estabilização na taxa de liberação. Aos 120 dias de avaliação os sistemas de plantas de cobertura apresentaram liberação de 65 a 78% da quantidade total de P contida na MS.

**Tabela 4-** Quantidade de fósforo (P) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Liberação de Fósforo (DAD)						
	15	30	45	60	75	90	120
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----						
A+E	4,16 a	4,48 <sup>ns</sup>	5,75 <sup>ns</sup>	9,36 a	9,74 a	9,85 a	10,52 a
A+E+N	4,53 a	4,90	5,38	9,71 a	9,63 a	9,76 a	11,00 a
Aveia	3,89 a	3,39	3,57	8,04 a	8,00 a	8,73 a	9,24 a
Azevém	3,55 a	3,37	3,85	6,01 b	6,12 b	6,20 b	6,38 b
Centeio	3,23 a	4,32	4,27	8,7 a	9,05 a	9,32 a	10,04 a
Ervilhaca Comum	2,25 b	2,91	3,14	4,4 b	4,48 b	4,62 b	4,81 b
Nabo Forrageiro	2,96 a	3,22	3,45	5,48 b	5,78 b	5,95 b	6,20 b
Tremoço Azul	1,22 b	1,30	1,53	2,07 c	2,10 c	2,11 c	2,19 c
<b>CV (%)</b>	17,25	57,67	48,52	25,50	26,92	23,95	24,70
<b>Adubação Nitrogenada</b>							
0 N	2,75 <sup>ns</sup>	3,39 <sup>ns</sup>	3,71 <sup>ns</sup>	6,10 <sup>ns</sup>	6,89 <sup>ns</sup>	6,88 <sup>ns</sup>	7,49 <sup>ns</sup>
180 N	3,70	3,58	4,03	6,76	6,89	7,22	7,61
<b>CV (%)</b>	29,10	46,16	48,52	31,75	34,42	32,48	36,98

Onde: \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). ns= não significativo pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ).

(A+E) = consórcio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

As doses de adubação nitrogenada (0 e 180 Kg ha<sup>-1</sup>) não apresentaram efeito significativo na liberação de P durante todo o período de avaliação, do mesmo modo que observado para a concentração do nutriente nos tecidos vegetais.

Os consórcios e as poáceas, com exceção ao azevém, proporcionaram as maiores taxas de liberação de P, liberando entre 8,7 e 9,71 Kg ha<sup>-1</sup> para o centeio e o consórcio A+E+N, respectivamente, enquanto que o tremoço branco apresentou a menor liberação, 2,07 Kg ha<sup>-1</sup>, aos 60 DAD das bolsas de decomposição. Giacomini et al. (2003a), com avaliações aos 59 dias, obtiveram menores quantidades do nutriente liberado para a aveia preta (6,0 Kg ha<sup>-1</sup>) e para o consórcio A+E (6,5 Kg ha<sup>-1</sup>).

A condição de maior quantidade liberada possivelmente ocorreu em virtude das condições pluviométricas favoráveis no ano em que o presente estudo foi conduzido acelerando, deste modo, a decomposição dos resíduos e elevando a taxa de liberação do nutriente, bem como devido a maior produção de fitomassa.

A cinética de disponibilização de P observada aos 60 DAD se manteve até a última avaliação realizada (120 dias), sendo as poáceas (aveia e centeio) e consórcios os resíduos que disponibilizaram maior quantidade de P, entre 9,24 e 11,00 Kg ha<sup>-1</sup>, e o tremoço branco a menor quantidade (2,19 Kg ha<sup>-1</sup>). Giacomini et al. (2003a), com avaliação aos 112 dias, obteve liberação de P semelhante para a aveia preta (8 Kg ha<sup>-1</sup>).

Os resíduos de azevém, nabo forrageiro e de ervilhaca comum apresentaram liberação de P intermediária aos demais materiais avaliados a partir dos 60 dias. Aos 120 dias a disponibilização do nutriente por estas plantas foi de 6,38; 6,20 e 4,81 Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Marcelo et al. (2012) e Giacomini et al. (2003a), obtiveram resultados semelhantes na quantidade total de P liberado pelo nabo forrageiro, 6,20 e 8,0 Kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, assim, concordando com o resultado obtido.

A disponibilização de K pelos resíduos das plantas de cobertura, expressa na tabela 5, foi influenciada pela adubação nitrogenada em cobertura, realizada na cultura do milho, do mesmo modo que o observado para a concentração do nutriente na MS, sendo obtido quantidades mais elevadas de K liberado na ausência da aplicação de N-mineral, a partir dos 30 DAD das bolsas de decomposição.

Este resultado deve-se ao fato que, além da taxa de decomposição do resíduo, a quantidade total do nutriente liberado está relacionada ao total do

nutriente acumulado na fitomassa da planta de cobertura (GIACOMINI et al., 2003a). Ao final do período de avaliação observou-se liberação do nutriente 19% superior na ausência de adubação nitrogenada em cobertura.

**Tabela 5-** Quantidade de potássio (K) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Liberação de Potássio (DAD)						
	15	30	45	60	75	90	120
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----						
A+E	31,08 a	79,27 a	90,55 a	103,45 a	120,96 a	127,1 a	128,77 a
A+E+N	34,66 a	76,79 a	87,94 a	98,74 a	105,82 a	112,68 a	112,93 a
Aveia	15,30 b	46,08 b	69,48 a	74,44 a	95,67 a	110,94 a	109,25 a
Azevém	42,84 a	63,18 a	72,95 a	80,48 a	89,05 a	91,72 a	91,70 a
Centeio	31,44 a	64,15 a	73,15 a	81,48 a	90,68 a	99,05 a	99,47 a
Ervilhaca Comum	35,12 a	48,88 b	53,81 b	54,03 b	56,46 b	57,84 b	57,84 b
Nabo Forrageiro	31,87 a	47,48 b	51,08 b	51,33 b	53,35 b	53,59 b	55,64 b
Tremoço Azul	14,47 b	17,25 c	18,09 c	18,24 c	18,78 c	19,22 c	19,41 c
<b>CV (%)</b>	25,21	36,97	31,23	33,30	31,31	31,75	31,33
<b>Adubação Nitrogenada</b>							
0 N	34,01 <sup>ns</sup>	60,62 a	71,18 a	77,27 a	87,55 a	93,32 a	93,12 a
180 N	15,18	50,15 b	58,08 b	63,27 b	70,14 b	74,7 b	75,63 b
<b>CV (%)</b>	30,55	20,86	18,43	15,85	12,83	12,39	12,11

Onde: \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott (P<0,05). ns= não significativo pelo teste Skott-Knott (P<0,05).

(A+E) = consórcio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Aos 30 dias de avaliação ocorreu a mais intensa liberação de K pelas fabáceas e pelo nabo forrageiro, disponibilizando mais de 85% do total acumulado na MS. Após este período a taxa de liberação do nutriente estabilizou, assim permanecendo até o final das avaliações. No mesmo período as poáceas e consórcios apresentaram disponibilização entre 60 e 68% do K acumulado na MS, apresentando superioridade na quantidade do nutriente fornecida, apesar da menor taxa de liberação, em virtude da maior produção de MS bem como pela elevada ciclagem deste nutriente que é característico das espécies desta família (ROSOLEM et al., 2003).

A liberação de K da ervilhaca comum e do nabo forrageiro apresentou-se intermediária a partir dos 30 dias de avaliação e assim persistindo até os 120 dias, com liberação final de 57,84 e 55,64 kg ha<sup>-1</sup> do nutriente, respectivamente, concordando com resultados obtidos por GIACOMINI et al. (2003a).

As poáceas e os consórcios apresentaram as maiores quantidades de K liberado (120 dias), fato também observado por Rosolem et al. (2003), com liberação entre 91,70 e 128,77 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma superioridade de 4,7 a 6,6 vezes a quantidade liberada pelo tremoço azul, que apresentou a menor liberação (19,41 kg ha<sup>-1</sup>). Esta potencialidade oriunda da grande produção de MS, característica desta família botânica.

Ao final do período de avaliação todos os resíduos apresentaram concentração de K menor que 2% em relação a quantidade inicial do nutriente na MS dos sistemas de plantas de cobertura. A rápida e elevada taxa de liberação de K pelos resíduos é devido ao fato que o que o cátion K<sup>+</sup> forma ligações com complexos orgânicos com facilidade de reversibilidade (ROSOLEM et al., 2003).

Para a taxa de liberação de Ca não houve diferença significativa para os sistemas de plantas de cobertura avaliados, bem como para as doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Perin et al. (2010) avaliando a liberação de nutrientes de crotalaria e milho, isoladas e consorciadas, também não constataram diferença significativa para liberação de Ca entre as coberturas avaliadas.

**Tabela 6-** Quantidade de cálcio (Ca) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Liberação de Cálcio (DAD)						
	15	30	45	60	75	90	120
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----						
A+E	8,82 <sup>ns</sup>	10,83 <sup>ns</sup>	11,58 <sup>ns</sup>	16,14 <sup>ns</sup>	16,35 <sup>ns</sup>	17,19 <sup>ns</sup>	20,98 <sup>ns</sup>
A+E+N	13,86	17,04	19,25	21,19	23,13	23,76	29,93
Aveia	9,14	10,40	12,69	12,93	14,78	16,99	19,11
Azevém	5,20	8,37	10,86	13,27	15,73	15,79	23,85
Centeio	6,41	7,53	9,29	8,92	10,96	12,12	14,37
Ervilhaca Comum	8,12	12,93	12,82	13,56	18,50	17,85	25,80
Nabo Forrageiro	7,08	8,90	8,711	11,23	11,46	11,67	18,19
Tremoço Azul	7,78	9,55	10,09	14,21	19,15	18,17	25,04
<b>CV (%)</b>	52,72	39,09	34,36	25,48	22,98	22,40	17,81
<b>Adubação Nitrogenada</b>							
0 N	8,00 <sup>ns</sup>	10,45 <sup>ns</sup>	11,68 <sup>ns</sup>	14,00 <sup>ns</sup>	16,13 <sup>ns</sup>	16,74 <sup>ns</sup>	21,49 <sup>ns</sup>
180 N	8,62	10,95	12,14	13,87	16,39	16,65	22,83
<b>CV (%)</b>	40,21	39,66	38,63	21,36	20,09	20,26	20,80

Onde: \*ns= não significativo pelo teste Skott-Knott (P<0,05). (A+E) = consórcio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Dentre os nutrientes avaliados o Ca apresentou a liberação mais lenta ao longo do tempo de avaliação, fato este devido as características intrínsecas do nutriente nos tecidos vegetais. O cálcio é constituinte da lamela média da parede celular, além de desempenhar funções como componente da estrutura de membranas, que lhe confere a posição de um dos componentes mais recalcitrantes que compõem os tecidos vegetais (VITTI et al., 2006; PERIN et al., 2010). Ao final dos 120 dias de avaliação a quantidade total do nutriente liberado pelos sistemas permaneceu entre 21 e 54% do acumulado de Ca na MS.

A adubação nitrogenada, efetuada em cobertura na cultura do milho, apresentou efeito significativo sobre a liberação de Mg pelos sistemas de plantas de cobertura, apenas aos 30 DAD das bolsas de decomposição a campo, onde a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou liberação 14% (6,60 kg ha<sup>-1</sup>) superior a ausência de adubação nitrogenada (5,69 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 7).

**Tabela 7-** Quantidade de magnésio (Mg) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, em dias após a deposição (DAD) das bolsas de decomposição em superfície. UTFPR campus Dois Vizinhos-PR, 2016.

Plantas de Cobertura	Liberação de Magnésio (DAD)						
	15	30	45	60	75	90	120
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----						
A+E	8,50 a	9,92 a	10,70 a	11,31 a	11,56 a	12,00 a	13,02 a
A+E+N	9,51 a	10,70 a	11,62 a	12,11 a	12,13 a	12,69 a	13,43 a
Aveia	0,78 d	2,04 c	2,62 c	3,01 c	4,00 c	4,15 c	5,09 c
Azevém	5,55 b	6,25 b	6,73 b	6,97 b	7,09 b	7,28 b	7,54 b
Centeio	1,40 d	2,36 c	3,27 c	3,31 c	4,43 c	3,74 c	4,64 c
Ervilhaca Comum	4,25 c	5,36 b	6,53 b	6,96 b	6,91 b	7,81 b	8,61 b
Nabo Forrageiro	6,37 b	9,46 a	11,21 a	11,26 a	13,23 a	12,49 a	14,21 a
Tremoço Azul	2,36 d	3,06 c	3,54 c	3,60 c	3,85b	3,94 c	4,45 c
<b>CV (%)</b>	32,93	28,04	10,77	12,15	22,59	24,11	23,53
<b>Adubação Nitrogenada</b>							
0 N	5,11 <sup>ns</sup>	5,69 b	6,75 <sup>ns</sup>	7,00 <sup>ns</sup>	7,34 <sup>ns</sup>	7,61 <sup>ns</sup>	8,41 <sup>ns</sup>
180 N	4,57	6,60 a	7,31	7,66	8,46	8,37	9,34
<b>CV (%)</b>	21,28	21,94	9,69	8,11	23,08	23,23	21,93

Onde: \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott (P<0,05). ns= não significativo pelo teste Skott-Knott (P<0,05).

(A+E) = consórcio Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo.

O Mg, de modo similar ao K, apresentou elevada taxa inicial de liberação, apresentando o pico de disponibilização do nutriente aos 45 dias, com estabilização da mesma até os 120 dias. Comportamento este também observado por Calonego



et al. (2012) na avaliação da liberação de macronutrientes pelo milho e labe-labe solteiros.

De maneira similar ao K, o Mg está contido nos tecidos vegetais na forma de compostos iônicos e moléculas solúveis, portanto, sendo de fácil liberação dos resíduos vegetais, e este processo ocorre quase que total já durante as primeiras semanas (ROSOLEM et al, 2003; CRUSCIOL et al., 2008). Aos 45 dias, com exceção da aveia preta isolada e ao centeio, as plantas de cobertura apresentavam liberação acima de 58% da quantidade de Mg acumulada na MS. Já para os consórcios e o azevém foi superior a 70%.

Os consórcios A+E e A+E+N, assim como o nabo forrageiro, apresentaram as maiores taxas de liberação do Mg durante todo o período de avaliação, com quantidade total liberada de 13,02; 13,43 e 14,21 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação a quantidade acumulada do nutriente na MS os consórcios disponibilizaram 87 e 85% do acumulado e o nabo forrageiro forneceu 74% da quantidade.

Os tratamentos constituídos por aveia preta solteira, centeio e tremoço azul apresentaram as menores quantidade de Mg liberado ao longo dos 120 dias de avaliação, com liberação total de 5,09; 4,64 e 4,45 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, conferindo uma disponibilização de 63% pelos consórcios e 75% pelo tremoço azul em relação a quantidade do nutriente acumulado na MS.

A ervilhaca comum e o azevém apresentaram taxa de liberação de Mg intermediária às demais plantas de cobertura durante todo o período avaliado, disponibilizando 8,61 e 7,54 kg ha<sup>-1</sup> ao final dos 120 dias, correspondendo a 76 e 87% do total acumulado na fitomassa seca.

De modo geral, os consórcios A+E e A+E+N obtiveram as mais elevadas taxas de liberação para todos os nutrientes avaliados, exceto para o Ca que não apresentou diferença estatística para nenhuma das plantas de cobertura durante todo o período de avaliação, bem como elevada produção de fitomassa seca. Deste modo, confirmou-se que a consorciação de plantas de cobertura (poáceas, fabáceas e brássicas) proporciona o aumento da qualidade dos resíduos, assim como de sua quantidade, além de propiciar melhorias aos atributos físicos do solo (CARVALHO; AMABILE, 2006).

## 5. CONCLUSÕES

As fabáceas e o nabo forrageiro demonstraram superioridade na concentração de Ca e Mg na fitomassa seca.

A adubação nitrogenada ( $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) favoreceu o maior acúmulo de N, Ca e Mg na MS das plantas de cobertura, entretanto.

O fornecimento de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionou maior acúmulo de N para os sistemas aveia, centeio, nabo forrageiro e tremoço azul.

O fornecimento de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionou maior acúmulo de Mg para o consórcio A+E+N e nabo forrageiro solteiro.

A taxa de decomposição dos consórcios foi intermediária ao obtido para o cultivo isolado destas espécies. O cultivo solteiro de ervilhaca comum e azevém apresentaram as maiores taxas de decomposição dos resíduos, com manutenção de 30% do material vegetal ao final das avaliações.

Os consórcios, de modo geral, apresentaram as maiores taxas de liberação para o N, P, K e Mg.

## 6. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa v.27, p.601-612, 2003.

AITA, C; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES et al. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre, cap. 3, p. 59-79, 2006.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil Meteorologische Zeitschrift. **Fast Track Article**. Gerbruder Borntraeger. Stuttgart, 2013.

AMADO, T. J. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241-248, 2002.

BERTIN, E. G et al. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum**, Londrina, v. 27, n. 3, p 379-386, 2005.

CABREIRA, M. A.F. **Levantamento das classes de solos da área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos**. 2015, 50f. Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, Paraná, 2015.

CALEGARI, A. PLANTAS DE COBERTURA: Alternativas de culturas para a rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Ano XIII, n. 80, p. 62-70, 2004.

CALONEGO, J. C et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. **Cerrado: adubação Verde**. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados. 369 p., 2006.

CARVALHO, A. M. Uso de plantas de cobertura em agroecossistemas no cerrado. Planaltina, Distrito Federal: **Embrapa Cerrados**, 2009.

CARVALHO, I. Q. de et al. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v.8, n.2, p.179-184, 2007.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, T. F. **Plantio direto no Sul do Brasil**: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012.

CASTRO, M. C.; DEVIDE, A. C. P. Cultivo orgânico de milho verde consorciado com leguminosas. **Pesquisa e Tecnologia**, vol. 12, n. 1, 2015.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-778, 2005.

CHERUBIN, M. R. et al. Desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil. **Global Science and Technology**. Rio Verde, v.07, p.76-85, 2014.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p.481-489, 2008.

DONEDA, A. **Plantas de cobertura de solo consorciadas e em cultivo solteiro: decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999.

FIORIN, J. E.; SCHNELL, A.; RUEDELL, J. Diagnóstico das propriedades rurais na região de abrangência das cooperativas, COOPATRIGO, COOPEROQUE, COTAP, COTRIROSA, COTRISAL (SB) e TTITICOLA. Cruz Alta: **FUNDACEP FECOTRIGO**, 2007.

FUJIMAKI, R.; MCGONIGLE, T. P.; TAKEDA, H. Soil micro-habitat effects on fine roots of *Chamaecyparis obtuse* Endl.: A field experiment using root ingrowth cores. **Plant and Soil**. Dordrecht, v.266, p.325-332, 2004.

GATIBONI, L. C. et al. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. **Revista Biotemas**, v. 22, n. 2, 2009.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003a.

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

JUO, A. S. R.; LAL, R. Nutrient profile in a tropical Alfisol under conventional and no-till systems. **Soil Science**, Baltimore, v.127, n.3, p.168-173, 1979.

KLIEMANN, H. J. et al. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 21-28, 2006.

KRAMBERGER, B. et al. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 31, p. 103-109, 2009.

LANDERS, J. N. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS). Brasília, DF: Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 113 p. (ABEAS. Curso Plantio Direto. Módulo 1), 2005.

LEITE, L. F. C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 29-35, 2010.

MARCELO, A. V. et al. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II – decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v.36, p. 1568-1582, 2012.

MEDRADO, R. D. et al. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agrária**, v.12, p. 97-107, 2011.

MELLO, N. A. de; CONCEIÇÃO, P. C. Evolução de sistema de manejo do solo e produtividade agropecuária no estado do Paraná. IN: MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F. **Sistemas de Produção Agropecuária**, 336 p., Dois Vizinhos, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MURPHY, H.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal Chim Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NAKHONE, L. N.; TABATABAI, M. A. Nitrogen mineralization of leguminous crops in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p. 231-241, 2008.

NETO, R. C. A. et al. Adubação verde uma alternativa sustentável para o Brasil. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 3, n. 1, p. 16-20, 2008.

OHLAND, R. A. A. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 538-544, 2005.

Oliveira, E. C. A. **Balço nutricional da cana de açúcar relacionado à adubação nitrogenada**. 2011. 213p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2011.

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

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

PORTELA, J. C et al. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 34, n. 4, p. 1353-1364, 2010.

ROSSATO, R. R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo de milho e trigo sob plantio direto**. 130f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ROSOLEM, C. A. et al. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura do solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 355-362, 2003.

SEQUINATTO, I et al. Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, p. 344-350, 2014.

SHEVTSOVA, L. et al. Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic matter dynamics in arable soddy-podzolic soils - modeling and observation. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 165-189, 2003.

SILVA, A. A. et al. Sistemas de cobertura de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v. 37, p. 928-935, 2007.

SILVA, E. E. da. **Manejo orgânico da cultura da couve em rotação com o milho, consorciado com leguminosas para a adubação verde intercalar em plantio direto**. 2006. 57 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seropédica, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assstat Statistical Attendance. IN: **World Congress on Computers in Agriculture**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, P. R. F. et al. Estratégias de manejo de coberturas do solo no inverno para cultivo de milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1011-1020, 2006.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, departamento de Solos, UFRGS, 174 p., 1995. (Boletim Técnico).

TRABUCO, M. **Produção de milho em plantio direto após plantas de cobertura**. 2008. 54 f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

TEIXEIRA, C. M. et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão de porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 497-505, 2010.

TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

VIOLA, R. et al. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v.72, p.20-28, 2013.

VITTI G. C. et al. Cálcio, magnésio e enxofre. In: Fernandes MS (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.299-325, 2006.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, 63:1636-1642, 1982.

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

ZIECH, A. R. D. et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.5, p.374-382, 2015.

ZIECH, A. R. D. **Sistemas de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura do solo**. 2016. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.