

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ANA REGINA DAHLEM

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO DE MILHO SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE DO
PARANÁ**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2013

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ANA REGINA DAHLEM

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
DE MILHO SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE DO PARANÁ**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2013

ANA REGINA DAHLEM

**PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO DE MILHO SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE
DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção vegetal.

Orientador: Dr. Paulo Cesar Conceição
Co-Orientador: Dr. Augusto Vaghetti Luchese

PATO BRANCO

2013

D131p Dahlem, Ana Regina.
Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob
plantio direto no Sudoeste do Paraná / Ana Regina Dahlem. -- 2013.
94 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
Coorientador: Dr. Augusto Vaghetti Luchese
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2013.
Bibliografia: f. 81 – 94.

1. Culturas de cobertura. 2. Manejo de solo. 3. Rendimento de grãos. 4.
Sistema conservacionista. 5. *Zea mays*. I. Conceição, Paulo Cesar, orient.
II. Luchese, Augusto Vaghetti, coorient. III. Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 070

PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE DO PARANÁ

por

ANA REGINA DAHLEM

Dissertação apresentada às 08h00min do dia 27 de fevereiro de 2013 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – PRODUÇÃO VEGETAL, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jeferson Dieckow
UFPR

Prof. Dr. Carlos Alberto Casali
UTFPR

**Prof^a. Dr^a. Nilvania Aparecida de
Mello**
UTFPR

Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
UTFPR
Orientador

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. André Brugnara Soares
Coordenador do PPGAG

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

*Aos meus pais Inês e Jorge Dahlem
Ao meu marido Magnos Fernando Ziech
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar e iluminar meu caminho em todos os momentos e por colocar ao meu lado sempre pessoas especiais.

Aos meus pais Inês e Jorge Dahlem, por todos os ensinamentos básicos, porém fundamentais para formação dos valores pessoais, pelo carinho, exemplos e principalmente pela compreensão.

Ao meu querido e amado esposo, Magnos Fernando Ziech, por todo incentivo, compreensão, paciência, apoio e carinho dedicado durante este período.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Conceição, pelo incentivo que me fez encarar esse desafio, pela orientação, amizade e conselhos, mas principalmente pela oportunidade e confiança em mim depositada desde a graduação até o presente momento.

Ao Dr. Augusto Vagheti Luchese, pela co-orientação, amizade e esforço dedicado para a realização das atividades, principalmente àquelas desenvolvidas em laboratório.

À UTFPR pela disponibilização de toda a sua estrutura. Bem como aos professores, funcionários e técnicos de campo do Câmpus Dois Vizinhos, que colaboraram em várias atividades.

A CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Aos amigos e colegas de Iniciação Científica (Carolina Bonatto Araldi, Cristiane Dalagua Paier, Emanuel Forlin, Gilvanei Candioto, Jaqueline da Rosa, Nilson Balin e Taís Gabriele Garmus) que de alguma forma ou de outra se envolveram e ajudaram nas atividades relacionadas ao desenvolvimento do trabalho, seja no campo ou nas horas dedicadas ao laboratório, além do apoio e incentivo. Sem vocês não seria possível.

Aos colegas do PPGAG Laurês Cieslik e Cristiano Bianchini, pela amizade, apoio e colaboração durante esta etapa de construção do conhecimento, e principalmente a Claudia Aparecida Guginski, que além de tudo isso, foi uma grande incentivadora a aceitar esse desafio.

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

Aos familiares e amigos pelo apoio e compreensão durante esta fase.

MUITO OBRIGADO!

“Se consegui enxergar mais longe, é porque estive apoiado sobre ombros de gigantes!”

(ISAAC NEWTON)

RESUMO

DAHLEM, Ana Regina. **Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob plantio direto no Sudoeste do Paraná**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

O sistema plantio direto foi um grande avanço para a agricultura brasileira, promovendo benefícios por meio da manutenção de resíduos vegetais em superfície do solo. No entanto, verifica-se uma predominância na utilização de aveia como planta de cobertura de inverno, antecedendo cultivos comerciais de verão. Apesar de proporcionar o aporte de elevadas quantidades de resíduos, esta espécie não é preferencial, devido à elevada relação C:N, para anteceder o cultivo de milho, cultura que ocupa grandes áreas de lavouras na região Sudoeste do Paraná. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura do solo, antecedendo a cultura do milho, na presença e ausência de adubação nitrogenada, em plantio direto, nas condições edafoclimáticas da região Sudoeste do Paraná. Foi desenvolvido um experimento, com acompanhamento durante dois anos agrícolas (2010/2011 e 2011/2012) em área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O delineamento foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais foram constituídas por oito culturas de cobertura do solo, sendo elas: Aveia preta, Azevém, Centeio, Ervilhaca comum, Tremoço branco, Nabo forrageiro e consórcios entre Aveia+Ervilhaca (A+E) e Aveia+Ervilhaca+Nabo (A+E+N) e nas subparcelas, duas doses de adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N) na cultura do milho. Foram realizadas avaliações quanto ao desenvolvimento, produção, decomposição e liberação de N pela matéria seca (MS) das plantas de cobertura. No milho, além das características agrônômicas, foram avaliados os teores de N presente na biomassa, folha bandeira e grãos. No solo, realizaram-se avaliações da atividade respiratória e acompanhamento do N inorgânico (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) liberados durante a decomposição dos resíduos. Verificou-se na safra 2010/2011 que a relação C:N dos sistemas contendo leguminosas solteiras, foram estatisticamente inferiores às gramíneas puras. A maior taxa de decomposição dos resíduos ocorreu com a utilização isolada de ervilhaca comum. No entanto, ambas leguminosas proporcionaram maior liberação de N. A utilização de adubação nitrogenada no milho, promoveu maior rendimento de grãos, não havendo influência das culturas de cobertura. Para a safra 2011/2012, observou-se o maior rendimento de MS com a utilização da aveia preta (4,7 Mg ha⁻¹) não se diferindo das demais gramíneas e dos consórcios. A menor taxa de decomposição ocorreu com o uso de aveia preta, em cultivo isolado. O consórcio A+E+N apresentou a segunda maior liberação de N, atrás apenas da ervilhaca comum. As leguminosas e a brássica (nabo forrageiro), em cultivos isolados, sem adição de N-mineral, proporcionam rendimento de grãos similares a adição da dose com 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Palavras-chave: Culturas de cobertura. Manejo do solo. Rendimento de grãos. Sistema conservacionista. *Zea mays*.

ABSTRACT

DAHLEM, Ana Regina. **Winter cover crops in corn production systems under no-tillage in Southwest of Paraná.** 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

The tillage system was a great advancement for the Brazilian agriculture, promoting benefits by maintaining crop residue on the soil surface. However, there is an predominance in the use of oat cover crop of winter, preceding summer commercial crops. Despite providing the input of large amounts of waste, this species is not preferred due to the high C: N ratio, to precede the cultivation of corn, crop that occupies large areas of crops in the southwest region of Paraná. This work aimed to evaluate the effect of different ground cover plants, preceding corn crop in the presence and absence of nitrogen fertilizer, no-till, soil and climatic conditions in the Southwestern region of Paraná. An experiment was conducted with accompaniment during two years (2010/2011 and 2011/2012) in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. The experimental design was a randomized block, split plot design with three replications. The main plots consisted of eight soil cover crops, which were: black oat, ryegrass, rye, vetch common, white lupins, forage turnip and consortium among Oat+Vetch (O+V) and Oat+Vetch+Turnip (O+V+T) and subplots, with two levels of nitrogen fertilization (0 and 180 kg N ha⁻¹) in the corn crop. Evaluations were made regarding the development, production, decomposition and liberation N by dry matter (DM) of cover crops. In corn, beyond agronomic traits were evaluated in the total N present in biomass, flag leaf and in the grain. In the soil, there were evaluations and monitoring of respiratory activity of inorganic N (N-NH₄⁺ and N-NO₃⁻) released during decomposition of residues. Was found in the 2010/2011 season that the C:N ratio systems containing single legumes were statistically lower than pure grasses. The highest rate of waste decomposition occurred with the isolated use of vetch. However, both of legumes provided greater release of N. The use of mineral N-fertilization in corn, promoted higher yield, with no influence of cover crops. For the 2011/2012 season, there was the highest DM yield with the use of oat (4.7 Mg ha⁻¹) not differing from the other grasses and consortium. The lowest rate of decomposition occurred with the use of oats, in isolated culture. The consortium O+V+T presented the second highest N release, behind only the common vetch. Legumes and brassicas (turnip), isolated in cultures without addition of mineral N, provide yield similar addition of 180 kg N ha⁻¹ in coverage.

Keywords: Cover crops. Soil management. Yield. Conservation system. *Zea mays*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Médias mensais de temperatura média diária do ar (°C) e precipitação pluvial (mm), durante o período de avaliação do experimento. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....	35
Figura 2- Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno, aos 22 e 57 DAS. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.	38
Figura 3- Distribuição das bolsas de decomposição nas respectivas parcelas de cultivo das plantas de cobertura. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....	39
Figura 4- Nitrogênio total (N) acumulado pela parte aérea da matéria seca das plantas de cobertura do solo, em 2010 (a) e 2011 (b). UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....	51
Figura 5- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2010/2011. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.	54
Figura 6- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2010/2011. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.	56
Figura 7- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.	58
Figura 8- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013..	60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno, até os 49 dias após a semeadura (DAS) no período de 2010. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....45
- Tabela 2- Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno, até os 99 dias após a semeadura (DAS) no período de 2011. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....45
- Tabela 3- Rendimento de matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura de inverno, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.47
- Tabela 4- Quantidade de nitrogênio total (N) e carbono orgânico (C) e relação C:N das plantas de cobertura de inverno, para os anos de 2010 e 2011. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....49
- Tabela 5- Médias para diâmetro de colmo do milho (safra 2010/2011 e 2011/2012), cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral em cobertura, na cultura comercial. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....62
- Tabela 6- Médias da interação para altura de planta de milho, cultivada em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N- mineral na cultura comercial. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.63
- Tabela 7- Médias de interação para produtividade de matéria seca e acúmulo de nitrogênio total (N) na parte aérea de milho cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura do milho. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....65
- Tabela 8- Quantidades de nitrogênio total (N), carbono orgânico (C) e relação C:N da matéria seca do milho, cultivada em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....68
- Tabela 9- Médias de interação para concentração de nitrogênio total (N) presente nas folhas bandeiras de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial (safra 2011/2012). UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.68
- Tabela 10- Médias de interação para produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.70
- Tabela 11- Concentração de nitrogênio total (N) nos grãos de milho cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-

mineral na cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012. UTFPR
Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.72

Tabela 12- Atividade respiratória dos microrganismos do solo (mg de CO₂ g de solo⁻¹), aos 15, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho sobre as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, para a safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013
.....73

Tabela 13- Concentrações de N-NH₄⁺ no solo, até os 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho sobre as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.....75

Tabela 14- Concentrações de N-NO₃⁻ no solo, aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.76

LISTA DE SIGLAS

SPD	Sistema Plantio Direto
ABC	Agricultura de Baixo Carbono
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
DERAL	Departamento de Economia Rural
SEAB	Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
GEE	Gases de Efeito Estufa
CREA	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha
PPGAG	Programa de Pós-Graduação em Agronomia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
RS	Unidade da Federação – Rio Grande do Sul
PR	Unidade da Federação - Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

Mg	Megagrama
mg	Miligramma
Ha	Hectares
MS	Matéria seca
Kg	Quilograma
C	Carbono
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio atmosférico
C:N	Relação entre carbono e nitrogênio
CO ₂	Dióxido de carbono ou gás carbônico
DAS	Dias após a semeadura
m	Metros
m ²	Metros quadrados
cm	Centímetros
g	Gramas
mL	Mililitros
L	Litros
P	Fósforo
K	Potássio
MgO	Óxido de magnésio
KCl	Cloreto de potássio
NaOH	Hidróxido de sódio
HCl	Ácido clorídrico
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de potássio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
NH ₄ ⁺	Amônio
NH ₃	Amônia
NO ₃ ⁻	Nitrato
NO ₂ ⁻	Nitrito
N-NH ₄ ⁺	Nitrogênio amoniacal
N-NO ₃ ⁻	Nitrogênio nítrico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 CULTURA DO MILHO	18
2.2 PLANTIO DIRETO	20
2.3 PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO	21
2.3.1 Aveia Preta (<i>Avena strigosa</i> Schreb)	24
2.3.2 Azevém (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	25
2.3.3 Centeio (<i>Secale cereale</i> L.)	26
2.3.4 Tremoço Branco (<i>Lupinus albus</i> L.)	26
2.3.5 Ervilhaca Comum (<i>Vicia sativa</i> L.)	27
2.3.6 Nabo Forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.)	28
2.4 DECOMPOSIÇÃO E ATIVIDADE MICROBIANA	29
2.5 NITROGÊNIO MINERAL DO SOLO	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	34
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	35
3.3 PARÂMETROS AVALIADOS	37
3.3.1 Plantas de Cobertura de Inverno	37
3.3.2 Cultura do Milho	41
3.3.3 Análises do Solo	42
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO	44
4.1.2 Produtividade de Matéria Seca e Relação C:N	46
4.1.3 Acúmulo de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea	50
4.1.4 Matéria Seca Remanescente e Liberação de Nitrogênio	51
4.2 CULTURA DO MILHO	60
4.2.1 Características Morfológicas do Milho	61
4.2.2 Produtividade de Matéria Seca e Nitrogênio na Parte Aérea	64
4.2.3 Produtividade e Teor de Nitrogênio nos Grãos	69
4.3 ANÁLISES DO SOLO	72
4.3.1 Atividade Respiratória	72
4.3.2 N Amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	73
4.3.3 N Nítrico (N-NO ₃ ⁻)	75

5. CONCLUSÕES	78
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) pode ser considerado um dos maiores avanços no processo produtivo brasileiro. Surgiu com o objetivo básico de controlar a erosão hídrica, favorecida pelo preparo convencional do solo.

Ao longo dos anos o SPD vem sendo utilizado cada vez mais, por proporcionar a melhoria e manutenção da qualidade do solo, a partir da estabilização e consolidação do sistema. Além disso, sua expansão vem sendo incentivada por parte do governo, visando atingir as metas do programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono) praticada no País, que incorpora práticas agrícolas mitigadoras dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

Com isso, a utilização de plantas de cobertura tem ganhado espaço em áreas agrícolas (DONEDA, 2010), porque contribuem com elevada produtividade de fitomassa para cobertura do solo, sendo este um dos fatores de sucesso no sistema de plantio direto (OLIVEIRA et al., 2002).

Devido à alta capacidade de produção de fitomassa e por sua predominância nos cultivos de inverno, a aveia tem sido apontada como a cultura responsável pela expansão do SPD na Região Sul do país (SALTON, 2001). Essa gramínea proporciona ótima proteção do solo contra erosão, promovendo ainda a manutenção da umidade, em função da baixa velocidade de decomposição de seus resíduos em razão da elevada relação C:N de seus tecidos. No entanto, quando se utiliza culturas em sucessão também pertencente à família das gramíneas, como é o caso do milho, ocorre a necessidade de aumentar os custos no investimento em insumos nitrogenados para suprir a necessidade da cultura, devido a imobilização temporária do nitrogênio (N) presente nos resíduos culturais da cobertura, principalmente na fase inicial de decomposição, tornando esse nutriente indisponível para o milho, o que pode prejudicar a produtividade de grãos.

Espécies leguminosas são uma opção de baixo custo para fornecimento de N ao milho, devido a contribuição pela incorporação de N₂ da atmosfera através da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Por possuírem menor relação C:N, apresentam vantagens a curto prazo, com liberação de nutrientes durante a decomposição (DAROLT, 1998), processo que ocorre geralmente de forma acelerada.

Por meio do consórcio de leguminosas e gramíneas com elevada produção de matéria seca, podem-se conciliar proteção e adubação do solo (OLIVEIRA et al., 2002). Além da utilização de espécies amplamente difundidas na região Sul do Brasil para cobertura do solo, como é o caso da aveia (*Avena sativa* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.), cultivadas de forma isoladas ou consorciadas entre si, o interesse pela seleção de diferentes espécies de plantas que constituem os sistemas de cobertura de inverno é de fundamental importância. Busca-se assim, incentivar os agricultores a utilizarem culturas de cobertura, promovendo o incremento na fertilidade e incorporação de carbono orgânico ao solo, em substituição às muitas áreas que são mantidas em pousio durante os meses de maio a setembro (ARGENTA et al., 2001).

Dessa forma, o presente estudo tem as seguintes hipóteses: I) A utilização de plantas de cobertura de inverno, pelas suas diferentes composições bromatológicas, taxas de decomposição e liberação de nutrientes, apresentam efeitos distintos quanto a disponibilização de N e proteção do solo durante o desenvolvimento da cultura comercial cultivado em sequência. II) O uso de plantas de cobertura fixadoras de N, na ausência de adubação nitrogenada, pode possibilitar produtividade de milho similar à utilização de espécies gramíneas com fornecimento de adubação nitrogenada.

Assim, objetivou-se avaliar os efeitos das plantas de cobertura, e doses de adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, manejado sob Sistema Plantio Direto nas condições edafoclimáticas do Sudoeste do Paraná.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays*) é o cereal mais cultivado no mundo e a importância econômica está na sua utilização diversificada, que vai desde a alimentação humana e animal até em indústrias de alta tecnologia (SEAB/DERAL, 2010). Mundialmente, é o cereal mais consumido, sendo uma das plantas mais eficientes na conversão de energia solar em alimentos e sua participação como matéria-prima ocorre em mais de 3.500 produtos. Recentemente, passou também a receber maior destaque para o uso na produção de álcool combustível (etanol) (ACOSTA, 2009).

O panorama mundial de produção de milho tem os Estados Unidos como o principal produtor e consumidor deste cereal, sendo seguido pela China em segunda posição e em terceiro encontram-se a União Européia (composta por 27 países) e o Brasil (SEAB/DERAL, 2011).

A produção nacional de milho em grãos na safra 2010/2011 foi de 57,51 milhões de toneladas. Para a safra 2011/2012, a produção atingiu 72,9 milhões de toneladas, superando o recorde nacional de 58,6 milhões de toneladas obtido em 2008. A área média cultivada, considerando-se a safra normal e safrinha, alcançou 15,2 milhões de hectares na safra de 2011/2012 (SEAB/DERAL, 2011; CONAB, 2013).

O estado do Paraná é o maior produtor de milho do país, apresentando média das últimas cinco safras de 13,39 milhões de toneladas, o que representa 25,5% da produção brasileira, sendo um tradicional fornecedor, tanto para o mercado interno como para o externo. Este cereal apresenta fundamental importância econômica e social para o estado, devido ao número de empregos e renda gerada em toda sua cadeia produtiva (SEAB/DERAL, 2011).

O atual cenário agrícola do Sul do Brasil, pós-introdução e consolidação do sistema plantio direto como modelo predominante, tem configurado uma nova dinâmica de disponibilidade de nutrientes às plantas, principalmente do N. Com a redução das perdas de solo e acúmulo de resíduos orgânicos na superfície, propiciando uma recuperação significativa dos teores de matéria orgânica, além de que, o aporte de diferentes tipos de resíduos ao solo proporciona efeitos diretos na

disponibilidade de N às plantas (ACOSTA, 2009). Porém, plantas de cobertura que possuem potencial de fixação biológica de N atmosférico, ou espécies com capacidade de ciclagem de nutrientes com liberação, a médio e curto prazo, nem sempre são utilizadas para obtenção da camada de palha no sistema de plantio direto.

Entre os vários nutrientes essenciais na nutrição do milho, sem dúvida, o N é um dos mais importantes e limitantes para produção (LIU; WIATRACK, 2011). Quando cultivado em condições climáticas favoráveis à cultura, a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha⁻¹. No entanto, as quantidades disponíveis no solo geralmente são insuficientes para suprir a demanda deste nutriente para a cultura do milho, tornando necessário outras fontes suplementares (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Assim, a complementação com fertilizante nitrogenado, é uma prática considerada fundamental para obtenção de expressivas produtividades, além de representar uma parcela significativa dos custos de produção (ACOSTA, 2009). Contudo, a aplicação na dose e época inadequada, pode acarretar em sérios prejuízos ambientais (ARGENTA et al., 2003).

Dessa forma, a utilização de sistemas de manejos de menor custo, que possibilitem substituir parcialmente os fertilizantes químicos (KLIEMANN et al., 2006, TEIXEIRA et al., 2010) é um aspecto de extrema importância para a produção de milho dentro de um panorama agrícola que busca sustentabilidade econômica e que seja ecologicamente correto (ACOSTA, 2009).

Em plantio direto de milho, o efeito das plantas de cobertura é um assunto relativamente estudado e documentado, principalmente na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul-RS (AITA et al., 2001; HEINRICHS et al., 2001; CERETTA et al., 2002; GIACOMINI et al., 2004), oriundas de experiências no estado do Paraná (DERPSCH; CALEGARI, 1985) e de trabalhos também contemporâneos (CARVALHO et al., 2007; FONTOURA; BAYER, 2009). Porém ainda existe a necessidade de intensificar os trabalhos nessa área, especialmente em relação ao comportamento dos sistemas (plantas de cobertura/milho) sobre as condições edafoclimáticas específicas da região Sudoeste do Paraná, para que possam ser eficientemente introduzidos no sistema de produção. Essa importância é ressaltada pela predominância regional do cultivo do milho, objetivando fomentar a cadeia produtiva de frangos de corte, atividade

economicamente expressiva e fundamental no desenvolvimento socioeconômico da região, pois juntamente com o Oeste Catarinense, o Sudoeste e Oeste do estado do Paraná, contribuem com 75% da produção brasileira de frangos (IBGE, 2010). Além disso, a partir de 2010 a região passou a ser a maior bacia leiteira do Estado, contribuindo com 3% de toda produção brasileira e 26,5% da produção paranaense (SEAB/DERAL, 2012). Deste modo, o consumo de milho na forma de ração e silagem para a produção pecuária é elevado, uma vez que este cereal é o principal componente da dieta dos animais.

2.2 PLANTIO DIRETO

O plantio direto foi desenvolvido na Inglaterra em 1955, com o intuito de controlar a erosão hídrica (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008), porém foi nos Estados Unidos que a tecnologia se desenvolveu com mais rapidez, principalmente a partir do desenvolvimento da molécula que passou a ser utilizada para controle químico das plantas daninhas, promovendo a utilização deste sistema a partir do início de 1960 até 1965, com a aplicação de testes pelos agricultores americanos para a cultura do milho (CORRÊA, 1980).

No Brasil, o estabelecimento do primeiro plantio direto, como sistema sem revolvimento do solo, ocorreu em 1972, realizado pelo agricultor Herbert Bartz em Rolândia no norte do Paraná (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Posteriormente o sistema foi difundido em Cornélio Procópio e Campo Mourão, espalhando-se pela região dos Campos Gerais e outras regiões do estado e do Brasil, consolidando a adoção desta importante estratégia para a conservação do solo e incremento de produtividade (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008). Estimativas demonstram que o estado do Paraná, possui em torno de 5 milhões de hectares sendo cultivados em sistema de plantio direto (CALEGARI, 2004; AGROLINK, 2011). Enquanto no Brasil, esta área ultrapassa os 31 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2011).

O sistema de plantio direto possui como pressupostos básicos o mínimo revolvimento do solo, a rotação de culturas e a elevada adição de palhada com manutenção da cobertura do solo por resíduos vegetais na superfície (REIS et al., 2007; GATIBONI et al., 2009). Constitui um tipo de manejo que favorece a ciclagem de nutrientes e proteção do solo, com semeadura das culturas em

sucessão, realizadas diretamente sobre os resíduos acumulados da (s) cultura (s) anterior (es) (CARVALHO; AMABILE, 2006). Da mesma forma, outros benefícios são promovidos por esse sistema de manejo, tais como, a redução do consumo de combustíveis fósseis, mão de obra, tempo e desgaste das máquinas, o aumento dos teores de matéria orgânica na camada superficial do solo, maior atividade biológica, melhoria das características físicas do solo e principalmente, aumento no rendimento das culturas resultando em maior lucratividade ao produtor, a partir do momento que o sistema atinge a estabilidade (AMADO et al., 2001; LOVATO et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2005; SILVA, 2006). Além disso, contribui para a qualidade ambiental, por apresentar-se como uma alternativa na mitigação GEE, através do sequestro de carbono (AMADO, 1999; AMADO; MIELNICZUK, 1999; SANTI; DALMAGO; DENARDIN, 2007), promovido pela elevada adição de resíduos ao solo, através da rotação de culturas e pelo cultivo de plantas de cobertura na entressafra das culturas comerciais, resultando em aporte de C ao solo (AMADO et al., 2001; SÁ et al., 2001) contribuindo para a redução do aquecimento global (ROBERTSON et al., 2000).

Conforme foi ocorrendo a substituição do preparo convencional do solo pelo uso do SPD, juntamente com a expansão deste manejo conservacionista, houve o aumento no interesse pelas plantas de cobertura, devido principalmente, aos benefícios proporcionados em relação ao controle da erosão hídrica, além de resultar na melhoria dos atributos de qualidade do solo (TRABUCO, 2008). No entanto, vencida a fase inicial de implantação desse sistema, percebe-se nos dias atuais uma menor preocupação com sistemas de manejo que integrem o uso de plantas de cobertura (FEBRAPDP, 2010). Com isso, tem-se priorizado as culturas comerciais produtoras de grãos e em 81% das áreas de algumas regiões do país, o solo é mantido em pousio, durante o período de outono/inverno (FIORIN; SCHNELL; RUEDELL, 2007).

2.3 PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

Dentre os principais objetivos almejados com a utilização de plantas de cobertura durante determinado período do ano, destacam-se a formação de cobertura vegetal para proteção do solo, a manutenção da umidade e diminuição das oscilações de temperatura em superfície; facilitar a infiltração de água; melhorar

a estruturação do solo (agregação e aeração); promover a reciclagem de nutrientes e adição de nitrogênio pelo uso de leguminosas; possibilitar a competição/supressão das plantas daninhas, além de promover ao longo dos anos o aumento dos teores de matéria orgânica, proporcionando melhorias das características físicas, químicas e biológicas do solo (CALEGARI, 2004).

A utilização de plantas para adubação verde, denominadas na atualidade como plantas de cobertura do solo, tem uso descrito como sendo uma prática milenar, por ter sido utilizada há mais de 3.000 anos por chineses, gregos e romanos onde desempenharam papel importante para a agricultura àquela época. Escritores romanos aconselhavam o plantio de tremoço e outras leguminosas, pela contribuição na melhoria do solo e aumento na produtividade dos cultivos seguintes (PIETERS, 1927 citado por NEGRINI, 2007). Já o conceito de plantas de cobertura é mais atual, sendo difundido a partir da introdução e consolidação do SPD, tendo como finalidade a manutenção dos resíduos das espécies em superfície do solo, atuando na proteção e melhoria das características do solo a longo tempo (CARVALHO; AMABILE, 2006).

A utilização das leguminosas como fonte de N, foi intensamente utilizada durante a primeira metade do século XX, mas com o aumento da disponibilidade de fertilizante mineral de origem industrial, após a Segunda Guerra Mundial, o uso dessas espécies teve significativa redução (CALEGARI et al., 1993).

Para a região Sul do Brasil, o incremento do uso de espécies para cobertura de inverno de certa forma é facilitado, devido às condições edafoclimáticas e aos sistemas de cultivos utilizados, independente do tamanho da área de produção. Isso porque, durante o período de inverno existem menores extensões de áreas ocupadas com culturas de interesse econômico, enquanto no verão a maior parte delas é destinada para cultivos de soja, milho, feijão, entre outras, diminuindo a possibilidade de ocupação com plantas de cobertura (CALEGARI, 2004).

Conforme Amado, Mielniczuk e Aita (2002) o cultivo de plantas de cobertura antecedendo a cultura do milho, pode resultar no aumento da produtividade, principalmente quando utilizadas espécies leguminosas que contribuem com o estoque de N no solo, devido a fixação biológica de N₂ atmosférico, resultando em redução da necessidade de adubo nitrogenado. Por outro lado, o cultivo de gramíneas, em consequência da maior relação

carbono/nitrogênio (C:N), resulta em decomposição mais lenta dos resíduos, proporcionando um período maior de proteção do solo (CERETTA et al., 2002).

Segundo Giacomini et al. (2004) o SPD apresentou durante a última década, forte expansão na região Sul do Brasil, tendo como principal cultura de cobertura no período inverno o cultivo isolado de aveia preta, antecedendo os cultivos comerciais de verão. Para Santi, Amado e Acosta (2003) entre os fatores determinantes para o uso intenso de aveia preta, destacam-se: alto rendimento de massa seca, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez na formação de cobertura e ciclo adequado. Embora seja uma espécie muito eficiente para controle da erosão hídrica e na contribuição pela adição de carbono orgânico ao solo, a sua relação C:N é alta, podendo apresentar valores médios que variam entre 32 a 48 (AITA et al., 2001; STEINER et al., 2009), fato que pode resultar na imobilização de nitrogênio pela biomassa microbiana, durante a decomposição, comprometendo assim a disponibilização deste nutriente no momento adequado para a cultura do milho, quando cultivado em sucessão (STRIEDER et al., 2006) dependente esta do período entre o manejo da biomassa das plantas de cobertura e a implantação da cultura subsequente.

Buscando conciliar o efeito da fixação biológica de N_2 pelas leguminosas, associado ao maior tempo de decomposição da palhada das gramíneas, muitos produtores passaram a utilizar a combinação de duas ou mais espécies ao mesmo tempo em sistema denominado consorciação de plantas de cobertura ou “coquetel de plantas” (FIORIN; SCHNELL; RUEDELL, 2007), visando regular a manutenção da massa sobre o solo e a disponibilidade de nitrogênio para a cultura.

Ao estudar a consorciação entre plantas de cobertura com diferentes densidades de semeadura, Giacomini et al. (2004) observaram, que o consórcio entre aveia+ervilhaca na proporção máxima de 30% de gramínea, resultou na obtenção de 70% da produtividade do milho cultivado subsequente, comparado com o máximo produzido na área de pousio com aplicação de 180 kg ha^{-1} de N-uréia. Dessa forma, a utilização de consórcio entre as plantas de cobertura é uma excelente opção, principalmente quando se busca a liberação de N em curto espaço de tempo, mas com manutenção da palhada em cobertura do solo por períodos mais longos, beneficiando a cultura em sucessão.

Utilizando espécies de plantas de cobertura de inverno isoladas e consorciadas, cultivadas em Gleissolo Melânico Distrófico típico, Carvalho et al. (2007) verificaram que o uso de aveia preta proporcionou maior incremento de produção de massa seca nos tratamentos que tiveram a presença desta espécie. Por outro lado, a utilização de ervilhaca e nabo forrageiro, cultivados de forma isolada, produziram quantidades de MS inferior a das gramíneas. Por sua vez, a consorciação entre gramíneas, leguminosas e/ou brássicas, como aveia+ervilhaca e aveia+nabo, apresentou produção de MS semelhante ao cultivo isolado das gramíneas, porém com potencial de fixação de N₂ pelas leguminosas (CARVALHO et al., 2007).

Carvalho (2005) destaca que práticas de manejo com uso de associações de espécies vegetais proporcionam o aumento da quantidade e qualidade dos resíduos, incremento de matéria orgânica, além de beneficiar a agregação do solo.

2.3.1 Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb)

Pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*), as aveias tem como centros de origem a Ásia e Europa. Possui ciclo anual, com desenvolvimento uniforme e bom perfilhamento (KICHEL; MIRANDA, 2000), apresenta colmos cilíndricos, eretos e pouco pilosos, com raízes do tipo fasciculada (CALEGARI et al., 1993). A inflorescência é uma panícula, podendo ou não apresentar glumas aristadas (SANTOS et al., 2009b). O ciclo até o florescimento varia de 70 a 130 dias (PIRAÍ SEMENTES, 2012).

De forma geral, essa gramínea é utilizada para produção de grãos destinados a alimentação animal, como forrageira para pastagem, silagem e feno, e também rotineiramente, como planta de cobertura, oferecendo rápida cobertura do solo (BURLE et al., 2006). É uma espécie de outono/inverno, amplamente difundida na região Sul do Brasil (DERPSCH; CALEGARI, 1985). Considerada como planta melhoradora de solos, tem característica de auxiliar na redução da população de patógenos e nematóides (COSTA et al., 1992), influenciar no controle de plantas daninhas (COMISSAO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 2003) e ser recicladora de nutrientes (BORKET et al., 2003).

Quando cultivada para cobertura do solo, a aveia preta deve ter o manejo da fitomassa realizado na fase de grão leitoso, por volta de 120 a 140 dias

após a semeadura. Antes desta fase, pode haver rebrote e depois dela, os grãos podem se tornar viáveis para germinação (PITOL, 1986; COSTA, 1992). O rendimento da matéria seca (MS) da parte aérea da aveia preta fica em torno de 2 a 6 Mg ha⁻¹, conforme verificado em estudos desenvolvidos pelo IAPAR, que esta espécie pode chegar a produzir 55% da produção total de MS em sistema radicular, promovendo assim melhorias nas condições físicas e biológicas do solo (DERPSCH; CALEGARI, 1985).

2.3.2 Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.)

Pertencente à família das gramíneas, esta espécie tem como centro de origem a bacia do mediterrâneo (sul da Europa, norte da África e Àsia menor), de onde se espalhou pela Europa e daí pela América do Norte (MORAES, 1963; ARAÚJO, 1967). Possui característica de cultivo anual, sendo principalmente utilizada como forrageira e como planta de cobertura em pomares e lavouras em sistema de plantio direto (GALVAN et al., 2010), por ser uma planta que apresenta rusticidade e capacidade de perfilhamento com excelente cobertura do solo, porém com crescimento inicial mais lento em relação à aveia (BITTENCOURT, 2008).

Possuí hábito de crescimento cespitoso (perfilhamento), colmos eretos, cilíndricos, finos e glabros, com sistema radicular fasciculado (FLOSS, 1988) e formação de touceiras (MITIDIERI, 1983).

Conforme Falconer (1981) o azevém apresenta variabilidade fenotípica que é influenciada tanto por aspectos genéticos como por efeitos de ambiente. Em condições da região da campanha no RS, essa espécie apresentou variação de 161 a 196 dias da semeadura ao florescimento (MITTELMANN et al., 2004). Sua inflorescência é uma espiga dística ereta, isto é, com duas fileiras de espiguetas (FLOSS, 1988). Possui alta ressemeadura natural, facilidade na aquisição das sementes e baixo custo de implantação (FARINATTI et al., 2006). Sua produção de MS fica em torno de 3 Mg ha⁻¹ (BALBINOT Jr. et al., 2007).

Considerada uma das gramíneas mais importantes para pastagens de inverno nos estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No estado do Paraná, sua adaptação não ocorre de forma generalizada em todas as regiões, devido às condições de clima (DERPSCH; CALEGARI, 1985).

2.3.3 Centeio (*Secale cereale* L.)

O centeio tem como centro de origem a Ásia Central, sendo introduzido no Brasil há dois séculos por imigrantes alemães e poloneses. Pertencente à família das gramíneas, o centeio é uma planta anual com sistema radicular fasciculado, hábito de crescimento cespitoso, colmos cilíndricos eretos e glabros. A inflorescência caracteriza-se por ter espiga longa e flexível, duas flores férteis e dois grãos por espiguetas. Em relação às outras espécies de cereais de inverno, difere-se por apresentar maior desuniformidade quanto ao espigamento, maturação e tipo de planta (NASCIMENTO JUNIOR et al., 2006). O rendimento de MS do centeio apresenta-se em torno de 2,8 Mg ha⁻¹ (SOUZA et al., 2013) a 5 Mg ha⁻¹ (VILANOVA, 2011).

O seu cultivo é uma boa opção para o inverno brasileiro, pois em relação aos outros cereais cultivados na mesma época, o centeio destaca-se pela rusticidade e capacidade de adaptação em condições de ambiente menos favoráveis (NASCIMENTO JUNIOR et al., 2006). É relatado pelos mesmos autores, que a utilização deste cereal pode ser destinada tanto para alimentação humana quanto animal, através do beneficiamento dos grãos, possuindo elevado potencial para utilização tanto como planta forrageira quanto para cobertura de solo. Pois, sua palhada em cobertura, contribui para manter a matéria orgânica, reduzir perdas de solo por erosão e intensificar a penetração e retenção de água no solo.

Segundo Pester (1998) a biomassa do centeio em decomposição, apresenta potencial de reduzir o crescimento de plantas daninhas e das culturas sucessoras pela ação física e liberação de substâncias químicas alelopáticas. Em seus estudos Raimbault, Vyn e Tollenaar (1991), evidenciaram que o cultivo de milho em sucessão ao centeio, deve ser realizado com um intervalo ideal de no mínimo duas semanas, para que assim os efeitos alelopáticos sejam parcialmente neutralizados. Estes mesmos autores constataram que os resíduos de centeio em cobertura melhoraram a estrutura do solo.

2.3.4 Tremoço Branco (*Lupinus albus* L.)

Originário da região do Mar Mediterrâneo teve seu cultivo iniciado há mais de 2.000 anos pelos gregos e romanos (COSTA et al., 1992). Pertencente a família das leguminosas (*Fabaceae*), o tremoço é planta anual de inverno, cultivada principalmente na região Sul do país. Existem três espécies cultivadas nesta região:

Lupinus albus L. (tremoço branco), *Lupinus angustifolius* L. (tremoço azul) e *Lupinus luteus* L. (tremoço amarelo) (BURLE et al., 2006).

O tremoço branco é o mais utilizado para adubação verde por apresentar boa adaptação a regiões quentes, não sendo muito exigente em fotoperíodo e frio, adapta-se muito bem em regiões com temperaturas na faixa de 15° a 25°C (WUTKE, 1993). As flores são brancas, azuis ou amarelas, formadas em inflorescência (cacho), eretas e vistosas (BOTARO, 2010). Os tremoços são plantas herbáceas, porte ereto e sistema radicular profundo, podendo atingir com sua raiz pivotante até 2 m de profundidade e realizar importantes efeitos nas características de qualidade do solo (COSTA et al., 1992). De acordo com estudos de Pereira e Silva (1985), a produção de MS dessa espécie pode atingir de 3,6 a 12,9 Mg ha⁻¹, sob condições de Latossolo Vermelho e solo Orgânico, respectivamente.

De forma geral, os tremoços apresentam boa capacidade de fixar N. Conforme Costa et al. (1992), com o uso de tremoço branco, podem ser fixados até 150 kg ha⁻¹ de N por ciclo. Além de apresentar capacidade de reciclar nutrientes, promovendo efeitos positivos e significativos em culturas subsequentes principalmente milho e feijão (DERPSCH; CALEGARI, 1985; HEINZMANN, 1985).

A época adequada para o manejo da fitomassa ocorre por volta dos 120 aos 140 dias, neste período a altura de planta fica em torno de 80 a 150 cm, completando seu ciclo por volta de 180 dias após a semeadura (COSTA et al., 1992).

2.3.5 Ervilhaca Comum (*Vicia sativa* L.)

Leguminosa originária da região do Mar Mediterrâneo (MONEGAT 1991) anual de inverno, herbácea e glabra. As raízes são profundas e ramificadas. Possui caule fino, flexível, decumbente e trepador, que atinge até 0,9m de comprimento (CALEGARI et al., 1993), porém a altura média da planta, fica em torno de 0,35m (SANTOS et al., 2009a). As flores são geralmente pareadas nas axilas das folhas, em forma de racemo, com número variável, cor violeta-purpúrea ou, raramente, brancas (FORMENTINI et al., 2008).

Possui bom potencial de crescimento e eficiência na cobertura de solo, dessa forma é considerada melhoradora dos solos agrícolas. Apresentando bom desenvolvimento em solos já corrigidos e sem problemas com acidez (CALEGARI, 2004).

Espécie de ciclo longo, com estágio de florescimento ocorrendo aos 100 a 130 dias, após a semeadura (CALEGARI, 2004), podendo atingir até 6 Mg ha⁻¹ no rendimento de MS (SANTOS et al., 2009).

Seu cultivo é recomendado em rotação de culturas, principalmente antecedendo o milho, devido ao potencial de aporte de nitrogênio ao solo (80 a 100 kg ha⁻¹ de N), mas também pode ser antecessora a cultivos de soja, arroz, sorgo, entre outras (CALEGARI, 2004). Segundo Bolliger et al. (2006) estimativas indicam que a acúmulo de nitrogênio seja de 46 kg de N por tonelada de massa seca da parte aérea de ervilhaca comum.

Devido à característica da baixa relação C:N das leguminosas, a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos é bastante rápida, comparada a outras espécies de cobertura do solo, tais como as gramíneas. Aos primeiros 30 dias após o manejo ocorre a liberação de 60% do N presente na fitomassa da ervilhaca (AMADO, 1997). Dessa forma, Aita (1997) recomenda que a semeadura de milho sobre os resíduos de ervilhaca seja realizada preferencialmente uma semana após o manejo da cobertura.

2.3.6 Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L.)

Pertencente a família das brássicas (*Brassicaceae*), originário do Sul da Europa, o nabo forrageiro é uma planta anual, herbácea, ereta, muito ramificada, dotada de pêlos ásperos. Seu sistema radicular é pivotante e profundo, em alguns casos, com raiz tuberosa (DERPSCH; CALEGARI, 1992; BURLE et al., 2006). As inflorescências do nabo forrageiro situam-se nas partes terminais do caule, em racemos longos, com flores predominantemente brancas às vezes roxas ou brancas com matizes roxos ou lilases (PEREIRA, 2006).

A espécie apresenta início do seu florescimento entre 70 a 80 dias após a semeadura (DERPSCH; CALEGARI, 1985), possuindo um longo período de floração, com duração de mais de 30 dias (BELIVAQUA et al., 2008). O manejo da cultura deve ser realizado entre 110 e 120 dias após a semeadura (plena floração), antes da maturação das sementes, evitando assim que esta se torne planta invasora (BELIVAQUA et al., 2008).

Segundo Derpsch, Sidiras e Heinzmann (1985) a produção de MS encontrada em cultivos na região Sul do País, para esta espécie, apresentaram em média 4,7 Mg ha⁻¹. Conforme Balbinot Jr. et al. (2007) e Calegari (1998) o

rendimento de MS da parte aérea do nabo forrageiro, quando manejada em estágio de floração, pode atingir de 2 a 6 Mg ha⁻¹, mesmo em áreas que não recebem adubação externa.

Esta espécie tem sido empregada nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil e no estado de São Paulo, para adubação verde de inverno e como planta de cobertura em sistemas de cultivo conservacionistas como o plantio direto e o cultivo mínimo (CRUSCIOL et al., 2005). Na região Sul do Brasil, sua área de cultivo tem expandido significativamente durante o período de outono/inverno, em virtude de seu baixo custo, rápida velocidade de crescimento e ciclo curto (AMADO et al., 2002). Uma das suas principais características é a elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente N e fósforo, contribuindo para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo (BURLE et al., 2006; GIACOMINI et al., 2004; CALEGARI, 2004). Ensaio elaborados por Heinzmann (1985) no estado do Paraná demonstraram que essa planta acumulou altos teores de N na parte aérea, constatando ainda, excelente efeito na produção de culturas sucessivas de verão, tais como milho, feijão e soja.

2.4 DECOMPOSIÇÃO E ATIVIDADE MICROBIANA

A velocidade da decomposição dos resíduos culturais das espécies comerciais ou das plantas de cobertura é uma variável importante na ciclagem de nutrientes em plantio direto, sendo o conhecimento dessa dinâmica fundamental para a compreensão do processo de liberação de nutrientes a cultura sucessora (KLIEMANN et al., 2006).

Segundo Alvarenga, Cabezas e Cruz (2001) as taxas de decomposição dos materiais de cobertura do solo e a atividade microbiológica são influenciados pelas características naturais do material vegetal, pelo seu volume, fertilidade do solo, manejo da cobertura, bem como pelas condições climáticas, principalmente pela pluviosidade e temperatura. Bem como a atividade da mesofauna que participa de forma importante, na etapa inicial da degradação física do material, expondo uma maior superfície de contato ao ataque dos microrganismos.

Para Floss (2000) o tempo de permanência dos resíduos de cobertura sobre o solo, é determinado pela velocidade de decomposição de cada material, pois quanto mais rápido for este processo, maior será a velocidade de liberação dos

nutrientes, diminuindo assim, a proteção do solo. Entretanto, resíduos que possuem maiores conteúdos de lignina e relação C:N, levam mais tempo para serem decompostos. Para Wieder e Lang (1982) as espécies vegetais podem ser agrupadas em duas classes, conforme a taxa de decomposição, com aquelas com baixa relação C:N e decomposição rápida (leguminosas) e as de decomposição lenta (gramíneas) devido a elevada relação C:N de seus resíduos. De acordo com Siqueira e Franco (1988), quando os valores de C:N situam-se entre 20 e 30, ocorre um equilíbrio entre os processos de mineralização e de imobilização do nitrogênio; quando os valores forem superiores a 30, a imobilização supera a mineralização. Sendo utilizada a relação C:N próxima a 25 para separação entre as duas classes (WIEDER; LANG, 1982).

Observando a decomposição de diferentes espécies de plantas de cobertura de solo, Aita e Giacomini (2003) relatam que processo de decomposição apresenta um padrão semelhante entre os resíduos, com fase inicial rápida seguida por outra fase mais lenta. No entanto, com a utilização de consórcios entre espécies, aveia e ervilhaca, ocorre uma redução da velocidade de decomposição dos resíduos culturais, promovendo maior tempo de cobertura do solo, em relação ao uso de ervilhaca solteira.

Os principais responsáveis pelos processos bioquímicos envolvidos na decomposição dos materiais orgânicos e pela liberação de nutrientes (nitrogênio, fósforo e enxofre) são os fungos, bactérias e actinomicetos, cuja atividade pode ser mensurada através da atividade respiratória do solo. A grande parte da respiração total do solo (96%) é de responsabilidade dos fungos e bactérias, sendo o restante efetuado pela fauna do solo (TIAN, 1998; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A ação destes organismos no solo promove melhorias físicas, tais como aeração, infiltração, retenção de água e agregação das partículas (FUJIMAKI et al., 2004), e quanto maior for a intensidade da decomposição dos resíduos vegetais, maior será o efeito agregante sobre o solo (PRIMAVESI, 2002).

O processo de decomposição é complexo, podendo durar de meses até mesmo anos para completar a degradação e mineralização dos materiais orgânicos, ocorrendo à liberação de dióxido de carbono (CO₂), formação de húmus e biomassa microbiana, transformando o material orgânico particulado em material solúvel que são absorvidos pelos microrganismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A atividade microbiana está entre os atributos de suma importância na determinação da qualidade do solo, isto por serem sensíveis ao manejo, sendo os primeiros a ser afetados pelas mudanças de conversão de um sistema natural para um sistema cultivado (SOUZA et al., 2006). Podendo os parâmetros microbiológicos, detectar as alterações provocadas por diferentes manejos de solo e de culturas, anteriormente as mudanças de características nos atributos químicos e físicos do solo (BALOTA et al., 2004),

Dentre as formas de acompanhamento e avaliação da atividade metabólica da microbiota do solo, destaca-se a quantificação do CO₂ liberado através do processo conhecido como respiração do solo (STOTZKY, 1965). Sendo a evolução da liberação de CO₂ pela respiração dos microrganismos heterotróficos aeróbicos durante o processo de oxidação dos componentes orgânicos, o método mais utilizado para determinação da taxa respiratória, também denominado atividade microbiana (KENNEDY; SMITH, 1995).

A quantificação da respiração microbiana é uma forma de estimar o nível de atividade dos microrganismos do solo, a qual reflete a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo ou de algum material a ele adicionado. Quando este material é rico em C-orgânico, ele é utilizado pelos microrganismos como fonte de energia, o que promove o aumento da atividade biológica e conseqüentemente liberação de CO₂ (SEVERINO et al., 2004).

Nas condições de laboratório, a respiração basal ou estimulada, tem sido largamente usada para estudos sobre as influências de diversos atributos físicos do solo, como umidade, temperatura e aeração, sobre a mineralização da matéria orgânica do solo (ANDERSON, 1982). Parkinson e Coleman (1991) consideram o método da respiração basal, como sendo capaz de fornecer resultados sobre a atividade microbiana dos solos, e em alguns casos, é utilizado inclusive como um índice de fertilidade do solo.

2.5 NITROGÊNIO MINERAL DO SOLO

O N é o nutriente do solo requerido em maior quantidade pelas plantas, ocupando posição de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das mesmas. No entanto, na maioria dos solos sua baixa disponibilidade na forma inorgânica, como amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), assimilável pelas plantas, somada

à grande necessidade pelos vegetais, faz com que seja um dos elementos mais limitantes às culturas (STEVENSON, 1982a; CAMARGO, 1996; DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A baixa disponibilidade ocorre, porque cerca de 95% do nitrogênio do solo encontra-se na forma orgânica (não disponível) (BREMNER, 1965; STEVENSON, 1982b; CAMARGO et al., 1999). Esse processo de transformação do N da forma orgânica para a inorgânica é chamado de mineralização, sendo realizado pelos microrganismos do solo (BAYER, 1996). No entanto, pequenas quantidades de todo N orgânico é mineralizado durante o ciclo de determinada cultura (BREMNER, 1965; STEVENSON, 1982b; CAMARGO et al., 1999) sendo na maioria das vezes, insuficiente para garantir o seu adequado desenvolvimento e produtividade.

Os principais organismos do solo responsáveis pela transformação dos compostos nitrogenados em substâncias mais simples são as bactérias saprófitas e algumas espécies de fungos (SILVA et al., 2010). Para realizar a decomposição de materiais orgânicos, os microrganismos do solo, suprem suas demandas de energia e N, disponibilizando-o através da mineralização na forma inorgânica. Todavia, pode ocorrer a imobilização do N em sua estrutura microbiana por determinado período de tempo, tornando-o disponível na forma assimilável às culturas, no momento em que encerram seus ciclos de vida (SOUSA; LOBATO, 2004). O processo de mineralização e/ou imobilização, é definido pela relação C:N dos resíduos adicionados ao solo. Materiais com relação C:N baixa (inferior a 20:1) favorecem a mineralização, com relação C:N alta (superior a 30:1) promovem a imobilização de N, enquanto para valores intermediários o processo de imobilização e mineralização acontece de forma equilibrada (SOUSA; LOBATO, 2004).

O processo de transformação de N-orgânico em frações inorgânicas (NH_4^+ e NO_3^-) é realizado através da atividade de microrganismos heterotróficos, que mineralizam a matéria orgânica e transformam o N-orgânico em amônia (NH_3) que em reação com a água forma o NH_4^+ (amonificação). O nitrato (NO_3^-) é formado através da oxidação do NH_4^+ por bactérias que atuam sob condições de solo drenado e pH neutro (nitrificação). Através da atuação de bactérias do gênero *Nitrossomonas* transformam o amônio em nitrito (NO_2^-) e posteriormente este é oxidado a nitrato com a atividade das bactérias do gênero *Nitrobacter* (SERRANA, 2000).

Com a transformação do N-orgânico, pequenas concentrações de nitrito (NO_2^-) são geradas, o processo praticamente não ocorre em temperaturas abaixo de 4°C , com maximização entre 25 e 40°C , dependendo da região e do tipo de solo. O nitrito é elemento tóxico para as plantas superiores, mas raramente se acumula no solo (SCHIMIDT, 1982).

Nas camadas superficiais, íon de amônio, por ser um cátion, permanece em forma trocável, adsorvido pelas cargas negativas. Entretanto, o nitrato em virtude da predominância de cargas negativas no solo, apresenta baixa interação química com as partículas do solo, permanecendo na solução, com característica de alta mobilidade (RAIJ, 1991; SILVA et al., 2010), apresentando movimentação no solo, do mesmo modo que o fluxo da água, podendo expressar deslocamentos ascendentes quando ocorre evaporação e evapotranspiração e descendentes durante períodos de precipitação (CERETTA; FRIES, 1998) tornando-se mais susceptível à lixiviação para as camadas mais profundas (RAIJ, 1991; SILVA et al., 2010).

De modo geral, o nitrato é a forma de N mais absorvida pelas plantas (MENGEL; KIRKBY, 1978) durante sua fase de crescimento, reduzindo assim, as concentrações no solo (ROSSATO, 2004). Acompanhando o comportamento do N durante o desenvolvimento de diferentes culturas (trigo, soja e aveia), Wiethölter (1996), observou que em períodos de pousio, em especial após a safra da soja, as perdas variaram de 19 a 73 kg ha^{-1} de N, em condições de baixa e alta precipitação, respectivamente. Dessa forma, o autor deixou evidente que a manutenção contínua de cobertura verde sobre o solo, é um fator importante em termos de preservação do N no sistema de produção, principalmente para que seja mantido na camada superficial.

Conforme Camargo et al. (1997) a mineralização do N-orgânico do solo pode ser utilizada como um indicador potencial de disponibilidade do nitrogênio às culturas. Entretanto a quantidade de N-mineralizado em determinado período de tempo, é influenciado pela temperatura, umidade e aeração (CAMARGO et al., 2008) bem como a quantidade e qualidade do material vegetal adicionado ao solo, que também são importantes, devido a dinâmica da decomposição ser um dos fatores que fazem parte de todo o processo (CARVALHO et al., 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi conduzido na área experimental pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, situada a 25° 42' 52" de latitude S e longitude de 53° 03' 94" W-GR, a 520 metros acima do nível do mar. O solo da região é do tipo Nitossolo Vermelho distroférico (BHERING et al., 2008). O clima da região é classificado como Cfa (subtropical úmido) sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais quente de 22°C, conforme Köppen.

O experimento foi instalado no ano de 2010, em área que historicamente vinha sendo utilizada para produção de grãos, porém sem um manejo de solo definido e estabilizado. O trabalho foi conduzido durante os anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, sobre manejo SPD com uso de diferentes plantas de cobertura de inverno antecedendo ao cultivo de milho para produção de grãos, com ausência de aplicação de N-mineral (zero N) e fornecimento de N-mineral em cobertura na quantidade de 180 kg ha⁻¹ (180 N).

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

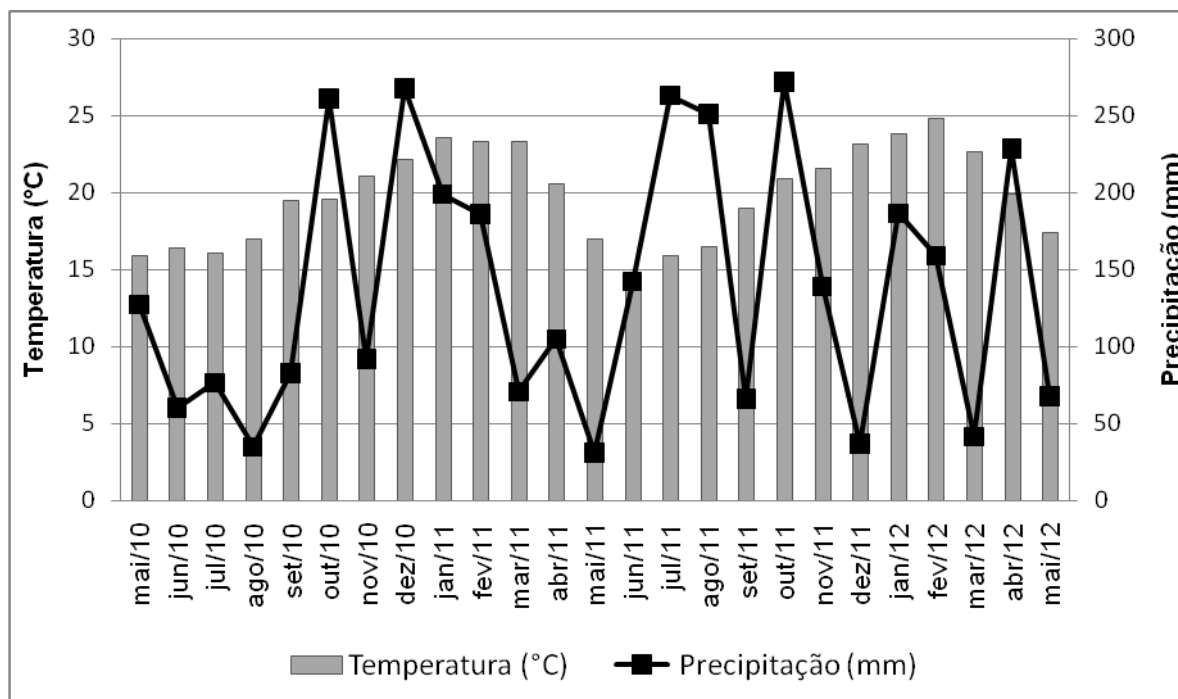


Figura 1- Médias mensais de temperatura média diária do ar (°C) e precipitação pluvial (mm), durante o período de avaliação do experimento. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizados oito sistemas com plantas de cobertura do solo, antecedendo o cultivo de milho em plantio direto, apresentados abaixo com as respectivas densidades de semeadura.

1. Aveia Preta – (*Avena strigosa* Schreb) 90 kg ha⁻¹
2. Azevém – (*Lolium multiflorum* Lam.) 50 kg ha⁻¹
3. Centeio – (*Secale cereale* L.) 50 kg ha⁻¹
4. Tremoço Branco – (*Lupinus albus* L.) 100 kg ha⁻¹
5. Ervilhaca Comum – (*Vicia sativa* L.) 40 kg ha⁻¹
6. Nabo Forrageiro – (*Raphanus sativus* L.) 15 kg ha⁻¹
7. Aveia + Ervilhaca (A+E) - 60 + 40 kg ha⁻¹
8. Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) - 60 + 30 + 10 kg ha⁻¹

No primeiro ano de condução e avaliação (2010/2011), utilizou-se como um dos componentes do sistema, o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*) na densidade de 25 kg ha⁻¹ de sementes. Seu uso se deu devido à dificuldade de aquisição de sementes de azevém e a época de implantação, já com menores riscos de geadas. No ano de 2011/2012 foi efetivamente introduzido em seu lugar o

azevém, espécie que possui ampla distribuição na região sul do Brasil, principalmente em áreas que utilizam o sistema de integração lavoura pecuária, geralmente antecedendo o cultivo de milho.

Visando avaliar o efeito das plantas de cobertura na disponibilização de N para a cultura subsequente, as parcelas foram subdivididas onde foram utilizadas doses de N-mineral aplicadas na fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho (0 e 180 kg ha⁻¹), fornecidos através de uréia (45% N).

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso em esquema bifatorial, com três repetições, constituído por parcelas principais de 5m x 10m (fator A), com o estabelecimento das plantas de cobertura do solo e parcelas subdivididas de 5m x 5m (fator B), com a utilização das doses de adubação nitrogenada em cobertura, tendo o experimento área total de 1.200 m².

Antecedendo a semeadura das coberturas de inverno, realizou-se aplicação de herbicida para dessecação das plantas daninhas em toda a área. No ano de 2010, as plantas de cobertura foram semeadas em 05/07/2010, devido à ocorrência da má distribuição de chuvas, entre os meses de maio a junho, impossibilitando a realização no período adequado. Sob condições normais de clima, no ano de 2011 a semeadura das culturas de inverno foi realizada em 12/05/2011.

A semeadura das culturas de cobertura foi efetuada de forma mecanizada, com espaçamento de 0,17m entre linhas, para os sistemas aveia preta, ervilhaca comum, centeio e para os consórcios A+E+N e A+E. Já para a cultura de tremoço branco, realizou-se semeadura manual com espaçamento entre linhas de 0,5m, devido a dificuldade de distribuição de sementes graúdas pela semeadora. As culturas de cobertura nabo forrageiro e azevém foram semeadas a lanço por possuírem sementes pequenas e com facilidade de emergência.

O manejo das plantas de cobertura de inverno ocorreu aos 93 DAS (06/10/2010) e aos 112 DAS (01/09/2011) realizado através da aplicação mecanizada de herbicida (*Glifosato* 1,2 L ha⁻¹ de i.a).

A semeadura do milho (variedade Bandeirante, safra 2010/2011 e híbrido simples Pioneer P32R48, safra 2011/2012) sobre os resíduos das plantas de cobertura, em plantio direto, ocorreu aos 13 (08/11) e 11 dias após o manejo (13/09), em 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente, com espaçamento de 0,90 m entre linhas e densidade de semeadura estimada para 75.000 plantas ha⁻¹. No momento

da semeadura, para ambas as safras, utilizou-se como adubação de base a formulação de adubo 0:20:20, o que promoveu a disponibilização da mesma quantidade de P e K em todas as parcelas (50 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 50 kg ha^{-1} de K_2O).

A adubação de cobertura com N-mineral foi realizada manualmente em dose única e sob condições de umidade adequada, direcionada próximo as linhas de semeadura aos 36 e 33 DAS, para as safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente.

Para o manejo de plantas daninhas na cultura do milho foram realizadas aplicações de herbicida (*Nicosulfuron* $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ de i.a) aos 18 DAS na safra 2010/2011 e 31 DAS na safra 2011/2012.

3.3 PARÂMETROS AVALIADOS

3.3.1 Plantas de Cobertura de Inverno

Para o acompanhamento da taxa de crescimento e cobertura do solo pelas plantas de cobertura de inverno, utilizou-se o método fotográfico, que consiste na avaliação das imagens digitais coletadas a campo. As coletas foram efetuadas semanalmente, aos 15, 22, 28, 35, 42, 49 dias após a semeadura (DAS) das culturas no ciclo de 2010. Durante o período invernal de 2011, foram coletadas imagens aos 22, 29, 36, 43, 50, 57, 64, 71, 78, 85, 92 e 99 DAS. Foram demarcados dois pontos fixos em cada parcela. Utilizou-se um quadrado metálico $0,5 \times 0,5\text{m}$, com área conhecida ($0,25\text{m}^2$) colocado no solo sobre as plantas de cobertura, sendo capturada a imagens após o posicionamento da máquina digital (Sony® – 7.2 Mega pixels) a um metro de altura, aproximadamente. Posteriormente, as imagens digitais foram transferidas para o programa computacional *Power point*, onde foi inserido um quadriculado com 100 pontos, sobre cada imagem (Figura 2). Os pontos de intersecção que ficavam sobre as plantas de cobertura foram quantificados, expressando em porcentagem a taxa de cobertura do solo.

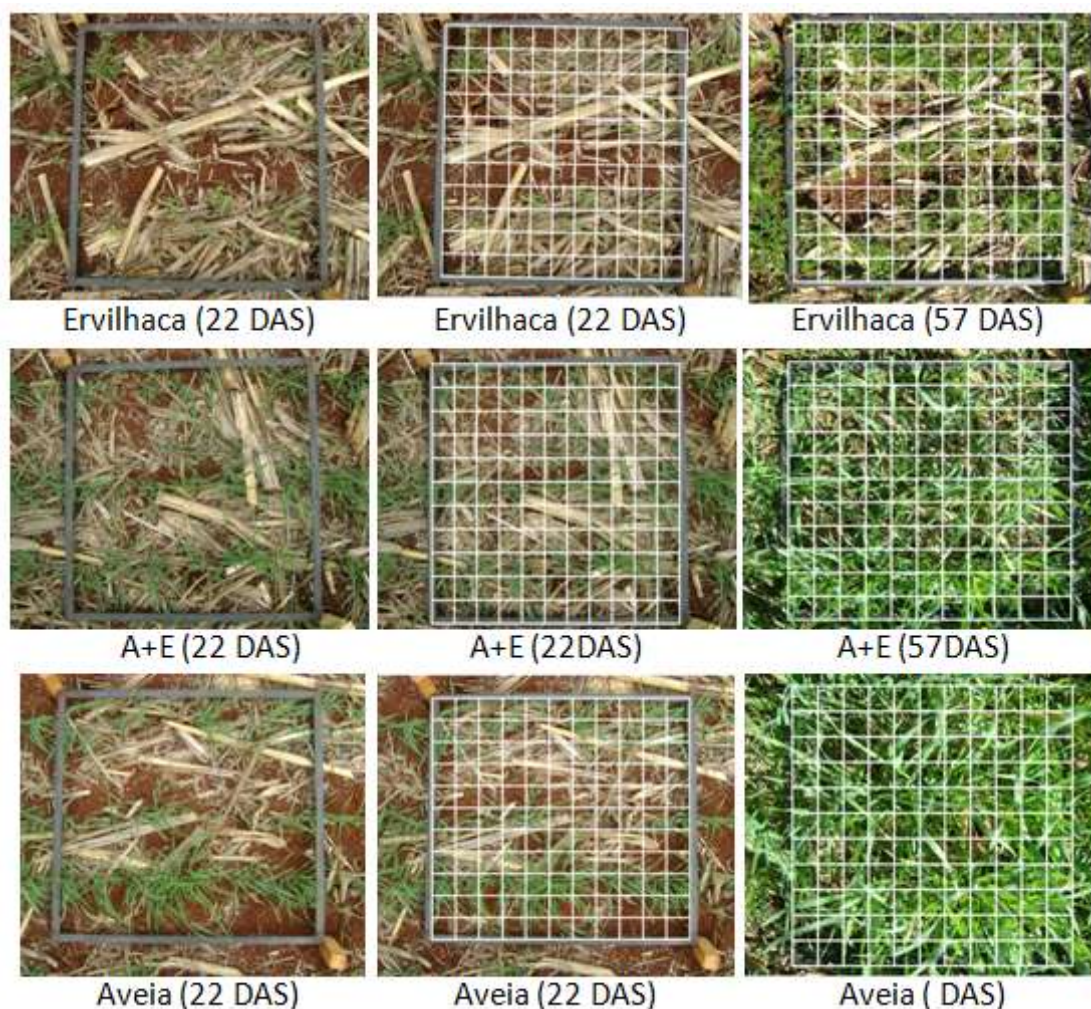


Figura 2- Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno, aos 22 e 57 DAS. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

A produção de matéria seca pelas culturas de cobertura foi avaliada aos 93 DAS (06/10/2010) e aos 112 DAS (01/09/2011). De forma geral, as avaliações foram realizadas no momento em que a aveia preta, o centeio, o azevém, trigo mourisco e o tremoço branco encontravam-se no estágio de pleno florescimento, a ervilhaca comum ainda não apresentava flores e o nabo forrageiro estava no final desse estágio. Realizou-se coleta do material vegetal, utilizando quadro metálico com área conhecida ($0,25 \text{ m}^2$) em dois pontos por parcela, colocados para secagem em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 55^\circ\text{C}$, por 72 horas até atingirem peso constante. Após completa secagem da biomassa das plantas de cobertura em estufa, as amostras foram pesadas em balança semi-analítica para a obtenção da MS.

A decomposição e liberação de N das plantas de cobertura foram determinadas através de bolsas de decomposição (*litter bags*) confeccionadas com

tecido *voil*, de malha inferior a 1 mm, nas dimensões de 0,2 x 0,2 m, perfazendo área interna de 0,04 m². Para a confecção das bolsas, utilizou-se material vegetal previamente seco em estufa de circulação de ar forçado, fracionado em pedaços de aproximadamente 10 cm, sendo que as quantidades de MS utilizadas para o preenchimento da bolsa, baseadas nas quantidades de material produzido por hectare, para cada cultura de cobertura, calculando-se a proporção para a área da bolsa. A campo, foram depositadas em superfície do solo cinco bolsas de decomposição, de igual peso, nas respectivas parcelas do material de origem, nas entre linhas, logo em seguida a semeadura do milho (Figura 3). Uma das amostras serviu como controle (tempo zero) sendo armazenado em local seco e protegido.

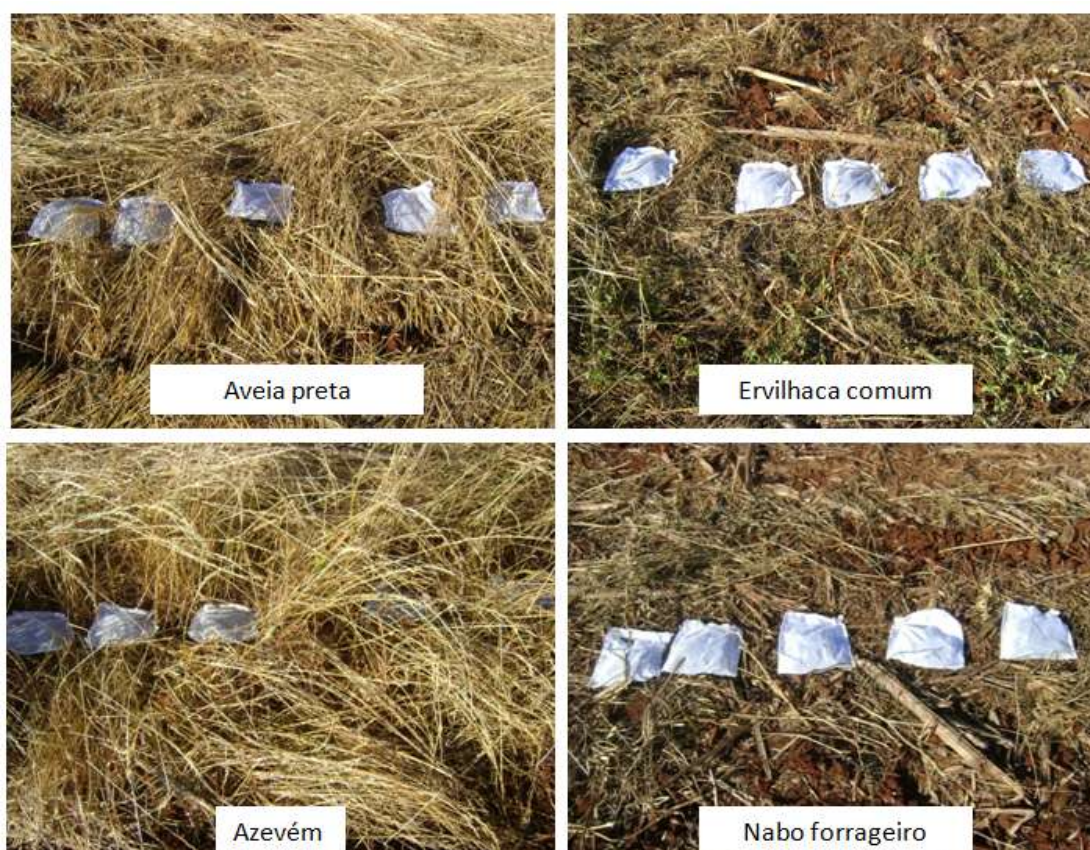


Figura 3- Distribuição das bolsas de decomposição nas respectivas parcelas de cultivo das plantas de cobertura. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

A quantificação da taxa de decomposição foi realizada através da determinação de perda de massa, sendo as coletas (uma amostra por coleta por tratamento) realizadas em intervalos regulares de tempo pré-determinados correspondendo aos 23; 45; 66; 94 e 122 dias (safra 2010/2011) e aos: 15; 30; 45; 60 e 90 dias após a deposição dos mesmos no campo, coincidindo com os DAS do

milho (safra 2011/2012). Após cada coleta, as bolsas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 65^{\circ}\text{C}$, por 48 horas, em seguida o material vegetal remanescente foi pesado em balança semi-analítica. Posteriormente, foram triturados em moinho de facas tipo willey, equipado com peneira de 20 mesh.

As determinações dos teores de N total presente nos tecidos vegetais das plantas de cobertura foram realizadas conforme metodologia descrita em Embrapa (1999). Para estimativa de liberação de N pelas plantas de cobertura foi calculada pela diferença nos teores de N do tempo zero em relação aos demais períodos coletados a campo. A quantidade de C orgânico foi analisada seguindo indicações do método de Yeomans e Bremner (1988), com algumas modificações. Utilizou-se 0,1g de tecido vegetal, seco e moído, colocado em tubo de ensaio, onde foram acrescentados 10 ml (pipetados) de solução de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,337M e 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Em bloco digestor pré-aquecido por 30 minutos a 150°C foram colocados os tubos de ensaio com as amostras, sendo depositadas sobre cada tubo, esferas de vidro para evitar perdas de gases por volatilização, permanecendo no bloco digestor por 30 minutos sob mesma temperatura. Após a digestão as amostras foram transferidas para erlenmeyers de 250 ml, foram adicionados 2 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) (puro) e 4 a 5 gotas de indicador difenilamina 1% (diluído em H_2SO_4 concentrado), sendo as amostras tituladas com sulfato ferroso (0,5M). Os valores obtidos na titulação foram aplicados nas fórmulas:

$$A = [(V_{ba} - V_{am}) * (V_{bm} - V_{ba}) / V_{bm}] + (V_{ba} - V_{bm})$$

$$\text{CO (dag kg}^{-1}\text{)} = ((A * \text{molaridade de sulfato ferroso}) * 3 * 100 / \text{peso amostra} * 1000)$$

Onde:

CO= Carbono Orgânico

V_{am}= Volume gasto de sulfato ferroso (0,5M) na titulação da amostra;

V_{ba}= Volume de sulfato ferroso gasto na titulação do branco aquecido;

V_{bm}= Volume de sulfato ferroso gasto na titulação do branco não aquecido.

3.3.2 Cultura do Milho

No estágio de pendramento da cultura do milho, ocorrida aos 67 DAS para a safra 2010/2011 (14/01/2011) e 77 DAS na safra 2011/2012 (29/11/2011), foram realizadas avaliações dos parâmetros agronômicos da cultura, tais como altura de plantas (desde a base do solo até a inserção do pendão), diâmetro de colmo, com paquímetro manual (10 cm acima da base do solo) e estande de plantas.

Para a safra 2011/2012 foram coletadas folhas bandeira do milho (10 plantas por parcela), quando a cultura encontrava-se em estágio de pendramento, para determinação da quantidade de N total circulante na planta. Para estimativa da produção de matéria seca das plantas de milho, realizada 97 DAS (fase de enchimento de grãos), foram utilizadas cinco plantas por parcela. Ambas as coletas foram realizadas em três metros lineares, dentro da área útil da parcela, usando como base de cálculo para determinação da MS, o estande de população de plantas de milho verificado sobre as plantas de cobertura do solo. As plantas inteiras de milho foram pré-secadas a sombra, posteriormente todo material vegetal coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, sob temperatura de $\pm 65^{\circ}\text{C}$, até atingirem peso constante, sendo pesados, moídos em triturador de forragens e subamostrado. As amostras de tecido vegetal foram trituradas em moinho de facas tipo willey, equipado com peneira de 20 mesh, identificadas individualmente e armazenadas para determinação de N total e C orgânico em laboratório.

A colheita do milho foi realizada de forma manual, em linhas pré-definidas para todos os tratamentos, em uma área de $4,5\text{m}^2$ dentro de cada parcela. Posteriormente, as espigas foram passadas em debulhador elétrico, sendo realizada a pesagem da produção de grãos e determinada a umidade dos grãos através do medidor de umidade Multigrain®. O rendimento de grãos foi estimado por meio da extrapolação da produção colhida na área útil das parcelas para hectare, corrigindo-se para 14% de umidade. Realizou-se uma subamostragem dos grãos, os quais foram levados para secagem em estufa de circulação de ar forçada sob temperatura de $\pm 65^{\circ}\text{C}$, por 48 horas, triturados em moinho de facas tipo willey equipado com peneira de 20 mesh. Realizou-se análises para determinação de N total presente nos tecidos vegetais do milho (folha bandeira, matéria seca da biomassa e grãos)

conforme metodologia descrita em Embrapa (1999), e para as determinações de C orgânico dos tecidos foi conforme método sugerido por Yeomans e Bremner (1988), com alterações.

3.3.3 Análises do Solo

Após o manejo das plantas de cobertura e semeadura do milho, foram realizadas coletas de solo, somente na safra 2011/2012, para acompanhamento dos teores de N inorgânico na profundidade de 0-5 cm próximo as bolsas de decomposição. As coletas ocorreram na ocasião da retirada de cada tempo a campo aos 15, 30, 45, 60 e 90 DAS do milho. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados e levadas imediatamente para um freezer, permanecendo sob refrigeração, visando paralisar o processo de mineralização e nitrificação, desempenhado pelos microrganismos do solo. Para preparo das amostras e realização das análises, as mesmas foram retiradas do freezer para descongelamento em temperatura ambiente. Posteriormente, foram pesadas em balança analítica, duas subamostras de cada. A primeira, contendo 10g de solo, utilizado para determinação da umidade do solo, sendo colocados em latas de alumínio e levadas para estufa de circulação de ar, sob temperatura de 105°C por 48 horas, para obtenção do peso seco. A segunda subamostra, utilizada para determinação do N mineral do solo (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), através do método Kjeldahl de extração com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e destilação por arraste de vapores, após a adição de MgO e liga Devarda, conforme descrito por Tedesco et al. (1985), com algumas alterações propostas em Embrapa (2009).

Realizou-se no ano agrícola de 2011/2012, a determinação da atividade respiratória dos microrganismos do solo, através da taxa respiratória, realizada mediante avaliação de alíquotas de solo, coletados a campo durante o período de decomposição das plantas de cobertura do solo, coincidindo com a retirada das bolsas de decomposição aos 15, 60 e 90 DAS do milho. O solo foi coletado na profundidade de 0-5 cm, sendo em seguida armazenado sob refrigeração até o momento da incubação. Amostras de solo (50 gramas), foram passadas em peneiras de 2 mm, para separação de resíduos vegetais e colocadas em recipientes de vidro com capacidade de 0,75L. Dentro de cada recipiente, foi depositado um copo contendo 25 ml da solução de hidróxido de sódio NaOH (0,5

mol L⁻¹) para capturar o CO₂ liberado do solo. Os recipientes foram vedados e incubados por 28 dias sob temperatura de ±25°C em BOD. Foram utilizados recipientes controle com o NaOH (0,5 mol L⁻¹) sem presença de solo. Após o período de incubação, as amostras receberam 1 mL de cloreto de bário (BaCl₂) 50% saturado para a precipitação do carbonato e foram imediatamente tituladas com ácido clorídrico HCl (0,5 mol L⁻¹), com a presença de fenolftaleína (1%) como indicador (ALEF, 1995). Para a realização do cálculo de quantidade de CO₂ desprendido para cada amostragem, foi utilizada a fórmula $CO_2 = ((V1 - V0) \times 44)$ proposta por Severino et al. (2004).

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa computacional Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009). A MS remanescente das plantas de cobertura foi aplicada á análise de regressão não linear, com decaimento exponencial, seguindo a equação matemática: $f = a \cdot \exp(-b \cdot x)$. E para a quantidade de N disponibilizado aplicou-se aos valores observados, ao modelo de regressão não linear tendendo ao máximo através da equação matemática: $f = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$, adotando-se como critério para escolha do modelo, a significância dos coeficientes da regressão e a magnitude dos coeficientes de determinação, utilizando o programa SigmaPlot 10.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

4.1.1 Taxa de Cobertura do Solo

As plantas de cobertura apresentaram comportamentos distintos quanto ao seu desenvolvimento, expresso pela taxa de cobertura do solo, de acordo com as características particulares de cada espécie. Durante o inverno de 2010 (Tabela 1), o comportamento das plantas de cobertura durante os primeiros 15 DAS foram semelhantes, não apresentando diferença estatística. Aos 22 DAS a utilização isolada do nabo forrageiro, apresentou a maior taxa de cobertura do solo, não diferindo do trigo mourisco e do consórcio entre A+E+N. O desenvolvimento das leguminosas aos 28 DAS foi inferior as demais plantas de cobertura testadas, apresentando cobertura máxima de 23%, com a utilização do tremoço. O crescimento inicial lento, e o maior custo na aquisição de sementes em relação a outras espécies, são limitações que justificam a pouca utilização de espécies leguminosas como cobertura do solo, durante o inverno (ARGENTA et al., 2001) principalmente em cultivos isolados.

Aos 49 DAS os sistemas constituídos por aveia preta, centeio, nabo forrageiro, A+E e A+E+N, apresentavam cobertura do solo superior a 80%, diferindo-se das leguminosas, com cobertura inferior a 50% (Tabela 1). Conforme Calegari (1990), o nabo forrageiro tem como característica, crescimento inicial extremamente rápido, promovendo cobertura de 70% do solo aos 60 dias após a emergência.

Devido à similaridade verificada entre as plantas de cobertura de inverno, durante os primeiros 15 DAS no ciclo 2010 (Tabela 1), no período 2011, a taxa de cobertura do solo foi avaliada a partir dos 22 DAS (Tabela 2). Os tratamentos com aveia preta, na forma isolada e consorciada, promoveram taxas de cobertura do solo superiores, diferindo dos demais. Comportamento este, que pôde ser verificado até os 43 DAS, onde a cobertura do solo foi superior a 60%. Enquanto para as demais culturas (azevém, centeio, ervilhaca comum, tremoço branco e nabo forrageiro) as taxas de cobertura do solo foram iguais ou inferiores a 40% (Tabela 2).

Tabela 1- Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno, até os 49 dias após a semeadura (DAS) no período de 2010. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Cobertura do Solo (%) DAS					
	15	22	28	35	42	49
Aveia preta	22 ns*	28 bcd**	43 ab	58 ab	62 ns	90 a
Trigo Mourisco	26	41 ab	42 ab	41 bc	55	68 ab
Centeio	17	27 bcd	39 b	47 abc	60	85 a
Ervilhaca comum	18	19 d	14 c	18 d	40	40 c
Tremoço branco	12	17 d	23 c	26 cd	48	49 bc
Nabo forrageiro	29	46 a	52 ab	63 ab	62	92 a
A+E	19	24 cd	40 b	53 ab	50	81 a
A+E+N	24	34 abc	55 ab	67 a	82	94 a
CV%	35	17,4	13,1	16,7	37,9	12,3

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

** Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

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

Tabela 2- Taxa de cobertura do solo (%) pelas plantas de cobertura de inverno, até os 99 dias após a semeadura (DAS) no período de 2011. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Cobertura do Solo (%) DAS											
	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99
Aveia preta	31 a*	35 a	44 a	63 a	78 ab	83 ab	86 ab	88 a	100 A	100 a	100 a	100 a
Azevém	2 b	4 c	12 b	31 bc	53 c	60 bc	71 abc	90 a	99 A	100 a	100 a	100 a
Centeio	5 b	9 c	13 b	37 bc	57 bc	60 bc	68 bc	84 a	89 A	96 a	96 a	100 a
Ervilhaca comum	4 b	6 c	10 b	28 bc	45 cd	49 c	63 c	82 a	91 A	100 a	100 a	100 a
Tremoço branco	7 b	7 c	8 b	18 c	23 d	23 d	29 d	37 b	38 C	61 b	61 b	71 b
Nabo forrageiro	6 b	11 bc	17 b	40 b	41 cd	40 cd	40 d	51 b	63 B	100 a	100 a	100 a
A+E	22 a	26 ab	34 a	62 a	82 a	85 ab	87 ab	92 a	99 A	100 a	100 a	100 a
A+E+N	26 a	35 a	39 a	69 a	85 a	85 a	90 a	90 a	100 A	100 a	100 a	100 a
CV%	29	35	26	16	14	15	11	11	9,5	2,1	2,1	1,7

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

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

Demonstra-se assim, que a consorciação entre espécies, pode propiciar eficiente cobertura vegetal no solo, além de contribuírem na fixação e ciclagem de nutrientes, principalmente de N, no caso das leguminosas e brássicas, respectivamente (SILVA et al., 2006).

As primeiras culturas a atingirem cobertura completa do solo, foram à aveia preta e A+E+N, aos 78 DAS, diferindo somente do nabo forrageiro e o tremoço branco. Aos 99 DAS os sistemas de cobertura, atingiram cobertura total do solo, diferindo-se somente do tremoço branco que apresentava 71% do solo protegido (Tabela 2). Essa menor taxa de cobertura do solo pelo tremoço pode ter ocorrido pela característica da espécie em apresentar hábito de crescimento arbustivo ereto e até mesmo pela distância entre linhas serem superiores aos demais sistemas, seguindo o preconizado para a cultura.

Em ambos os anos de estudo, ocorreram problemas com déficit hídrico durante o período de inverno, afetando de alguma forma os sistemas de cobertura do solo. No ano de 2010, a má distribuição de chuva entre os meses de maio a junho, provocou atraso na semeadura das culturas de inverno, sendo realizada somente no início do mês de julho. No decorrer do ciclo, a baixa precipitação ocorrida durante todo o mês de agosto (34,8 mm) que se estendeu até meados do mês de setembro (Figura 1) afetou o desenvolvimento das mesmas, promovendo comportamento atípico, o que resultou na interrupção das avaliações da taxa de cobertura do solo aos 49 DAS. Para o ano de 2011, a baixa precipitação durante o mês de maio (31 mm) (Figura 1) influenciou na germinação, emergência e o desenvolvimento inicial das plantas de cobertura. Apesar disso, em ambas as safras agrícolas percebe-se uma elevada cobertura do solo aos 49-50 DAS para a cultura de aveia preta e seus consórcios.

4.1.2 Produtividade de Matéria Seca e Relação C:N

A MS das coberturas de inverno encontra-se na tabela 3. Para o período de inverno de 2010, não houve diferenças na produtividade de MS entre as plantas de cobertura, com médias variando de 2,2 a 4,1 Mg ha⁻¹ para a MS do nabo forrageiro e centeio, respectivamente (Tabela 3). A ausência de diferença entre os sistemas avaliados pode estar relacionada às condições adversas que ocorreram durante o período de desenvolvimento dessas culturas (época de semeadura e

precipitação), tornando o desenvolvimento dos materiais desuniformes e elevando o coeficiente de variação.

Para o ciclo de inverno de 2011, as plantas de cobertura apresentaram comportamentos distintos, a maior produtividade de MS foi obtida com a aveia preta solteira (4,7 Mg ha⁻¹), sendo 135% superior à ervilhaca comum, que obteve o menor rendimento de MS entre as culturas de cobertura, e não diferindo das demais gramíneas e dos consórcios (Tabela 3). Resultados semelhantes para a MS de aveia foram verificados por Carvalho et al. (2007) em Castro-PR, com produção de 4,6 Mg ha⁻¹. Giacomini et al. (2003) em trabalho desenvolvido no ano 2000, encontrou para essa gramínea produção de 4,12 Mg ha⁻¹, sendo similar, aos resultados encontrados por Heinrichs et al. (2001), com rendimento de 4,9 Mg ha⁻¹ de MS. A superioridade da produção da MS da aveia preta sobre a ervilhaca é dada pela característica de maior rusticidade e agressividade, além da capacidade de perfilhamento da gramínea em relação à leguminosa (MONEGAT, 1991; HEINRICHS et al., 2001).

Tabela 3- Rendimento de matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura de inverno, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	2010	2011
	----- Mg ha ⁻¹ -----	
Aveia preta	3,0 *ns	4,7 a**
TM***/Azevém	2,8	3,8 abc
Centeio	4,1	4,6 ab
Ervilhaca comum	2,4	2,0 c
Tremoço branco	3,0	2,7 bc
Nabo forrageiro	2,2	2,7 bc
A+E	4,0	4,5 ab
A+E+N	2,6	4,5 ab
CV%	39,2	26,1

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

** Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo.

As leguminosas apresentaram os menores rendimentos de MS, não diferindo estatisticamente do nabo forrageiro e do azevém (Tabela 3), concordando

com resultados obtidos por Carvalho et al. (2007) na região do primeiro planalto Paranaense, onde a produção de MS das coberturas de inverno para ervilhaca, nabo forrageiro e azevém foram de 2,8, 2,5 e 3,1 Mg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, valores inferiores foram verificados em resultados obtidos por Medrado et al. (2011), com produtividade de 0,77 Mg ha⁻¹ de MS para o nabo forrageiro. Variações na produtividade de fitomassa das espécies de cobertura são comuns, visto que, conforme Amado et al. (2002), a produtividade de fitomassa é dependente das condições climáticas, edáficas e fitossanitárias.

As concentrações de nitrogênio total (N) e carbono orgânico (C) dos sistemas com plantas de cobertura do solo estão apresentadas na tabela 4. Para o ano de 2010, as menores concentrações de C ocorreram nos tecidos das leguminosas isoladas. Por outro lado, as leguminosas apresentaram maiores quantidades de N na constituição de seus tecidos. Justifica-se assim a estreita relação C:N, definida não somente pela maior quantidade de N, mas também pela menor quantidade de C. No ano de 2011, além das leguminosas, o nabo forrageiro também apresentou menores concentrações de C e maiores de N.

A relação C:N das leguminosas isoladas foram estatisticamente inferior ao encontrado nas gramíneas puras (aveia preta e centeio), enquanto para o nabo forrageiro, trigo mourisco e consórcios, foram verificados valores intermediários no período de 2010 (Tabela 4). O conhecimento da relação C:N ajuda a definir o melhor período de tempo entre o manejo das plantas de cobertura e o plantio da cultura comercial, visando o melhor aproveitamento do N liberado pela decomposição dos resíduos (IGUE et al., 1984).

A baixa precipitação ocorrida a partir dos 49 DAS (Figura 1), promoveu a queda precoce de folhas (constatação visual) do nabo forrageiro, fato este que provavelmente interferiu na relação C:N do material neste período. No entanto, valores médios semelhantes para relação C:N (23,5) foram verificados por Giacomini et al. (2003) para esta mesma espécie de cobertura, acompanhada em três anos de avaliação, sob condições normais de clima na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Durante o ciclo de inverno de 2011, os maiores valores para relação C:N foram verificados nos cultivos isolados de azevém (31) e aveia preta (26), e no consórcio entre A+E (26). Os menores foram verificadas com a utilização isolada de leguminosas e brássica, variando entre 9 e 17. Valores estes semelhantes aos

encontrados por Heinrichs et al. (2001), onde para os cultivos isolados de ervilhaca comum e aveia preta, a relação C:N foi de 13 e 33, respectivamente. Com o consórcio, na proporção de 50% de cada uma dessas espécies, a relação foi de 24 (Tabela 4).

Tabela 4- Quantidade de nitrogênio total (N) e carbono orgânico (C) e relação C:N das plantas de cobertura de inverno, para os anos de 2010 e 2011. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	2010			2011		
	C	N	C:N	C	N	C:N
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
Aveia preta	420 a*	14 c	32 A	400 a	16 cd	26 ab
TM**/Azevém	356 bc	19 bc	19 Ab	392 ab	13 d	32 a
Centeio	415 a	14 c	32 A	393 a	19 bcd	21 bc
Ervilhaca comum	347 c	36 a	10 B	367 cd	42 a	9 d
Tremoço branco	348 c	31 ab	12 B	374 bc	27 b	15 cd
Nabo forrageiro	389 ab	18 bc	25 Ab	353 d	21 bc	17 c
A+E	405 a	14 c	29 Ab	392 ab	15 cd	26 ab
A+E+N	399 a	20 bc	22 Ab	394 a	20 bcd	20 bc
CV%	3,47	25,09	31,0	2,44	18,7	19,5

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Valores para relação C:N intermediários ao cultivo isolado de cada espécie, foram verificadas no consórcio entre A+E+N (20) (Tabela 4), estando de acordo com relatos de Giacomini et al. (2003), que a combinação entre gramínea, leguminosa e brássica, além de promover produção de MS equivalente ao uso de gramíneas puras (Tabela 3) é uma estratégia que busca, pelo aumento da relação C:N do conjunto, alterar a taxa de decomposição dos resíduos para proteção do solo e liberação de N de forma eficiente e em sincronia com a demanda da cultura em sucessão. O mesmo comportamento não foi observado com a utilização do consórcio entre A+E, sendo verificado em ambos os períodos (2010 e 2011) valores para a relação C:N similares ao da aveia preta isolada, podendo estar relacionado a uma predominância da gramínea sobre a leguminosa, já que no presente estudo não foram determinadas a proporção de cada espécie dentro do consórcio no momento de coleta da MS. Entretanto, considerando que houve a manutenção da densidade de semeadura, durante o período de desenvolvimento das plantas, os resultados corroboram com aqueles obtidos por Heinrichs et al. (2001), nos quais a combinação

25% ervilhaca + 75% aveia preta, apresentou relação C:N elevada (27,2), constatando que em consórcios entre gramíneas e leguminosas, a relação C:N é variável conforme a proporção da espécie predominante.

4.1.3 Acúmulo de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea

As quantidades de N acumulado na parte aérea das culturas de cobertura isolados e consorciados são apresentadas na figura 4.

As maiores quantidades acumuladas de N foram de 89 e 88 kg ha⁻¹, para os sistemas constituídos pelas leguminosas isoladas, tremoço branco e ervilhaca comum, respectivamente (Figura 4a). Todavia, esses valores não diferiram estatisticamente das demais culturas de cobertura do solo (ano 2010).

No período de inverno de 2011, a utilização da consorciação entre as diferentes espécies A+E+N, apresentou um dos maiores acúmulos de N na parte aérea das plantas, atingindo 90 kg ha⁻¹ de N, sendo 38% superior ao verificado no nabo forrageiro isolado. A consorciação entre as três espécies de plantas mostrou-se 90,3% superior ao menor acúmulo de N obtido com o azevém (Figura 4b). A eficiência do consórcio está relacionada à contribuição da ervilhaca comum pela fixação de N atmosférico, juntamente com a capacidade de reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas, realizada pelo nabo forrageiro, promovendo a disponibilização de N no consórcio, via fixação biológica e através da decomposição das folhas velhas da leguminosa e brássica, durante o período de desenvolvimento das plantas.

As elevadas quantidades acumuladas de N pelas gramíneas isoladas (aveia preta e centeio) (Figura 4b), esta relacionada à alta produção de MS por essas espécies (Tabela 3), em especial para o centeio. Observa-se que apesar da alta capacidade de acúmulo de MS, a quantidade de N presente na constituição da biomassa (Tabela 4), em ambos os anos de cultivo, não difere do nabo forrageiro e dos consórcios (A+E+N e A+E). Apresentando inclusive, no ano de 2011, quantidade de N presente em seus tecidos, estatisticamente igual ao verificado em uma das leguminosas (tremoço branco) (Tabela 4). O acúmulo de N para a aveia preta e centeio, verificado no presente estudo (Figura 4b) são superiores ao encontrado por Doneda (2010), encontrando acúmulo de 54,1 e 53,5 kg ha⁻¹ de N na biomassa, respectivamente. Estudos de Ceretta et al. (2002) constataram para a aveia preta,

média de 61,5 kg ha⁻¹ para o N acumulado na parte aérea da MS (5,7 Mg ha⁻¹) em dois anos de condução sob condições edafoclimáticas da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

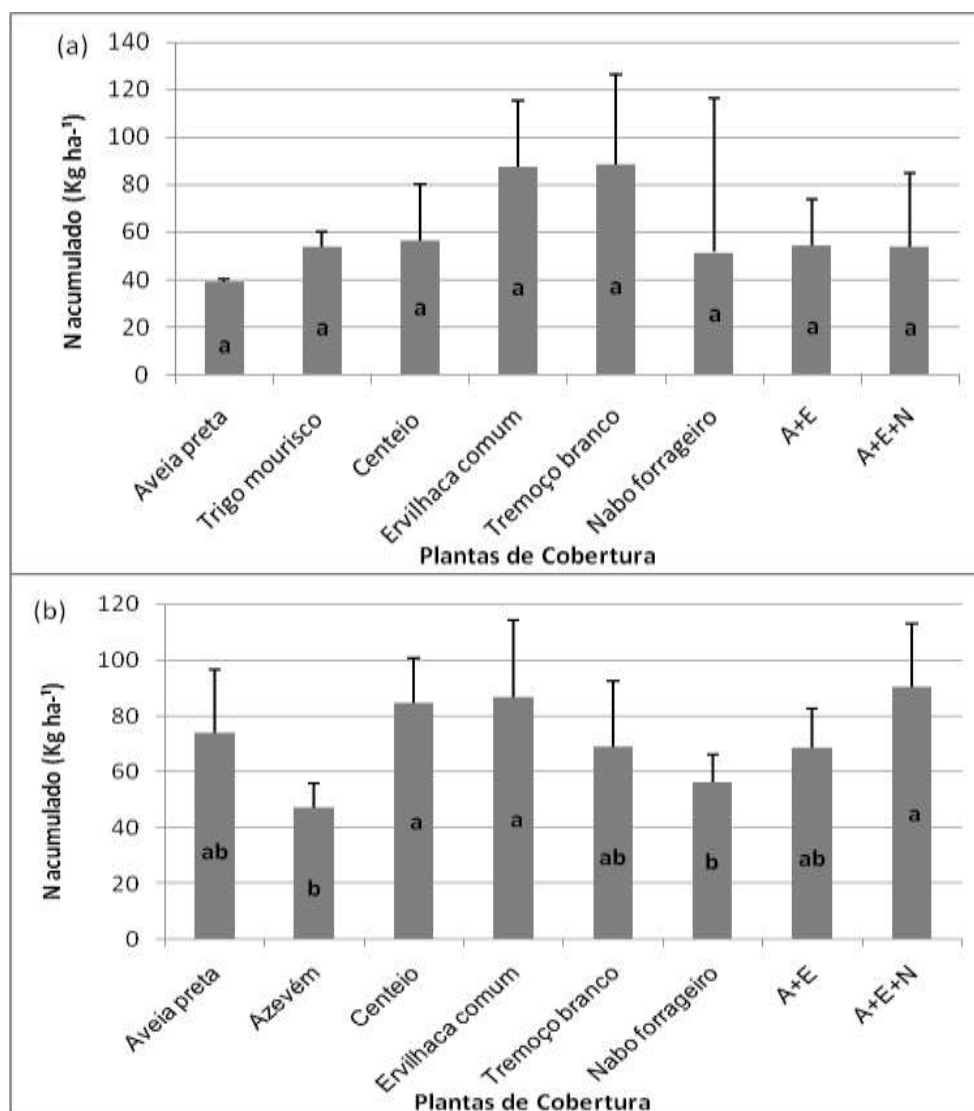


Figura 4- Nitrogênio total (N) acumulado pela parte aérea da matéria seca das plantas de cobertura do solo, em 2010 (a) e 2011 (b). UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013. Médias das quantidades totais de nitrogênio total (N) seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca.

Com a utilização de consórcio entre gramíneas e leguminosas, existe uma menor competição pelo N existente no solo, pois a leguminosa se sustenta sobre o N que advém da atmosfera. Conforme Heinrichs et al. (2001), a aveia possui grande capacidade em extrair N mineral do solo, proveniente da mineralização da matéria orgânica ou adubação, sendo esse um dos motivos da alta quantidade de

acúmulo de N na MS da parte aérea. O centeio, por sua vez, também possui habilidade em absorver o N presente no solo, sendo verificado por Gatiboni et al. (2009) o acúmulo de 92 kg ha^{-1} de N na fitomassa desta gramínea. A presença da ervilhaca na consorciação com aveia preta é considerada por Ceretta et al. (2002) como a principal justificativa para a obtenção de maior quantidade de N acumulado na MS da parte aérea das coberturas de inverno.

A ervilhaca comum foi tão eficiente no acúmulo de N ($86,7 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figura 4b) quanto à combinação A+E+N, mesmo com produção de MS 55,6% inferior ao encontrado no consórcio (Tabela 3). A elevada concentração de N na fitomassa das leguminosas é atribuída à eficiência na fixação biológica de N_2 (SILVA et al., 2008; AMADO et al., 2002).

4.1.4 Matéria Seca Remanescente e Liberação de Nitrogênio

4.1.4.1 Safra 2010/2011

A decomposição das plantas de cobertura, avaliada através da matéria remanescente dos resíduos culturais sobre o solo, ao longo do tempo, encontram-se na figura 5. De forma geral, a decomposição das plantas apresentou uma fase inicial rápida, com redução das quantidades de MS, seguida por um período mais lento, concordando com resultados obtidos por Doneda (2010) ao acompanhar a decomposição de espécies de cobertura de inverno isoladas e consorciadas.

A maior taxa de decomposição dos resíduos ocorreu com a utilização isolada de ervilhaca comum (Figura 5), onde, 23 dias após a deposição das bolsas de decomposição a campo, foi observado a manutenção de apenas 37% ($0,88 \text{ Mg ha}^{-1}$) do total de MS produzida. Para o mesmo período, a aveia preta manteve 72% ($2,16 \text{ Mg ha}^{-1}$) dos seus resíduos em superfície. Ao final dos 122 dias, a leguminosa apresentou 19% ($0,46 \text{ Mg ha}^{-1}$) e a gramínea 43% ($1,29 \text{ Mg ha}^{-1}$) de MS remanescente sobre o solo. Estes resultados corroboram com o trabalho de Heinrichs et al. (2001), desenvolvido na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, que relata a manutenção de 19,5% ($0,53 \text{ Mg ha}^{-1}$) da produção total de fitomassa sobre o solo para a ervilhaca e 53,6% ($2,63 \text{ Mg ha}^{-1}$) com o uso de aveia como cultura solteira, 180 dias após o manejo. Por sua vez, Da Ros (1993) constatou que durante os primeiros 30 dias após o manejo, a quantidade de MS da

ervilhaca, apresentou decréscimo de forma exponencial, confirmando a baixa persistência de seus resíduos e pouca eficiência da espécie na proteção do solo depois de manejada. Isso reitera, que a taxa de decomposição de leguminosas supera a de gramíneas (DA ROS, 1993; HEINRICHS, 2001; AITA; GIACOMINI, 2003), comportamento este facilmente explicado pela diferença na relação C:N existente entre estes grupos de plantas (Tabela 4).

Para os consórcios, a decomposição apresentou comportamento similar ao verificado para a aveia preta em cultivo isolado, durante todo o período acompanhado (Figura 5), mantendo aos 122 dias, 41% dos resíduos sobre o solo em ambas as combinações, representando a manutenção de 1,29 e 1,07 Mg ha⁻¹ da MS inicial de A+E e A+E+N, respectivamente. A redução da taxa de decomposição dos resíduos dos consórcios em relação ao uso de leguminosa em cultivo isolado possibilita a permanência de resíduos culturais sobre o solo por maior período de tempo, contribuindo para a manutenção de umidade e proteção contra o efeito erosivo (AITA; GIACOMINI, 2003), diferenciando do cultivo isolado da gramínea pela contribuição com a adição de N ao solo, proporcionado pela consorciação.

As coberturas do solo constituídas por trigo mourisco, tremoço branco e o centeio, apresentaram decomposição intermediária ao verificado para ervilhaca comum e a aveia preta, mantendo durante os primeiros 23 dias, pouco mais da metade de seus resíduos sobre o solo (entre 56 a 66%), (Figura 5). Apesar de pertencerem à famílias distintas, o tremoço branco e o centeio comportaram-se de forma similar, com decomposição de 63% do total de MS, resultando na manutenção de 1,52 e 1,11 Mg ha⁻¹ de resíduos sobre o solo ao longo dos 122 dias, respectivamente. O trigo mourisco foi o que apresentou a segunda maior taxa de decomposição (73%), ficando atrás somente da ervilhaca comum.

O nabo forrageiro apresentou uma dinâmica de decomposição diferenciada, provavelmente influenciada pela estiagem que ocorreu na metade final do desenvolvimento desta cultura, ocasionando a queda precoce da maioria das folhas, o que resultou em uma proporção maior de colmos e síliquas na composição da MS, promovendo a elevação da relação C:N (25), diminuindo por sua vez a taxa de decomposição do material, sendo constatada a permanência de 91% e 62% da MS produzida sobre a superfície do solo, aos 23 e 122 dias, respectivamente (Figura 5). Mesmo apresentando comportamento diferenciado, os resultados para a decomposição do nabo forrageiro do presente estudo corroboram com o encontrado

por Medrado et al. (2011) sob condições edafoclimáticas do estado de Santa Catarina, que verificaram baixa taxa de decomposição com permanência de 84% da MS inicial dessa cultura ao final dos primeiros 30 dias e de 53% ao longo de 161 dias de avaliação.

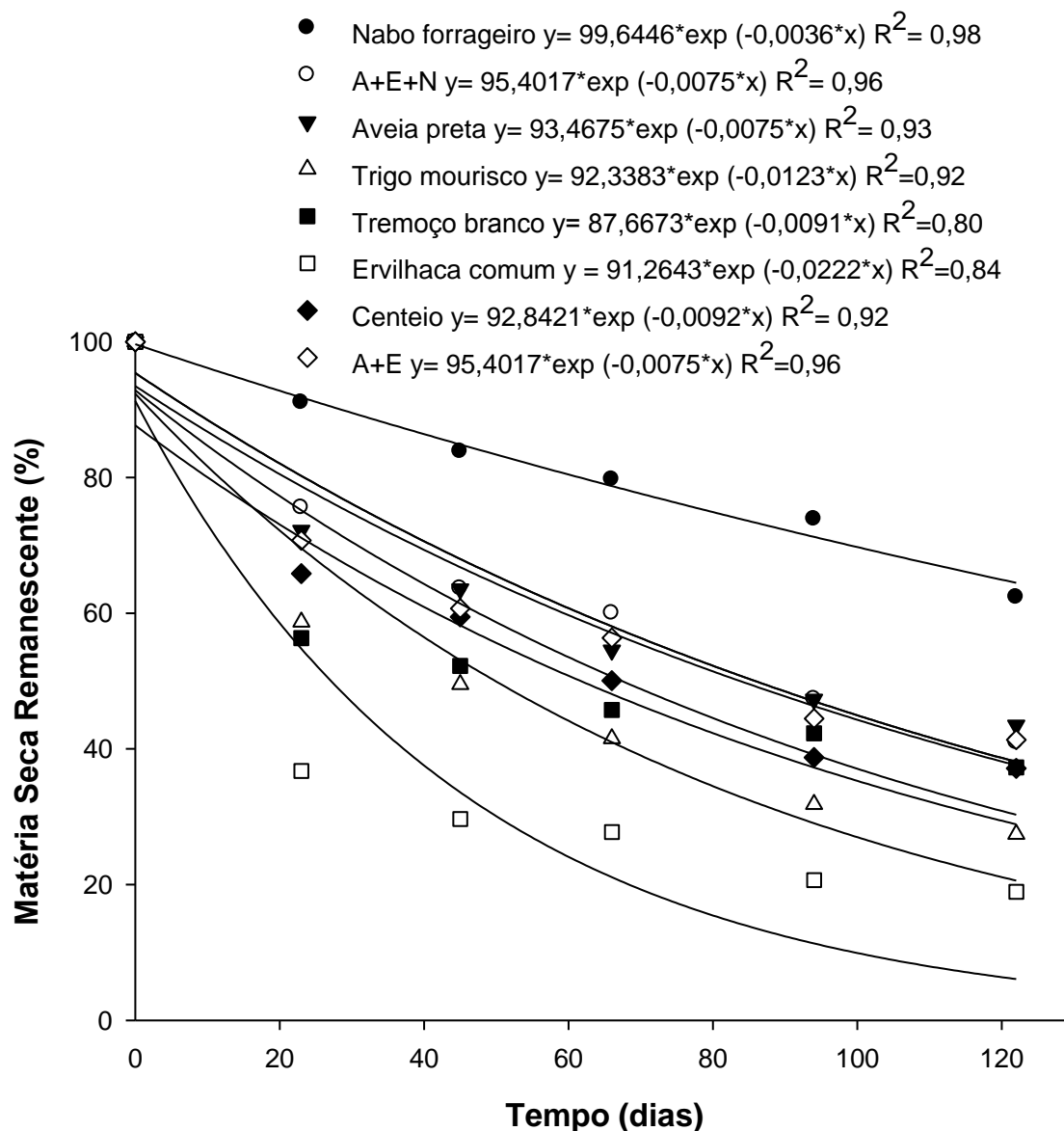


Figura 5- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2010/2011. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013. A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p < 0,05$ e $0,01$ respectivamente.

Conforme indicado por Floss (2000), o tempo de permanência da cobertura morta sobre a superfície do solo, após o manejo das espécies é determinado pela taxa de decomposição dos resíduos culturais, que por sua vez,

está diretamente relacionada ao teor de lignina e relação C:N dos materiais. Quanto mais altos forem esses teores, mais lenta será sua decomposição, protegendo o solo por maior período de tempo. Além da composição dos resíduos, a decomposição é influenciada pelas condições climáticas. Alves et al. (2006) avaliando resíduos culturais de espécies nativas da Caatinga paraibana, constataram que a taxa de decomposição das espécies foi menor aos 30 e 60 dias, com aumento significativo a partir dos 90 dias. Esse comportamento foi justificado pelo incremento da umidade do solo, resultado da alta precipitação pluviométrica registrada no período.

Com a decomposição dos resíduos vegetais, ocorre a liberação dos nutrientes para o solo e para as espécies estabelecidas em sequência. Quando a cultura em sucessão é o milho, o nutriente que ganha maior destaque em relação ao seu fornecimento é o N, devido à grande demanda desta gramínea por esse elemento. A liberação de N pelas plantas de cobertura no ciclo 2010/2011, encontra-se na figura 6.

O acelerado processo de decomposição dos resíduos em superfície promove uma menor proteção ao solo. Por outro lado, quanto mais rápida for a decomposição dos materiais utilizados, maior será a disponibilização dos nutrientes (FLOSS, 2000). A maior liberação de N ao solo durante os primeiros 23 dias foi verificada com a utilização da ervilhaca comum e tremoço branco (Figura 6). Esse fornecimento de N, proporcionado pelas leguminosas durante a fase inicial de decomposição, representa 84,2 e 82,1% de todo o N liberado durante o período acompanhado (122 dias), para a ervilhaca comum e tremoço branco, respectivamente. Dessa forma, para se maximizar o aproveitamento do N liberado pelos resíduos de leguminosas, e diminuir as possibilidades de perdas desse nutriente, recomenda-se que a implantação da cultura subsequente, deve ser realizada com o menor intervalo de tempo possível (HEINZMANN, 1985), não sendo superior a uma semana após o manejo das leguminosas (AITA et al., 2001) e brássicas (CRUSCIOL et al., 2005).

Ao longo dos 122 dias, a liberação de N atingiu 87, 76 e 72% da quantidade total acumulada na MS da ervilhaca comum, tremoço branco e trigo mourisco, respectivamente. Apesar da alta porcentagem de disponibilização do N pelo trigo mourisco a contribuição em quantidade, fornecida deste nutriente foi de

apenas de 39 kg ha⁻¹, enquanto que com o uso das leguminosas foi de 76,1 e 67 kg ha⁻¹ de N, para ervilhaca comum e tremoço branco, respectivamente (Figura 6).

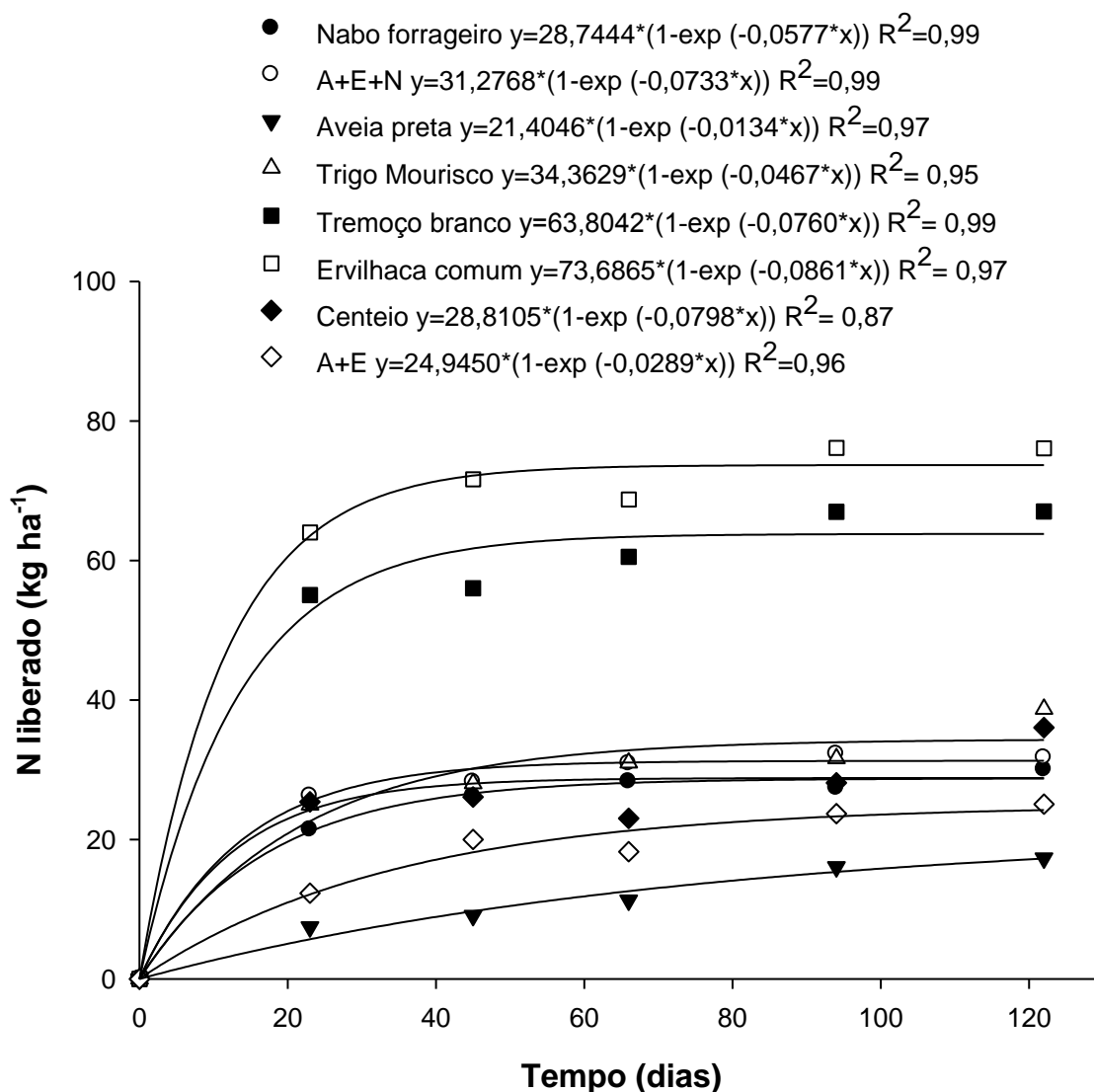


Figura 6- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2010/2011. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013. A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p<0,05$ e $0,01$ respectivamente.

Os sistemas constituídos pelo consórcio A+E+N, centeio e nabo forrageiro, apresentaram comportamento intermediário entre as culturas de cobertura estudadas, com liberação de 49, 45 e 41% do total de N presente na MS aos 23 dias, atingindo 59, 64 e 58% liberado ao final do período (122 dias), respectivamente (Figura 6). Por outro lado, Doneda (2010) verificou aos 28 dias após a deposição das bolsas de decomposição, uma liberação de 47,1% e 62% de todo N presente na MS do consórcio entre centeio+ervilha e do nabo forrageiro,

respectivamente. Ranells e Wagger (1996) verificaram ao longo de 56 dias, que a quantidade de N liberado com a utilização do centeio isolado e consorciado com a ervilhaca peluda foi de 24 e 108 kg ha⁻¹, respectivamente.

As menores taxas de liberação inicial (19 e 22%) e ao longo do tempo (44 e 46%) foram verificadas para a aveia preta e consórcio A+E, com liberação máxima de 17,3 e 25 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 6). O comportamento do consórcio em relação à aveia preta isolada pode estar associado à predominância da gramínea em relação à leguminosa. Neste caso a decomposição dos resíduos e consequentemente a liberação de nutrientes, dependem da proporção das espécies que compõem a consorciação e da relação C:N resultante (HEINRICHS et al., 2001).

4.1.4.2 Safra 2011/2012

Nesta safra as plantas de cobertura apresentaram baixa taxa de decomposição para todos os sistemas, com manutenção de 62 e 84,5% dos resíduos da fitomassa produzida pela ervilhaca comum e aveia preta, respectivamente, durante os primeiros 30 dias de acompanhamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Aita e Giacomini, (2003), que ao final do primeiro mês, verificaram a permanência de 57% da MS inicial sobre o solo, com uso da leguminosa e 81% para a gramínea. Mesmo sendo o sistema com maior taxa de decomposição em relação aos demais, a ervilhaca comum decompôs apenas 53,2% de toda MS ao longo de 90 dias, enquanto durante o mesmo período de tempo (94 dias) na safra 2010/2011 havia sido decomposto 79,4% (Figura 5). Esse comportamento está relacionado às diferenças nas condições climáticas de um ano para o outro, principalmente devido à menor precipitação pluviométrica (Figura 1), ocorrida na segunda safra agrícola avaliada, com déficit de 246 mm em relação ao ano anterior, o que propiciou um processo de decomposição mais lento.

A aveia preta apresentou a menor taxa de decomposição, mantendo 62,4% (2,9 Mg ha⁻¹) dos resíduos da MS em cobertura do solo ao longo do período avaliado (Figura 7). Após 120 dias do manejo das plantas de cobertura de inverno, Da Ros (1993) verificou para a ervilhaca, a permanência de 25% dos resíduos culturais sobre a superfície do solo, enquanto a aveia preta apresentou manutenção de 57,6% da produção total inicial.

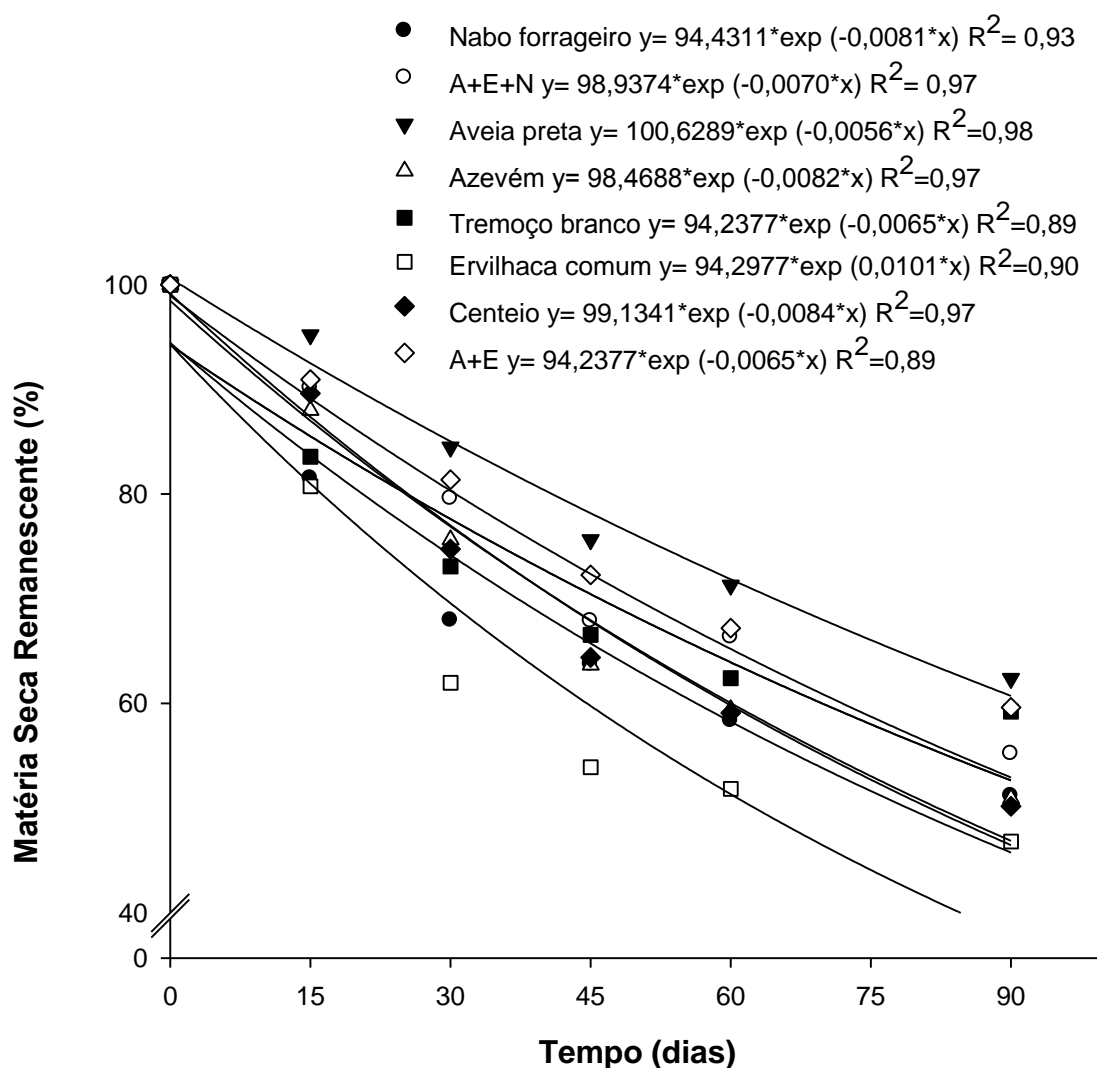


Figura 7- Decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013. A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p < 0,05$ e $0,01$ respectivamente.

Os consórcios entre as espécies apresentaram decomposição intermediária aos cultivos isolados, mas similares entre si, proporcionando a manutenção de 60 e 55% ($2,7$ e $2,47 \text{ Mg ha}^{-1}$) da MS total em superfície do solo durante 90 dias, para os sistemas constituídos por A+E e A+E+N, respectivamente (Figura 7). A redução da taxa de decomposição dos resíduos dos consórcios de aveia e ervilhaca, em relação ao cultivo isolado da ervilhaca, esta relacionada à presença da gramínea (AITA; GIACOMINI, 2003), promovendo que as curvas de decomposição situem-se de forma intermediária aos cultivos isolados de leguminosas, brássicas e ao das gramíneas.

Mesmo apresentando uma das maiores porcentagens de decomposição durante os primeiros 30 dias de acompanhamento, o tremoço branco manifestou a partir dos 45 dias uma estabilidade na sua decomposição, permanecendo com 59% ($1,59 \text{ Mg ha}^{-1}$) da MS total sobre a superfície aos 90 dias. Provavelmente, a predominância dos resíduos do tremoço branco, que permaneceram sobre o solo era constituída pelos colmos e vagens, que possuem decomposição mais lenta. O azevém, o centeio e o nabo forrageiro apresentaram taxas de decomposição similares entre si neste segundo período de condução, com manutenção da metade da MS produzida ao longo dos 90 dias (Figura 7). Estudos desenvolvidos por Aita e Giacomini (2003) evidenciaram que durante os primeiros 30 dias, a manutenção de 75% da MS inicial do nabo forrageiro sobre a superfície do solo. Por outro lado, Crusciol et al. (2005) registraram que 53 dias após o manejo, a permanência de resíduos do nabo forrageiro sobre o solo, era de apenas 27,3% da quantidade inicial de MS.

A liberação de N é resultado da decomposição dos resíduos promovido pelos microrganismos. Em resposta ao processo de decomposição mais lento dos sistemas de plantas de cobertura no período de 2011/2012 (Figura 7), verificou-se, que as quantidades de N liberado pelas plantas ao longo dos 90 dias de avaliação (Figura 8), atingiram no máximo 71% do total de N acumulado nos resíduos, sendo proporcionado pela ervilhaca comum. O que promoveu a liberação de $61,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N ao milho, sendo que destes, 32 kg ha^{-1} do N foi durante os primeiros 15 dias após a colocação das bolsas a campo (Figura 8).

O consórcio A+E+N, apresentou a segunda maior velocidade de disponibilização de N, promovendo durante os primeiros 15 dias a liberação de 33,4% do N presente na MS inicial, o que representa o fornecimento de 72,9% de todo N liberado ao longo do período avaliado (Figura 8). Apesar da alta quantidade de N total acumulada na MS deste consórcio, a liberação ao final de 90 dias foi de 50,5%, tornando disponíveis $45,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

As culturas de cobertura, constituídas pelo tremoço branco, nabo forrageiro, consórcio entre A+E, centeio e aveia preta apresentaram liberação de 19, 33, 24,5, 16 e 18% de N durante os primeiros 15 dias, atingindo 52, 62, 45,7, 46 e 39,4% de N liberado aos 90 dias para os sistemas acima citados, respectivamente. Esses percentuais representam quantidades totais, que variam de 29 a 39 kg ha^{-1} de liberado ao longo do período (Figura 8).

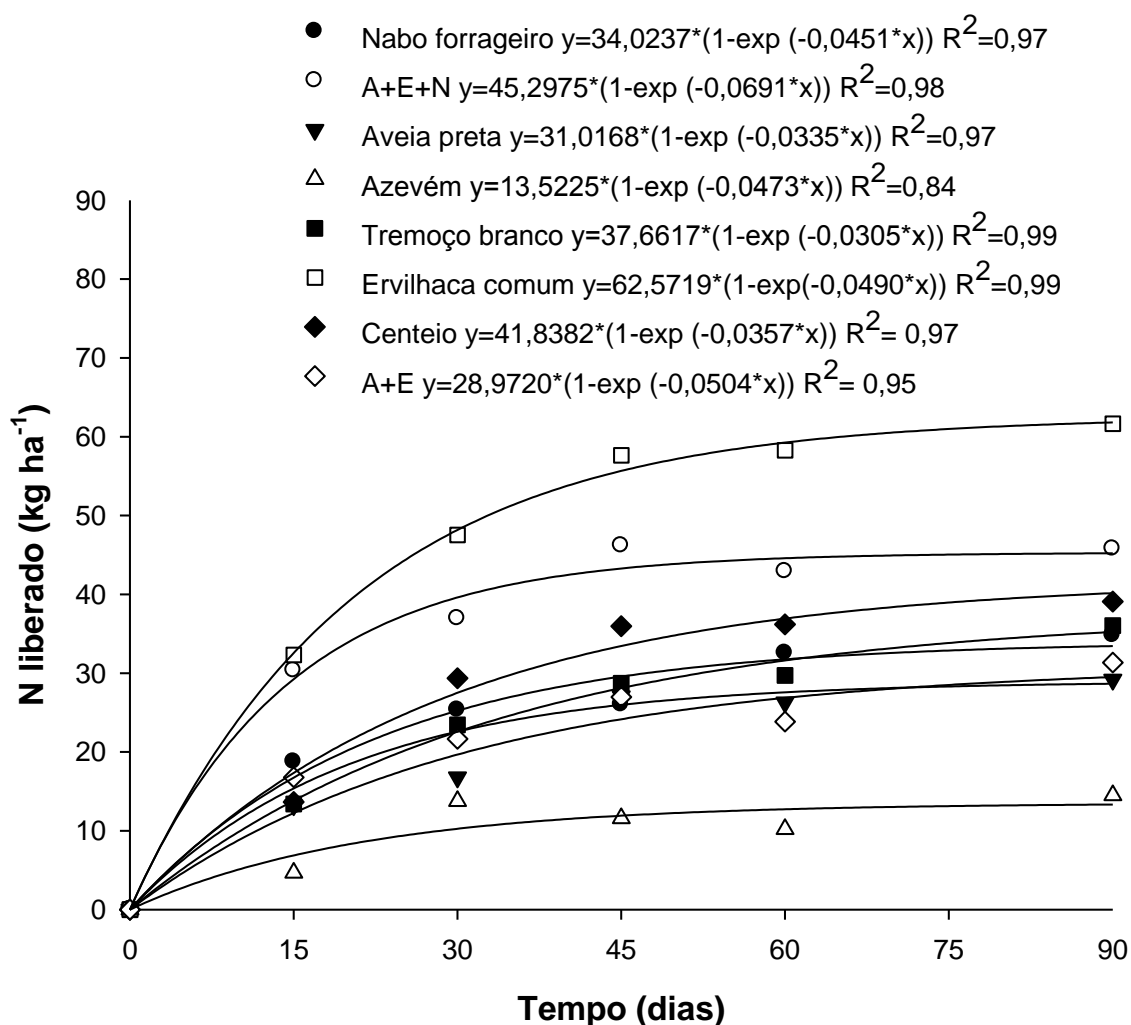


Figura 8- Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013. A+E+N = Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E = Aveia+Ervilhaca. **, * significativo a $p<0,05$ e $0,01$ respectivamente.

A menor liberação de N, dentre os sistemas avaliados durante o período de 2011/2012, foi observada com a utilização do azevém, com liberação de 9,9% ($4,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) durante os primeiros 15 dias, atingindo o máximo de fornecimento de 30,7% do total de N presente na MS aos 90 dias, o que representa uma quantidade de $14,5 \text{ kg ha}^{-1}$ do nutriente. Esse comportamento é reflexo da alta relação C:N deste material (32), sendo a maior relação C:N encontrada entre os sistemas utilizados nesta safra (Tabela 4).

De acordo com Siqueira e Franco (1988), quando a relação C:N apresenta valores superiores a 30, o processo de imobilização supera a mineralização. Derpsch et al. (1985) também afirmam que relação C:N superior a 25, propicia a imobilização líquida de N, sendo prejudicial para o milho cultivado em

sucessão, devido sua necessidade no suprimento de N na fase inicial de desenvolvimento, durante o período compreendido entre os 40-60 dias após a germinação, ocorre a absorção deste nutriente de forma mais intensa, caracterizada como a fase de crescimento rápido, com 70 a 80% de toda MS acumulada (VASCONCELLOS et al., 1998), apesar da planta absorver o elemento durante todo o ciclo. Tais diferenças verificadas em relação à decomposição e liberação de N, para o mesmo material em estudo, podem ser atribuídas às características intrínsecas dos próprios resíduos culturais, bem como às condições edafoclimáticas predominantes na região em questão, evidenciando a importância e a necessidade de trabalhar sob diferentes situações edafoclimáticas, para melhor identificar e compreender os mecanismos responsáveis por essas diferenças (DONEDA, 2010).

4.2 CULTURA DO MILHO

4.2.1 Características Morfológicas do Milho

O diâmetro de colmo da cultura do milho, não foi influenciado pelas plantas de cobertura de inverno, com valores variando entre 1,84 a 2,08 cm na ausência de N-mineral e 2,04 a 2,32 cm com N-mineral (2010/2011) e 1,85 a 2,08 cm na ausência de N-mineral e 2,01 a 2,17 cm com adição de N-mineral (2011/2012) (Tabela 5). Entretanto, as doses de adubação responderam de forma distinta, onde a aplicação de N-mineral em cobertura promoveu, na média dos sistemas utilizados, maior diâmetro de colmo em ambas as safras, corroborando assim, com resultados encontrados por Carvalho, et al. (2007), onde a adição de N (108 kg ha^{-1}) em cobertura no milho promoveu maior diâmetro de colmo (2,07cm) em relação as plantas que não receberam a adubação nitrogenada (1,97cm). Além do suporte das folhas e inflorescências, o colmo atua principalmente como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos (FANCELLI; DOURADO NETTO, 2000).

Tabela 5- Médias para diâmetro de colmo do milho (safra 2010/2011 e 2011/2012), cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral em cobertura, na cultura comercial. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	DIÂMETRO DE COLMO								
	Safra 2010/2011				Safra 2011/2012				
	0 N		180 N		0 N		180 N		
	(cm)		Médias		(cm)		Médias		
Aveia preta	1,91	2,15	2,03	ns**	1,88	2,14	2,01	ns	
TM***/Azevém	1,96	2,14	2,05		1,87	2,16	2,02		
Centeio	2,08	2,32	2,20		1,97	2,02	1,99		
Ervilhaca comum	2,02	2,13	2,07		2,08	2,14	2,11		
Tremoço branco	2,02	2,04	2,03		1,90	2,03	1,97		
Nabo forrageiro	1,91	2,06	1,99		1,86	2,01	1,94		
A+E	1,98	2,11	2,04		1,94	2,09	2,01		
A+E+N	1,84	2,16	2,00		1,85	2,17	2,01		
Médias	1,96	B*	2,14	A	-	1,92	B	2,09	A

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, para cada variável, dentro de cada safra agrícola, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

**ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05)

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Não foi verificada diferença estatística para a altura de plantas de milho, sobre as culturas de cobertura de inverno, na safra 2010/2011, apresentando médias entre 1,6 a 1,81m. Já a utilização de N-mineral em cobertura promoveu maior altura de plantas, com diferença média de 11 cm em relação a não adubação nitrogenada (Tabela 6). Da mesma forma, Carvalho, et al. (2007) verificaram resposta positiva da adição de N, em relação a altura de plantas de milho. No segundo período de cultivo do milho (safra 2011/2012), verificou-se interação significativa entre os sistemas de plantas e as doses de N-mineral, onde a altura de plantas de milho cultivado em sucessão as culturas constituídas por nabo forrageiro e ervilhaca comum, sem a adição de N-mineral foram estatisticamente iguais as médias de altura encontradas com o fornecimento deste nutriente, através da aplicação de uréia em cobertura (Tabela 6). Este fato está relacionado com a disponibilização do N presente na MS das plantas de cobertura, durante o processo de decomposição, sendo que a ervilhaca comum apresentou entre as culturas testadas, a maior quantidade de N liberado até o período de 60 dias (58,3 kg ha⁻¹) tornando-o disponível para o milho, em sincronia com a necessidade da cultura.

Tabela 6- Médias da interação para altura de planta de milho, cultivada em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N- mineral na cultura comercial. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	ALTURA DE PLANTA								
	Safrá 2010/2011				Safrá 2011/2012				
	0 N		180 N		0 N		180 N		
	(m)		Médias		(m)				
Aveia preta	1,58	1,83	1,71	ns**	1,74	bB*	2,10	abA	
TM***/Azevém	1,69	1,84	1,76		1,70	bB	2,06	abA	
Centeio	1,56	1,68	1,62		1,87	bB	1,99	abA	
Ervilhaca comum	1,74	1,86	1,80		2,09	aA	2,11	abA	
Tremoço branco	1,77	1,69	1,73		1,86	bB	1,99	abA	
Nabo forrageiro	1,54	1,66	1,60		1,87	bA	1,90	bA	
A+E	1,77	1,85	1,81		1,84	bB	2,13	aA	
A+E+N	1,61	1,76	1,68		1,84	bB	2,15	aA	
Médias	1,66	B	1,77	A	-	1,85	B	2,05	A

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada safrá, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

**ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Independente da forma de fornecimento, Bredemeier e Mundstock, (2000) destacam que o N é o nutriente que mais influência no crescimento das plantas, por atuar diretamente no desenvolvimento vegetativo. Por outro lado o comportamento do milho (safrá 2011/2012), em relação à altura de plantas sobre o nabo forrageiro (Tabela 6), pode estar relacionado aos benefícios físicos, tais como descompactação e melhoria da estrutura do solo promovido por essa espécie, devido as características específicas do seu sistema radicular vigoroso (pivotante e profundo), já que a quantidade de N liberado por essa brássica (32,5 kg ha⁻¹), foi inferior ao verificado pelo consórcio A+E+N (42,9 kg ha⁻¹) e centeio (36,2 kg ha⁻¹), culturas essas que não apresentaram influência sobre esta variável. Conforme verificado por Chen e Weil (2011), a utilização do nabo forrageiro e colza, proporcionaram a abertura de canais radiculares profundos, beneficiando a penetração das raízes de milho em solos compactados, aumentando a capacidade de desenvolvimento radicular para obtenção de água e nutrientes, pela cultura em sucessão. Outra questão, que pode estar promovendo diferenças no crescimento do

milho é o fato da determinação da liberação de N pelas plantas de cobertura, estar baseada na produção de MS da parte aérea, pode ter subestimado a disponibilização de N através do processo de ciclagem de nutrientes, durante a decomposição dos resíduos do nabo forrageiro, já que esta espécie possui raízes tuberosas que servem como estrutura de reserva e que não estão sendo consideradas.

Analisando o efeito das plantas de cobertura, percebe-se que os resíduos de ervilhaca comum na ausência de N, acarretou em altura de plantas de milho superior aos demais sistemas, demonstrando o potencial dessa espécie em disponibilizar N à cultura sucessora.

4.2.2 Produtividade de Matéria Seca e Nitrogênio na Parte Aérea

Não houve interação entre as plantas de cobertura e as doses de N-mineral (0 e 180 kg ha⁻¹), para as variáveis MS e N acumulado na parte aérea do milho na safra 2010/2011. Porém, ocorreu maior acúmulo de N na parte aérea do milho nas parcelas com a adição de N-mineral em cobertura (Tabela 7).

Para a safra 2011/2012 as plantas de cobertura e as doses de adubação nitrogenada apresentaram interação significativa entre as variáveis (Tabela 7), onde a quantidade de MS produzida pela parte aérea do milho, sem adição de N, em sucessão aos sistemas constituídos por ervilhaca comum, tremoço branco, nabo forrageiro, centeio e consórcio entre A+E+N, foi estatisticamente igual ao verificado com a adubação nitrogenada em cobertura.

Isso está diretamente relacionada a quantidade e a velocidade de disponibilização de N pela MS das plantas de cobertura do solo (Figura 8), pois verifica-se que nos sistemas A+E, aveia preta e azevém, que apresentaram menores quantidades de N disponibilizado ao longo dos 90 dias, foram os mesmos que proporcionaram menor produção de MS do milho (Tabela 7), devido provavelmente a baixa concentração de N em seus tecidos, como é o caso do azevém (Figura 4b), bem como, a assincronia na disponibilização do nutriente em relação a maior demanda pela cultura comercial em questão.

Apesar de não haver comparação entre as quantidades de N acumulado, na biomassa da MS da parte aérea do milho entre as safras

Tabela 7- Médias de interação para produtividade de matéria seca e acúmulo de nitrogênio total (N) na parte aérea de milho cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura do milho. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Safrá 2010/2011								Safrá 2011/2012							
	Matéria Seca				N acumulado				Matéria Seca				N acumulado			
	0 N		180 N		0 N		180 N		0 N		180 N		0 N		180 N	
	-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----	
Aveia preta	10.119	ns*	9.912	Ns	129	ns	162	ns	7.213	abB**	10.287	abA	46	bB	136	abA
TM***/Azevém	8.135		7.924		107		130		5.630	bB	10.605	abA	40	bB	115	abA
Centeio	7.697		9.397		111		149		8.307	abA	7.546	bA	65	abA	94	bA
Ervilhaca comum	9.223		13.254		133		213		10.491	aA	10.700	abA	104	aA	134	abA
Tremoço branco	9.679		11.583		131		188		7.453	abA	9.553	abA	71	abB	117	abA
Nabo forrageiro	11.101		9.402		158		154		9.410	abA	7.791	bA	77	abA	97	bA
A+E	8.696		10.224		117		169		9.449	abB	13.227	aA	70	abB	157	aA
A+E+N	10.298		10.982		149		180		9.307	abA	9.959	abA	73	abB	125	abA
Médias	9.368	ns	10.335	Ns	141	B	168	A	8.407	B	9.965	A	68	B	121	A

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada uma das variáveis, dentro de cada safra agrícola, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011.

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

acompanhadas (Tabela 7), observa-se, que na safra 2010/2011 os valores médios sobre os diferentes sistemas de plantas de cobertura, principalmente sem a adição de fertilizante mineral em cobertura, foram mais elevados em relação aos dados médios obtidos na safra 2011/2012. Este fato, provavelmente está relacionado ao cultivo sucessivo de feijão e soja, que ocupavam a área antes da introdução dos sistemas de plantas de cobertura na safra 2010/2011. Além disso, a baixa precipitação ocorrida no mês de dezembro (Tabela 1), pode ter possibilitado a baixa absorção e acúmulo do N nos tecidos da cultura na safra 2011/2012, durante a fase mais crítica de absorção desse nutriente.

Observa-se que o acúmulo de N na MS da parte aérea do milho cultivado sem adição de N adicional (Tabela 7) é superior as quantidades disponibilizadas pelas plantas de cobertura que antecederam (Figura 8), o que pode estar relacionado a contribuição pelo fornecimento de N através da decomposição da MS do sistema radicular das coberturas (não avaliado), ou ainda, através da disponibilização de uma parcela do N contido na forma orgânica do solo, após mineralização pela atividade microbiana, suprindo parte da quantidade de N requerida pelas culturas. Porém, essa quantidade disponibilizada, na maioria dos solos não é suficiente para atender toda demanda das culturas mais exigentes (AMADO et al. 2000). A liberação do N orgânico do solo é lenta durante o ano, enquanto a taxa de demanda das culturas requer maiores quantidades disponíveis na fase inicial de desenvolvimento (STANFORD, 1973).

Quando associado ao fornecimento de N pelas plantas de cobertura, que possuem liberação em sincronia com o período de maior necessidade pela cultura do milho, observa-se que a demanda de N é parcialmente ou totalmente suprida em alguns casos, como pode ser observado na tabela 7, onde o acúmulo deste nutriente na parte aérea do milho cultivado sem N-mineral, sobre os sistemas constituídos por ervilhaca comum, nabo forrageiro e centeio, foram estatisticamente iguais entre si, e ao verificado com o fornecimento de adubação nitrogenada em cobertura. Estudos de Giacomini et al. (2004) relatam que o acúmulo de N no milho em sucessão ao cultivo isolado de ervilhaca e nabo, não apresentam diferença significativamente entre si. Já o acúmulo de N na MS do milho sobre o centeio pode estar relacionado a relação C:N (21), considerada baixa para espécies gramíneas, o que promoveu a liberação de 54% de todo N ($84,7 \text{ kg ha}^{-1}$) presente em seus resíduos. Diferem assim dos resultados obtidos por Sullivan et al. (1991) citado por

Giacomini et al. (2004), com relatos que o milho sob plantio direto, em sucessão ao centeio acumulou menos N na fitomassa em relação ao cultivado sobre as leguminosas, sendo justificado pelo processo de imobilização microbiana de N do solo pela alta quantidade de resíduos produzidos pelo centeio ($6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e pela sua elevada relação C:N (59).

O acúmulo de N na parte aérea do milho (safra 2011/2012), sem adição de fertilizante nitrogenado, cultivado em sucessão a ervilhaca comum é 126% e 160% superior ao verificado sobre a aveia preta e o azevém, respectivamente (Tabela 7). Da mesma forma, Amado et al. (2000) verificaram em avaliação aos 95 dias após a emergência, que o uso da ervilhaca antecedendo a cultura comercial, em sistema de plantio direto, sem adição de N, proporcionou um acúmulo de N na fitomassa do milho 252% e 80% superior ao uso da aveia e do consórcio entre A+E, respectivamente. Isso confirma que a inclusão de leguminosas e brássicas, são importantes para os sistemas de produção de milho, em relação ao fornecimento de N (DONEDA, 2010).

Contudo, o maior acúmulo de N na fitomassa do milho sobre determinadas plantas de cobertura, não alterou a relação C:N de sua MS (Tabela 8), sendo constatada ausência de diferença estatística em relação aos sistemas de plantas em ambas as safras avaliadas. Para as safras 2010/2011 e 2011/2012 a relação C:N da fitomassa do milho apresentaram comportamento semelhante, onde sem adição de N-mineral em cobertura, foram encontrados valores para a relação C:N, em média, 1,5 vezes superiores àquela obtida com o fornecimento de adubação nitrogenada, estando diretamente relacionado a uma redução significativa de 29% e 35% na concentração de N na MS desta cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente, já que os teores de C orgânico presente não apresentaram variações (Tabela 8).

A concentração de N na folha bandeira de milho (Tabela 9), avaliada somente na safra 2011/2012, apresentou interação significativa entre as plantas de cobertura e doses de N-mineral, onde a utilização da ervilhaca comum como espécie antecessora ao milho, sem adubação nitrogenada, apresentou quantidade de N estatisticamente igual ao verificado sob cultivo com adubação em cobertura. Destaca-se que para a cultura do milho, o teor de N nas folhas é influenciado pelo fornecimento deste nutriente, e a relação entre essa concentração e o rendimento de

grãos encontra-se bem estabelecida (KILLORN; ZOURARAKIS, 1992; FERREIRA et al., 2001).

Tabela 8- Quantidades de nitrogênio total (N), carbono orgânico (C) e relação C:N da matéria seca do milho, cultivada em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Safr 2010/2011						Safr 2011/2012					
	C		N		Relação C:N		C		N		Relação C:N	
	-----g kg ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----	
Aveia preta	372	ns**	11,6	ns	37	ns	375	ns	9,8	ns	44	ns
TM***/Azevém	371		10,6		37		322		9,0		37	
Centeio	381		11,4		34		378		10,1		40	
Ervilhaca comum	378		10,6		38		364		11,1		34	
Tremoço branco	375		11,6		33		380		10,9		36	
Nabo forrageiro	371		12,4		31		379		10,5		38	
A+E	379		10,8		39		379		9,5		43	
A+E+N	379		10,7		37		378		10,3		39	
CV%	2,3		17		24		13		13		21	
ADUBAÇÃO NITROGENADA												
0 N	376	ns	9,3	b*	42	a	363	ns	8,0	b	47	a
180 N	375		13,1	a	29	b	376		12,3	a	31	b
CV%	1,6		14		19		13		13		21	

*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (P<0,05).

**ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Tabela 9- Médias de interação para concentração de nitrogênio total (N) presente nas folhas bandeiras de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial (safr 2011/2012). UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	ADUBAÇÃO NITROGENADA			
	0 N		180 N	
	----- N g kg ⁻¹ -----			
Aveia preta	11,6	c B*	23,0	a A
Azevém	13,7	bcB	23,7	a A
Centeio	14,4	bcB	23,7	a A
Ervilhaca comum	19,0	a A	21,5	a A
Tremoço branco	17,2	abB	22,4	a A
Nabo forrageiro	17,5	abB	22,2	a A
A+E	13,5	bcB	23,0	a A
A+E+N	14,6	abcB	21,5	a A

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

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

Dentre as culturas de inverno, sem adição de N-mineral em cobertura, os sistemas constituídos pela ervilhaca comum, tremoço branco e nabo forrageiro, apresentaram as maiores quantidades de N presente na folhas bandeira de milho (Tabela 9), demonstrando o potencial de fornecimento de N por essas espécies de plantas de cobertura do solo à cultura em sucessão.

4.2.3 Produtividade e Teor de Nitrogênio nos Grãos

O efeito das plantas de cobertura e as doses de N-mineral na produtividade de milho encontram-se na tabela 10. Observa-se que no primeiro ano de avaliação (2010/2011), não houve respostas significativas na produção de grãos de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura do solo. No entanto, a utilização de adubação com N-mineral no milho, promoveu rendimento de grãos, 30% superior em relação a produtividade encontrada nos sistemas sem adição de fertilizante nitrogenado. Ao estudar o desempenho de diferentes híbridos de milho, sobre as mesmas condições edafoclimáticas na região Sudoeste do Paraná, Modolo et al. (2010) encontraram produtividade média de 6,7 Mg ha⁻¹ de grãos, com adição de 152 kg ha⁻¹ de N-mineral.

Para a safra 2011/2012, a produtividade de milho apresentou interação significativa as plantas de cobertura e doses de N-mineral (Tabela 10). Verifica-se que o rendimento de grãos, sobre leguminosas e brássicas em cultivos isolados, sem adição de N-mineral foram similares ao obtido no cultivo de milho com fornecimento de 180 kg ha⁻¹ de N-mineral em cobertura. No entanto, a adubação de base realizada, foi calculada para a obtenção de produtividade média de 6 Mg ha⁻¹, dessa forma os demais nutrientes (P e K) podem estar atuando como limitadores da produtividade, e não somente pela ausência de N-mineral.

Estudos desenvolvidos por Heinrichs et al. (2001), evidenciaram que a utilização da ervilhaca possui capacidade de suprir a demanda de N na cultura do milho, para uma produtividade próxima de 5 Mg ha⁻¹ de grãos. Porém, no presente estudo a utilização da ervilhaca comum, proporcionou fornecimento de N suficiente para se obter rendimento de grãos superiores a 6 Mg ha⁻¹ (Tabela 10) sob ausência de adubação nitrogenada complementar na cultura comercial, promovendo produtividade 78% superior ao menor rendimento de grãos, encontrado no sistema contendo aveia preta sem N-mineral. Giacomini et al. (2004), ao comparar a

produtividade de milho sobre cultivos solteiros de ervilhaca e aveia durante três safras consecutivas, verificaram que o rendimento de grãos sobre a leguminosa superou em média 40% ($1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) à gramínea. O efeito positivo da ervilhaca sobre a produtividade de grãos de milho é citada por diferentes autores (AITA et al., 1994; PAVINATO et al., 1994; AITA et al., 2001; HEINRICHS et al., 2001; GIACOMINI et al., 2004) sendo justificado pela adição de N ao solo, via fixação biológica de nitrogênio, bem como à facilidade com que esse nutriente é liberado pelos resíduos durante o seu processo de decomposição (GIACOMINI et al., 2004). Indicando que a aplicação de N-mineral na cultura do milho, não apresenta efeito na produtividade de grãos, quando cultivado sobre resíduos desta leguminosa (AITA et al., 2001), para produtividades médias de milho.

Tabela 10- Médias de interação para produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N- mineral na cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Safr 2010/2011				Safr 2011/2012			
	0 N		180 N		0 N		180 N	
	----- Mg ha^{-1} -----				----- Mg ha^{-1} -----			
Aveia preta	4,0	ns*	5,6	ns	3,7	bB**	7,1	aA
TM***/ Azevém	3,6		5,2		4,4	abB	6,9	aA
Centeio	3,9		4,9		4,8	abB	7,9	aA
Ervilhaca comum	4,6		6,0		6,6	aA	6,6	aA
Tremoço branco	4,1		5,9		5,4	abA	6,2	aA
Nabo forrageiro	4,7		6,1		6,0	abA	7,1	aA
A+E	4,7		5,5		5,5	abB	7,8	aA
A+E+N	4,8		5,6		5,6	abB	7,6	aA
Médias	4,3	B	5,6	A	5,2	B	7,2	A

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

**Médias para interação, seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada safra agrícola, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Por outro lado, o baixo rendimento de grãos de milho sobre a aveia preta, na ausência de N mineral, está diretamente relacionado às elevadas quantidades de resíduos culturais adicionados, geralmente com alta relação C:N, promovendo a imobilização do N da palhada e inclusive parte do N mineral do solo, pelos microrganismos do solo, diminuindo temporariamente sua disponibilidade à

cultura, resultando em menor produtividade do milho em sucessão a essa gramínea (AITA et al., 1994; PAVINATO et al., 1994; DA ROS; AITA, 1996; AMADO et al., 2000; HEINRICHS et al., 2001; AITA et al., 2004).

Os sistemas constituídos pelo tremoço branco e o nabo forrageiro sem fornecimento de N-mineral na cultura comercial, bem como a ervilhaca comum, também promoveram rendimento de grãos de milho equivalentes ao verificado com a aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura (Tabela 10). Dessa forma, verifica-se a capacidade dessas espécies em contribuir parcial ou totalmente na disponibilização deste nutriente, atendendo a necessidade da cultura em sucessão.

Resultados obtidos por Giacomini et al. (2004) confirmam o potencial do nabo forrageiro como planta de cobertura, antecedendo o cultivo de milho. Ao longo de três anos de estudos na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, os autores verificaram produtividade média de 5,11 Mg ha⁻¹ de grãos. Aita et al, (2001) encontram para a mesma região anteriormente citada, rendimento médio de 4,38 Mg ha⁻¹ de grãos de milho cultivado sobre os resíduos culturais de tremoço azul, destacando ainda, que não houve resposta por parte da cultura principal em relação à adubação nitrogenada, quando cultivada sobre esta leguminosa. O incremento na produtividade do milho, cultivado sobre resíduos de nabo forrageiro e leguminosas também foi relatado por Jones (2008), sugerindo que o aumento no rendimento observado sobre a brássica, se deve ao efeito descompactador (*Biodrilling*) promovido pelo sistema radicular dessa espécie.

O teor de N presente nos grãos, em ambas as safras acompanhadas, não foram influenciados pelas plantas de cobertura utilizadas antecedendo a cultura comercial, apresentando quantidades médias de 15 g kg⁻¹ para a safra 2010/2011 e 11,5 g kg⁻¹ em 2011/2012 (Tabela 11).

A adição de N-mineral em cobertura na cultura do milho, promoveu maior concentração de N nos grãos, com médias 19 e 35% superiores ao verificado no milho cultivado sem adição de N-mineral, nas safras 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente (Tabela 11). Isso comprova, que além de ser um dos nutrientes mais relevantes para a obtenção de maiores rendimentos, a adubação nitrogenada promove melhoria na qualidade dos grãos em consequência do aumento nos teores protéicos (FERREIRA et al., 2001) diretamente relacionados a concentração de N presente nos tecidos vegetais.

Tabela 11- Concentração de nitrogênio total (N) nos grãos de milho cultivado em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, para as safras 2010/2011 e 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Safra 2010/2011	Safra 2011/2012
	----- N g kg ⁻¹ -----	----- N g kg ⁻¹ -----
Aveia preta	14,6 ns*	11,5 ns
TM ^{***} / Azevém	14,7	11,0
Centeio	15,1	10,8
Ervilhaca comum	15,2	12,3
Tremoço branco	14,8	12,2
Nabo forrageiro	15,3	11,9
A+E	15,1	11,1
A+E+N	15,2	11,4
CV%	6,3	8,2
ADUBAÇÃO NITROGENADA		
0 N	13,7 b ^{**}	9,8 b
180 N	16,3 a	13,2 a
CV%	7,9	8,5

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

*** Refere-se à utilização de trigo mourisco (TM) para o ano 2010, substituído pelo azevém em 2011. (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

Por outro lado a utilização da dose de 180 kg ha⁻¹ de N-mineral no milho, promoveu ausência de diferença significativa entre as culturas de coberturas, apresentando produtividade de milho entre 5,6 a 7,0 Mg ha⁻¹. Dessa forma, percebe-se que a ausência de adubação nitrogenada no milho, cultivado sobre resíduos de leguminosas e brássicas, proporcionaram produtividades similares ao obtido com o fornecimento de N-mineral ao milho cultivado sobre a aveia preta (Tabela 10).

4.3 ANÁLISES DO SOLO

4.3.1 Atividade Respiratória

Os resultados para a atividade respiratória dos microrganismos do solo, durante o processo de decomposição e liberação de nutrientes, estão apresentados na tabela 12. As diferentes plantas de cobertura somente influenciaram na taxa respiratória dos microrganismos aos 60 DAS do milho, onde os consórcios entre

espécies apresentaram comportamento distintos entre si (Tabela 12). Verificou-se para a combinação entre A+E+N, que a taxa respiratória foi significativamente inferior ao encontrado com o uso somente de A+E. Esse comportamento, pode estar relacionado a presença da brássica, uma vez que o nabo forrageiro em cultivo solteiro, também apresentou menores valores para a atividade respiratória em relação ao consórcio gramínea + leguminosa. Para Colozzi Filho et al. (2001) as espécies de cobertura apresentam efeitos diferenciados sobre a biomassa microbiana do solo.

Tabela 12- Atividade respiratória dos microrganismos do solo (mg de CO₂ g de solo⁻¹), aos 15, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho sobre as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha⁻¹ de N-mineral na cultura comercial, para a safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	ATIVIDADE RESPIRATÓRIA		
	15 DAS	60 DAS	90 DAS
	----- mg de CO ₂ g de solo ⁻¹ -----		
Aveia preta	3,6 ns*	7,72 ab**	3,0 ns
Azevém	4,2	7,88 ab	2,8
Centeio	4,1	7,57 ab	2,4
Ervilhaca comum	3,7	6,93 ab	2,6
Tremoço branco	3,2	7,35 ab	2,2
Nabo forrageiro	3,1	6,88 b	2,1
A+E	3,5	9,18 a	2,3
A+E+N	4,1	6,82 b	2,4
CV%	33,7	14,9	32,4
ADUBAÇÃO NITROGENADA			
0 N	3,8 ns	7,31 ns	2,7 ns
180 N	3,6	7,78	2,2
CV%	27,3	19,9	36,6

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Médias seguida pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05). (A+E)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)= consórcio entre Aveia+Ervilhaca+ Nabo.

As espécies pertencentes à família das brássicas possuem em seus tecidos, compostos originários do metabolismo secundário das plantas, produzidos com a finalidade de protegê-las do ataque de doenças e insetos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Esses compostos são os glucosinolatos (DAS; TYAGI; KAUER, 2000) que

durante o processo de decomposição, sofrem uma hidrólise enzimática formando gases biocidas, tais como: cianetos orgânicos, oxazolidinones, tiocianato iônico, glicose, e isotiocianatos (MORRA ; BOREK, 2010) tóxicos aos microrganismos do solo (PAPAVIZAS; LEWIS, 1971; RAMIREZ-VILLAPUDUA; MUNNECKE, 1988; LODHA; SHARMA; AGGARWAL, 1997). Em função da liberação dos gases tóxicos, durante o processo de decomposição, as brássicas têm sido estudadas para controle de fitopatógenos habitantes do solo através das biofumigação (SILVA et al., 2007; MOCCELLIN, 2008; MOTISI et al., 2009; MOCCELLIN, 2011).

O fornecimento ou não de adubação com N-mineral, não promoveu influencias significativas na atividade respiratória dos microrganismos do solo (Tabela 12), durante o processo de decomposição e liberação de nutrientes, concomitantemente ao desenvolvimento da cultura do milho.

4.3.2 N Amoniacal ($N-NH_4^+$)

Os resultados obtidos para a análise de N-mineral do solo, na forma N amoniacal, coletados junto ao processo de decomposição das plantas de cobertura, safra 2011/2012, durante o desenvolvimento do milho, estão apresentados na tabela 13. Verifica-se que não houve evidência das plantas de cobertura e doses de adubação nitrogenada apresentar influências sobre as concentrações $N-NH_4^+$ no solo para o ano de 2011/2012.

Verifica-se que as diferentes plantas de cobertura, bem como o fornecimento ou não de adubação nitrogenada na cultura do milho (Tabela 13) ocorrida entre os 30 e 45 DAS, não apresentaram influências na disponibilização de $N-NH_4^+$ ao solo, através do processo de mineralização do N. A ausência de diferenças significativas entre as culturas de coberturas e doses de N-mineral utilizado, pode estar relacionada a algum efeito metodológico justificado pelos elevados coeficientes de variação.

Tabela 13- Concentrações de $N-NH_4^+$ no solo, até os 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho sobre as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 $kg\ ha^{-1}$ de N-mineral na cultura comercial, safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Dias após a semeadura do milho (DAS)									
	15		30		45		60		90	
	----- mg de $N-NH_4^+$ kg^{-1} -----									
Aveia preta	5,3	ns*	17,2	ns	3,6	ns	22,4	ns	18,2	ns
Azevém	8,4		15,0		10,8		26,3		12,6	
Centeio	10,6		17,0		21,2		23,6		21,6	
Ervilhaca comum	11,7		11,1		11,1		36,0		14,8	
Tremoço branco	7,8		10,9		8,2		15,6		23,8	
Nabo forrageiro	5,5		24,0		21,2		49,9		26,8	
A+E	4,6		15,3		17,4		20,8		23,8	
A+E+N	7,9		14,4		11,9		9,3		16,9	
CV%	151,0		105,8		149,8		145,9		81,4	
ADUBAÇÃO NITROGENADA										
0 N	6,7	ns	18,0	ns	16,3	ns	24,4	ns	19,4	ns
180 N	8,8		13,5		10,1		26,5		20,2	
CV%	138,7		108,2		152,4		92,2		83,8	

*ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

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

4.3.3 N Nítrico ($N-NO_3^-$)

A forma de N nítrico apresentou resposta significativa ao uso das plantas de cobertura somente aos 15 DAS da cultura do milho (Tabela 14). Verifica-se que nesta fase inicial de decomposição dos resíduos, a ervilhaca comum, provavelmente devido a baixa relação C:N (9:1) de sua MS, promoveram maior liberação de N-mineralizado na forma de $N-NO_3^-$, tornando-o prontamente acessível à cultura do milho. No entanto essa espécie, somente se diferiu do tremoço branco.

Para os demais períodos de coleta (30, 45, 60 e 90 DAS), as plantas de cobertura não influenciaram nas concentrações de N nítrico na camada superficial do solo (Tabela 14).

Cabe ressaltar, que a aplicação de adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, ocorreu aos 33 DAS. Apresentando dessa forma, influência nas concentrações de $N-NO_3^-$ aos 45 DAS (Tabela 14), onde a aplicação de fertilizante nitrogenado promoveu um incremento de 36,7% na concentração de N nítrico

disponível no solo, em relação aos sistemas que não receberam a aplicação de N em cobertura na cultura comercial.

Tabela 14- Concentrações de N-NO_3^- no solo, aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho em sucessão as plantas de cobertura de inverno, com doses de 0 e 180 kg ha^{-1} de N-mineral na cultura comercial, safra 2011/2012. UTFPR Câmpus Dois Vizinhos-PR, 2013.

PLANTAS DE COBERTURA	Dias após a semeadura do milho (DAS)									
	15		30		45		60		90	
	mg $\text{N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$									
Aveia preta	21,6	ab*	16,8	ns**	3,6	ns	34,5	ns	19,3	ns
Azevém	22,4	ab	14,5		10,8		24,4		32,5	
Centeio	30,9	ab	17,2		21,2		11,3		17,8	
Ervilhaca comum	36,3	a	25,0		11,1		14,3		17,7	
Tremoço branco	18,4	b	19,5		8,2		14,4		24,6	
Nabo forrageiro	29,0	ab	24,6		21,2		20,1		23,6	
A+E	20,1	ab	20,9		17,4		16,6		15,2	
A+E+N	32,0	ab	16,1		11,9		23,7		24,1	
CV%	31,2		51,5		149,0		96,0		60,3	
ADUBAÇÃO NITROGENADA										
0 N	26,1	ns	17,9	ns	16,3	b	21,3	ns	21,5	ns
180 N	26,5		20,7		10,1	a	18,6		22,2	
CV%	26,5		52,7		152,0		100,6		62,8	

*Médias seguida pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

**ns: Médias não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

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

Tem-se o conhecimento da importância da umidade do solo após a aplicação de uréia em cobertura, devido o NH_4^+ e o OH^- , resultantes da hidrólise enzimática da uréia, serem transportados pela água para o interior do solo (LARA CABEZAS et al., 1997), onde será convertida a NO_2^- e posteriormente, para NO_3^- , resultando, no aumentando da disponibilidade de N nítrico ao solo e à cultura. No entanto, verifica-se que a partir da aplicação de fertilizante nitrogenado, o N possui efeito imediato, tornando tudo disponível em curto espaço de tempo. Pois, observa-se nas coletas subsequentes, aos 60 e 90 DAS, que as concentrações do N-NO_3^- já não foram mais suficientes para resultar em diferenças significativas entre as doses de fertilizante nitrogenado em cobertura (Tabela 14). Ou seja, toda a porcentagem de N que estavam disponíveis a mais, ou foi absorvido pela cultura comercial, ou imobilizado pelos microrganismos, sofreu lixiviação no perfil do solo e/ou ainda transformações para outras formas.

Para Vezzani (2001), o sistema solo na produção agrícola é resultado de uma rede de relações não lineares entre os minerais, as plantas e organismos edáficos presentes no ambiente. Os fluxos que passam pelo sistema solo são dirigidos pelo fluxo de compostos orgânicos, constituído pela matéria vegetal adicionada através das culturas e transformada pela biota edáfica, resultando na produção de uma sequência de compostos orgânicos intermediários com tempo variável de permanência no solo. Parte destes compostos, resultantes da atividade microbiana, através da respiração e decomposição do material orgânico, passa de estruturas ordenadas de grande peso molecular para pequenas moléculas (CO_2 , CH_4 , N_2O e NO_3^-), todas indesejáveis ambientalmente, quando em excesso (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Dessa forma, percebe-se que não houve nenhum sistema que a presença de N-NO_3^- sobressaísse em relação aos demais.

Por outro lado, a ausência ou baixa resposta obtida nas variáveis de solo analisados demonstra que a influência dos tratamentos em termos de plantas, ainda não resultou em diferenças no solo o que provavelmente irá ocorrer com a estabilização do sistema em plantio direto, o que para alguns autores somente ocorre após 3-5 anos de condução do sistema.

5. CONCLUSÕES

A aveia preta, isolada e consorciada, promove elevada taxa de cobertura do solo aos 49-50 DAS.

Gramíneas para cobertura do solo sejam isoladas ou consorciadas, proporcionam maior produtividade de MS.

O consórcio entre A+E+N apresenta acúmulo total de N na MS de até 90 kg ha⁻¹, similar ao uso exclusivo de ervilhaca comum.

Gramíneas apresentam maior período de cobertura do solo e com isso maior potencial de proteção, mas menor liberação de N para as culturas em sucessão, não ultrapassando 40% do acumulado nos resíduos até a fase de enchimento dos grãos de milho.

A ervilhaca comum possui acelerado processo de decomposição e disponibilização de N, liberando 80% deste nutriente nos primeiros 45 DAS do milho, possuindo baixa capacidade de proteção do solo.

O sistema ervilhaca comum sem adição de fertilizante nitrogenado, proporciona, maior concentração de N na folha bandeira de milho, equiparando-se aos sistemas com fornecimento de N-mineral na dose de 180 kg ha⁻¹.

O uso de leguminosas ou brássica isoladas, sem adubação nitrogenada promovem rendimento de grãos de milho similar aos sistemas com adição de até 180 kg ha⁻¹ de N, para níveis médios de produtividade.

A adubação mineral promove disponibilização imediata de N na forma de N-NO₃⁻.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente estudo foram obtidos em área com SPD, durante os primeiros dois anos de instalação. Possivelmente, a partir da fase de estabilização e posterior consolidação do sistema, as variações entre as plantas de cobertura utilizadas no período de inverno e a complementação com doses de N-mineral em cobertura na cultura comercial de verão, poderão se apresentar de forma mais expressivas.

Estudos desenvolvidos na região Sul do país, demonstraram a eficiência da ervilhaca na disponibilização de N, influenciando de forma positiva o rendimento de grãos da cultura em sucessão, como o milho. Neste estudo, os resultados surpreenderam positivamente, pelo desempenho dessa espécie, mesmo com recente instalação do SPD.

Os rendimentos de grãos de milho, em sucessão as leguminosas e brássica, sem o fornecimento de adubação nitrogenada, possibilitaram à obtenção de produtividade equivalente a aplicação de 180 kg ha^{-1} de N-mineral, sendo esta, uma forma de diminuir os custos de produção, principalmente em propriedades de agricultura familiar. No entanto, deve-se realizar o planejamento do SPD, através da rotação de culturas, também visando o aporte e a manutenção de palhada em superfície.

Embora a aveia apresente a capacidade de produzir elevadas quantidades de MS, possibilitando a diminuição dos processos erosivos do solo, principalmente em regiões com predominância de áreas declivosas. Sua utilização de forma isolada, antecedendo o cultivo de milho, em função de sua relação C:N alta, pode proporcionar imobilização de N, tornando-o temporariamente indisponível para as culturas subsequentes. No entanto, verificou-se no presente estudo, a possibilidade de fornecimento de N as culturas comerciais, através da simples combinação entre essa espécie gramínea com uma leguminosa + brássica. Por proporcionar maior acúmulo de N na composição dos tecidos vegetais do sistema de cobertura, promovendo uma relação C:N intermediária ao uso gramíneas e leguminosas solteiras. Assim, possibilita a obtenção de maior número de características desejáveis, em relação ao uso de cada espécie de forma isolada. Tornando-se uma excelente opção para ser introduzida no período de inverno.

Mesmo assim, são necessários maiores estudos em relação as características químicas, físicas e biológicas do solo, influenciadas pelo uso de plantas de cobertura, antecedendo os cultivos comerciais ao longo do tempo na região Sudoeste do estado.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, José A da A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema de plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho**. Tese de doutorado, Santa Maria, 2009.

AGROLINK. **Plantio Direto é destaque no Paraná**. Abril 2011. Disponível: http://www.agrolink.com.br/culturas/milho/noticia/plantio-direto-e-destaque-no-parana_129057.html Acessado em: 09/11/2012.

AITA, Celso et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p.101-108, 1994.

AITA, Celso. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. UFSM/Depto de Solos, Santa Maria, p.76-111, 1997.

AITA, Celso et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.157-165, 2001.

AITA, Celso; GIACOMINI, Sandro 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, Celso et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.739-749, 2004.

ALEF, Kassem. Estimation of soil respiration. In: ALEF, Kassem.; NANNIPIERI, Paolo. **Métodos in applied soil microbiology and biochemistry**. Academic Press, 576 p, 1995.

ALVARENGA, Ramon C.; CABEZAS, Waldo A. L.; CRUZ, José C. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Santana, 2001.

ALVES, Allyson R. et al. Decomposição de resíduos vegetais de espécies da Caatinga, na região de Patos, PB. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.1, n.1, p.57-63, 2006.

AMADO, Telmo J. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, Telmo J.; MIELNICZUK, João. Plantio direto e rotação de culturas com leguminosas - uma excelente combinação para promover o incremento da

capacidade produtiva do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo v.50, p.23-27,1999.

AMADO, Telmo J. Sequestro de carbono em plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. In: CONFERÊNCIA ANUAL DA REVISTA PLANTIO DIRETO 4., Passo Fundo, 1999. **Anais...** Passo Fundo: Aldeia Norte, p.44-51, 1999.

AMADO, Telmo J.; MIELNICZUK, João.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.179-189, 2000.

AMADO, Telmo J et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.

AMADO, Telmo J.; MIELNICZUK, João; AITA, Celso. 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.

ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE.A.L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Part 2. Madison: ASA/SSSA, p.831-871. 1982.

ARAÚJO, A. A. **Forageiras para ceifa**. Porto Alegre: Sulina, 154.p, 1967.

ARGENTA, Gilber et al. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.851-860, 2001.

ARGENTA, Gilber et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.109-119, 2003.

BALBINOT Jr., Alvadi A.; MORAES, Anibal de.; BACKES, Rogério L. Efeito de coberturas de inverno e sua época de manejo sobre a infestação de plantas daninhas na cultura de milho. **Planta Daninha**, Viçosa v. 25, n. 3, p. 473-480, 2007.

BALOTA, Elcio et al. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.137-145, 2004.

BAYER, Cimélio. **Dinâmica da material orgânica em sistemas de manejo de solos**. Tese Doutorado em Ciências do Solo. 1996, 240f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1996.

BEVILAQUA, Gilberto A. P. et al. **Indicações técnicas para produção de sementes de plantas recuperadoras de solo para a agricultura familiar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.43, 2008.

BHERING, Silvio B. et al. **Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Floresta: Embrapa Solos, 2008.

BITTENCOURT, Henrique H. **Culturas de cobertura de inverno na implantação de sistema de plantio direto sem uso de herbicida**. 2008, 65.f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

BREDEMEIER, Christian; MUNDSTOCK, Claudio. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.

BREMNER, J. M. Organic nitrogen in soils. In: BARTHOLOMEW, W.V. (Ed) **Soil nitrogen**. Madison:ASA/SSSA, p.93-149, 1965.

BOLLIGER, Adrian et al. A taking stock of the Brazilian “zero-till revolution”: A review of landmark research and farmers practice. **Advances in Agronomy**, v.91, p.47-110, 2006.

BORKERT, Clóvis M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BOTARO, Juliana A. **Otimização para a obtenção de extrato aquoso de tremoço branco (*Lupinus albus* L.) adicionado de suco de pitanga**. 2010. 99.f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. “Júlio de Mesquita Filho”, 2010.

BURLE, Marília L. et al. Caracterização das espécies de adubo verde. **Cerrado Adubação Verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p.71-142. 2006.

CALEGARI, Ademir. **Plantas para adubação verde de inverno no Sudoeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, (Boletim Técnico, 35), 37p. 1990.

CALEGARI, Ademir et al. **Adubação verde no sul do Brasil**. AS-PTA, Rio de Janeiro, 346p. 1993.

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

CAMARGO, Flávio A. de O. **Fracionamento e dinâmica do nitrogênio orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 151.f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

CAMARGO, Flávio A. de O.; GIANELLO, Clesio.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio orgânico em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.575-580, 1997.

CAMARGO, Flávio A. de O.; GIANELLO, Clesio.; VIDOR, C. Nitrogen fractions in the microbial biomass in soils in southern Brazil. . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.181-185, 1999.

CAMARGO, Flávio A. de O. et al. Nitrogênio Orgânico do Solo. In: SANTOS, Gabriel de A. et al. (Ed.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed.rev. e atual., Porto Alegre, 654.p, 2008.

CARVALHO, Arminda M. de. **Uso de plantas de condicionantes com incorporação e sem incorporação ao solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. (Tese doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília. 2005. 369 p. IN: Cerrado Adubação Verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2006.

CARVALHO, Arminda Moreira de.; AMABILE, Renato Fernando. **Cerrado Adubação Verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 369p. 2006.

CARVALHO, Igor 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.

CARVALHO, Arminda M de et al. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1200-1205, 2011.

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

CERETTA, Carlos A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

CERETTA, Carlos A.; FRIES, M.R. **Adubação nitrogenada no sistema Plantio Direto**. In: NUERNBERG, N.J. (Ed). **Conceitos e fundamentos do sistema Plantio Direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, p.160, 1998.

CHEN, Guihua; WEIL, Ray. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil & Tillage Research**, v.117, p.17–27, 2011.

COLOZZI FILHO, Arnaldo; ANDRADE, Diva S.; BOLOTA, Elcio L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.84-91, 2001.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA: **Indicações Técnicas para a Cultura da Aveia (Grãos e Forrageira)**. – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Passo Fundo, 87p. 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos.** Brasília: Conab, 2013. Disponível: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_44_20_boletim_graos_janeiro_2013.pdf Acessado em: 16 jan. 2013.

CONCEIÇÃO, Paulo C.; AMADO, Telmo J. C.; MIELNICZUK, José; SPAGNOLLO, E. 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, n.5, p.777-788, 2005.

CORRÊA, Luiz A. Plantio direto em milho. **Milho/Tecnologia de Produção**. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v.6, n.72, dez.1980.

COSTA, M. Baltasar B et al. **Adubação verde no Sul do Brasil**. AS-PTA, Rio de Janeiro, 342.p, 1992.

CRUSCIOL, Carlos A. C. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

DAROLT, Moacir R. Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, **Circular**, 101, 255p. 1998.

DA ROS, Clóvis O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

DA ROS, Clóvis O; AITA, Celso. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.1, p.135-140, 1996.

DAS, Srinibas; TYAGI, Amrish K; KAUR, Harjit. Cancer modulation by glucosinolates: A review. **Current Science**, v.79, p.1665 - 1671, 2000.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132, 2007.

DERPSCH, Rolf.; CALEGARI, Ademir. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), 96p. (Documentos IAPAR, 9). 1985.

DERPSCH, Rolf; CALEGARI, Ademir. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 80p. (Circular, 73). 1992.

DERPSCH, Rolf.; SIDIRAS, Nikollaos.; HEINZNANN, Franz. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.20, p.761-773, 1985. IN: Cerrado Adubação Verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2006. 369 p.

DONEDA, Alexandre. **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.

ELGERSMA, Anjo.; HASSINK, Jan. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Plant Soil**, v.197 p.177-186, 1997.

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

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa. 2ªed. Revisão Ampliada. Brasília DF: Embrapa Informações Tecnológica, 627p. 2009.

FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. 2.ed. New York : Longman Scientific e Technical, 1981. 438p.

FANCELLI, Antonio L.; DOURADO NETTO, Durval. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FARINATI, Luis H. E. et al. Avaliação de diferentes cultivares de Azevém no desempenho de bezerras. IN: XXI Reunião do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul, PELOTAS-RS, **Anais...**, 2006.

FEBRAPDP. Plantio Direto – tecnologia que mudou a visão do produtor. Boletim Informativo, 2010. n.39. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/informativo/bol39.2010.pdf> Acessado: 29/01/2012.

FEBRAPDP. Plantio direto, exemplo de sustentabilidade! Fevereiro, 2011. Disponível em: http://www.agrisus.org.br/arquivos/artigo_plantio_direto_mauricio.pdf Acessado em: 29/05/2011.

FERREIRA, Alexandre C. de B. et al. Características agronômicas e nutricionais do Milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.131-138, 2001.

FILHO, Roblein C. C.; QUADROS, Fernando L. F. de. Produção animal em misturas forrageiras de estação fria semeadas em uma pastagem natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.2, p.289-293, 1995.

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

FLOSS, Elmar L. **Manejo forrageiro de aveia (*Avena sp*) e azevém (*Lolium sp*).** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, v.9,1988. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. 358p.

FLOSS, Elmar L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.57, ed.1, p.25-29, 2000.

FONTOURA, Sandra M. V.; BAYER, Cimélio. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, 1721-1732.p, 2009.

FORMENTINI, Edgar A. et al. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem** (Cartilha Sobre Leguminosas). Vitória, 2008.

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

GALVAN, Jônatas; RIZZARDI, Marcel.; CARNEIRO, Cerci M. Caracterização anatômica de órgãos vegetativos de *Lolium multiflorum* Lam. sensível e resistente ao glifosato. **XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas**. Ribeirão Preto, SP. 2010.

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

GIACOMINI, Sandro J. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.751-762, 2004.

HEINRICH, R et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C:N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 331-340, 2001.

HEINZMANN, Franz. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, 1985. IN: Cerrado Adubação Verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2006. 369p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 11/08/2010.

IGUE, K. et al. **Adubação Orgânica**. Londrina: IAPAR (Informe da Pesquisa, 59). 1984. 18p.

JONES, B. Agronomy Extension Research Update - Cover Crop Effects on Corn Silage [Online]. Virginia Tech. University, Extension. 2008.

KENNEDY, Ann; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, v.170, p.75-86, 1995.

KICHEL, Armindo N; MIRANDA, Cesar H. B. Uso de aveia como planta forrageira. Embrapa, Campo Grande, MS. N°45. ISSN 1516-5558. 2000. <http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD45.html>

KILLORN, R; ZOURARAKIS, D. Nitrogen fertilizer management effects on corn grain yield and nitrogen uptake. **Journal of Production Agriculture**, v.5, p.142-148, 1992.

KLIEMANN, Humberto J; BRAZ, Antonio J. P. B; SILVEIRA, Pedro M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.21-28, 2006.

LARA CABEZAS, Waldo A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LIU, Kesi; WIATRAK, Pawel. Corn (*Zea mays* L.) plant characteristics and grain yield response to N fertilization programs in no-tillage system. **American Journal of Agricultural and Biological Science**. v.6, n.2, p.279, 2011.

LODHA, Satish; SHARMA, S.K.; AGGARWAL, R.K. Solarization and natural heating of irrigated soil amended with cruciferous residues for improved control of *Macrophomina phaseoli*. **Plant Pathology**. v. 46, p. 186-190, 1997.

LOVATO, Thomé; MIELNICZUK, João; BAYER, Cimélio; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.1, p. 175-187, 2004.

McNEIL, A.M.; WOOD, M. ¹⁵N estimates of nitrogen fixation by white clover (*Trifolium repens* L.) growing in a mixture with ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Plant Soil**, v.128, p.265-273, 1990.

MEDRADO, Renata D et al. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.12, n.2, p.097-107, 2011.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern, International Potash Institute. 1978. 593p.

MITTELMANN, Andréa et al. Variabilidade entre plantas de azevém para caracteres relacionados à precocidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1249-1250, 2004.

MITIDIERI, José. **Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais**. São Paulo: Nobel. 1983. 198p.

MODOLO, Alcir J. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.435-441, 2010.

MONEGAT, C. Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, **Edição do Autor**, 1991. 337p.

MORAES, Y. J. B. **Cultura do azevém (*Lolium multiflorum*)**. In: ASSOCIAÇÃO GABRIELENSE DE MELHORAMENTO E RENOVAÇÃO DE PASTAGENS, 1963, São Gabriel. Anuário...São Gabriel: Associação Gabrielense de Melhoramento e Renovação de Pastagens, p.18-21, 1963.

MORRA, Matthew; BOREK, Vladimir. Glucosinolate preservation in stored Brassicaceae seed meals. **Journal of Stored Products Research**, v. 46, p. 98-102, 2010.

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

MOTISI, Natacha et al. *Growing Brassica juncea* as a cover crop, then incorporating its residues provide complementary control of *Rhizoctonia* root rot of sugar beet. **Field Crops Research**, v. 113, p. 238-245, 2009.

NASCIMENTO JUNIOR, Alfredo et al. **Cultivo de centeio**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. (Embrapa Trigo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Centeio/CultivodeCenteio_2ed/index.htm. Acessado: 28/03/2011.

OLIVEIRA, F. H. T. et al. **Fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, v.2, p.393-486, 2002.

OLIVEIRA, Tadário K de.; CARVALHO, Gabriel J de.; MORAES, Raimundo N de S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.8, p.1079-1087, 2002.

PARKINSON, Dennis.; COLEMAN, David C. Methods for assessing soil microbial populations, activity and biomass-Microbial communities, activity an biomass. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.34, p.3-33, 1991.

PAVINATO, Aurélio et al. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.1427-1432, 1994.

PAPAVIZAS, G.C.; LEWIS, J.A. Effect of amendments and fungicides on *Aphanomyces* root rot of peas. **Phytopathology**, v. 61, p. 215-220, 1971.

PEREIRA, José; SILVA, M. A. da S. Cultivo de tremoço nos Cerrados: Observações preliminares. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, (**Comunicado Técnico, 43**), 1985.

PEREIRA, Aloísio R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas para controle de erosão**. 1º Ed. Planejamento e Tecnologia: plantha LTDA, 2006.

PESTER, Tood. Allelopathic effects of rye (*Secale cereale* L.) and their implications for weed management - a review. 1998. In: **Cultivo de centeio**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. (Embrapa Trigo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Centeio/CultivodeCenteio_2ed/index.htm. Acessado: 28/03/2011.

PIETERS, A. J. **Green manuring**. Principles and practices. New York: John Wiley, p.10-16, 1927 Apud NEGRINI, Ana C. A. **Desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) consorciada com diferentes adubos verdes**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 2007. 113.f Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PIRAÍ SEMENTES. **Adubação Verde e Cobertura Vegetal**. Disponível em: http://www.pirai.com.br/texto-a5-adubacao_verde_e_cobertura_vegetal.html
Acessado em: 28/03/2012.

PITOL, Carlos. A cultura de aveia e sua importância para a MS. Maracaju: COTRIJUÍ, (**Boletim Técnico, 1**) 35.p, 1986. IN: Cerrado Adubação Verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 369.p, 2006.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

RAIJ, Bernardo. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1991. 343p.

RAIMBAULT, T. J; VYN, T. J; TOLLENAAR, M. Corn response to rye cover crop, tillage methods, and planter options. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 2, p. 287-290, 1991. In: Cultivo de centeio. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. (Embrapa Trigo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Centeio/CultivodeCenteio_2ed/index.htm. Acessado em: 28/03/2011.

RAMIREZ-VILLAPUDUA, J.; MUNNECKE, D.E. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f. sp. *Conglutinans* and other organism. **Phytopathology**, v. 78, p. 289-295, 1988.

RANELLS, Noah; WAGGER, Michael G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal**, v.88, p.777-782, 1996.

REIS, Gustavo dos et al. Decomposição de culturas de cobertura no sistema de plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.27, n.1, p.194-200, 2007.

ROBERTSON, G. Philip; PAUL, Eldor A; HARWOOD, Richard R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radioactive forcing of the atmosphere. **Science**, 289, 1922-1925 p. 2000.

ROSSATO, Rodrigo R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 2004, 129.f, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

SÁ, João C. M et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, 1486-1499p. 2001.

SALTON, J. C. O plantio direto no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO NOS TRÓPICOS SUL-AMERICANOS, 1., 2001, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p.13-15.

SANTI, Antônio L; AMADO, Telmo; ACOSTA, José Alan de Almeida. Adubação nitrogenada na aveia preta. I - influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1075-1083, 2003.

SANTI, Antônio; DALMAGO, G. A; DENARDIN, J. E. **Potencial de seqüestro de Carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007, 8p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 78). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do78.htm. Acesso em: 15 jul. 2011.

SANTOS, Henrique P dos. et al. **Leguminosas anuais de inverno**. In: FONTANELI, Renato S.; SANTOS, Henrique P dos.; FONTANELI, Roberto S. (Ed.). Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira. Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2009a. 340p.

SANTOS, Henrique P et al. Gramíneas anuais de inverno. 2009. IN: FONTANELI, Renato S; SANTOS Henrique P; FONTANELI, Roberto S. **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira**. 2009b. 340p.

SCHIMIDT, E. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F. J.; BREMNER, J. M.; HAUCK, R. D.; KEENEY. D. R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 940 p. (Agronomy Series, 22), 1982.

SEAB/DERAL. **Análise da conjuntura agropecuária: Milho safra 2010/2011**. Disponível em: http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2010_11.pdf. Acessado em: 17 mar. 2011.

SEAB/DERAL. **Análise da conjuntura agropecuária: Milho safra 2011/2012.** Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2011_12.pdf
Acesso em: 19 nov. 2012

SEAB/BERAL. **Análise da conjuntura agropecuária 2011/2012: Leite.** Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/leite_2012.pdf
Acesso em: 17 jan. 2013.

SEMEATA. **Cobertura do Solo.** Disponível em: <http://www.semeata.com.br/?sessao=categorias&IP=cobertura-de-solo> Acessado em: 29 mar 2012.

SERRANA FERTILIZANTES. **Boletim Técnico Fertilizantes: Dinâmica do Nitrogênio no Solo.** 6p., 2000. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/3188358/Dinamica-do-Nitrogenio-no-Solo>, Acessado em: 21 jan. 2013.

SEVERINO, Liv S et al. Mineralização de torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra.** v.5, n.1, 2004.

SILVA, Alciane et al. Efeito de resíduo de repolho e da solarização do solo sobre as doenças causadas por *Sclerotium rolfsii* em feijão-vagem. In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2007, Curitiba. **ANAIS....** Curitiba : UTFPR, 2007. v. 1. p. 11-14.

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

SILVA Adriano A. da; SILVA, Paulo R. F. da; MINETTO, Tarcísio et al. Desempenho agrônomo e econômico do milho irrigado em sucessão a espécies inverniais de cobertura de solo e/ou para produção de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.620-627, 2008.

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

SILVA, Denise F. et al. **Análise de nitrato e amônio em solo e água.** Embrapa Milho e Sorgo (Documentos), 2010. 55p.

SIQUEIRA, J. O; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo.** MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, Brasília, p. 125-177, 1988.

SOUSA, Djalma M. G de.; LOBATO, Edson. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G de.; LOBATO, G. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.129-145, 2004.

SOUZA, Edicarlos D. de et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. **Acta Science Agronomy**, v.28, n.3, p.323-329, 2006.

SOUZA, Monique. et al. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.1, p.21-27, 2013.

STANFORD, George. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **Journal of Environmental Quality**., v.2, p.159-166, 1973.

STEINER, Fábio; FEY, Rubens; ZOZ, Tiago; COSTA, Luciana. Produção de biomassa e relação C:N da aveia preta submetida a fontes e doses de nitrogênio. **Global Science and Technology**, v.02, n.3, p.29-37, 2009.

STEVENSON, F.J. Origem and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F.J. (Ed). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA/SSSA, p. 1-14, 1982a.

STEVENSON, F.J. Organic forms of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J. (Ed). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA/SSSA, p.67-122, 1982b.

STOTZKY, Guenther. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. v.2, p.1550-1570, 1965.

STRIEDER, Mércio L et al. Época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura em milho e espécies antecessoras de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.879-890, 2006.

SULLIVAN, Preston; PARRISH, David; LUNA, John. Cover crop contributions to N supply and water conservation in corn production. **American Journal of Alternative Agriculture**, 6, pp 106-113, 1991. Apud GIACOMINI, Sandro J. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.751-762, 2004.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 722.

TEDESCO, Marino J; VOLKWEISS, Sérgio J; BOAHNEN, Humberto. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Ed.UFRGS (Boletim Técnico), 1985.

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

TIAN, G. Effects of soil degradation on leaf decomposition and nutrient release under humid tropical conditions. **Soil Science**. Baltimore, v.163, p.897-906, 1998.

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

VASCONCELLOS, Carlos A; VIANA, Maria C M; FERREIRA, José J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.1835-1945, 1998.

VEZZANI, Fabiane M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001, 184.f, Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

VEZZANI, Fabiane M.; MIELNICZUK, João. Revisão de Literatura: Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.743-755, 2009.

VILANOVA, C.C. **Sistema de plantio direto de cebola**: contribuições das plantas de cobertura no manejo ecológico de plantas espontâneas. 2011. 76f. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

WIEDER, R. Kelman; LANG, Gerald E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, ed.6, v.63, p.1636-1642, 1982.

WIETHÖLTER, Sirio. **Adubação nitrogenada no sistema Plantio Direto**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1996. 44p.

WUTKE, Elaine B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A. e MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). **I Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico 1993. p.17-29. (Documentos IAC, 35).

