

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ANA REGINA DAHLEM ZIECH

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO SOB ADUBAÇÃO
NITROGENADA E PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO**

TESE

PATO BRANCO

2016

ANA REGINA DAHLEM ZIECH

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO SOB ADUBAÇÃO
NITROGENADA E PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO**

Tese 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 Doutora em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

PATO BRANCO

2016

Z65s Ziech, Ana Regina Dahlem.
Sistemas de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura do solo – Pato Branco: [s.n], 2016.
84f.:il.

Orientador: Paulo Cesar Conceição
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Pato Branco, 2016.
Bibliografia p.72-80

1.Milho 2. Cultivos de cobertura I.Conceição, Paulo César, orient. II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco.III.Título.

CDD: 631.523

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB:9/1745



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 Tese nº 019

SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA E PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

por

ANA REGINA DAHLEM ZIECH

Tese apresentada às oito horas do dia 16 de maio de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de DOUTORA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Augusto Vaghetti Luchese
UFPR Câmpus Palotina

Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor
UTFPR Câmpus Dois Vizinhos

Dr. Vitor Cauduro Girardello
UTFPR Câmpus Dois Vizinhos

Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Giovani Benin
Coordenador do PPGA

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

Aos meus pais, Inês Maria e Jorge Dahlem que permitiram e apoiaram meu afastamento do convívio familiar em busca de conhecimento e de novas oportunidades.

Ao meu esposo, o grande incentivador de todas as minhas conquistas. Com você, tudo parece mais simples e fácil.

Meu esforço é dedicado a vocês!

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelos caminhos e experiências oportunizadas durante minha jornada. Essa louca e intensa jornada, que se chama vida.

Àquele que é o grande incentivador de todas as minhas vitórias, me fazendo acreditar que consigo vencer cada novo desafio. Meu querido e amado companheiro de vida Magnos Fernando Ziech, obrigado por todo apoio, compreensão, paciência, carinho e auxílio nas atividades realizadas ao longo do período.

Ao meu orientador, professor Dr. Paulo Cesar Conceição, pela oportunidade da orientação em mais esta etapa de minha qualificação profissional. Por todo incentivo, pelos ensinamentos, conselhos, amizade, paciência e principalmente pela compreensão e confiança depositada.

Aos meus pais, Inês e Jorge Dahlem que mesmo com pouca oportunidade de estudo, me repassaram os ensinamentos básicos, porém, fundamentais para formação dos valores pessoais, além do carinho, preocupação e compreensão dedicada.

Aos bolsistas de iniciação científica Taís Gabriele Garmus, Carlos Theodoro Heberle e Cidimar Cassol, por todo apoio, auxílio nas atividades realizadas sob minha supervisão, e em especial, pela condução do experimento e execução das análises na minha ausência.

A todos os colegas e amigos, que passaram e/ou permanecem no Grupo de Pesquisa de Manejo e Conservação do Solo, que sempre estiveram dispostos a ajudar nas atividades realizadas, nas diferentes etapas de execução do projeto ao longo destes últimos quatro anos.

A UTFPR câmpus Dois Vizinhos e Pato Branco pela disponibilização da infraestrutura, professores, funcionários e profissionais de campo que colaboraram com as atividades.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Aos colegas do IFMS pelo incentivo e flexibilidade para realizar atividades referente a tese.

Aos membros da banca examinadora por terem atendido ao convite, pela compreensão em relação aos prazos e às contribuições pessoais para melhoria do trabalho.

Aos familiares e amigos pelo incentivo, apoio e compreensão.

A todos estes e as demais pessoas, que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização e finalização deste trabalho, deixo aqui o meu **MUITO OBRIGADO!**

O plantio direto é muito mais do que simplesmente semear sem virar a terra.

Sr. Amadeu Bortolini

Produtor Rural

A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

ZIECH, Ana Regina Dahlem. Sistemas de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura do solo. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O sistema plantio direto é o modelo predominante no cenário agrícola da região Sul do país. Assim, a utilização de plantas de cobertura é relevante em função do aporte de fitomassa, para proteção do solo em superfície e contribuição na ciclagem e/ou fixação de nutrientes, em especial o nitrogênio (N), com liberação para a cultura subsequente. Dentre as espécies hibernais, é constatado uso predominante da aveia para obtenção de palha no sistema. Embora aporte elevadas quantidades de resíduos, não é a espécie preferencial para anteceder o cultivo de milho, cereal de expressiva importância na região Sudoeste do Paraná. Objetivou-se avaliar a capacidade produtiva do milho em plantio direto, na ausência ou presença de adubação nitrogenada em cobertura, sobre resíduos de plantas de cobertura hibernais nas condições edafoclimáticas da região Sudoeste do Paraná. A instalação do plantio direto foi realizada em 2010 na área experimental pertencente à UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, sob Latossolo Vermelho. Para o presente estudo, foram utilizados dados referentes a três safras agrícolas (2012/2013; 2013/2014 e 2014/2015). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais foram constituídas por plantas de cobertura (aveia preta, azevém, centeio, nabo forrageiro, ervilhaca comum, tremoço branco, consórcio Aveia+Ervilhaca e Aveia+Ervilhaca+Nabo), que antecederam a cultura do milho. Nas subparcelas, foram utilizadas duas doses de adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N), em cobertura na cultura do milho. As maiores taxas de cobertura ocorreram nos consórcios, com 95% aos 62 dias após a semeadura das espécies. O efeito residual da dose 180 kg ha⁻¹ de N, incrementou 4,8% a taxa de cobertura das plantas hibernais no ano seguinte. O efeito residual dos 180 kg ha⁻¹ de N no sistema milho/plantas de cobertura, reduziu 21% a relação C/N das poáceas. A ervilhaca comum acumulou 32 kg de N para cada tonelada de matéria seca (MS) adicionada. A aveia preta e o centeio mantem mais de 50% dos resíduos em cobertura do solo, após 120 dias, enquanto o azevém e ervilhaca comum proporcionam baixa proteção. Consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo, ervilhaca comum e tremoço branco, liberaram as maiores quantidades de N, entre 52 e 59 kg ha⁻¹. Fabáceas, brássica e consórcios influenciam positivamente o diâmetro e comprimento de espigas, número de grãos por fileira e número total de grãos por espiga de milho, sob ausência de N mineral. A massa de mil grãos é aumentada em 12,4% pela adição de 180 kg ha⁻¹ de N mineral. O incremento médio de produtividade de grãos pela adição de 180 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N é de 2,1 Mg ha⁻¹ de grãos de milho sobre fabáceas, brássica e consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo, e de 5,6 Mg ha⁻¹ de grãos em sucessão a poáceas. Os consórcios aportaram quantidade entre 4,0 a 6,4 Mg ha⁻¹ de MS nos anos de estudo. Não há efeito da aplicação de N mineral para os componentes de rendimento do milho, quando cultivado sobre ervilhaca comum. Sistemas compostos por fabáceas, brássica e consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo, antecedendo o milho, na ausência de N mineral, proporcionam produtividades de grãos similares aos sistemas com adição de 180 kg ha⁻¹ de N.

Palavras-chave: Culturas de cobertura. Plantio direto. Produtividade de grãos. *Zea mays*

ABSTRACT

ZIECH, Ana Regina Dahlem. Maize production systems under nitrogen fertilization and soil cover crops. 84f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Plant Production), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2016.

The no-tillage system is the predominant model in the agricultural scenario of southern Brazil. Thus, the use of cover crops is significant due to the addition of biomass to protect the soil surface, and contribute to the cycling and/or fixing of nutrients, and in particular nitrogen (N) with liberation for the subsequent culture. Among the cool season species, it was found predominant use of oat to obtain straw to system. Though large quantities input of residue is not the preferred species to precede the corn, cereal with relevant importance in the Paraná Southwest region. It was aimed to evaluate the productivity capacity of corn in no-tillage, in the absence or presence of nitrogen fertilization, on waste of winter cover crops on soil and climatic conditions of the Paraná Southwest region. The installation of no-tillage was held in 2010 in the experimental area belonging to UTFPR, Campus Dois Vizinhos, on a Red Latosol. For the present study, we used data relating to three agricultural years (2012/2013, 2013/2014 and 2014/2015). The experimental design was randomized block design with split plots with three replications. The main plots consisted of systems composed by cover crops (black oat, ryegrass, rye, turnip, vetch, white lupine, oat+vetch consortium and oat+vetch+turnip), preceding corn. In the subplots were used two doses of nitrogen fertilization (0 and 180 kg ha⁻¹ N) coverage in maize. The biggest coverage rates occurred in the consortium with 95% at 62 days after sowing. The residual effect of 180 kg ha⁻¹ N, increased 4.8% coverage rate in the cool season plants following year. The residual effect of 180 kg ha⁻¹ of N in corn/cover crops systems, reduced in 21% the C/N ratio of poaceae. The common vetch accumulated 32 kg N per ton of MS added. The oat and rye keeps more than 50% waste to the land cover, after 120 days, while the ryegrass and vetch provide low soil protection. Consortium oat+vetch+turnip, vetch and white lupine, released the largest amounts of N, between 52 and 59 kg ha⁻¹. Fabaceae, brassica and consortia positively influencing the diameter and length of cobs, number of kernels per row and, total number of grains per ear of corn, in the absence of mineral N. The weight of a thousand grains was increased by 12.4% by the addition of 180 kg ha⁻¹ N mineral. The average increase in productivity of grain by the addition of 180 kg ha⁻¹ N, in relation to dose 0 kg ha⁻¹ N, was 2.1 Mg ha⁻¹ corn kernels on fabaceae, brassica and consortium oat+vetch+turnip, and 5.6 Mg ha⁻¹ poaceae the grains in succession. The consortium added amount between 4.0 the 6.4 Mg ha⁻¹ DM in the years of study. There was no effect of mineral N rate for corn yield components when cultivated on vetch. Systems containing fabaceae, brassica and consortium oat+vetch+turnip, predating the corn, in the absence of mineral N, provided similar grain yields in relation to the systems with the addition of 180 kg ha⁻¹ N.

Keywords: Cover crops. No-tillage. Grain yield. *Zea mays*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Precipitação pluvial mensal acumulada (Ppa) e temperatura média mensal (Temp) durante os anos agrícolas de 2012 a 2015. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.26
- Figura 2 – Croqui referente a área experimental do estudo dos sistemas de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2016.....27
- Figura 3 - Taxa de cobertura média do solo (%) (2012, 2013 e 2014), pelo uso de plantas de cobertura hibernais em sistema de sucessão com a cultura do milho. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016. 30
- Figura 4- Taxa de cobertura média do solo (%) das plantas de cobertura hibernais em sucessão a cultura do milho sob duas doses de N mineral (2012 a 2014). UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016..32
- Figura 5 - Matéria seca remanescente das plantas de cobertura hibernais ao longo de 120 dias para as safras 2012/2013 (A), 2013/2014 (B) e 2014/2015 (C) após a deposição em superfície do solo. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016..... 39
- Figura 6 – Média da matéria seca remanescente das plantas de cobertura hibernais sobre o solo durante 120 dias após a deposição, referente a três anos agrícolas (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.....42
- Figura 7 – Liberação de nitrogênio (N) pelas plantas de cobertura hibernais ao longo de 120 dias após a deposição em superfície do solo, para as safras 2012/2013 (A), 2013/2014 (B) e 2014/2015 (C). UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2016.44
- Figura 8 - Liberação média de nitrogênio (N) das plantas de cobertura hibernais nas safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.46
- Figura 9 - Produtividade média de grãos de milho, cultivado em sucessão a plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada nas safras agrícolas (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Médias para produção de matéria seca das plantas de cobertura e adubação nitrogenada nos anos agrícolas de 2012/13 a 2014/15. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.....	33
Tabela 2 – Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para a produção média de matéria seca (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.	34
Tabela 3- Médias para relação C/N das plantas de cobertura e adubação nitrogenada para os anos agrícolas de 2012/13 a 2014/15. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.....	35
Tabela 4 – Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada para a relação C/N média da matéria seca (2012/2013/, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.	36
Tabela 5 – Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para o acúmulo médio de nitrogênio (N) total na matéria seca nos três anos de estudo. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.	37
Tabela 6 - Médias das interações entre plantas de cobertura x adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha ⁻¹ de N) para os componentes de rendimento do milho, safra 2013/2014. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.....	55
Tabela 7 - Médias das interações entre plantas de cobertura x adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha ⁻¹ de N) para os componentes de rendimento do milho, safra 2014/2015. UTFPR, Dois Vizinhos PR, 2016.	56
Tabela 8 – Médias das interações para produtividade de grãos de milho cultivado sobre plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada, safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.	61
Tabela 9 - Produtividade média de grãos de milho, cultivado em sucessão a plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada nas safras agrícolas (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.....	66
Tabela 10 - Análises de custos e produção de grãos de milho obtidos nos diferentes sistemas de sucessão com plantas de cobertura e adubação nitrogenada.	68
Tabela 11 - Análise entre o sistema de produção aveia preta/milho comparado aos sistemas que não apresentaram retorno econômico em função do nitrogênio mineral.	68

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABC	Agricultura de Baixo Carbono
C	Carbono
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio Atmosférico
NH ₃	Amônia
PR	Unidade da Federação – Paraná
SPD	Sistema Plantio Direto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 CULTURA DO MILHO	14
1.3 SISTEMA PLANTIO DIRETO	17
1.3.1 Plantas de Cobertura do Solo	18
2. PLANTAS DE COBERTURA HIBERNAIS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	22
2.1 INTRODUÇÃO	24
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
2.3.1 Taxa de Cobertura do Solo	29
2.3.2 Produção de Matéria Seca e Relação C/N	32
2.3.3 Acúmulo de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea	36
2.3.4 Permanência das Plantas de Cobertura Hibernais em Superfície do Solo	38
2.3.5 Liberação de Nitrogênio pelas Plantas de Cobertura Hibernais	43
2.4 CONCLUSÕES	48
3. COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SOB PLANTAS DE COBERTURA HIBERNAIS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	49
3.1 INTRODUÇÃO	51
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	52
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.3.1 Componentes de Rendimento do Milho	54
3.3.2 Produtividade de Grãos	60
3.3.3 Análise Parcial de Custos dos Sistemas	66
3.4 CONCLUSÕES	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	72
ÍNDICE DE APÊNDICES	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) representa um dos maiores avanços no processo produtivo brasileiro, constituindo o modelo de cultivo predominante no cenário agrícola da região Sul do país, devido aos vários benefícios agregados com esse manejo conservacionista.

Dentre os benefícios que impulsionam cada vez mais a utilização do SPD, estão a manutenção de palhada em superfície, controle de erosão hídrica, ciclagem de nutrientes e melhorias nos atributos de qualidade do solo. De maneira, que, 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 de gases de efeito estufa. Plano este, referencial para mitigação e de adaptações às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia com baixa emissão de gases e potencial de sequestro de carbono pela agricultura.

Em função do exposto, a utilização de plantas de cobertura, visando a produção de biomassa para cobertura do solo, voltou a ganhar espaço em áreas agrícolas, pois de acordo com Derpsch (2013), para assegurar a sustentabilidade de sistema de plantio direto nos trópicos e subtropicais, são necessárias adições anuais de no mínimo 8 – 12 Mg ha⁻¹ de biomassa seca. No entanto, verifica-se rotineiramente, que muitas lavouras que utilizam o “plantio direto”, não tem atendido essa recomendação, e quando aliado à ausência de outras práticas conservacionistas, podem tornar o sistema falho.

Um dos grandes desafios para os pesquisadores da área de manejo e conservação do solo é estimular a inserção de espécies para cobertura do solo, mediante conscientização dos agricultores, de que a adoção dessa prática é de extrema importância para se atingir parcialmente as premissas básicas do SPD. Assim, será possível diminuir as áreas que são mantidas em pousio, pois conforme estimativas de Fiorin, Schnell e Ruedell, (2007), esse problema atinge em média 81% das áreas produtivas de algumas regiões do sul do Brasil, durante determinado período do ano, principalmente na entressafra. Época esta, que apresenta altos riscos ao agricultor em virtude das condições menos favoráveis ao desenvolvimento de culturas comerciais (safrinha de soja, feijão e milho), neste caso, as plantas de cobertura podem ser uma ótima opção de cultivo para aporte de palha e ciclagem de nutrientes.

A agricultura é de forma geral, baseada no uso predominante de fertilizantes minerais como insumos fundamentais para atender as necessidades básicas das plantas,

desconsiderando por vezes, o potencial de suprimento destes elementos pelo solo e pelas culturas anteriores. Ainda mais, quando se trata de lavouras com culturas altamente responsivas a determinados nutrientes, como é o caso do nitrogênio ao milho, sendo utilizadas elevadas doses do fertilizante nitrogenado, o que pode representar elevados custos de produção e riscos de danos ambientais.

Entretanto, sabe-se que a adequada condução do SPD, associado a inserção planejada de plantas de cobertura do solo no sistema de rotação, além de favorecer as características físicas e biológicas do solo, podem melhorar a fertilidade das lavouras, possibilitando a redução das quantidades de fertilizantes adicionados aos cultivos.

Plantas de cobertura capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (N), como é o caso das fábaceas, ou então, por espécies que possuem eficiência na reciclagem/disponibilização deste elemento, são alternativas para o fornecimento de N ao solo e às culturas subsequentes. Todavia, da mesma forma que a adequada escolha das plantas de cobertura do solo podem favorecer a redução da utilização de fertilizantes nitrogenados, determinadas sucessões de plantas, como é o caso de poáceas/poáceas, representado regionalmente pelo uso de aveia e/ou azevém antecedendo o cultivo de milho, que resultam em maior demanda de N mineral pela cultura comercial, e, até mesmo, podem provocar prejuízos de produtividade de grãos se não houver suprimento do nutriente em quantidade e momento adequado.

Ao considerar que a agricultura desenvolvida na região Sudoeste do Paraná, é predominantemente praticada pela agricultura familiar, e que o cultivo de milho possui elevada importância regional, por fomentar a cadeia produtiva de frangos de corte, atividade economicamente expressiva e fundamental no desenvolvimento socioeconômico da região, que juntamente com o Oeste Catarinense, o Oeste e Sudoeste do estado do Paraná, contribuem com 75% da produção brasileira de frangos (IBGE, 2010). Além disso, desde 2010 o Sudoeste passou a ser a maior bacia leiteira do Estado, alcançando 26,5% da produção paranaense (SEAB/DERAL, 2012). Caracterizando assim, elevado consumo de milho na forma de ração e silagem para a produção pecuária, uma vez que este cereal é o principal componente da dieta dos animais.

1.2 CULTURA DO MILHO

Dentre os cereais, o milho (*Zea mays* L.) é mundialmente o mais cultivado. Sua

importância econômica se dá pela múltipla utilização, que vai desde a alimentação humana e animal, até indústrias de alta tecnologia (SEAB/DERAL, 2012).

A produção mundial do cereal é crescente ao longo dos anos, passando de 869,3 milhões de toneladas colhidos na safra 2012/2013, para 990,8 milhões de toneladas colhida em 2013/2014, atingindo 1.006,2 milhões de toneladas do grão na safra 2014/2015, conforme informações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (CONAB, 2015), representando um incremento de 15,7% ao longo das três safras.

O panorama mundial apresenta os Estados Unidos como principal produtor e consumidor deste cereal, responsável por 37% da produção e 31% do consumo, seguido pela China que responde por 22% da produção e o Brasil em terceiro lugar, com 8% de participação (SEAB/DERAL, 2014).

A produção nacional de milho na safra 2014/2015, atingiu um total de 84,7 milhões de toneladas, cultivados em 15,7 milhões de hectares (CONAB, 2015). O Paraná contribui significativamente com a produção de milho do país, pois mesmo com redução de 4,3% na área total plantada com o cereal no período de 2014/2015, em relação à safra anterior, o estado permanece ocupando a segunda posição na produção do grão em nível nacional, responsável por 18,7% do total produzido, atrás do Mato Grosso com 24,5% (CONAB, 2015). Para o estado, a cultura do milho apresenta fundamental importância econômica e social, devido ao número de empregos e renda gerada em toda sua cadeia produtiva (SEAB/DERAL, 2011).

Conforme estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), do total de milho produzido no Paraná, cerca de 10 milhões de toneladas anuais é consumida no próprio estado. Deste total, em torno de 80% é destinado às atividades pecuárias, principalmente avicultura e suinocultura (SEAB/DERAL, 2012).

Dentre as regiões produtoras do estado, o Sul e Sudoeste se destacam pela concentração da maior parte da produção (CONAB, 2013). No ano de 2013, essas regiões foram responsáveis por 70% da área e da produção do grão no Paraná (SEAB/DERAL, 2013).

No que diz respeito a produção, a cultura do milho possui elevado potencial produtivo, sendo evidenciado nas diferentes regiões brasileiras, produtores que já obtêm sistematicamente produtividades superiores a 12 Mg ha⁻¹, não raros aqueles que produzem mais de 14 Mg ha⁻¹ de grãos (MIRANDA et al., 2013), isso em função de condições climáticas favoráveis e aplicação de tecnologias adequadas. No entanto, de forma geral a produtividade média nacional é considerada muito baixa e irregular (COELHO; FRANÇA, 1995) com 5,4 Mg ha⁻¹ na safra 2014/2015 (CONAB, 2015).

As variações nos rendimentos agrícolas ao longo do território nacional, ocorrem em função dos fatores edafoclimáticos e nível de tecnologia empregada, além do conhecimento disponível e disseminado entre os agricultores, principalmente referente ao uso de insumos e práticas culturais (MAGALHÃES et al., 2002).

Dentre os vários nutrientes essenciais na nutrição do milho, o N é o elemento considerado como um dos principais limitantes a obtenção de elevadas produtividades (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, tornando necessário outras fontes suplementares (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). No Brasil, a principal forma de fornecimento do N à cultura do milho é através da adubação nitrogenada em cobertura, mediante uso da ureia aplicada em superfície e sem incorporação. No entanto, essa fonte, amplamente utilizada, possui elevada susceptibilidade às perdas de N por volatilização de amônia (NH₃), em função das condições climáticas, principalmente pelas elevadas temperaturas (FRAZÃO et al., 2014). Quando utilizada de forma inadequada, pode representar perdas econômicas e danos ambientais.

Uma forma alternativa de atender a necessidade de N requerida pelo milho é pela utilização de plantas de cobertura, capazes de fixar N atmosférico (N₂) como as fabáceas, ou reciclar esse nutriente de camadas mais profundas do solo para a superfície, uma vez que o N mantido na forma orgânica é menos sujeito a perdas por lixiviação ou volatilização, ficando disponível de acordo com a decomposição e mineralização dos resíduos vegetais (LÁZARO et al., 2013).

Os efeitos do uso de plantas de cobertura sobre o cultivo subsequente de milho em sistema de plantio direto 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; DAHLEM, 2013) e de trabalhos contemporâneos em território nacional (CARVALHO et al., 2007; FONTOURA; BAYER, 2009; DONEDA et al., 2012; LÁZARO et al., 2013; LEAL et al., 2013; ACOSTA et al., 2014). Porém, ainda existe a necessidade de intensificar os estudos nessa área, especialmente em relação ao comportamento dos sistemas de sucessão (plantas de cobertura/milho) sobre as condições edafoclimáticas específicas, para que possam ser

eficientemente introduzidos no sistema de produção.

1.3 SISTEMA PLANTIO DIRETO

As primeiras experiências com o plantio direto no Brasil ocorreram no ano de 1971 em Londrina – PR, conduzidas por Rolf Derpsch em um instituto de pesquisa (DERPSCH et al., 2010). O estabelecimento do primeiro plantio direto, como sistema sem revolvimento do solo, em nível de propriedade rural, ocorreu em 1972, no norte do Paraná, por Herbert Bartz, considerado o primeiro agricultor a adotar a tecnologia na América Latina (DERPSCH et al., 2010; CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Posteriormente, houve difusão para diferentes regiões do estado e do Brasil, consolidando a adoção desta importante descoberta para a conservação do solo e incremento de produtividade (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008).

Derpsch et al. (2010) relatam que o plantio direto no Brasil, levou quase 20 anos para atingir o primeiro milhão de hectares, cultivados como prática de manejo pelos agricultores. Entretanto, a partir de então, a tecnologia passou por um crescimento exponencial. Conforme dados divulgados pela Febrapdp (2013), a área cultivada em SPD no Brasil ultrapassa os 31,8 milhões de hectares. Enquanto no estado do Paraná, estimativas indicam que existem em torno de 5 milhões de hectares que adotam essa tecnologia (CALEGARI, 2004; FEBRAPDP, 2014).

Caracterizado por ser um sistema de produção sustentável o SPD 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; LEAL et al., 2013).

Constitui-se como um tipo de manejo que apresenta efeitos positivos na conservação do solo e da água, na ciclagem de nutrientes, no controle de plantas invasoras, na redução de custos, no aumento da matéria orgânica na camada superficial do solo e na estabilidade da produção (CARVALHO; AMABILE, 2006; CALEGARI et al., 2008; LEAL et al., 2013). Também, contribui para a qualidade ambiental, por atuar como alternativa na mitigação de gases de efeito estufa, através do sequestro de carbono (C) (AMADO et al., 2001; SANTI; DALMAGRO; DENARDIN, 2007; SIQUEIRA NETO et al., 2009), pela adição de resíduos vegetais 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) e conseqüentemente, contribuindo para redução do aquecimento global

(CARVALHO et al., 2010).

Com a substituição do sistema convencional de preparo do solo, pela adoção do manejo conservacionista, as plantas de cobertura que tiveram sua importância minimizada com o advento da adubação química, ganham novamente destaque dentro do sistema agrícola nas últimas três décadas, devido principalmente aos estudos científicos e experiências bem sucedidas por parte de produtores em diferentes partes do mundo, indicando sua contribuição na manutenção e melhoria dos atributos do solo (CALEGARI, 2014).

1.3.1 Plantas de Cobertura do Solo

O emprego de plantas para melhoria da fertilidade do solo é uma prática muito antiga, utilizada há mais de 2.000 anos e denominada de adubação verde. Os chineses foram os primeiros a desempenhar essa atividade, a partir da adição de restos vegetais e de vegetação natural de campos nativos ao solo, posteriormente, gregos e romanos passaram a utilizar fabáceas em rotação com culturas, visando o aumento da produção das lavouras (ROSSI; CARLOS, 2014; WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014). No Brasil, os adubos verdes são conhecidos há quase um século, sendo adotados nos diferentes sistemas de produção, com resultados agrícolas positivos e retorno econômico (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

A partir dos anos de 1980, houve algumas alterações no conceito até então usado para definir os adubos verdes, que passaram a ser denominados também como plantas de cobertura. Foi incorporado a essa definição, a possibilidade de utilização de outras espécies (poáceas, brássicas, asteráceas entre outras) além das fabáceas, com ou sem incorporação ao solo, podendo ser usadas para produção de sementes ou fibras, com manejo ao final do ciclo, visando a obtenção de renda extra e de alimentação animal, com finalidade precípua de promover e manter cobertura em superfície do solo (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014), atuando na proteção e melhoria de suas características ao longo do tempo, por conta desses aspectos, o uso do termo plantas de cobertura tornou-se mais difundido com a introdução e consolidação do SPD (CARVALHO; AMABILE, 2006). Ademais, para Florentín et al. (2010), em se tratando de agricultura conservacionista, ambos os termos podem ser tratados como sinônimos, pois os resíduos vegetais, sempre são deixados em superfície do solo e sua incorporação é feita biologicamente e não pelo preparo do solo.

Dentre os principais benefícios almejados com a utilização de plantas de cobertura do solo durante determinado período do ano, destacam-se a formação de cobertura vegetal para proteção, a manutenção da umidade e redução das oscilações de temperatura na superfície, o aumento da infiltração de água, a melhor estruturação do solo (agregação e

aeração), a ciclagem de nutrientes e adição de N pelo uso de fabáceas, competição/supressão de plantas daninhas, além de promover o aumento nos teores de matéria orgânica ao longo dos anos, proporcionando melhorias das características físicas, químicas e biológicas (CALEGARI, 2004).

O tempo de permanência dos resíduos em superfície do solo, é determinada pela taxa de decomposição dos materiais, quanto mais rápido for este processo, maior será a velocidade de liberação dos nutrientes, reduzindo por sua vez, a proteção do solo (FLOSS, 2000). Conforme a taxa de decomposição, as espécies podem ser agrupadas em duas classes de acordo com Wieder e Lang (1982), àquelas com baixa relação C/N e decomposição rápida (fabáceas), e as de decomposição lenta (poáceas) devido a relação C/N elevada. Siqueira e Franco (1988) indicam que, quando os valores de relação C/N situam-se entre 20 e 30, ocorre um equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização do nitrogênio, e, quando a relação for superior a 30, o processo de imobilização supera a mineralização. Sendo considerado a relação C/N próxima de 25, como a de separação entre as duas classes (WIEDER; LANG, 1982).

Florentín et al. (2010) destacam que o uso de plantas de cobertura/adubos verdes pelos agricultores, é, principalmente, devido ao efeito fertilizante sobre as culturas de rendimento e de subsistência, pela decomposição e mineralização dos nutrientes, todavia, para se obter os resultados almejados, as espécies utilizadas como adubos verdes devem ser adequadamente selecionadas para inserção na rotação com as culturas agrícolas de interesse, afim de sejam obtidos os incrementos desejados sobre a produtividade das culturas posteriores.

O cultivo de espécies pertencentes à família das fabáceas, que possuem capacidade de fixação simbiótica de N₂, antecedendo a cultura do milho, pode resultar em respostas significativas no aumento da produtividade de grãos, contribuindo para redução da necessidade de adubação nitrogenada (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; FLORENTÍN et al., 2010; DAHLEM, 2013).

Essas espécies de forma geral apresentam elevados teores de N na biomassa. Borkert et al. (2003) encontraram para o guandu, mucuna preta, tremoço e ervilhaca comum, quantidades de 30, 34, 34 e 46 kg de N por tonelada de MS produzida, respectivamente. A variação nos teores de N é dependente da espécie, enquanto a quantidade total de N que as fabáceas podem adicionar ao solo, é resultante principalmente da produção total de MS e taxa de decomposição (HOLDERBAUM et al., 1990; FLORENTÍN et al., 2010).

No entanto, a contribuição das fabáceas no suprimento de N para o milho

cultivado em sequência, depende da quantidade de N acumulado por elas, do tempo entre a decomposição dos resíduos vegetais e mineralização do N orgânico em relação à sincronia com a demanda da cultura em sucessão, da disponibilidade de N do solo, do potencial produtivo do milho e do nível tecnológico empregado (AITA et al., 2001).

Poáceas por sua vez, são amplamente utilizadas para obtenção de cobertura do solo, principalmente nas condições subtropicais da região Sul do País (GIACOMINI et al., 2004). O uso exclusivo da aveia preta representou 31% da cobertura empregada em lavouras de milho no ano de 2012 (ESTADO..., 2013). Sua intensa utilização se deve principalmente, a elevada produção de MS, que pode variar de 4 Mg ha⁻¹ (CERETTA et al., 2002; GIACOMINI et al., 2003) a 6 Mg ha⁻¹ (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014), facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez na formação de cobertura do solo e ciclo adequado às culturas sucessoras (SILVA et al., 2006), além da expressiva capacidade de ciclagem de N e outros nutrientes do solo (BORKERT et al., 2003).

Todavia, por conta da elevada relação C/N dos tecidos, entre 32,5 a 42,9 (GIACOMINI et al., 2003) a decomposição dos resíduos vegetais da aveia é lenta em comparação a outras espécies, podendo ainda ocorrer imobilização temporária do N mineral do solo e/ou aplicado via adubação mineral, pela biomassa microbiana, tornando-o muitas vezes indisponível durante o desenvolvimento inicial das culturas em sucessão, podendo haver importante redução na produtividade das culturas, especialmente se não forem fabáceas (VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005; FLORENTÍN et al., 2010).

Por outro lado, as poáceas são excelentes para proteção do solo por maior período de tempo (FLORENTÍN et al., 2010). Dentre as medidas para contornar os problemas da imobilização de N pelas poáceas, a consorciação equilibrada com outras espécies (fabáceas e brássicas) é uma delas, aliando os benefícios de proteção do solo e liberação de N (GIACOMINI et al., 2004; FLORENTÍN et al., 2010; DAHLEM, 2013).

Embora já exista conhecimento adquirido em relação ao potencial das plantas de cobertura, na proteção e recuperação da capacidade produtiva dos solos (CALEGARI, 2014), verifica-se a existência de uma diversificação mínima em relação ao seu uso nas áreas agrícolas, principalmente em relação àquelas que possuem capacidade de fixação biológica de N₂ e/ou potencial de ciclagem de nutrientes com liberação a médio e curto prazo, bem como a consorciações entre espécies, como alternativas ao uso exclusivo de aveia, em rotação com a cultura do milho. E, quando utilizadas, restringem-se a poucas propriedades rurais. Tal fato pode estar relacionado à falta de conhecimentos específicos e regionais sobre as principais

espécies indicadas para cobertura, à dificuldade de aquisição e ao elevado custo das sementes no mercado local.

Por conta disso, Calegari (2014) afirma que ainda se faz necessário a definição e maiores esclarecimentos sobre esquemas compatíveis, considerando às diferentes espécies com os sistemas de produção específicos de cada região, voltadas às condições socioeconômicas do agricultor. Amado, Mielniczuk e Aita (2002) também destacam, que os resultados dos sistemas de produção com base no uso de plantas de cobertura, são dependentes de processos biológicos influenciados por condições de clima, manejo e solo, que devem ser acompanhados localmente.

Deste modo, o presente trabalho tem como hipótese que as plantas de cobertura do solo, com capacidade de fixação biológica de nitrogênio, antecedendo o milho na ausência de adubação nitrogenada complementar, podem proporcionar produtividades de grãos similares ao cultivo da cultura comercial em sucessão a poáceas, com fornecimento de adubação nitrogenada.

Com base no exposto, o objetivo foi verificar a capacidade produtiva do milho em plantio direto, na ausência e presença de adubação nitrogenada em cobertura, cultivado sobre resíduos de plantas de cobertura hibernais nas condições edafoclimáticas da região Sudoeste do Paraná, durante três safras agrícolas.

2. PLANTAS DE COBERTURA HIBERNAIS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO- A produção e adição de matéria seca (MS) em quantidade adequada, é importante para qualidade do sistema plantio direto. Dentre as plantas de cobertura, há um predomínio pelo uso de aveia preta para obtenção de palhada antecedendo o cultivo de milho. Assim, para garantir o fornecimento de nitrogênio (N) à cultura subsequente, geralmente são empregadas grandes quantidades de fertilizantes minerais. Desse modo, é fundamental a busca por plantas de cobertura adaptadas as condições edafoclimáticas regionais, como alternativas de aporte de MS e N ao sistema plantio direto, para inserção ao planejamento de rotação de culturas. Assim, o objetivo foi avaliar o potencial de plantas de cobertura hibernais, quanto a taxa de cobertura para proteção do solo, produção de MS, relação C/N, manutenção dos resíduos sobre o solo, acúmulo e liberação de nitrogênio em sistema plantio direto, na região Sudoeste do Paraná durante três anos agrícolas. O estudo foi conduzido em área experimental pertencente à UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, sob Latossolo Vermelho. Foram utilizados dados referentes as safras agrícolas de 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais foram constituídas por plantas de cobertura (aveia preta, azevém, centeio, nabo forrageiro, ervilhaca comum, tremoço branco, consórcio Aveia+Ervilhaca e Aveia+Ervilhaca+Nabo), que antecederam a cultura do milho. Nas subparcelas, foram utilizadas duas doses de adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N), em cobertura na cultura do milho. Os consórcios promoveram entre 19,4 a 21,5% de cobertura do solo aos 20 dias após a semeadura. A aveia preta isolada ou consorciada proporcionou aporte entre 4,0 a 6,6 Mg ha⁻¹ de fitomassa ao solo, nos anos estudados. A aveia preta e o centeio tiveram sua produção de MS aumentada em até 21,7%, em sucessão ao milho com 180 kg ha⁻¹ de N, enquanto o tremoço branco teve redução de 14% no aporte de fitomassa. O nabo forrageiro, apresentou relação C/N da fitomassa similar ao consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo e ao tremoço branco. O N residual do cultivo de milho com 180 kg ha⁻¹ de N mineral em cobertura favorece a redução em 21% da relação C/N das poáceas hibernais cultivadas em sucessão. Na ausência de N mineral, o tremoço branco apresentou o maior acúmulo de N (101,2 kg ha⁻¹) na MS da parte aérea, seguido pelos consórcios. A adição de adubação nitrogenada mineral no milho, reduziu em 21,1% o conteúdo do nutriente nos tecidos do tremoço branco na safra posterior. A ordem decrescente para manutenção de resíduos sobre o solo, ao longo de 120 dias foi: aveia preta>centeio>tremoço branco>nabo forrageiro>Aveia+Ervilhaca>Aveia+Ervilhaca+Nabo>ervilhaca comum>azevém. O fornecimento médio de N pela MS do consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo é similar ao das fabáceas.

Palavras-chave: Adubos verdes. Cobertura do solo. Produção e manutenção de fitomassa.

ABSTRACT- The production and addition of dry matter (DM) in quantity proper is important for quality of the no-tillage system. Among the cover crops is predominant the use of black oat to obtain straw predating the corn crop. Thus, to ensure the supply of nitrogen (N) in subsequent culture, are generally employed large amounts of mineral fertilizers. Thus this search is fundamental for suited cover plants on regional climate and soil conditions, as alternative to DM and N contribution to no-tillage, for insertion to crop rotation planning. It was aimed to evaluate the potential of winter cover plants, and ground cover rate it initial development for soil protection, DM yield, C/N ratio, maintenance of waste on the soil, accumulation and nitrogen liberation in no-tillage system, on the south west Paraná state Brazil, for three agricultural years. The study was carried in the experimental area belonging to the UTFPR, Campus Dois Vizinhos, latosol red. We used data from the agricultural years of 2012/2013; 2013/2014 and 2014/2015. The experimental design was a randomized block with split plots and three replications. The main plots consisted of cover crops (black oat, ryegrass, rye, turnip, vetch, white lupine, oat+vetch consortium and oat+vetch+turnip), prior to the corn crop. In the subplots were used two doses of nitrogen fertilization (0 and 180 kg ha⁻¹ N) in coverage corn over the crop. Consortia have promoted between 19.4 to 21.5% of land cover at 20 days after sowing. Isolated or consortium oat provided input between 4.0 to 6.6 Mg ha⁻¹ of biomass to the soil, in the years studied. The oat and rye had their DM production increased by 21.7%, in succession to corn with 180 kg ha⁻¹ N, while the white lupine had a 14% reduction in dry matter input. The turnip, presented C/N ratio of biomass similar to consortium oat+ vetch + turnip and white lupine. The residual corn crop N 180 kg ha⁻¹ N mineral coverage favors the reduction by 21% of the C/N of wintry poaceae grown in succession. In the absence of mineral N, the white lupine showed the greatest accumulation of N (101.2 kg ha⁻¹) in the aerial part of DM, followed by the consortium. The addition of mineral nitrogen fertilization in corn, reduced by 21.1% the nutrient content in the white lupine tissues in the later harvest. The descending order for maintenance of waste on the soil, along 120 days were: black oat> rye> white lupine> turnip> oats + vetch> oats + vetch + turnip> vetch> ryegrass. The average supply of N through the DM the consortium oats+vetch+turnip is similar to the fabaceae.

Keywords: Green manures. Soil cover. Production and maintenance of biomass.

2.1 INTRODUÇÃO

A adição de matéria seca na superfície do solo é extremamente importante para execução do sistema plantio direto (SPD) de qualidade. Para alcançar o aporte de palha em quantidade que o sistema pressupõe, é fundamental inserir no planejamento de rotação de culturas, espécies adaptadas as condições edafoclimáticas regionais, preferencialmente com elevada capacidade de produção de fitomassa, e que, agreguem ao sistema de cultivo e às culturas subsequentes, o máximo de benefícios possíveis.

Diferentes espécies de adubos verdes devem ser testadas quanto ao aporte de fitomassa e eficiência de cobertura do solo, ampliando dessa forma, as possibilidades para rotação com as culturas comerciais, permitindo reduzir a ocorrência de problemas fitossanitários a estas espécies (WILDNER, 2014).

O uso de plantas de cobertura de solo durante o período de inverno, principalmente na região Sul do Brasil, é a modalidade mais conhecida, e uma boa alternativa de uso, por ser este, um período em que há menor competição com culturas econômicas (SOUZA et al., 2012), ocupando assim, áreas que muitas vezes são mantidas em pousio temporário. Nesse sentido, a utilização do solo com consórcios de espécies para cobertura, permite alta produção de palha para proteção do solo, reduzindo infestações de plantas daninhas na cultura de milho em sucessão, reduz as perdas de nutrientes e solo devido à ocorrência de erosão (BALBINOT Jr. et al., 2008).

Entretanto, tem sido observado em lavouras no SPD da região Sul do País, baixa quantidade de resíduos para proteção do solo. No ano agrícola de 2012/2013, foi identificado pelo Rally das Safras, que somente 30% da área estabelecida com milho, apresentava mais de 40% de cobertura em superfície por resíduos de espécies antecessoras (ESTADO..., 2013), condição esta, considerada, como abaixo do ideal para manutenção do plantio direto, o que indica menor preocupação dos agricultores sobre a produção e adição de matéria seca para manutenção adequada do sistema (ZIECH et al., 2015).

Além de propiciar a adição de resíduos, proteção do solo (DONEDA et al., 2012; ZIECH et al., 2015) e redução na infestação por plantas daninhas (BALBINOT Jr. et al., 2007; BITTENCOURT et al., 2009), as plantas de cobertura podem, entre outros benefícios, contribuir como fontes de nutrientes às culturas em sucessão e ao aumento de fertilidade do solo, pela fixação de N atmosférico ou ciclagem deste (AITA et al., 2001; AITA; GIACOMINI, 2003; GIACOMINI et al., 2003; AITA et al., 2004; MEDRADO et al., 2011; ACOSTA et al., 2014).

Todavia, percebe-se dentre as espécies de plantas de cobertura disponíveis, que há um predomínio pelo uso de aveia preta na obtenção de palhada antecedendo o cultivo de milho. Esta sucessão pode causar prejuízos à cultura comercial (SILVA et al., 2006) se o suprimento de nitrogênio não for realizado em quantidade e no momento adequado. Pois esta é uma espécie que possui elevada relação C/N em sua fitomassa, característica esta, que favorece a imobilização temporária de N durante o processo de decomposição dos resíduos, principalmente na fase inicial (GIACOMINI et al., 2003; VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005). Deste modo, quando utilizada antecedendo culturas de interesse econômico que demandam de elevadas quantidades de N, como é o caso do milho, ocorre a necessidade de aplicação de elevadas doses de fertilizantes nitrogenados, afim de equilibrar o balanço de N no sistema e torna-lo disponível à cultura no momento de maior demanda, para que não comprometa a produtividade de grãos.

Entretanto, a escolha adequada das plantas de cobertura, também denominadas adubos verdes, é uma alternativa para garantir o balanço positivo de N para o sistema e reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados à cultura sucessora (ZOTARELLI et al., 2000). Para isto, a busca por espécies solteiras ou consorciadas que se adequem às condições específicas de cada região, devem ser consideradas no sistema de rotação de culturas, afim de viabilizar o sistema de plantio direto de qualidade (CALEGARI et al., 1992).

Nesse sentido, o objetivo foi avaliar o potencial de plantas de cobertura hibernais, quanto à taxa de cobertura do solo, produção de matéria seca, relação C/N, manutenção dos resíduos para proteção em superfície, acúmulo e liberação de N no sistema plantio direto, sobre as condições edafoclimáticas do Sudoeste do Paraná durante três anos agrícolas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, situada a 25° 41' de latitude S e 53° 05' de longitude O, a 526 metros acima do nível do mar. O solo local é descrito como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013) com textura muito argilosa (773 g kg⁻¹ de argila, 224 g kg⁻¹ de silte e 3 g kg⁻¹ de areia) e o clima é classificado como Cfa (C - subtropical úmido, com mês mais frio entre 18 e -3°C; f = sempre úmido, com chuva em todos os meses do ano; a = verão quente, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C) (ALVARES et al., 2013).

A área experimental localiza-se na Unidade de Ensino e Pesquisa (UNEPE) do setor de Culturas Anuais, com o estabelecimento do experimento no ano de 2010, sob as

seguintes condições químicas do solo na camada 0-20 cm: pH (CaCl₂) = 5,3; índice SMP = 6,4; MO = 40,8 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 4,3 mg dm⁻³; K = 0,2 cmol_c dm⁻³; Ca = 6,0 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,8 cmol_c dm⁻³; H+Al = 3,8 cmol_c dm⁻³; SB (soma de bases) = 9,0 cmol_c dm⁻³; CTC = 12,8 cmol_c dm⁻³ e V (saturação por bases) = 70%. Para o presente trabalho foram utilizadas informações oriundas de três safras agrícolas (2012/2013; 2013/2014 e 2014/2015).

Os dados climáticos de precipitação pluvial acumulada mensalmente e a variação de temperatura média do ar, referente ao período experimental, foram obtidos junto a estação meteorológica INMET, instalada no próprio Câmpus UTFPR (Figura 1).

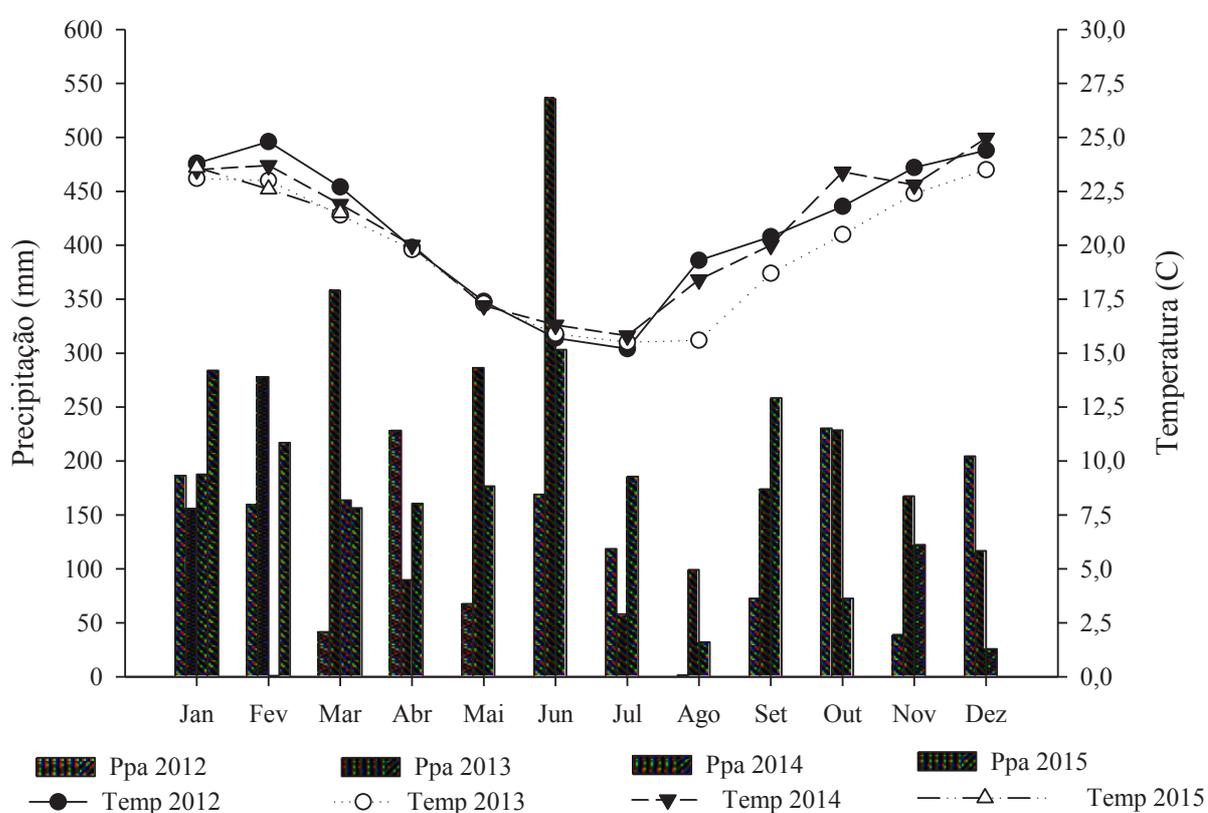


Figura 1 - Precipitação pluvial mensal acumulada (Ppa) e temperatura média mensal (Temp) durante os anos agrícolas de 2012 a 2015. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições, constituído por parcelas principais de 5m x 10m (fator A), com o estabelecimento de plantas de cobertura do solo e subparcelas de 5m x 5m (fator B), com a utilização de duas doses de adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹) em cobertura na cultura do milho, tendo o experimento área total de 1.200 m² (Figura 2).

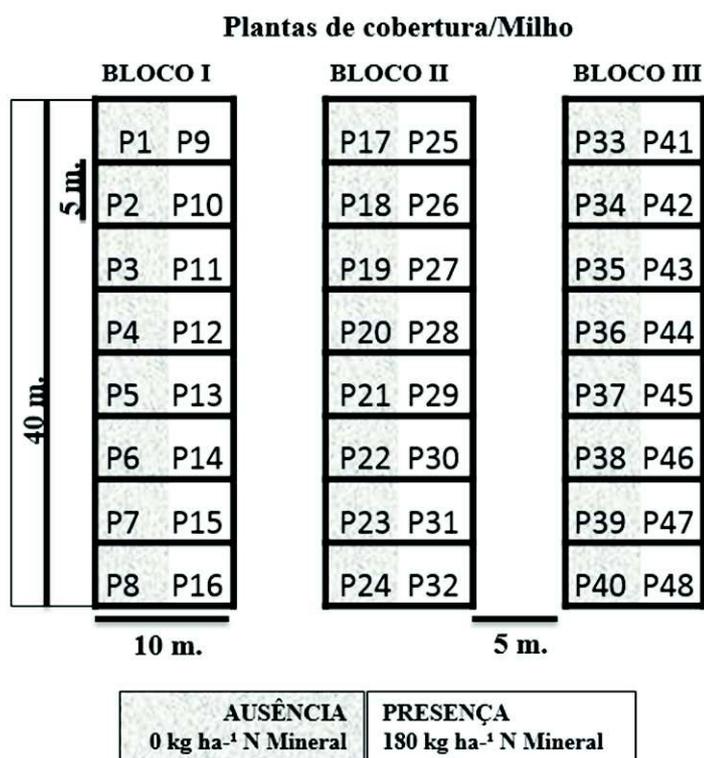


Figura 2 – Croqui referente a área experimental do estudo dos sistemas de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2016.

As plantas de cobertura hibernais e densidade de semeadura utilizadas foram: Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb) 90 kg ha⁻¹, Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) 50 kg ha⁻¹, Centeio (*Secale cereale* L.) 50 kg ha⁻¹, Tremoço Branco (*Lupinus albus* L.) 100 kg ha⁻¹, Ervilhaca Comum (*Vicia sativa* L.) 40 kg ha⁻¹, Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L.) 15 kg ha⁻¹, Aveia + Ervilhaca (A+E) 60 + 40 kg ha⁻¹, Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) 60 + 30 + 10 kg ha⁻¹.

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada de forma mecanizada, na primeira semana do mês de maio (03/05) para as duas primeiras safras, e final de abril (25/04) no ano 2014/2015. Utilizou-se o espaçamento de 17 cm entre linhas, exceto para o tremoço branco na safra 2012/2013, com espaçamento de 50 cm entre linhas. Para essas culturas não foram feitas adubações de base, nem de cobertura.

A avaliação da taxa de cobertura do solo pelo desenvolvimento das plantas de cobertura, foi realizada através do método fotográfico, que consiste na coleta de imagens em área delimitada por quadro metálico, com dimensões de 0,5 m x 0,5 m, colocado sobre a superfície do solo em dois pontos fixos por subparcela. As imagens foram capturadas semanalmente, a partir dos 19 aos 61 dias após a semeadura (DAS) das plantas de cobertura

para o ano de 2012; dos 20 aos 62 DAS em 2013 e dos 21 aos 63 DAS em 2014, utilizando câmera digital de 7,2 megapixels, posicionada a 1,0 m de altura, aproximadamente, conforme método adaptado de Rizzardi e Fleck (2004). Sobre cada imagem, em meio digital, foi inserido um quadriculado com 100 pontos de intersecção e realizada a quantificação dos pontos que coincidiam sobre as plantas de cobertura, estimando a taxa de cobertura do solo.

Aos 119 DAS (2012/2013), 118 DAS (2013/2014) e 103 DAS (2014/2015) foram coletadas amostras da parte aérea das plantas hibernais, em duas subamostras de 0,25 m² em cada subparcela, que ao final formou amostra única. De forma geral, no momento da avaliação, a aveia preta, o centeio, o azevém e o tremoço branco encontravam-se no estágio entre pleno florescimento e enchimento de grãos/grão leitoso; a ervilhaca comum ainda não apresentava flores; e o nabo forrageiro estava no final do estágio. O material vegetal coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 60^{\circ}\text{C}$ por 72 horas e pesado em balança semianalítica para obtenção da matéria seca (MS) e posteriormente, foi triturada em moinho de facas tipo Willey. Para determinação dos teores de N e relação C/N dos tecidos, foi analisado o N total dos tecidos através de digestão e destilação por semi-micro Kjeldahl (EMBRAPA, 2009) e o conteúdo de carbono (C) orgânico pelo método de Yeomans e Bremner (1988).

O manejo das plantas de cobertura hibernais foi realizado mediante aplicações mecanizadas de herbicida (Glifosate 2 L ha⁻¹ p.c). A decomposição das plantas de cobertura hibernais foi determinada com uso de bolsas de decomposição (*Litter bags*), confeccionadas em tecido *voil* de malha inferior a 1 mm, nas dimensões de 0,2 m x 0,2 m, perfazendo área interna de 0,04 m². Às bolsas de decomposição, adicionou-se material vegetal seco em estufa, fracionado a 10 cm, em quantidade proporcional a MS produzida a campo, para cada espécie/consórcio. Foram confeccionadas sete bolsas de decomposição para a safra 2012/2013, oito para as safras 2013/2014 e 2014/2015 de igual massa dentro de cada subparcela. As bolsas de decomposição foram depositadas em superfície do solo (13/09/2012; 09/09/2013 e 18/09/2014) nas respectivas parcelas de origem, nas entre linhas, após a semeadura do milho. Para cada safra, foi armazenada uma amostra de cada subparcela (tempo zero) em local seco e protegido.

A coleta das bolsas (uma por subparcela) foi realizada em intervalos regulares de tempo pré-determinado, que correspondeu aos 15, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a deposição no campo para safra 2012/2013 e aos 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 para as safras 2013/2014 e 2014/2015. O material vegetal remanescente foi seco em estufa de circulação forçada de ar, a

$\pm 60^{\circ}\text{C}$ por 48 horas, pesado em balança semianalítica para quantificação da MS remanescente (mediante perda de massa) e analisado o conteúdo de N total remanescente (EMBRAPA, 2009). A liberação de N dos resíduos foi calculada pela diferença nos teores de N do tempo zero em relação aos demais períodos coletados a campo.

Por considerar que as condições climáticas exercem grande influência sobre o desempenho das culturas (AITA et al., 2001), foi realizada análise média do conjunto de dados (2012 a 2014) para taxa de cobertura do solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), pelo programa computacional Assistat, versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2006). À taxa de cobertura do solo foi aplicada análise de regressão não linear, através do modelo de equação polinomial quadrática [$y = y_0 + ax + bx^2$]. As curvas de manutenção da MS remanescentes das plantas de cobertura hibernais sobre o solo, foram ajustadas ao modelo matemático com decaimento exponencial [$y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$] e à liberação de N foi aplicada análise de regressão não linear, ajustando-o ao modelo matemático exponencial tendendo ao máximo [$y = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$], considerando sempre a significância ($p \leq 0,05$) e a magnitude dos coeficientes de determinação, através do programa SigmaPlot versão 11.0 (CHICAGO, IL, EUA).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Taxa de Cobertura do Solo

As plantas hibernais apresentaram comportamento diferenciado para a taxa de cobertura do solo em função das condições climáticas durante o ciclo de cultivo (Figura 1) e características da composição bioquímica e estrutural específicas de cada espécie (Apêndice 1).

Os dados médios dos três anos indicam que a consorciação entre espécies se destacou sobre os demais tratamentos logo nos primeiros 20 DAS, com 21,5 e 19,4% de cobertura do solo pelo uso de A+E+N e A+E, respectivamente, seguidos pela aveia preta com 15,7% de cobertura (Figura 3). Dentre às poáceas solteiras, a aveia-preta apresentou-se 67,5 e 45,9% superior quanto a taxa de cobertura proporcionada pelo azevém e centeio, respectivamente.

A rapidez no desenvolvimento inicial para cobertura do solo, a facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade e o ciclo adequado às culturas subsequentes, são citados por Silva et al. (2006) como fatores que tornam a aveia, a espécie preferida como planta de cobertura entre os produtores na região Sul do Brasil.

Entretanto, vale destacar que através da consorciação entre a aveia e outras espécies, obtém-se, além da proteção física pelo rápido cobrimento do solo, a inclusão de maior biodiversidade vegetal ao sistema. Com isso, conforme indicações de Cherr et al. (2006) pelas características intrínsecas de cada espécie, ocorre a agregação de benefícios ao sistema de produção, tais como maior capacidade de ciclagem de nutrientes (em quantidade e/ou diversidade de elementos) pela exploração de camadas distintas de solo, favorecimento de grupos da biota do solo, além da fixação de N pelo uso de fabáceas (SILVA et al., 2007). Conjunto de características, que deixam de ser plenamente atendidas quando se opta pelo uso exclusivo de uma única espécie.

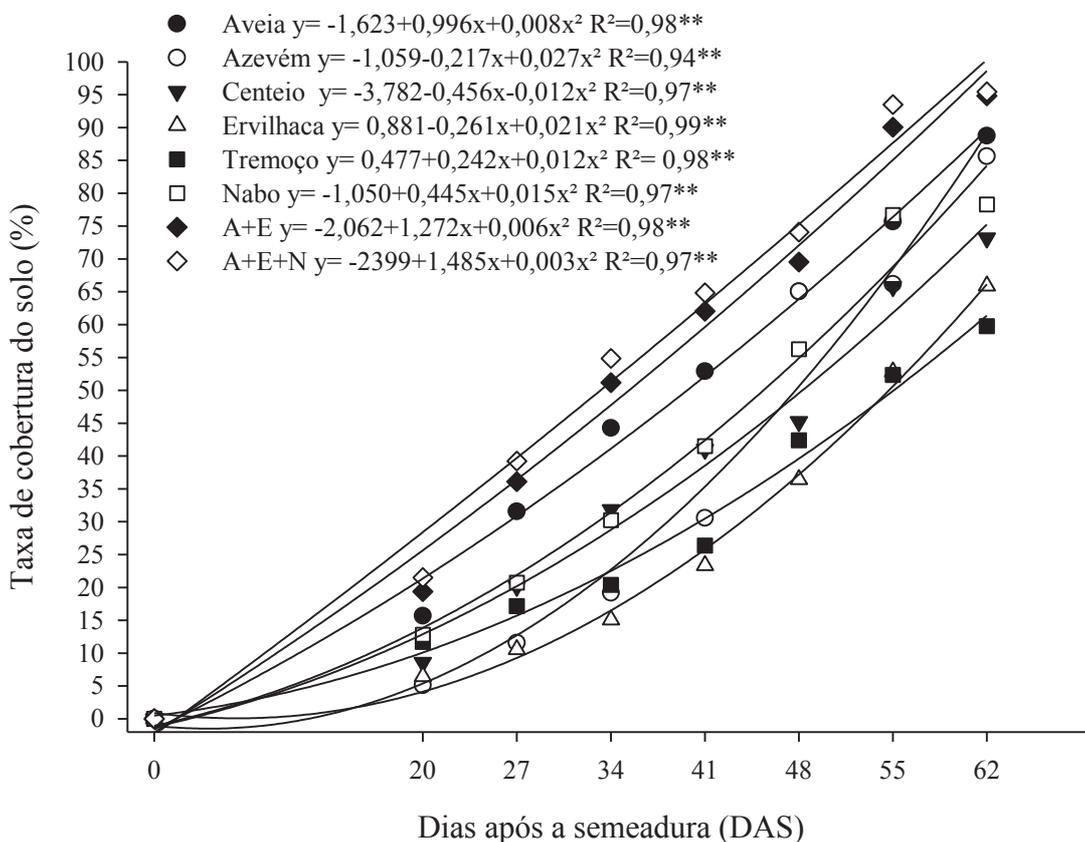


Figura 3 - Taxa de cobertura média do solo (%) (2012, 2013 e 2014), pelo uso de plantas de cobertura hibernais em sistema de sucessão com a cultura do milho. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016. ** significativo a $p < 0,01$.

Pouco mais de um mês após a semeadura (34 DAS), a taxa de cobertura do solo proporcionada pelos consórcios ultrapassou os 50% (Figura 3). Enquanto que, para o uso isolado das espécies, obteve-se para a aveia preta 44,3%, para o nabo forrageiro 30,2% e para a ervilhaca comum, 15,1% de cobertura.

Durante todo o período de avaliação, os consórcios apresentaram taxas de cobertura superiores aos demais sistemas, com 90% e 95% de cobertura do solo aos 55 e 62 DAS, respectivamente (Figura 3). Em estudos desenvolvidos na mesma área experimental, safra 2011/2012, Ziech et al. (2015) constataram para ambos os consórcios, cobertura superior a 90% somente a partir dos 71 DAS. Além das condições climáticas exercerem grande influência sobre o desempenho das culturas (AITA et al., 2001), a proporção de cada espécie que compõem o consórcio também pode influenciar no maior ou menor tempo para obtenção de determinadas taxas de cobertura, pois, Bittencourt et al. (2009), encontraram para consórcio entre aveia preta e ervilhaca comum (30 + 57 kg ha⁻¹), taxa de cobertura de 87% do solo, somente aos 120 dias após a semeadura.

As fabáceas (tremoço branco e ervilhaca comum) apresentaram as menores taxas de crescimento, e conseqüentemente cobertura do solo ao longo dos 62 DAS (Figura 3), com 59,8 e 65,8%, respectivamente. Apesar das vantagens da inserção de fabáceas em rotação, a característica de desenvolvimento inicial lento em relação às poáceas, associado ao ciclo longo para o máximo acúmulo de MS, em que, nas condições da região Sul do Brasil ocorre entre os meses de setembro a outubro, período que desfavorece a semeadura do milho pelos elevados riscos de déficit hídrico no estágio de pendramento, aliado ao maior custo de implantação e rápida decomposição de sua biomassa (SILVA et al. 2006), fazem com que estas espécies não sejam bem aceitas pelos agricultores.

O azevém apresentou curvas cobertura similar às fabáceas até os 41 DAS, com 30,5% de cobertura do solo, entretanto, aos 48 DAS a poácea atingiu 65% de cobertura (Figura 3). Fato este, possivelmente associado a capacidade de perfilhamento da espécie, com conseqüente expansão da área vegetativa.

O nabo forrageiro e o centeio apresentaram ao final do período (62 DAS), cobertura intermediária às demais plantas hibernais, com 78,3 e 73,2%, respectivamente (Figura 3). Resultado este, corrobora com relatos de Calegari (1990), sobre a característica de crescimento inicial extremamente rápido do nabo forrageiro, promovendo aos 60 dias após a emergência, cobertura de 70% do solo. Nesse aspecto, o centeio também apresenta elevado potencial para proteção do solo, pelo rápido desenvolvimento inicial observado.

Plantas de cobertura hibernais, cultivadas em sucessão ao milho com dose de 180 kg ha⁻¹ de N mineral (Figura 4), apresentaram efeito adicional significativo de 4,8% na taxa de cobertura do solo ao final de 62 dias, pelo efeito residual da adubação nitrogenada em relação a dose zero.

Pela decomposição e mineralização da fitomassa dos restos culturais do milho no sistema, pode ter ocorrido disponibilização de N no solo. Entretanto, possivelmente, essa contribuição no fornecimento de N, dos resíduos do milho cultivado com 180 kg ha^{-1} às plantas de cobertura hibernais cultivadas em sucessão, tenha sido pequena, em decorrência de fatores, tais como: I- baixa concentração de N nos resíduos da fitomassa de milho após a colheita, já que a exportação de N pelos grãos pode ser de 66 a 72% do total acumulado pela planta, a variar conforme a cultivar (VASCONCELOS et al., 1998); II- o conteúdo de N nos restos culturais podem sofrer imobilização pelos microrganismos do solo, devido a elevada relação C/N (até 71,3) da fitomassa do milho (SILVA et al., 2009) ou ainda, III- pelo N ser um elemento muito móvel, pode ter sofrido perdas no sistema, em função do intervalo entre a colheita da cultura comercial (Fevereiro) e o cultivo das plantas hibernais (Maio).

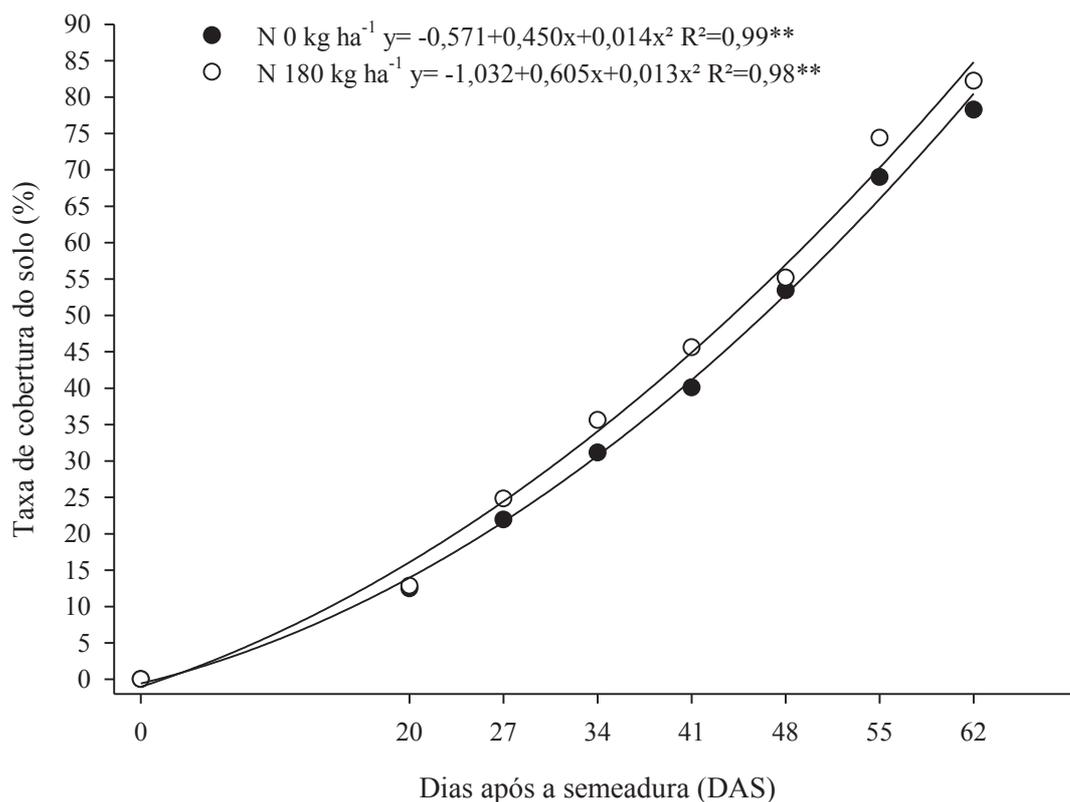


Figura 4- Taxa de cobertura média do solo (%) das plantas de cobertura hibernais em sucessão a cultura do milho sob duas doses de N mineral (2012 a 2014). UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016. ** significativo a $p < 0,01$.

2.3.2 Produção de Matéria Seca e Relação C/N

Em análise individual de cada ano, não houve interação entre as plantas de cobertura e as doses de N mineral aplicado na cultura comercial, sobre a produção de MS da parte

aérea das espécies hibernais (Tabela 1) e na relação C/N de seus tecidos (Tabela 3).

Tabela 1- Médias para produção de matéria seca das plantas de cobertura e adubação nitrogenada nos anos agrícolas de 2012/13 a 2014/15. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.

Plantas de cobertura	2012/13	2013/14	2014/15
	Matéria Seca (Mg ha ⁻¹)		
Aveia preta	6,6 a	4,5 ab	4,8 a
Azevém	3,3 b	2,1 d	2,3 d
Centeio	2,8 b	3,4 cd	3,5 b
Ervilhaca	3,0 b	2,0 d	2,1 d
Tremoço branco	3,5 b	3,7 bc	3,2 bc
Nabo forrageiro	5,0 a	3,5 cd	2,5 cd
A+E	6,4 a	5,1 ab	4,8 a
A+E+N	5,6 a	5,2 a	4,0 ab
CV%	1,8	19,5	13,6
Adução nitrogenada			
0 kg ha ⁻¹	4,3 b	3,7 ns	3,3 ns
180 kg ha ⁻¹	4,7 a	3,7	3,5
CV%	1,3	12,1	15,2

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). 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.

Apesar da época de semeadura e precipitações pluviométricas serem fatores que influenciam na produção de fitomassa (TORRES; PEREIRA, 2014), a aveia preta e sua consorciação com outras espécies, apresentou elevada capacidade de aporte de MS em todos os anos do estudo (Tabela 1).

O efeito residual da dose de 180 kg ha⁻¹ de N mineral aplicada na cultura do milho, não influenciou na produção de MS das plantas de cobertura em sucessão, exceto para a safra 2012/2013 (Tabela 1).

A produção média de MS pelas plantas de cobertura hibernais (três anos), apresentou interação significativa ($p \geq 0,05$) com ausência e presença de adubação nitrogenada aplicada à cultura do milho (Tabela 2). Tanto na ausência da adubação nitrogenada no milho, como na presença de 180 kg ha⁻¹ de N, os consórcios A+E, A+E+N e a aveia preta foram os sistemas que apresentaram as maiores produções de MS, superiores em média, 71 e 110% em relação aos sistemas com as menores produções (Azevém e Ervilhaca comum), na ausência e presença de N mineral, respectivamente. No caso dos consórcios, a capacidade de aporte de MS da aveia preta, pode ter sido potencializada pela consorciação com a fabácea, pois, conforme Ambrosano et al. (2014) em cultivos consorciados, há transferência de N oriundo da fixação biológica de nitrogênio (FBN) de uma para outra, via solo.

A interação interespecífica entre espécies consorciadas durante a fase vegetativa,

geralmente resulta em vantagens para uma, ou para o conjunto, seja pela complementação na utilização de água, dos nutrientes, do solo, da luz e na ocupação do espaço físico, pois, é comum uma servir de tutora para a outra, e no conjunto, produzem maior quantidade de fitomassa e com maior sanidade (FIORIN, 2003; AMADO et al., 2014).

Tabela 2 – Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para a produção média de matéria seca (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.

Plantas de cobertura	Adubação nitrogenada		MÉDIA
	0 kg ha ⁻¹	180 kg ha ⁻¹	
	Matéria Seca (Mg ha ⁻¹)		
Aveia preta	4,8 aB*	5,8 aA	5,3
Azevém	2,4 cA	2,7 cdA	2,6
Centeio	2,9 bcA	3,5 bcA	3,2
Ervilhaca	2,4 dA	2,4 dA	2,4
Tremoço branco	3,7 bA	3,2 bcdB	3,5
Nabo forrageiro	3,7 bA	3,7 bA	3,7
A+E	5,5 aA	5,3 aA	5,4
A+E+N	4,8 aA	5,0 aA	4,9
MÉDIA	3,8	4,0	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (A+E)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo

A utilização de tremoço branco, nabo forrageiro e centeio foram os sistemas com capacidade de produção de fitomassa intermediária aos demais testados, com aporte médio entre 3,2 e 3,7 Mg ha⁻¹ de MS ao solo (Tabela 2). Amado, Mielniczuk e Aita (2002) consideram para a recomendação de adubação no milho em sucessão a estas espécies, que alta produção de MS aportada pelas fabáceas, é de 3,0 Mg ha⁻¹ ou superior de fitomassa produzida. Relatando ainda que, quanto maior a produção de MS pelas fabáceas, maior o potencial de fornecimento de N ao milho em sucessão.

Apesar de o centeio ser considerado uma excelente alternativa à aveia, por suas características de rusticidade, precocidade e capacidade de produção de MS (AMADO et al., 2014) o resultado médio obtido no presente estudo (Tabela 2), foi inferior aos 4,1 Mg ha⁻¹ encontrados por Doneda et al. (2012) na região noroeste do Rio Grande do Sul, e aos 5,1 Mg ha⁻¹ obtidos por Bittencourt et al. (2009) na região oeste de Santa Catarina. A produção de MS desta gramínea no presente estudo, pode ser atribuído ao baixo perfilhamento observado (constatação visual).

No desdobramento da interação plantas de cobertura hibernais x doses de N mineral (Tabela 2), verifica-se que a aveia preta teve sua produção de MS aumentada em 21,7%, quando cultivada em sucessão ao milho que recebeu adubação nitrogenada em cobertura (180 kg ha⁻¹ de N mineral). De modo contrário, o tremoço branco teve redução de 14% no aporte de

fitomassa, quando cultivado em área com adubação nitrogenada mineral, em relação a ausência do mesmo.

Hungria, Campo e Mendes (2001) indicam que quanto menor o teor de N no solo, maior será a contribuição do processo biológico, mesmo sob condições de grande quantidade de resíduos vegetais (até 26 Mg ha⁻¹ de MS) de elevada relação C/N, comum em áreas de plantio direto de qualidade. Assim, este sistema conservacionista, tem-se apresentado extremamente favorável à biomassa microbiana e aos microrganismos fixadores de N₂ de vida livre ou simbióticos e aos fungos micorrízicos (CAMPO; HUNGRIA, 2000).

Os valores da relação C/N das plantas de cobertura hibernais apresentara variações entre os anos estudados (Tabela 3), possivelmente em função da constituição dos tecidos no momento de coleta da MS, com exceção da ervilhaca comum, que nos três anos apresentou relação C/N de 13, caracterizando-se como a de menor relação entre os sistemas, a aveia preta manteve-se em todos os anos, com o maior valor para relação C/N.

Tabela 3- Médias para relação C/N das plantas de cobertura e adubação nitrogenada para os anos agrícolas de 2012/13 a 2014/15. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.

Plantas de cobertura	2012/13	2013/14	2014/15
	----- Relação C/N -----		
Aveia preta	34 a	33 a	37 a
Azevém	30 ab	22 bc	34 a
Centeio	17 cd	37 a	35 a
Ervilhaca	13 d	13 d	13 d
Tremoço branco	15 cd	15 d	20 cd
Nabo forrageiro	21 cd	19 c	20 bcd
A+E	23 bc	24 b	29 ab
A+E+N	22 bc	20 c	25 bc
CV%	18,9	4,4	16
Adubação nitrogenada			
0 kg ha ⁻¹	23 ns	23 Ns	28 a
180 kg ha ⁻¹	21	22	24 b
CV%	19,0	8,1	15

* Médias seguidas pela mesma letra 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.

Relação C/N intermediária aos cultivos isolados das plantas de cobertura hibernais, podem ser obtidos através da consorciação entre espécies (Tabela 4), independente do manejo de adubação nitrogenada mineral adotado. Possibilitando assim, atingir elevado aporte de fitomassa com taxa de decomposição mais equilibrada, favorecendo a proteção do solo por mais tempo em relação ao uso exclusivo de fabáceas, reduzindo ainda, os riscos de imobilização

temporária de N pelos microrganismos do solo, em comparação às poáceas solteiras (GIACOMINI et al., 2003). É atribuído à relação C/N, grande parte da influência sobre os processos microbianos de imobilização e mineralização de N dos resíduos culturais (DONEDA et al., 2012). Desse modo, relação C/N próxima a 25 é considerada por Wieder e Lang (1982) como a de equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização de N no solo.

A relação C/N da fitomassa do nabo forrageiro, não diferiu do consórcio A+E+N e tremoço branco (Tabela 4). Resultados similares foram constatados por Doneda et al. (2012), que observou relação C/N de 17 para nabo forrageiro.

Tabela 4 – Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada para a relação C/N média da matéria seca (2012/2013/, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.

Plantas de cobertura	Adubação nitrogenada		MÉDIA
	0 kg ha ⁻¹	180 kg ha ⁻¹	
	----- Relação C/N -----		
Aveia preta	38 aA*	31 aB	35
Azevém	31 bcA	24 bcB	28
Centeio	32 bA	27 abB	30
Ervilhaca	13 gA	12 eA	13
Tremoço branco	15 fgA	17 deA	16
Nabo forrageiro	20 efA	20 deA	20
A+E	26 cdA	25 bcA	25
A+E+N	23 deA	21 cdA	22
MÉDIA	25	22	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (A+E)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo

O efeito residual dos 180 kg ha⁻¹ de N no sistema milho/plantas de cobertura, proporcionou redução de 21% na relação C/N das poáceas, diferindo-se significativamente ($p \leq 0,05$) dos valores obtidos sobre a ausência de N mineral (Tabela 4). Como o conteúdo de carbono presente nos tecidos das plantas é pouco variável, e situa-se na faixa de 40% a 45% (AITA; GIACOMINI; CERETTA, 2014), o suprimento de N residual do milho, possivelmente favoreceu para houvesse a elevação dos teores de N total nos tecidos desta poácea, ocasionando a redução destes valores. Fabáceas, consórcios e brássicas não sofreram alteração na relação C/N de seus tecidos pelo cultivo em sucessão ao milho com adição de N mineral.

2.3.3 Acúmulo de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea

As variações quanto a capacidade de acúmulo de N pelas plantas de cobertura hibernais, referente a cada ano de estudo está disponível no apêndice 2.

Na ausência de N mineral, o tremoço branco apresentou o maior acúmulo de N na MS da parte aérea, seguido pelos consórcios. Os menores acúmulos foram observados para as poáceas (Tabela 5). Por não possuir capacidade de simbiose, o conteúdo de N nos tecidos

das poáceas é considerado como oriundo da contribuição via solo, mediante decomposição/ci-clagem de resíduos ou matéria orgânica presente.

Doneda et al. (2012) verificaram para aveia e centeio acúmulo de N de 53 e 54 kg ha⁻¹, enquanto, Gatiboni et al. (2009), por sua vez, encontraram acúmulo de 92 kg ha⁻¹ de N na fitomassa do centeio, atribuindo o elevado acúmulo da poácea a habilidade da espécie em absorver N do solo.

Por outro lado, pela capacidade de FBN atmosférico, as fabáceas podem fixar elevadas quantidade de N em seus tecidos (GIACOMINI et al., 2003), podendo representar mais de 60% do N acumulado pela planta (SILVA et al., 2014). O uso de ervilhaca é recomendado em rotação com milho, devido a capacidade de aporte de nitrogênio ao solo, em quantidades em torno de 80 e 100 kg ha⁻¹ (CALEGARI, 2004).

Tabela 5 – Desdobramento da interação entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para o acúmulo médio de nitrogênio (N) total na matéria seca nos três anos de estudo. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.

Plantas de cobertura	Adubação nitrogenada		MÉDIA
	0 kg ha ⁻¹	180 kg ha ⁻¹	
	Acúmulo de N (kg ha ⁻¹)		
Aveia preta	53,6 cdB	81,3 abA	67,5
Azevém	32,7 dA	42,4 cA	37,6
Centeio	42,1 dB	57,7 bcA	49,9
Ervilhaca	75,0 bcA	78,7 abA	76,9
Tremoço branco	101,2 aA	79,9 abB	90,6
Nabo forrageiro	73,9 bcA	71,3 abA	72,6
A+E	89,7 abA	91,9 aA	90,8
A+E+N	89,7 abA	94,7 aA	92,2
MÉDIA	69,7	74,7	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na 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

Todavia, a quantidade total de N que as fabáceas podem adicionar ao solo, mediante decomposição, é resultado do teor de N presente nos tecidos, dependente da espécie versus à sua produção total de fitomassa (HOLDERBAUM et al., 1990; FLORENTÍN et al., 2010). Nesse caso, podem ocorrer variações no acúmulo total de N em função do aporte de MS. Ao considerar o N presente nos tecidos da ervilhaca comum, verificou-se 32 kg de N para cada Mg de fitomassa adicionada, corroborando com resultados médios (31,8 kg de N) encontrados por Giacomini et al. (2003) em três anos agrícolas. Esses resultados, foram inferiores, portanto, à estimativa de Bolliger et al. (2006), que indicam acúmulo de 46 kg de N por tonelada de massa seca da parte aérea da espécie.

A adição de adubação nitrogenada mineral no milho, influenciou de forma ne-

gativa o acúmulo de N pelo tremoço branco na safra posterior, com redução de 21,1% no conteúdo do nutriente nos tecidos da fabácea (Tabela 5). Efeitos negativos do incremento na concentração de N mineral na solução do solo sobre o processo de FBN, também foram encontrados por Brito et al. (2011) em estudos desenvolvidos com feijão comum e caupi.

O efeito adverso da adição de adubos nitrogenados na fixação biológica em fabáceas, ocorre porque, o nitrato e o nitrito acumulados a nível nodular, inibem o processo biológico pela diminuição da disponibilidade de energia às bactérias (FAGAN et al., 2007).

O acúmulo de N pelos consórcios não foi influenciado significativamente ($p \leq 0,05$) pelo N mineral residual aplicado à cultura do milho (Tabela 5), possivelmente, devido a presença da fabácea, em função da FBN em sua fitomassa, e até mesmo pela transferência de N à outra espécie (AMBROSANO et al., 2014). Quando cultivada de forma isolada a aveia preta e o centeio, apresentaram incrementos significativos de 27,7 e 15,6 kg ha⁻¹ no acúmulo de nitrogênio nos tecidos da fitomassa vegetal, quando cultivada em sucessão a cultura do milho que recebeu 180 kg ha⁻¹ em relação ao verificado na ausência de N mineral na cultura comercial. Para a aveia preta, esse fato, está relacionado a produtividade de MS e pelo efeito de N residual da cultura anterior (Tabela 2), associado ao possível aumento nos teores de N presente nos tecidos, verificados pela redução dos valores da relação C/N (Tabela 4).

2.3.4 Permanência das Plantas de Cobertura Hibernais em Superfície do Solo

As curvas da MS remanescente das plantas de cobertura apresentaram cinética diferenciada, que variou em função do tipo de material dentro do mesmo ano e entre os anos estudados (Figura 5), principalmente nos primeiros dias após a deposição sobre o solo. Características qualitativas como teores de N, celulose e a relação C/N do material vegetal (MEDRADO et al., 2011), em conjunto com as condições climáticas, principalmente as precipitações pluviométricas (ESPÍNDOLA et al., 2006), são fatores que regulam a permanência dos resíduos vegetais.

As variações relacionadas a permanência de MS remanescente, podem estar associadas ao volume de precipitação ocorrida em cada ano (Figura 1). Durante a primeira quinzena após a deposição dos *litter bags* à campo, houve o registro de volume de precipitação de 45,4 mm em 2012/2013, 135 mm em 2013/2014 e de 226 mm para o ano 2014/2015.

Na safra 2012/2013, a manutenção de MS remanescente das plantas de cobertura hibernais nos primeiros 15 dias, ficou entre 91% (aveia preta) e 82% (tremoço branco) conforme figura 5A.

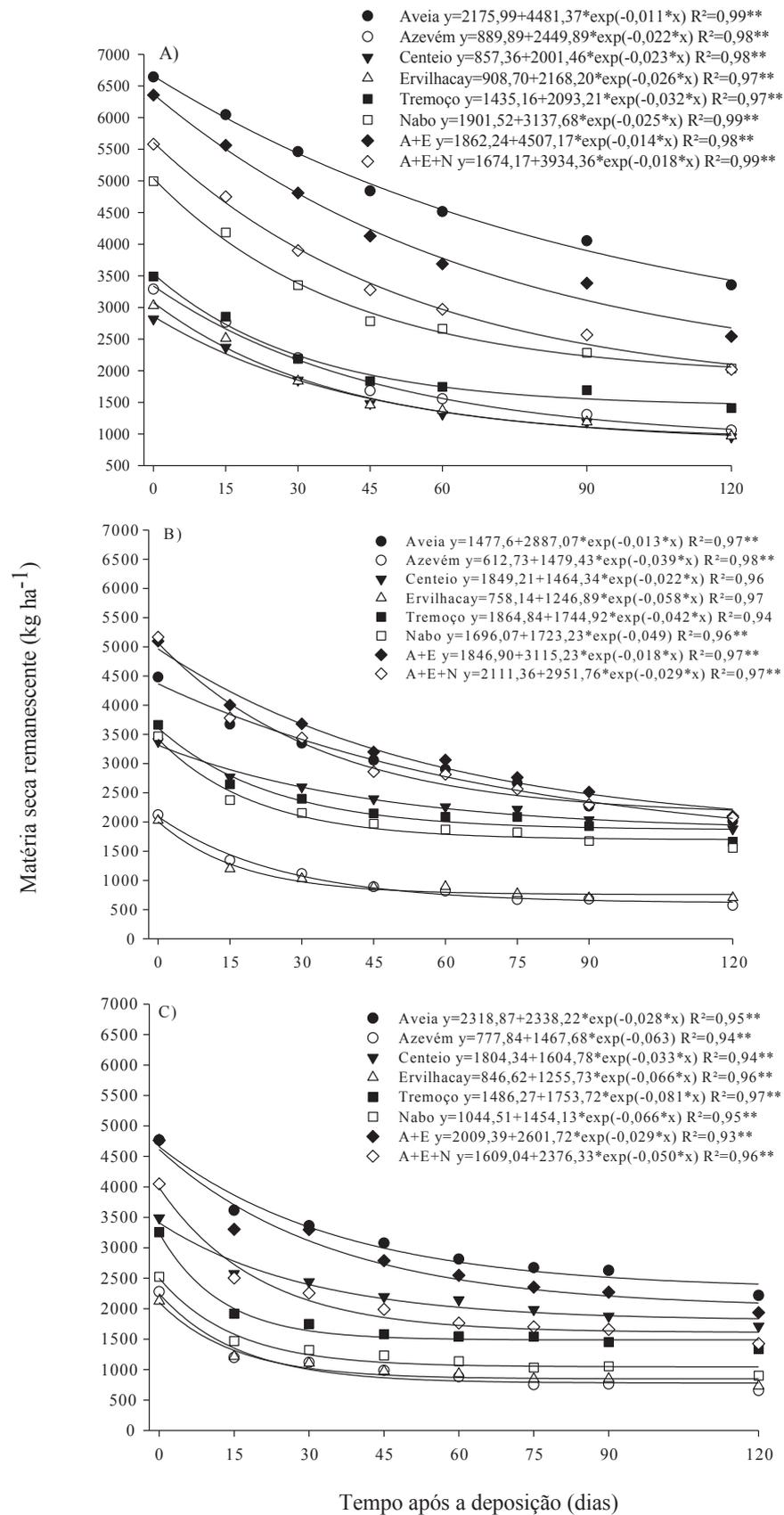


Figura 5 - Matéria seca remanescente das plantas de cobertura hibernais ao longo de 120 dias para as safras 2012/2013 (A), 2013/2014 (B) e 2014/2015 (C) após a deposição em superfície do solo. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016. ** significativo a $p<0,01$.

A ervilhaca comum apresentou a menor permanência de fitomassa em superfície do solo aos 30 dias, com manutenção de 61% (1.834 kg ha^{-1}) da MS total (Figura 5A). Por sua vez, a aveia preta e os consórcios A+E e A+E+N, apresentaram as menores decomposições no mesmo período, mantendo 82, 76 e 70% dos resíduos, respectivamente, corroborando com resultados de Aita e Giacomini (2003), que observaram permanência de 57% da MS de ervilhaca e 81% da aveia em superfície do solo ao final do primeiro mês.

Aos 45 dias a ervilhaca comum, apresentava apenas 48% do total de MS adicionado ao solo para proteção em superfície (Figura 5A). A partir dos 60 dias, também o azevém, centeio e tremoço branco, apresentaram mais da metade dos resíduos decompostos durante o período. Neste momento, a aveia preta e os consórcios mantinham as maiores quantidades de resíduos em cobertura, superiores a 53% do total adicionado.

A maior permanência de MS remanescente ao longo de 120 dias, foi verificada para a aveia preta, com 51% (3.357 kg ha^{-1}) do total adicionado em superfície do solo (Figura 5A). Neste mesmo período, a ervilhaca comum, o azevém e o centeio mantinham apenas 32% (966 kg ha^{-1}), 32% (1059 kg ha^{-1}) e 34% (953 kg ha^{-1}) dos resíduos não decompostos, respectivamente, caracterizando-se como os sistemas com menor permanência dos resíduos para proteção do solo.

Com volume de precipitação duas vezes superior ao ocorrido no ano agrícola anterior, a fitomassa das plantas de cobertura hibernais adicionadas para proteção do solo no período 2013/2014, sofreu uma redução acentuada logo nos primeiros 15 dias (Figura 5B), com manutenção entre 82% (aveia preta e centeio) e 59% (ervilhaca comum). Os consórcios A+E e A+E+N mantiveram 78 e 73% do conteúdo total depositado sobre o solo, respectivamente, caracterizando proteção semelhante a poácea isolada, porém, com vantagens agregadas pela participação da fabácea e brássica.

Aos 45 dias a ervilhaca comum e o azevém foram as espécies que apresentaram permanência de apenas 886 e 891 kg ha^{-1} , respectivamente, representando menos da metade do conteúdo inicial adicionado (Figura 5B). Aos 120 dias, a proteção ofertada por essas espécies contava com 27 e 35% da MS total, respectivamente.

O tremoço branco, o nabo forrageiro e o centeio apresentaram estabilidade da decomposição a partir dos 45 dias (Figura 5B), mantendo ao longo dos próximos 75 dias até o final da avaliação (120 dias), entre 45 a 56% de resíduos sobre o solo. Este fato, possivelmente, pode estar relacionado a permanência de tecidos com maior recalcitrância em comparação ao inicialmente aportado.

Na safra 2014/2015, logo aos 15 dias após a deposição, a manutenção de resíduos

em superfície do solo estava entre 76% (aveia preta) e 53% (azevém) (Figura 5C). Essa redução acentuada da quantidade total de MS adicionado, está relacionado a precipitação pluvial ocorrida no período, que foi 5 vezes superior ao ano de 2012/2013 e 1,7 vezes superior à 2013/2014 (Figura 1).

Diferentemente dos anos anteriores, já aos 30 dias foi identificado que a quantidade de resíduos em superfície, apresentava-se inferior a 50% do total aportado para o azevém (Figura 5C). A partir dos 45 dias, este comportamento também foi observado para ervilhaca comum, tremoço branco, nabo forrageiro e A+E+N. Para a aveia preta, centeio e A+E, a permanência de resíduos vegetais em superfície se mantinha em 64, 63 e 59%, respectivamente, para o mesmo momento. Dentre as poáceas, a aveia preta e o centeio mantiveram respectivamente 2.674 e 1.985 kg ha⁻¹ de fitomassa sobre o solo aos 75 dias após a deposição (Figura 5C), enquanto o azevém, apresentava o menor potencial de proteção, com apenas 752 kg ha⁻¹ de resíduos em superfície.

Aos 120 dias, os consórcios apresentavam em média 62,5% mais palha em superfície do solo, em relação às fabáceas isoladas (Figura 5C). Nesse aspecto, pode-se aliar a possível liberação do N à cultura em sucessão com a proteção do solo a longo prazo.

Neste mesmo período, a aveia preta, A+E e, o centeio apresentavam as maiores quantidades de resíduos em superfície do solo, com manutenção de 2.218, 1.934 e 1.713 kg ha⁻¹ de MS remanescente (Figura 5C).

O consórcio A+E+N manteve em todos os anos de avaliação (Figura 5), uma capacidade de permanência intermediária aos seus constituintes isolados, caracterizando um comportamento benéfico, já que permite a liberação dos nutrientes (principalmente do N presente em seus tecidos) para a cultura em sucessão, bem como a manutenção de resíduos vegetais em superfície para proteção do solo.

Avaliando a manutenção média dos resíduos nas três safras de estudo (Figura 6), verifica-se que o azevém apresentou-se similar a ervilhaca comum e tremoço branco, com permanência entre 69 a 71% dos resíduos após 15 dias da deposição. No mesmo período, a aveia preta, o centeio e os consórcios A+E e A+E+N apresentaram maior permanência da MS em superfície, que ficou entre 75 e 84%.

Azevém e ervilhaca comum apresentavam aos 45 dias menos da metade (46%) do total de MS adicionada em superfície do solo (Figura 6). Por mais que pertençam a famílias distintas, com relação C/N diferentes (Tabela 3), elas comportaram-se de forma similar ao longo de 120 dias de decomposição, com manutenção de apenas 32% (833 kg ha⁻¹) e 35% (839 kg ha⁻¹) para a poácea e a fabácea, respectivamente. Por conta do azevém possuir a maioria de sua

fitomassa constituída por folhas no momento de manejo, teoricamente pouco lignificadas, pode ter favorecido a baixa permanência de seus resíduos em superfície do solo.

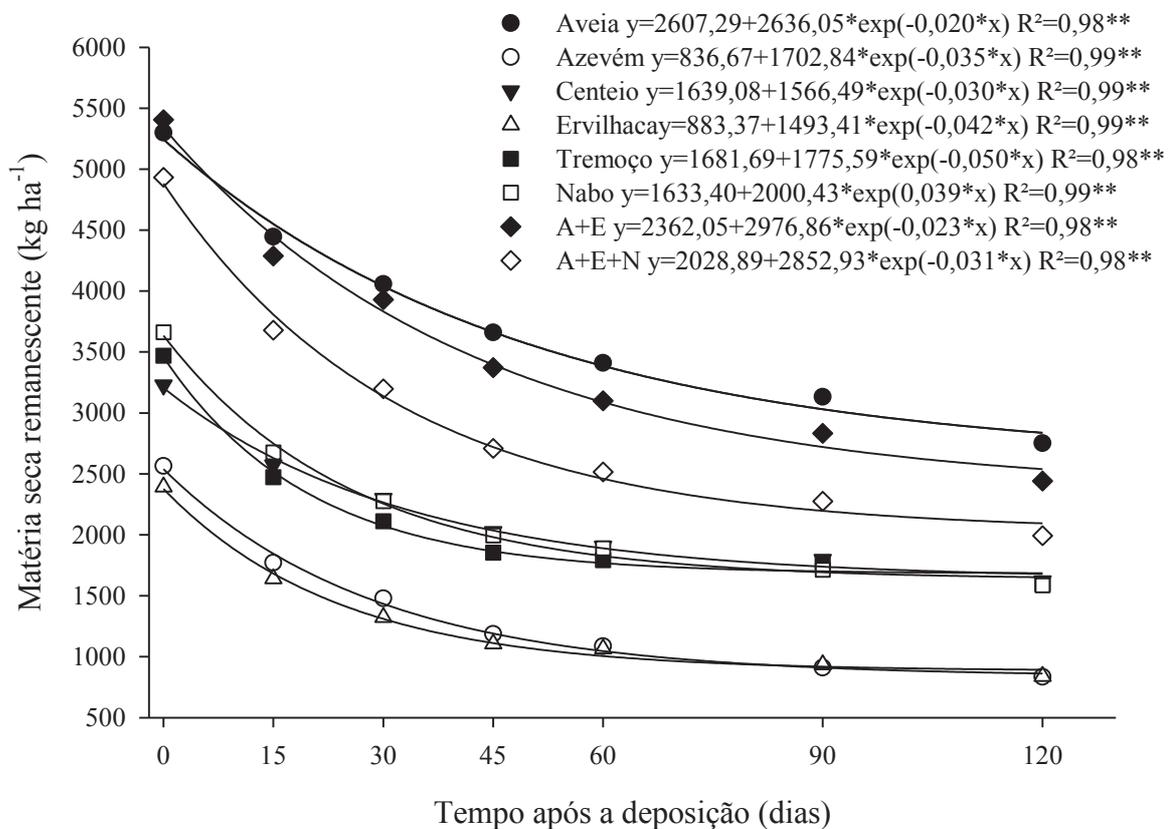


Figura 6 – Média da matéria seca remanescente das plantas de cobertura hibernais sobre o solo durante 120 dias após a deposição, referente a três anos agrícolas (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016. ** significativo a $p<0,01$.

A aveia preta e o centeio apresentam-se como as espécies com elevado potencial de manutenção dos resíduos para proteção do solo, chegando aos 120 dias após a deposição com 52% (2.751 kg ha^{-1}) e 50% (1.622 kg ha^{-1}) do conteúdo inicial em superfície, respectivamente (Figura 6). Além da elevada capacidade de produção de biomassa, as poáceas possuem alta relação C/N em seus tecidos, que contribuí para a redução da taxa de decomposição e consequente liberação de nutrientes (SILVA et al., 2012).

Considerando a porcentagem média de manutenção dos resíduos em superfície para proteção do solo ao longo de 120 dias após o manejo, em relação ao aporte total de MS das plantas de cobertura, tem-se a seguinte ordem decrescente: aveia preta > centeio > tremoço branco > nabo forrageiro > A+E > A+E+N > ervilhaca comum > azevém.

As diferenças relacionadas a manutenção da aveia preta e azevém, pode estar atribuído ao fato da primeira possuir ciclo mais precoce, nesse sentido, mesmo sendo ambas

pertencentes a família das poáceas, enquanto a aveia preta já se encontrava em fase de grão leitoso, o azevém havia atingido o pleno florescimento no ato do manejo (constatação visual), podendo haver diferenças na lignificação dos seus tecidos.

2.3.5 Liberação de Nitrogênio pelas Plantas de Cobertura Hibernais

A adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do milho, apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$) sobre a liberação média do conteúdo de N das plantas de cobertura do solo, apenas para os 15 primeiros dias, onde sob dose de 180 kg ha^{-1} , a liberação foi de $25,7 \text{ kg ha}^{-1}$ contra $21,7 \text{ kg ha}^{-1}$ na ausência do fertilizante na cultura anterior.

A dinâmica da liberação de N pela fitomassa das plantas de cobertura ao solo e à cultura em sucessão, apresentou-se variável no decorrer dos três anos (Figura 7), possivelmente em função das precipitações pluviométricas ocorridas no período (Figura 1). Conforme Carvalho et al. (2011), a mineralização do N é um processo mediado por microrganismos, que utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia, e é regulado principalmente, pelas condições edafoclimáticas e características intrínsecas dos resíduos. Assim, a liberação do N segue o mesmo comportamento da decomposição da MS (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; AITA; GIACOMINI, 2003).

O volume de precipitação de 45,4 mm, ocorrido somente na metade final da primeira quinzena de permanência das plantas de cobertura hibernais a campo (2012/2013), contribuiu para reduzida taxa inicial de decomposição e conseqüentemente liberação do N (Figura 7A), que ficou entre 23 e 7 kg ha^{-1} para o nabo forrageiro e azevém, respectivamente.

Entre os 30 e 60 dias, com precipitação acumulada aumentada para 69,8 e 160,4 mm respectivamente, houve um crescimento nas curvas de liberação de N para a maioria das espécies, com tendência a estabilização após esse período (Figura 7A). Aos 60 dias, a contribuição das fabáceas ao solo e à cultura do milho, foi de 62 e 52 kg ha^{-1} de N, pela ervilhaca comum e tremoço branco, respectivamente. Enquanto o azevém, aveia preta e centeio, haviam fornecido respectivamente, 16, 26 e 32 kg ha^{-1} de N durante o mesmo período. Os consórcios entre A+E+N (33 kg ha^{-1}) e A+E (44 kg ha^{-1}) tiveram liberação de N similar ao nabo forrageiro solteiro (46 kg ha^{-1}).

Aos 120 dias, com precipitação acumulada de 674,6 mm, a máxima quantidade de N liberado pelas plantas de cobertura foi de 56 e 66 kg ha^{-1} pelo tremoço branco e ervilhaca comum, respectivamente (Figura 7A), representando 58 e 69% do total presente na MS da parte aérea vegetal. As menores contribuições foram verificadas para as poáceas, com destaque para o azevém, com 17 kg ha^{-1} de N liberado (39% do total acumulado).

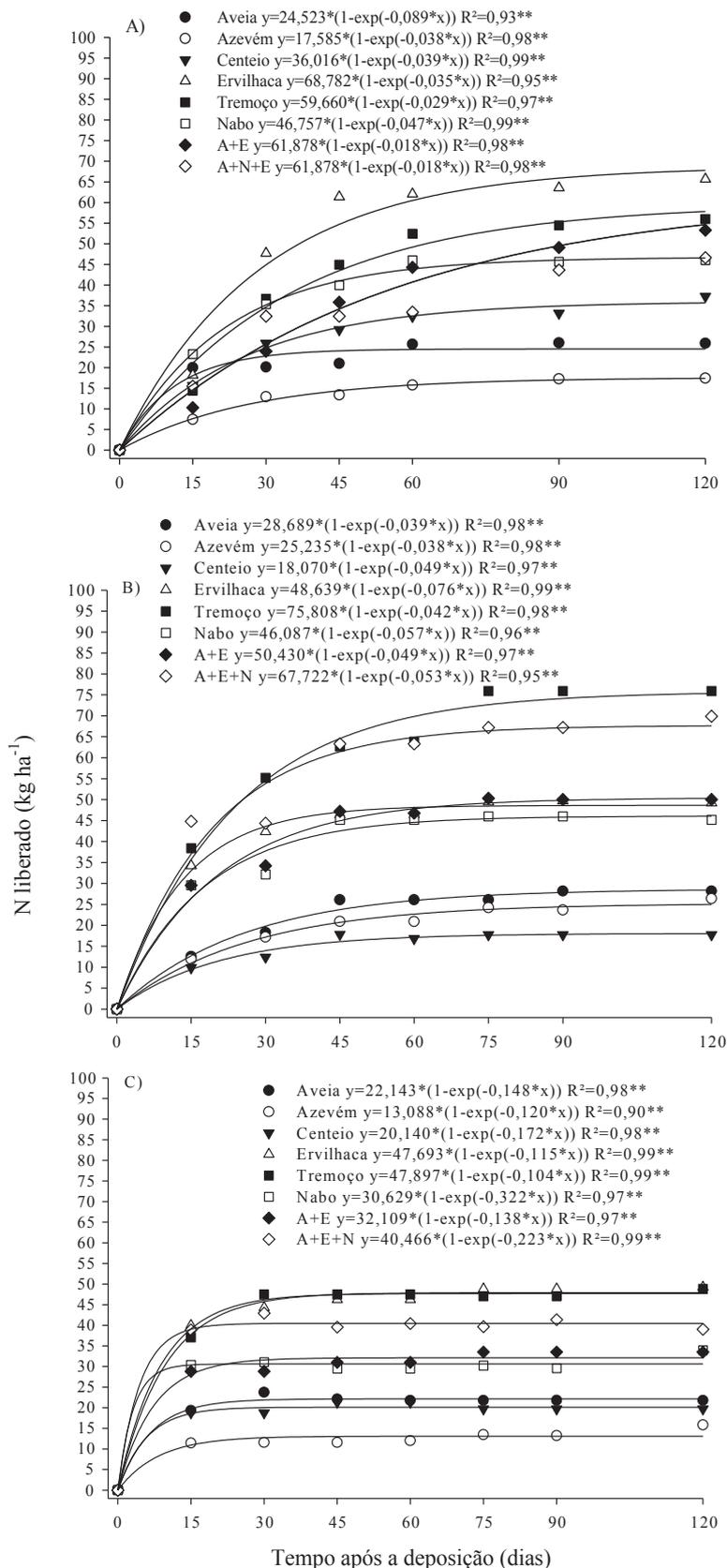


Figura 7 – Liberação de nitrogênio (N) pelas plantas de cobertura hibernais ao longo de 120 dias após a deposição em superfície do solo, para as safras 2012/2013 (A), 2013/2014 (B) e 2014/2015 (C). UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2016. ** significativo a $p<0,01$.

Ambos os consórcios contribuíram com liberação de 46% do total de N acumulado na MS ao longo dos 4 meses de acompanhamento, representando quantidade de 47 e 53 kg ha⁻¹ para A+E+N e A+E, respectivamente (Figura 7A). Pelo maior equilíbrio entre imobilização e mineralização, os consórcios entre fabáceas, poáceas e outras, propicia liberação de N intermediária aos cultivos isolados, bem como, possui potencial de manutenção dos resíduos para proteção do solo superior às fabáceas (ZIECH et al., 2015).

Com precipitações mais intensas e regulares, as curvas de liberação de N pelas plantas de cobertura, safra 2013/2014, apresentaram comportamentos similares entre grupos de plantas, em função da família ou composição do material vegetal (Figura 7B).

As poáceas caracterizaram-se pela menor disponibilidade do elemento ao solo e à cultura, com estabilização na liberação de N logo aos 45 dias, em quantidades de 26; 21 e 18 kg ha⁻¹ liberadas pela aveia preta, azevém e centeio, respectivamente (Figura 7B). O capim colonião, poácea de clima tropical, também apresentou reduzida taxa de liberação de N, reflexo da imobilização deste nutriente pelas poáceas, característica esta, que geralmente acarreta em deficiência de N para a cultura consorciada (ALVES et al., 2006) ou subsequente.

Entre os 15 e 75 dias, com precipitações acumuladas entre 136 e 340 mm, houve uma crescente liberação de N pelo tremoço branco (38 a 76 kg ha⁻¹) e consórcio A+E+N (45 a 67 kg ha⁻¹), representando no 75° dia, fornecimento de 72 e 64% do conteúdo total de N acumulado na MS, respectivamente (Figura 7B). Essa liberação coincide com o período de intensa absorção de N pela cultura do milho, que ocorre entre os 40 e 60 dias após a germinação, onde há rápida taxa de crescimento e acúmulo de 70 a 80% de toda MS da cultura (VASCONCELLOS; VIANA; FERREIRA, 1998).

A ervilhaca comum e o nabo forrageiro, também liberaram 73 e 63% do total presente na fitomassa até os 75 dias, entretanto com quantidades de 49 e 46 kg ha⁻¹ do nutriente, respectivamente, sendo similares ao consórcio A+E (50 kg ha⁻¹). Estas opções de cobertura, caracterizaram-se neste ano (2013/2014) como grupo de plantas, cujo fornecimento do nutriente ao solo e à cultura subsequente foi em quantidades intermediárias às demais (Figura 7B). Amado, Mielniczuk e Aita, (2002) mencionaram que a contribuição do nabo forrageiro na disponibilização de N, em solos com teores entre 2,5 a 5% (médios a altos) de matéria orgânica, associada a produção de MS superior a 3 Mg ha⁻¹, é equivalente à de uma leguminosa com produção média de MS (2-3 Mg ha⁻¹).

De modo similar a safra anterior, em 2014/2015 houve intensa precipitação nos primeiros 15 dias após a deposição dos *litter bags* à campo (226 mm) (Figura 1). Este fator, acelerou a taxa de decomposição e conseqüentemente, a liberação dos nutrientes. Obteve-se

assim, liberação neste período de 52, 55, 58 e 60% do total de N acumulado pelo tremoço branco, A+E+N, ervilhaca comum e nabo forrageiro, respectivamente. Porcentagens estas, que representam a liberação de quantidades entre 30 e 40 kg ha⁻¹ de N (Figura 7C).

Neste caso, durante o desenvolvimento inicial da cultura do milho em sucessão, (15 dias após semeadura) a rápida liberação de elevadas quantidades de N torna-se indesejável, pois, a cultura principal não possui capacidade de utilizar todo o nutriente disponível, ficando susceptível a perdas por lixiviação. Apesar do N oriundo de fitomassa das plantas de cobertura ser adicionado ao solo na forma orgânica, sua disponibilização é dependente do processo de mineralização dos resíduos pelos microrganismos do solo (SILVA et al., 2006), variável em função das condições climáticas durante o período.

De forma geral, a partir dos 30 até os 120 dias, houve uma estabilização na liberação do N pelas plantas de cobertura hibernais (Figura 7C), possivelmente em função da permanência da fração menos lábil.

A liberação média de N pelas plantas de cobertura hibernais, nas condições edafoclimáticas das três safras acompanhadas (Figura 8), indicam que as poáceas apresentam liberação de 36 a 53% do conteúdo de N acumulado na MS, representando o fornecimento de 20 a 24 kg ha⁻¹ do nutriente à cultura do milho ao longo de todo seu ciclo (120 dias).

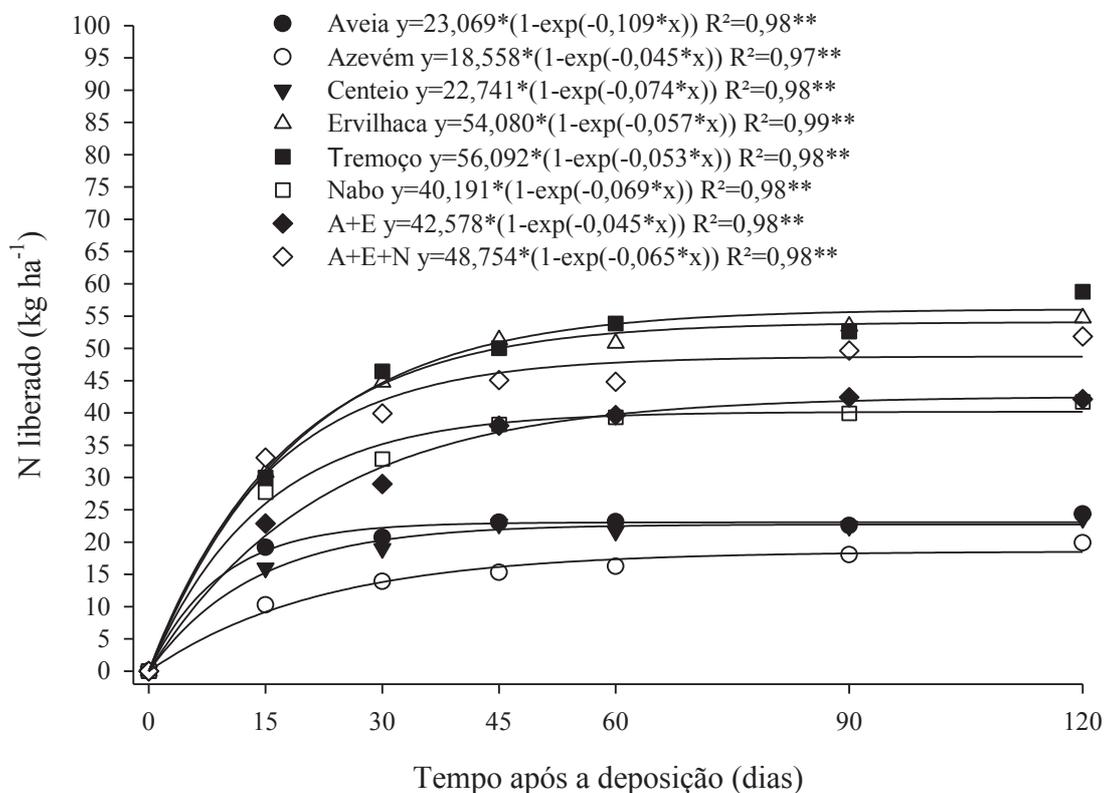


Figura 8 - Liberação média de nitrogênio (N) das plantas de cobertura hibernais nas safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016. ** significativo a $p<0,01$.

Durante os primeiros 15 dias, o comportamento de liberação de N pelo consórcio A+E foi similar às poáceas solteiras (Figura 8), possivelmente em função da presença de 88% da aveia preta na proporção final do consórcio, provocando inicialmente uma imobilização temporária de N. Entretanto, a partir dos 30 dias, a liberação de N pelo consórcio passou a ser similar ao nabo forrageiro, ambos atingindo liberações de 40 e 42 kg ha⁻¹ de N aos 60 e 120 dias, respectivamente.

Por sua vez, Aita e Giacomini (2003) verificaram que a utilização de aveia + ervilhaca teve a maior parte do N liberado durante os primeiros quinze dias de decomposição, em quantidade superior a aveia e ao nabo solteiros, todavia, com proporções maiores de ervilhaca no consórcio estudado.

Inicialmente (aos 15 dias) a liberação de N pelo consórcio A+E+N foi 8% superior às fabáceas solteiras, todavia, aos 30 e 45 dias houve uma queda de 5 kg ha⁻¹ nas quantidades de N disponibilizadas pelo consórcio em relação àquelas (Figura 8). Aos 60 dias, a contribuição de A+E+N foi de 45 kg ha⁻¹ de N, enquanto a ervilhaca comum e o tremoço branco haviam liberado 51 e 54 kg ha⁻¹, respectivamente. Ao final do período (120 dias), na média dos anos, as maiores liberações de N das plantas de cobertura hibernais ao solo e cultura ocorreram com a utilização de A+E+N, ervilhaca comum e tremoço branco, em quantidades de 52, 55 e 59 kg ha⁻¹, enquanto as menores liberações foram verificadas para azevém e aveia preta, com 19 e 24 kg ha⁻¹.

A ordem decrescente para a quantidade (kg ha⁻¹) média de N liberado pelas plantas de cobertura hibernais ao solo e a cultura, durante os primeiros 60 dias após o manejo foi: tremoço branco>ervilhaca comum>A+E+N>A+E>nabo forrageiro>aveia preta>centeio>azevém.

Nesse sentido, verifica-se que a combinação entre poáceas, fabáceas e brássicas, proporcionam um equilíbrio na liberação de N, contribuindo de forma similar às fabáceas solteiras. Entretanto, com maior potencial de produção de fitomassa, associado a menor velocidade na decomposição dos resíduos (DONEDA et al., 2012), propiciam, proteção do solo intermediário aos cultivos solteiros (ZIECH et al., 2015), além da capacidade de ciclagem de nutrientes de camadas mais profundas, pela presença do nabo forrageiro.

Por considerar somente a parte aérea vegetal, a quantidade real de N acumulado e liberado pelas plantas de cobertura do solo, pode ter sido subestimada, pois, em alguns casos, a contribuição do sistema radicular no fornecimento de nutrientes, pode equivaler a valores de 30 a 50% do total acumulado pela planta (IGUE et al., 1984).

2.4 CONCLUSÕES

Os consórcios promovem taxa de cobertura do solo entre 19,4 e 21,5% aos 20 dias após a semeadura.

A aveia preta isolada ou consorciada proporciona aporte entre 4,0 a 6,6 Mg ha⁻¹ de fitomassa ao solo.

Consórcios apresentam relação C/N intermediária às espécies de cobertura isoladas. O N residual do milho cultivado com 180 kg ha⁻¹ de N mineral em cobertura, favorece a redução da relação C/N das poáceas hibernais em sucessão.

Na ausência de adubação nitrogenada mineral, o tremoço branco e consórcios entre A+E e A+E+N possuem elevada capacidade de acúmulo de N na MS da parte aérea. A adubação nitrogenada aplicada ao milho, reduziu em 21% o acúmulo de N pelo tremoço branco cultivado em sucessão.

A ordem decrescente para manutenção de resíduos sobre o solo, ao longo de 120 dias é: aveia preta>centeio>tremoço branco>nabo forrageiro>A+E>A+E+N>ervilhaca comum>azevém.

O fornecimento médio de N pela MS do consórcio A+E+N é similar ao das fabáceas estudadas.

A quantidade média (kg ha⁻¹) de N liberado pelas plantas de cobertura hibernais ao solo e a cultura, nos primeiros 60 dias após o manejo, segue a ordem decrescente: tremoço branco>ervilhaca comum>A+E+N>A+E>nabo forrageiro>aveia preta>centeio>azevém.

3. COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SOB PLANTAS DE COBERTURA HIBERNAIS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO – O milho é um cereal de elevada importância econômica, dentre os nutrientes para sua nutrição, o nitrogênio (N) é o elemento requerido em maior quantidade. Entre as plantas de cobertura utilizadas no plantio direto, há um predomínio pelo uso de aveia para obtenção de palhada antecedendo o cultivo deste cereal. Assim, para garantir o fornecimento de N à cultura, são empregadas maiores quantidades de fertilizantes minerais. Uma forma alternativa de fornecer N ao sistema, é pelo uso de espécies antecessoras, capazes de realizar a fixação biológica ou reciclagem eficiente desse nutriente do solo. O objetivo foi avaliar o efeito das plantas de cobertura hibernais e doses de N mineral sobre os componentes de rendimento e produtividade de milho, em sistema plantio direto. O experimento foi estabelecido no ano de 2010, e os dados utilizados foram referentes às safras agrícolas de 2012/2013; 2013/2014 e 2014/2015. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais foram constituídas por plantas de cobertura (aveia preta, azevém, centeio, nabo forrageiro, ervilhaca comum, tremoço branco, consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo e Aveia+Ervilhaca), que antecederam a cultura do milho, e nas subparcelas foram utilizadas duas doses de adubação nitrogenada mineral (0 e 180 kg ha⁻¹ de N) aplicado em cobertura. O diâmetro e comprimento de espigas, o número de grãos por fileira e o número total de grãos por espiga de milho, são componentes de rendimento beneficiados pelo uso de fabáceas, brássica e consórcios como antecessores ao milho, na ausência de N mineral. O número de fileiras de grãos por espiga (2013/2014), não foi alterado pela dose 180 kg ha⁻¹ de N, quando o milho foi cultivado sobre fabáceas, nabo forrageiro e o consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo, com número médio de 14 fileiras por espiga. Sobre o azevém, na ausência de N mineral, as espigas apresentaram 13 fileiras de grãos (2014/2015). A adição de 180 kg ha⁻¹ de N promoveu acréscimo de 5,6 Mg ha⁻¹ na produtividade de grãos de milho, quando cultivado em sucessão à poáceas, e 2,1 Mg ha⁻¹ sobre fabáceas, brássica e consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo, em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N mineral. O N mineral em cobertura proporciona incremento de 12,4% na massa de mil grãos. Sobre a ervilhaca comum não há efeito da dose de N mineral para todos os componentes de rendimento do milho. Na ausência de N mineral, as fabáceas, brássica e consórcio Aveia+Ervilhaca+Nabo apresentam os melhores resultados para os componentes de rendimento do milho, e proporcionam produtividade de grãos similares aos sistemas com adição de 180 kg ha⁻¹ de N.

Palavras-chave: Adubação verde. *Zea mays*. Adubação nitrogenada. Produtividade de grãos.

ABSTRACT - Maize is a cereal of high economic importance, among the nutrients for its nutrition, nitrogen (N) is the element required in greater quantity. Among the cover crops used in no-tillage, there is a predominance by the use of oat to obtain straw preceding the corn crop. Thus, to ensure the supply of N to the crop, are applied larger amounts of mineral fertilizers. An alternative way of providing N to the system is the use of antecedent species, who can make the fixation and efficient recycling of this soil nutrient. The objective was to evaluate the effect of winter cover plants and mineral N levels on the yield components and corn yield in no-tillage system. The experiment was established in 2010, and the data used were related to agricultural crops 2012/2013; 2013/2014 and 2014/2015. The experimental design was randomized blocks with split plots and three replications. The main plots consisted of cover crops (black oats, ryegrass, rye, turnip, vetch, white lupine, consortium oat+vetch+turnip and oat+vetch), which preceded the corn, in the subplots were used two doses of mineral nitrogen fertilization (0 and 180 kg ha⁻¹ N) in coverage in the corn. The diameter and length the cobs, number of grains per row and the total number of grains per ear of corn, yield components are benefited by the use of Fabaceae, brassica and consortium as predecessors to maize, in the absence of mineral N. The number of rows per ear (2013/2014) was not changed by 180 kg ha⁻¹ N, when corn was grown over fabaceae, turnip and the consortium oat+vetch+turnip, with an average number of 14 rows per ear. Over ryegrass in the absence of mineral N, the corn had 13 grain rows (2014/2015). The addition of 180 kg ha⁻¹ N promoted increase of 5.6 Mg ha⁻¹ in productivity of corn, grown in succession to poaceae, and 2.1 Mg ha⁻¹ over fabaceae, brassica and consortium oat+vetch+turnip in relation to dose 0 kg ha⁻¹ N mineral. The mineral N in coverage provides increase of 12.4% in the weight of thousand grains. Over vetch, there was no effect of mineral N level for all components of corn yield. In the absence of mineral N, the fabaceae, brassica and consortium oat+vetch+turnip showed the best results for the corn yield components, and provide grain yield similar to systems with the addition of 180 kg ha⁻¹ N.

Keywords: Green manuring. *Zea mays*. Nitrogen fertilization. Grain yield.

3.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais produzido no mundo e sua importância econômica se dá em função de sua múltipla utilização, sendo seus principais destinos a alimentação animal e a produção de biocombustível (Etanol). O Brasil é o terceiro maior produtor desse grão, ficando atrás somente dos Estados Unidos e China (SEAB/DERAL, 2014). A produção nacional do cereal passou de 81,3 milhões de toneladas na safra 2012/2013 (CONAB, 2013), para 84,7 milhões de toneladas, cultivados em 15,7 milhões de hectares em 2014/2015 (CONAB, 2016).

O estado do Paraná registra um dos maiores índices de produtividade, em torno de 6,2 Mg ha⁻¹ na última safra (SEAB/DERAL, 2014), ocupando a posição de segundo maior produtor nacional (SEAB/DERAL, 2013). Dentre as regiões produtoras no estado, o Sul e Sudoeste se destacam pela concentração da maior parte da produção (CONAB, 2013).

Dentre os nutrientes essenciais na nutrição do milho, o nitrogênio (N) é um elemento limitante à produção (LIU; WIATRAK, 2011). A otimização da produtividade da cultura, em anos com condições climáticas favoráveis, requer quantidades de N superiores a 150 kg ha⁻¹ (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002), sendo que quantias tão elevadas podem não ser supridas pelo solo, necessitando de fontes complementares, via adubação nitrogenada.

Para garantir o fornecimento de N ao milho, geralmente são empregadas maiores quantidades do nutriente na forma de fertilizantes minerais (CIVARDI et al., 2011), ainda mais, quando se trata de cultivo em plantio direto, cuja obtenção de palha tenha sido através do uso de poáceas.

Pela alta concentração do nutriente e menor preço por unidade, a ureia tornou-se a principal fonte de adubação nitrogenada utilizada no Brasil, geralmente usada em cobertura, aplicada em superfície e sem incorporação (CIVARDI et al., 2011; FRAZÃO et al., 2014). No entanto, essa fonte, amplamente utilizada, possui elevada susceptibilidade à perdas de N por volatilização de amônia (NH₃), em função das condições climáticas, principalmente pelas elevadas temperaturas (FRAZÃO et al., 2014), sendo que, sob aplicação superficial em plantio direto, as perdas pelo uso da ureia podem chegar a quase 80% (CABEZAS 1998) representando prejuízo econômico e riscos de danos ambientais.

Com a ampla adoção do sistema plantio direto, uma forma alternativa de atender as necessidades de N requerida pelo milho, é pela utilização de plantas de cobertura, capazes de fixar N atmosférico (N₂) ou reciclar esse nutriente de camadas mais profundas do solo para a superfície, uma vez que o N mantido na forma orgânica é menos sujeito a perdas por lixiviação

ou volatilização, ficando disponível de acordo com a mineralização dos resíduos vegetais (LÁZARO et al. 2013).

Nesse sentido, a adoção de sistemas que contemplem o uso de plantas de cobertura, que possuam capacidade de aporte de N via FBN, podem ser uma opção alternativa em relação ao uso exclusivo de fertilizantes químicos. Todavia, na região Sul do Brasil, o uso de fabáceas não é muito bem aceita pelos agricultores, justamente pelo fato do custo para aquisição de suas sementes ser mais elevado. Deste modo, há a necessidade de realizar um levantamento simplificado dos custos com sementes de diferentes plantas de cobertura do solo e fertilizante nitrogenado em plantio direto, comparando o uso exclusivo de poáceas antecedendo o cultivo de milho, cujo fornecimento do N mineral é indispensável, em relação aos sistemas compostos por fábaceas/milho ou consórcios/milho, em que há suprimento alternativo do N à cultura em sucessão.

Neste contexto, o trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos das plantas de cobertura de ciclo hibernal e adubação nitrogenada sobre os componentes de rendimento e produtividade de grãos de milho, em sistema plantio direto.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos (25° 41' S, 53° 05' O e 526 metros de altitude). O solo do local foi descrito como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2013) com textura muito argilosa (773 g kg⁻¹ de argila, 224 g kg⁻¹ de silte e 30 g kg⁻¹ de areia) e o clima é classificado de acordo com Köppen como Cfa (C - subtropical úmido, com mês mais frio entre 18 e -3°C; f= sempre úmido, com chuva em todos os meses do ano; a = verão quente, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C) (ALVARES et al., 2013). Os dados referentes à precipitação acumulada e a variação de temperaturas durante o período experimental (setembro 2012 a janeiro de 2015), foram obtidos junto à estação meteorológica INMET, instalada no Câmpus da UTFPR (Figura 1).

A área experimental vem sendo utilizada com o experimento em sistema de plantio direto desde 2010. A caracterização química da camada de 0-20 cm apresentou pH (CaCl₂) = 5,3; índice SMP = 6,4; MO = 40,8 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 4,3 mg dm⁻³; K = 0,2 cmol_c dm⁻³; Ca = 6,0 cmol_c dm⁻³; Mg = 2,8 cmol_c dm⁻³; H+Al = 3,8 cmol_c dm⁻³; SB (soma de bases) = 9,0 cmol_c dm⁻³; CTC = 12,8 cmol_c dm⁻³ e V (saturação por bases) = 70%. A condução e coleta de dados foi realizada desde o ano de instalação, entretanto, para o presente trabalho serão

utilizadas informações oriundas das safras agrícolas 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições, constituído por parcelas principais de 50 m² (5m x 10m), com o estabelecimento das plantas de cobertura de inverno e subparcelas de 25 m² (5m x 5m), com duas doses de N mineral (0 e 180 kg ha⁻¹) em cobertura na cultura do milho.

As plantas de cobertura hibernais e densidades utilizadas foram: Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb) 90 kg ha⁻¹, Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) 50 kg ha⁻¹, Centeio (*Secale cereale* L.) 50 kg ha⁻¹, Tremoço Branco (*Lupinus albus* L.) 100 kg ha⁻¹, Ervilhaca Comum (*Vicia sativa* L.) 40 kg ha⁻¹, Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L.) 15 kg ha⁻¹, Aveia + Ervilhaca (A+E) 60+40 kg ha⁻¹ e Aveia + Ervilhaca + Nabo (A+E+N) 60+30+10 kg ha⁻¹. A semeadura das plantas de cobertura foi realizada entre abril e maio, de forma mecanizada com espaçamento de 0,17 m entre linhas, sem adição de adubações de base nem de cobertura.

Aos 119 (2012/2013), 118 (2013/2014) e 103 (2014/2015) dias após a semeadura, realizou-se o manejo de dessecação das mesmas mediante aplicação de herbicida glifosate (2,0 L ha⁻¹ p.c.). Momento em que as plantas de cobertura encontravam-se no estágio de pleno florescimento e enchimento de grãos/grão leitoso para a aveia preta, o centeio, o azevém e o tremoço branco; a ervilhaca ainda não apresentava flores; e o nabo forrageiro estava no final do estágio de floração.

O milho híbrido simples Pioneer P32R48, foi semeado em plantio direto, com espaçamento de 0,90 m entre linhas e população estimada para 75.000 plantas ha⁻¹, aos 14 (14/09/2012), zero (06/09/2013) e 14 (12/09/2014) dias após o manejo das plantas de cobertura hibernais, para as safras, 2012/2013; 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente. Utilizou-se para adubação de base, a formulação NPK 0:20:20 na quantidade de 250 kg ha⁻¹.

Durante o desenvolvimento do milho, realizou-se o manejo das plantas daninhas através de aplicação de Nicosulfuron (1,5 L ha⁻¹ p.c.) nas safras 2012/2013 e 2013/2014, Primatop (7 L ha⁻¹ p.c) e Sanson (160 ml ha⁻¹ p.c) na safra 2014/2015. O controle de lagartas do cartucho (*Spodoptera fugiperda*) ocorreu mediante aplicação de inseticidas Belt (0,15 L ha⁻¹ p.c.) e Decis® 25EC (200 ml ha⁻¹ p.c).

A adubação nitrogenada em cobertura, nas subparcelas que receberam N mineral, foi realizada manualmente, em dose única sob condições adequadas de umidade, aos 41 (safras 2012 e 2013) e 25 dias após a semeadura (2014), utilizando como fonte a ureia (45% de N).

A colheita do milho ocorreu em 30/01/2013, 07/02/2014 e 28/01/2015, em área de 4,5 m² na porção central das subparcelas. Foram avaliados nas safras 2013/2014 e 2014/2015

os componentes de produção em 10 espigas, ao acaso, em cada subparcela. As variáveis foram: diâmetro de espiga (determinada no terço médio da espiga utilizando paquímetro), comprimento de espiga (sem palha), número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, número total de grãos por espiga e massa de mil grãos. A produtividade de grãos de milho, nas três safras, foi estimada mediante extrapolação da produção colhida na área útil para hectare, corrigindo a umidade para 13%.

Afim de realizar um levantamento simplificado dos custos e receitas referentes aos sistemas estudados, utilizou-se os preços médios das sementes das plantas de cobertura hibernais (Apêndice 3), e o valor desembolsado para aquisição da adubação nitrogenada, referente a dose 180 kg ha^{-1} de N mineral no milho. Para o presente cálculo, foi considerado R\$ 60,00 como valor médio da saca de ureia. A receita bruta foi obtida através da produtividade de grãos e o preço de comercialização do cereal, sendo para este, admitido como valor médio R\$ 22,60 a saca de 60 kg.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) pelo programa computacional Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2006). Os elementos gráficos foram elaborados utilizando o programa computacional SigmaPlot 11.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Componentes de Rendimento do Milho

Plantas de cobertura x adubação nitrogenada no milho, apresentaram interação significativa ($p \leq 0,05$) para os componentes de produção de milho, em ambas as safras (Tabelas 6 e 7) exceto para a massa de mil grãos em 2013/2014 (Tabela 6). Conforme Ohland et al. (2005) o comprimento e diâmetro de espigas, número de espigas por área e a densidade dos grãos, são características que definem o potencial de produtividade da cultura.

Efeito positivo das plantas de cobertura foi verificado sobre o diâmetro de espigas, na ausência de N mineral, para ambas as safras, onde as fabáceas, nabo forrageiro e os consórcios conferiram as maiores médias (Tabelas 6 e 7), não diferindo, portanto, da aveia preta e centeio no ano 2014/15. O mesmo ocorreu para o comprimento de espigas, com variações entre 12,9 cm (A+E) a 15,0 cm (fabáceas) em 2013/2014 (Tabela 6), e 15,3 cm (nabo forrageiro) a 16,2 cm (fabáceas) em 2014/2015 (Tabela 7).

Tabela 6 - Médias das interações entre plantas de cobertura x adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N) para os componentes de rendimento do milho, safra 2013/2014. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2016.

Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Safra 2013/2014								
	Aveia preta	Azevém	Centeio	Ervilhaca comum	Tremoço branco	Nabo forrageiro	A+E+N	A+E	Médias
	Diâmetro de Espiga (mm)								
0	37,2 bBC*	35,2 bC	36,9 bBC	43,6aA	42,8 aA	41,6 bA	42,8 bA	40,4 bAB	40,1
180	45,9 aA	44,4 aA	45,3 aA	45,2aA	45,3 aA	44,5 aA	46,2 aA	45,7 aA	45,3
	Comprimento de Espiga (cm)								
0	11,0 bCD	10,5 bD	11,3 bBCD	15,0 aA	14,9 aA	13,9 bA	13,6 bAB	12,9 bAB	12,9
180	16,3 aA	16,2 aA	15,8 aA	15,2 aA	16,0 aA	16,1 aA	16,1 aA	15,9 aA	16,0
	Número de Fileiras por Espiga								
0	11 bCD	10 bD	12 bBC	14 aA	14 aA	14 aA	14 aA	13 bAB	12
180	15 aA	14 aA	14 aA	14 aA	14 aA	14 aA	14 aA	14 aA	14
	Número de Grãos por Fileira								
0	17 bCD	16 bD	18 bBCD	25 aA	24 bA	23 bAB	22 bABC	20 bABCD	20
180	29 aA	29 aA	29 aA	27 aA	28 aA	29 aA	29 aA	28 aA	28
	Número Total de Grãos por Espiga								
0	178 bCD	153 bD	206 bCD	349 aA	344 aA	309 bAB	298 bAB	256 bBC	262
180	426 aA	412 aA	413 aA	387 aA	396 aA	390 aA	419 aA	397 aA	405
	Massa de Mil Grãos (g)**								
0	305,0 bA	302,1 bA	319,1 bA	340,6 bA	325,2 bA	324,6 bA	321,8 bA	321,9 bA	320,0
180	356,6 aA	353,2 aA	369,4 aA	362,0 aA	366,1 aA	358,9 aA	353,7 aA	358,4 aA	359,8

* Médias seguidas por letras iguais, minúscula na coluna (comparam dose de N entre si) e maiúscula na linha (comparam plantas de cobertura) para cada variável, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro (p≤0,05). A+E+N: Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E: Aveia+Ervilhaca. ** Interação não significativa.

Tabela 7 - Médias das interações entre plantas de cobertura x adubação nitrogenada (0 e 180 kg ha⁻¹ de N) para os componentes de rendimento do milho, safra 2014/2015. UTFPR, Dois Vizinhos PR, 2016.

Safra 2014/2015									
Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Aveia preta	Azevém	Centeio	Ervilhaca comum	Tremoço branco	Nabo forrageiro	A+E+N	A+E	Médias
Diâmetro de Espiga (mm)									
0	43,5 bAB*	42,2 bB	43,4 bAB	47,0 aA	46,3 aA	46,2 bA	46,5 bA	44,6 bAB	45,0
180	48,4 aA	47,6 aA	48,6 aA	47,3 aA	46,9 aA	48,4 aA	48,4 aA	49,9 aA	48,2
Comprimento de Espiga (cm)									
0	13,8 bCD	12,9 bD	13,9 bBCD	16,3 aA	16,2 aA	15,3 aABC	15,9 aA	15,5 bAB	15,0
180	17,0 aA	16,7 aA	16,9 aA	16,9 aA	15,7 aA	16,3 aA	16,7 aA	17,1 aA	16,7
Número de Fileiras por Espiga									
0	13 aAB	13 aB	14 aAB	14 aA	13 aAB	13 aAB	14 aA	13 bAB	13
180	14 aBC	13 aBC	14 aABC	13 aBC	13 aC	14 aABC	14 aAB	15 aA	14
Número de Grãos por Fileira									
0	20 bBC	19 bC	21 bBC	28 aA	28 aA	25 aAB	26 aA	24 bAB	24
180	29 aA	28 aA	29 aA	30 aA	28 aA	26 aA	29 aA	29 aA	28
Número Total de Grãos por Espiga									
0	273 bBC	239 bC	282 bBC	383 aA	374 aA	337 aAB	363 aA	328 bAB	322
180	394 aA	375 aA	403 aA	398 aA	366 aA	367 aA	410 aA	423 aA	392
Massa de Mil Grãos (g)									
0	301,8 bA	298,6 bA	298,2 bA	359,7 aA	351,4 aA	339,1 bA	336,2 bA	323,5 bA	326,1
180	380,6 aA	377,6 aA	323,5 aA	364,2 aA	353,6 aA	361,2 aA	372,3 aA	389,7 aA	365,3

* Médias seguidas por letras iguais, minúscula na coluna (comparam dose de N entre si) e maiúscula na linha (comparam plantas de cobertura) para cada variável, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$). A+E+N: Aveia+Ervilhaca+Nabo; A+E: Aveia+Ervilhaca.

A aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N mineral em cobertura no milho, em ambas as safras, não promoveu efeito significativo sobre o diâmetro de espigas de milho, quando cultivado em sucessão às fabáceas isoladas (Tabelas 6 e 7). Para o comprimento de espigas, além das fabáceas (ambas as safras), o nabo forrageiro e o consórcio A+E+N (safra 2014/2015) promoveram, na ausência de N mineral, resultados equivalentes ao sistema com fertilizante nitrogenado em cobertura. Isso porque, no momento de definição desta característica, estágio fenológico V12 que ocorre entre a sexta e oitava semana após emergência, a quantidade de N liberada pelas fabáceas na safra 2013/2014 ficou entre 46 e 63 kg ha⁻¹ (Figura 7B), enquanto para o mesmo período na safra 2014/2015, a quantidade de N mineralizada pelas fabáceas, brássica e consórcio A+E+N esteve entre 29 e 47,5 kg ha⁻¹ (Figura 7C).

Ao fazerem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N₂ (AITA et al., 2001; STRIEDER et al., 2006; SILVA et al., 2007) ou pela alta capacidade de ciclagem de nutrientes (HEINZMANN, 1985), com relação C/N baixa, as fabáceas e brássicas apresentam potencial de disponibilização de N, em quantidade e em sincronia com a maior demanda pela cultura subsequente (AITA et al., 2001). Entretanto, em todos os sistemas envolvendo poáceas solteiras, a dose 180 kg ha⁻¹ de N mineral em cobertura promoveu incrementos no diâmetro e comprimento de espigas em relação à ausência adubação nitrogenada (Tabelas 6 e 7).

Efeito significativo das plantas de cobertura sobre o comprimento e diâmetro de espiga de milho também foi constatado por outros autores (ALBUQUERQUE et al., 2013; SANTOS et al., 2010; OHLAND et al., 2005). Todavia, Lázaro et al. (2013) e Lourente et al. (2007) não observaram diferenças em função das culturas antecessoras, o que indica que não há dados conclusivos sobre a influências das plantas em relação a essas variáveis.

Para o número de fileiras de grãos por espiga (safra 2013/2014), não houve efeito da dose 180 kg ha⁻¹ de N mineral no milho, quando foram utilizadas fabáceas, nabo forrageiro e o consórcio A+E+N como culturas antecessoras ao milho (Tabela 6), mantendo o número médio de 14 fileiras por espiga. Quando se fez uso de poáceas no sistema, sob ausência de N mineral, houve redução de 24% no número de fileiras de grãos, com apenas 10 fileiras em espigas de milho cultivado sobre azevém. Para a safra 2014/2015 (Tabela 7), apesar atingir média de 13 fileiras de grãos por espiga, o sistema composto pelo azevém manteve-se como o de menor resultado na ausência de N mineral.

Por mais que o número de fileiras de grãos por espiga seja uma característica determinada pelo genótipo (OHLAND et al., 2005), percebe-se que é afetada diretamente pela disponibilidade de N no sistema solo-planta. Albuquerque et al. (2013) também constataram

que a aplicação de N promoveu acréscimo significativo para esta variável.

De acordo com Weismann (2008) o número de fileiras por espiga é definido no estágio fenológico V8, período compreendido entre a quarta e sexta semana após a emergência, momento que a disponibilidade de nutrientes, especialmente de N, é muito importante (estádios V6 e V8) por ser o início do período de maior demanda pela planta. Justificam-se assim, os resultados do presente estudo, já que a demanda hídrica possivelmente não tenha sido limitante em função das precipitações ocorridas durante o ciclo (Figura 1) sendo, nesse caso, o N disponível o fator limitante da expressão gênica.

O número de grãos por fileira, na ausência de N mineral, é influenciado positivamente pelo uso das fabáceas, nabo forrageiro e consórcios como plantas de cobertura no sistema, proporcionando as maiores médias em ambas as safras (Tabelas 6 e 7). Entretanto, Lázaro et al. (2013) não verificaram diferenças significativas para esta variável sobre diferentes palhadas em cobertura do solo.

O uso de 180 kg ha^{-1} de N mineral em cobertura no milho, cultivado em sucessão a ervilhaca comum (safra 2013/2014) e sobre ambas as fabáceas, nabo forrageiro e consórcio A+E+N (safra 2014/2015), não promoveu incremento no número de grãos por fileira, com média de 26 e 27 grãos para cada safra respectivamente (Tabela 6 e 7). Desde modo, a liberação de 46 kg ha^{-1} de N pela ervilhaca comum (Figura 7B) e em quantidades entre 29,5 e $47,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N pelas fabáceas, brássica e consórcio A+E+N (Figura 7C), na ausência de adubação nitrogenada, liberados até o estágio fenológico V17 da cultura do milho, momento em que esta característica é definida (MAGALHÃES; DURÃES, 2006) mostrou-se para esses sistemas, tão eficiente quanto a aplicação de 180 kg ha^{-1} do N mineral.

Os maiores números totais de grãos por espiga no milho, cultivado sem adição de fertilizante nitrogenado, ocorreram em sucessão as fabáceas, nabo forrageiro e consórcios para ambas as safras (Tabelas 6 e 7). No caso das poáceas, houve uma redução de 48 e 30% do número de grãos obtidos em relação às fabáceas, referente as safras 2013/2014 (Tabela 6) e 2014/2015 (Tabela 7), respectivamente. Silva et al. (2006) evidenciam que tais reduções podem ocorrer em situações de deficiência de N, principalmente quando a cultura antecessora é uma poácea, associada a baixa adubação nitrogenada ou aplicação tardia. Foi observado que o uso de fabáceas na safra 2013/14 (Tabela 6), e fabáceas, nabo forrageiro e consórcio A+E+N na safra 2014/2015 (Tabela 7) proporcionaram, mesmo na ausência de fertilizante nitrogenado, número total de grãos por espiga equivalente ao obtido sob fornecimento de 180 kg ha^{-1} de N mineral à cultura comercial (Tabela 6).

Na ausência de N mineral (0 kg ha^{-1}) as poáceas influenciam negativamente todas as variáveis (Tabelas 6 e 7). Este fato pode ser atribuído a elevada relação C/N dos tecidos das gramíneas isoladas, que, ao serem utilizados como fonte de energia pelos microrganismos do solo, promovem imobilização temporária de parte do N orgânico presente nos próprios resíduos vegetais, bem como do N mineral presente do solo, reduzindo assim, a disponibilidade à cultura do milho (VARGAS, SELBACH, SÁ, 2005). Cabe ressaltar que não houve efeito significativo do uso de N mineral para a maioria dos componentes de rendimento quando a cultura antecessora foi uma fabácea. Assim, sob o ponto de vista da utilização de ervilhaca comum ou tremoço branco no sistema, existe a possibilidade substituição parcial da adubação nitrogenada e, em determinados casos até mesmo suprimida de forma integral no sistema fabáceas/milho (dependendo do nível tecnológico aplicado, produtividade esperada e objetivo do agricultor), principalmente, quanto há o uso ao longo do tempo destas espécies no sistema.

Aita et al. (2001) relataram que a demanda de N no milho foi totalmente atendida para a produtividade média de $4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de grãos, quando a cultura comercial foi estabelecida em sucessão ao tremoço azul e ervilhaca comum. Isso deve-se ao N adicionado ao solo, via fixação biológica e, à facilidade com que esse N é liberado pelos resíduos durante sua decomposição (GIACOMINI et al., 2004). Deste modo, há possibilidade de utilização dos fertilizantes nitrogenados de forma mais racional, tratando-os como aliados mediante sinergismo e não como exclusivos.

Na safra 2013/2014, a massa de mil grãos de milho não foi alterada pelas plantas de cobertura, apresentando média geral de 339,9 gramas (Tabela 6). Entretanto, Lourente et al. (2007) e Ohland et al. (2005) constataram influência das culturas antecessoras sobre este componente.

A adição de 180 kg ha^{-1} de N mineral, proporcionou incremento de 12,4% na massa de mil grãos de milho, em relação à ausência de adubação nitrogenada (0 kg ha^{-1}) (Tabela 6). Em resposta à adição de doses de nitrogênio, Ohland et al. (2005) obtiveram aumentos de 8,1 e 9,3% na massa de mil grãos, mediante aplicação de 150 e 200 kg ha^{-1} de N, respectivamente, em comparação a dose zero (327,2 g).

Lourete et al. (2007) observaram máxima massa de mil grãos de milho (291 g) em sucessão ao trigo, pela aplicação de 168 kg ha^{-1} de N. Por sua vez, Ferreira et al. (2001) encontraram na ausência de N, peso de mil grãos igual a 292 gramas, verificando aumento de massa em função do incremento nas doses de N.

Na safra seguinte (2014/2015) a massa de mil grãos de milho obtido em sucessão

à ervilhaca comum e tremoço branco, na ausência de N mineral, foi equivalente ao obtido no sistema com 180 kg ha^{-1} de N, independente da planta de cobertura utilizada (Tabela 7). Este efeito pode estar associado à quantidade e sincronia na liberação do N pelos tecidos destas leguminosas em relação às demais. Associado a isto, podem ter ocorrido incrementos na qualidade química do solo destes sistemas ao longo das sucessivas safras em plantio direto.

3.3.2 Produtividade de Grãos

Houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre as plantas de cobertura hibernais e doses de N mineral em cobertura na produtividade de milho, para as três safras agrícolas acompanhadas (Tabela 8).

Na safra 2012/2013, foi observado que sob ausência de N mineral, as maiores produtividades de grãos de milho foram obtidas em sucessão a ervilhaca comum e consórcio A+E+N (Tabela 8), não diferindo, portanto, dos sistemas compostos por consórcio A+E, nabo forrageiro e tremoço branco. A produtividade de milho atingida pelo cultivo sobre os resíduos de ervilhaca comum e A+E+N, foi respectivamente 2,3 e 2,1 vezes superior ao sistema centeio/milho, com a menor produção de grãos nesta safra.

A produtividade de grãos obtida pelo milho em sucessão à ervilhaca comum, na ausência de N mineral (Tabela 8), equivale a média obtida para o milho 1º safra (2012/2013) do estado do Paraná, que foi de $8,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (CONAB, 2013) produzido sob diferentes níveis tecnológicos.

Com a aplicação da dose de 180 kg ha^{-1} de N mineral em cobertura no milho, não houve expressão significativa ($p \leq 0,05$) das plantas de cobertura sobre a produtividade de grãos, com médias entre 8,2 a $11,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o tremoço branco e A+E, respectivamente (Tabela 8).

Para safra 2013/2014, na ausência de N mineral, as maiores produtividades de grãos de milho foram obtidas em sucessão ao tremoço branco, ervilhaca comum e nabo forrageiro (Tabela 8) contudo, não diferiram dos consórcios.

Conforme Silva et al. (2006), na ausência de adubação nitrogenada, as maiores produtividades ocorrem quando a cultura antecessora é uma leguminosa ou nabo forrageiro, o que foi confirmado nesse estudo. No caso das leguminosas deve-se ao N adicionado ao solo via fixação biológica e, à facilidade com que esse N é liberado pelos resíduos durante sua decomposição (GIACOMINI et al., 2004). Por sua vez, o nabo forrageiro possui alta capacidade de extrair N das camadas mais profundas do solo (HEINZMANN, 1985), e tornar disponível nas camadas superficiais pelo processo de ciclagem de nutrientes.

Tabela 8 – Médias das interações para produtividade de grãos de milho cultivado sobre plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada, safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.

Safr 2012/2013		
	0 kg ha ⁻¹ de N	180 kg ha ⁻¹ de N
	----- Mg ha ⁻¹ de grãos -----	
Aveia preta	3,9 bcB	10,4 ^{ns} A
Azevém	4,0 bcB	9,9 A
Centeio	3,6 cB	8,8 A
Ervilhaca comum	8,2 aB	9,9 A
Tremoço branco	6,3 abcB	8,2 A
Nabo forrageiro	6,4 abcB	8,4 A
A+E	7,1 abB	11,2 A
A+E+N	7,7 aB	10,6 A
CV%	19,0	
Safr 2013/2014		
Aveia preta	2,5 cB	10,6 ^{ns} A
Azevém	2,0 cB	9,2 A
Centeio	2,7 bcB	9,9 A
Ervilhaca comum	7,0 aB	9,7 A
Tremoço branco	7,7 aB	10,6 A
Nabo forrageiro	6,7 aB	9,7 A
A+E	4,5 abcB	11,2 A
A+E+N	5,9 abB	11,1 A
CV%	18,8	
Safr 2014/2015		
Aveia preta	2,9 cB	6,8 ^{ns} A
Azevém	2,7 cB	6,8 A
Centeio	3,0 bcB	6,1 A
Ervilhaca comum	6,0 aA	7,3 A
Tremoço branco	5,8 abA	6,4 A
Nabo forrageiro	5,5 abcA	6,2 A
A+E	4,2 abcB	7,2 A
A+E+N	5,8 aA	6,0 A
CV%	16,3	

* Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). (A+E)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Ao agrupar os sistemas (safr 2013/2014), verifica-se que na ausência de N mineral, a produtividade média de grãos de milho em sucessão às fabáceas e brássica (7,1 Mg ha⁻¹), foi 3 vezes superior ao obtido sobre as poáceas (2,4 Mg ha⁻¹), entretanto, apenas 1,4 vezes superior ao alcançado sobre os consórcios (5,2 Mg ha⁻¹). Deste modo, em unidades de produção que optam pelo baixo investimento de insumos no cultivo, é possível, pelo planejamento do

sistema de rotação (plantas de cobertura/milho), obter produtividades acima da média estadual referente a produtividade de milho total, que na safra 2013/2014 foi de 6,1 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2015), ou, pela simplificação do sistema, mediante adoção da sucessão poáceas/poácea, deixar de produzir até 4,7 Mg ha⁻¹ de grãos. Principalmente se o N for aplicado tardiamente ou em quantidade insuficiente.

Ao se considerar o uso dos consórcios, o déficit na produtividade média de grãos é de 1,9 Mg ha⁻¹ em relação às maiores (fabáceas solteiras). Entretanto, pela biodiversidade do sistema, tem-se agregação de benefícios, conferindo além da disponibilização de N ao solo e à cultura, a proteção da superfície (Figura 6). Deste modo, pela complementação com menores quantidades de N mineral na cultura comercial, possivelmente sejam atingidas produtividades de grãos próximas ou iguais às fabáceas isoladas, na ausência da adubação nitrogenada.

Constatou-se que, independente das plantas de cobertura de inverno utilizadas, a adição de 180 kg ha⁻¹ de N mineral em cobertura no milho, na safra 2013/2014, promoveu produtividades de grãos entre 9,2 e 11,2 Mg ha⁻¹ (Tabela 8). Percebe-se, entretanto, que o efeito o incremento na média de produtividade de grãos pelo uso de N mineral, é de 4,1 vezes para a sucessão do milho às gramíneas e apenas 1,4 vezes quando em sucessão às fabáceas e brássica.

No desdobramento da interação para a produtividade de milho no terceiro ano de acompanhamento (2014/2015), verifica-se que, sob ausência de N mineral, a utilização de aveia preta, azevém e centeio para obtenção de palha no SPD, proporcionam as menores produtividades de grãos, com média de 3 Mg ha⁻¹. Todavia, o uso de sistemas como a consorciação entre A+E+N e ervilhaca comum, promoveram incrementos de 93,3 e 100% em relação às poáceas, respectivamente (Tabela 8).

Sobre a eficiência das plantas de cobertura hibernais no fornecimento de N, em quantidade e sincronia à cultura do milho, constatou-se, que a produtividade de grãos sobre a fitomassa de ervilhaca comum, tremoço branco, nabo forrageiro e A+E+N, obtidos na ausência de N mineral, foi equivalente a adição de 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura, com variação entre 5,5 a 6,0 Mg ha⁻¹ (Tabela 8). Enfatiza-se assim, o potencial de uso dessas espécies de inverno como fontes alternativas de N aos cultivos comerciais de verão.

Deste modo, é observado que, pelo uso de fabáceas, brássica e a associação destas à poácea, em que há liberação de N pelos resíduos em quantidade equivalente a 1/3 da dose de N mineral (180 kg ha) (Figura 8), é possível obter rendimento médio de até 5,8 Mg ha⁻¹ de grãos de milho (Tabela 8). Este resultado, obtido em SPD que se encontra na fase inicial de sua evolução (0 – 5 anos), que é considerado como período crítico, pois geralmente os teores de

matéria orgânica originais são baixos, momento em que há o restabelecimento da fauna e biomassa microbiana no solo, e elevada necessidade de N pelo sistema (Sá, 2004).

Deste modo, pode-se dizer que as inserções de determinadas espécies de cobertura no SPD proporcionam, ao longo do tempo, incrementos na produtividade da cultura em sucessão, mesmo quando esta for altamente exigente em N, como é o caso da cultura do milho que, sob condições climáticas favoráveis, requer quantidades superiores a 150 kg ha^{-1} de N para otimizar a produtividade de grãos (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002).

A produtividade de milho obtida sobre o consórcio A+E foi similar às poáceas solteiras, onde, a adição de 180 kg ha^{-1} de N mineral proporcionou incremento de 71,4% na produtividade de milho em relação a dose 0 kg ha^{-1} de N (Tabela 8). Este fato pode estar relacionado à predominância da aveia no consórcio, além do potencial de perfilhamento dessa espécie. De acordo com Giacomini et al. (2004) a produtividade de grãos de milho em sucessão aos consórcios de aveia+ervilhaca, são proporcionais à quantidade de N disponíveis na biomassa do consórcio, sendo oriundo principalmente da fitomassa da ervilhaca.

Assim, o aumento da participação da gramínea na consorciação, promove aumento da relação C/N, que, nas poáceas, pode chegar até valores de 42,9 (GIACOMINI et al., 2003), influenciando no processo de decomposição (ACOSTA et al., 2014) e, conseqüentemente, na dinâmica de liberação de N pela aveia, podendo ocorrer um processo de imobilização temporária do N mineral do solo e/ou aplicado via adubação mineral pela biomassa microbiana, com liberação parcial e tardia do nutriente, tornando-se muitas vezes indisponível, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho em sucessão (VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005; STRIEDER et al., 2006; FLORENTÍN et al., 2010), principalmente quando o cultivo se dá logo após o manejo das coberturas, necessitando assim, de maior dose de N para obter maior produção de grãos (LOURENTE et al., 2007).

Com a adição da dose de 180 kg ha^{-1} de N mineral em cobertura no milho na safra 2014/2015, não houve efeito significativo das plantas de cobertura hibernais sobre a produtividade de grãos, com média de $6,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 8).

Quando o milho foi cultivado sobre as plantas de cobertura hibernais, foi verificado que a adição de 180 kg ha^{-1} de N em cobertura, promoveu acréscimos entre 25 a 186% na produtividade média das três safras (Figura 9), em comparação da ausência de N mineral, dependendo da planta de cobertura empregada no sistema.

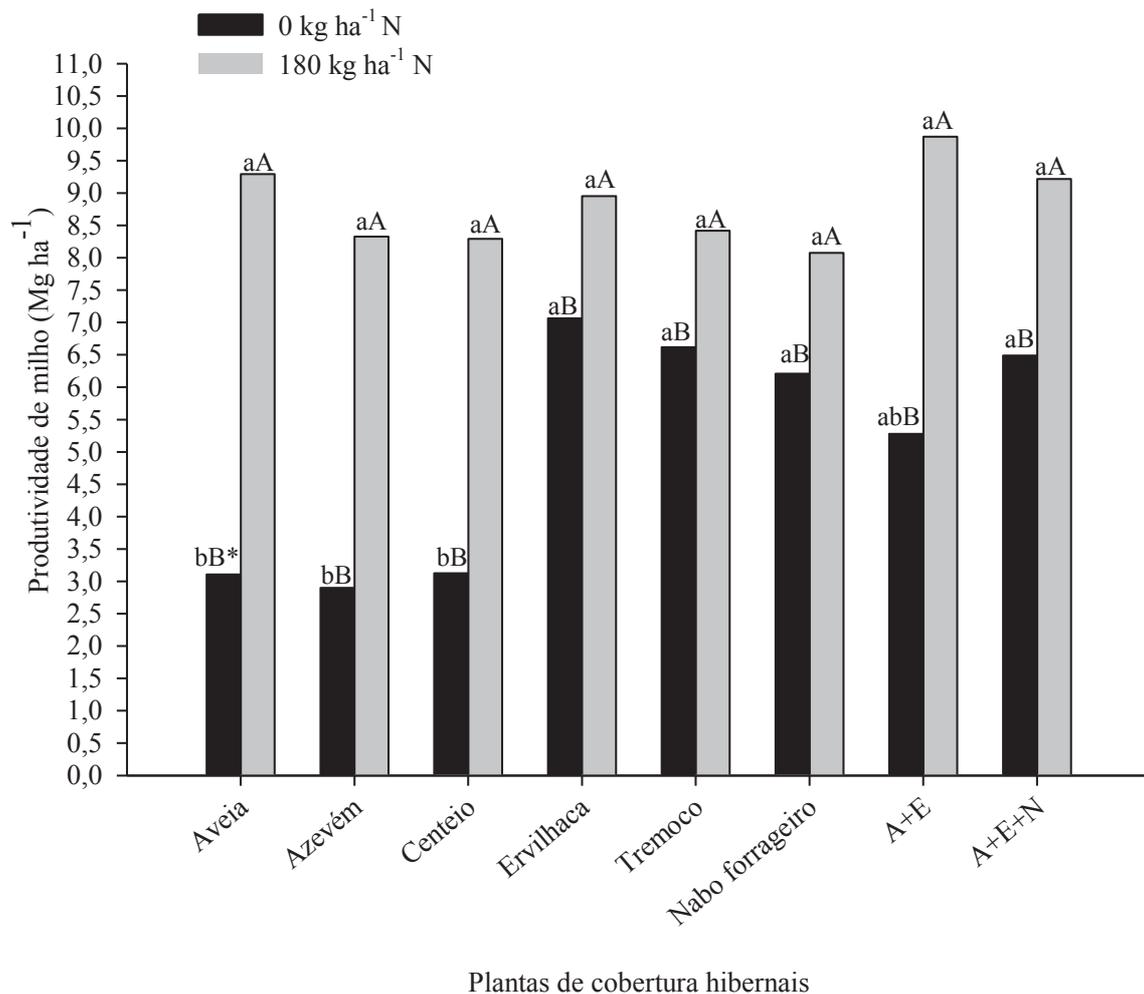


Figura 9 - Produtividade média de grãos de milho, cultivado em sucessão a plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada nas safras agrícolas (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016. *Letras maiúsculas comparam doses entre si e minúsculas as plantas de cobertura para uma mesma dose, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (A+E)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo.

A utilização de nabo forrageiro, consórcio A+E+N, tremoço branco e ervilhaca comum, antecedendo o cultivo de milho sob dose 0 kg ha⁻¹, proporcionaram, respectivamente, produtividade equivalentes a 67, 70, 71 e 76% em relação ao alcançada quando cultivado em sucessão a aveia preta, sob dose de 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura, sistema mais utilizados pelos agricultores (Figura 9). Desta maneira, fica evidente que pela inserção adequada de plantas de cobertura, existe a possibilidade, ao longo do tempo, de redução gradativa nas quantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados, visando diminuir os custos de produção, principalmente em unidades da agricultura familiar.

Heinrichs et al. (2001) evidenciaram que a demanda de N pelo milho, para produtividades próximas a 5 Mg ha^{-1} podem ser supridas pela ervilhaca solteira, ou então no consórcio com gramínea, com no máximo 10% de aveia. Por sua vez, Dahlem (2013) verificou, que a fabácea isolada proporcionou fornecimento de N em quantidade suficiente para obter produtividade de grãos de $6,6 \text{ Mg ha}^{-1}$. No presente estudo, foi obtido média de $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de grãos de milho sobre os resíduos da ervilhaca comum (Figura 9).

Na ausência de N mineral, o milho cultivado sobre as fabáceas, brássica e consórcio A+E+N, proporcionou as maiores produtividades de grãos, com média de $6,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 9). Sobre estas plantas de cobertura, o incremento na produtividade pela adição de 180 kg ha^{-1} de N foi de $2,1 \text{ Mg}$ de grãos por hectare. Quando analisado o aumento de produtividade de milho, pela adição de N mineral em sucessão às poáceas, obteve-se acréscimo de $5,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de grãos em relação a ausência de fertilizante nitrogenado.

Evidencia-se assim, que a eficiência (conversão) pela adição de 180 kg ha^{-1} de N sobre as poáceas, é de $31,1 \text{ kg}$ de grãos produzidos para cada 1 kg de N adicionado, enquanto que, sobre as fabáceas, brássica e consórcio A+E+N é de apenas $11,7 \text{ kg}$ de grãos por quilograma de N.

Considerando o método de diferenças de N, citado por Herridge e Giller (2016), foi possível constatar que as fabáceas aportaram biologicamente $45,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em seus tecidos. Deste modo, ao considerar o acréscimo de $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ na produtividade de milho no sistema fabácea/milho, em relação ao poácea/milho sob dose 0 kg ha^{-1} de N mineral, obtém-se conversão de $86,1 \text{ kg}$ de grãos para cada 1 kg de N fixado, justificando assim as elevadas produtividades obtidas pelo uso destas espécies isoladas no sistema, ou pela inclusão das mesmas em consórcios, tornando-se uma alternativa de reduzir a necessidade de N aos cultivos de milho na região.

3.3.3 Análise Parcial de Custos dos Sistemas

Através da análise parcial dos custos dos sistemas compostos pelas plantas de cobertura/milho, sob manejo diferenciado de adubação nitrogenada, foi verificado que sob ausência de N mineral os custos para estabelecimento das plantas de cobertura variaram entre R\$ 32,25 para o nabo forrageiro/milho e R\$ 450,00 para tremoço branco/milho. Enquanto que para as mesmas, sob adição dos 400 kg ha^{-1} de ureia em cobertura no milho, houve incremento de R\$ 480,00 nos custos de cada sistema, variando entre R\$ 512,25 a R\$ 930,00 (Tabela 9).

Tabela 9- Análises de custos e produção de grãos de milho obtidos nos diferentes sistemas de sucessão com plantas de cobertura e doses de nitrogênio mineral utilizado.

	Prod. Milho	Custo	Custo da	Custo do	Produção	Receita	Receita	
		semente ⁽¹⁾	dose	sistema ⁽³⁾		bruta ⁽⁴⁾	bruta	
	kg ha ⁻¹	R\$ ha	180 kg N ⁽²⁾	R\$ ha	R\$ ha	R\$ ha	R\$ ha	
Aveia preta	Sem N	2.951	117,00	0,00	117,00	49,2	1.112	994,56
Azevém	Sem N	2.750	117,50	0,00	117,50	45,8	1.036	918,48
Centeio	Sem N	3.046	150,00	0,00	150,00	50,8	1.147	997,15
Ervilhaca comum	Sem N	6.036	166,00	0,00	166,00	100,6	2.274	2107,73
Tremoço branco	Sem N	5.795	450,00	0,00	450,00	96,6	2.183	1732,82
Nabo forrageiro	Sem N	5.491	32,25	0,00	32,25	91,5	2.068	2036,20
A+E	Sem N	4.244	244,00	0,00	244,00	70,7	1.599	1354,62
A+E+N	Sem N	5.822	224,00	0,00	224,0	97,0	2.193	1968,98
Aveia preta	Com N	6.841	117,00	480,00	597,00	114,0	2.577	1979,68
Azevém	Com N	6.798	117,50	480,00	597,50	113,3	2.561	1963,07
Centeio	Com N	6.147	150,00	480,00	630,00	102,4	2.315	1685,29
Ervilhaca comum	Com N	7.280	166,00	480,00	646,00	121,3	2.742	2096,03
Tremoço branco	Com N	6.420	450,00	480,00	930,00	107,0	2.418	1488,17
Nabo forrageiro	Com N	6.189	32,25	480,00	512,25	103	2.331	1819,12
A+E	Com N	7.232	244,00	480,00	724,00	121	2.724	2000,03
A+E+N	Com N	5.995	224,00	480,00	704,00	100	2.258	1554,23

⁽¹⁾ Referente aos custos com as sementes de plantas de cobertura; ⁽²⁾ Custo com pela adição de 400 kg ha⁻¹ de ureia referente a dose 180 kg ha⁻¹ de N mineral; ⁽³⁾ Refere-se ao custo com sementes de plantas de cobertura + dose 180 kg ha⁻¹ N mineral; ⁽⁴⁾ Receita bruta é o valor obtido com a venda da produção total dos grãos.

Pelos custos parciais dos sistemas e a produtividade de grãos de milho obtida sobre as plantas de cobertura (Tabela 9), foi verificado que na ausência de N mineral, foram necessários R\$ 0,08 para se produzir cada quilograma de grãos de milho sobre o tremoço branco, caracterizando o sistema planta de cobertura/milho com custo mais elevado. Isto, em decorrência do alto valor das sementes e densidade de semeadura necessário para o estabelecimento do estande. Por outro lado, o sistema composto pelo nabo forrageiro/milho, caracterizou-se como o de menor custo por quilograma de milho produzido, com apenas R\$ 0,01. No caso desta brássica, é necessário ressaltar que a capacidade de reciclagem de N e disponibilização à cultura em sucessão, está relacionada a fertilidade do solo em que a cultura de cobertura é estabelecida, já que a espécie não é capaz de realizar fixação biológica de N. Com a adição de 180 kg ha⁻¹ de N mineral sobre os sistemas plantas de cobertura/milho, o custo por quilograma produzido variou de R\$ 0,08 a R\$ 0,14, para nabo forrageiro e tremoço branco, respectivamente.

Para as consorciações entre espécies, foi verificado que para o estabelecimento da combinação tripla entre A+E+N, o custo com sementes é R\$ 20,00 inferior ao montante

necessário para o consórcio A+E (Tabela 9). Agregado a esta vantagem de menor custo, tem-se todos os demais benefícios proporcionados por sua maior biodiversidade, tais como elevada taxa de cobertura, acúmulo de N e sua liberação em sincronia com a demanda da cultura do milho, proporcionando assim, mesmo que na ausência de adubação nitrogenada, produtividades de grãos equivalentes aos sistemas em que a cultura do milho recebeu 180 kg ha^{-1} de N mineral.

Pelas produtividades de milho cultivado em sucessão às fabáceas, brássica e consórcio A+E+N, na ausência de N mineral, terem sido similares aos mesmos sistemas com adição de 180 kg ha^{-1} de N (Tabela 10), verificou-se pelo acréscimo de 11,5 sacas em função do uso da adubação nitrogenada (sobre os sistemas anteriormente mencionados), que o montante de R\$ 480,00 investidos com ureia, apresentou retorno médio de R\$ 260,00, não cobrindo dessa forma o custo adicional do N mineral.

Especificamente no caso do consórcio triplo, em que a diferença média entre a produção de milho na presença, em relação a ausência de N mineral, foi de apenas 3 sacas por hectare, percebe-se que o desembolso com ureia promove retorno de apenas R\$ 67,80, quando comparado ao mesmo sistema na dose 0 kg ha^{-1} de N (Tabela 10). Assim, a adição da elevada quantidade de ureia em cobertura no milho, cultivado sobre os sistemas fabáceas, brássica e consórcios A+E+N, só se torna equivalente (investimento/retorno) ao obtido na ausência de N mineral, quando a diferença de produção de grãos for superior a 21 sacas por hectare.

Enquanto que, quando o milho foi cultivado sobre poáceas, o incremento médio de produtividade foi de 61 sacas por hectare pela adição dos 180 kg ha^{-1} de N mineral (Tabela 10). Constatando assim, receita superior ao valor investido com o fertilizante, caracterizando-se como indispensável sobre estas espécies.

Os sistemas que não promoveram incrementos monetários pela adição da dose 180 kg ha^{-1} , em função da planta de cobertura anteriormente utilizada ao milho (Tabela 10), foram comparados com a produtividade de grãos em sucessão à aveia preta+ 180 kg ha^{-1} de N mineral (Tabela 11), considerado neste estudo como referência regional.

Nesse sentido, foi percebido que a produtividade de milho sobre fabáceas, brássica e consórcio A+E+N, na ausência de N mineral, teve um déficit entre 804 a 1.349 kg ha^{-1} em relação a sucessão ao tradicional sistema com aveia + 180 kg ha^{-1} de N (Tabela 11). Entretanto, pelos menores valores investidos, a diferença de receita bruta dos sistemas compostos por ervilhaca comum/milho e nabo forrageiro/milho na ausência de N mineral, comparados à aveia + 180 kg ha^{-1} de N, apresentaram saldo positivo de R\$ 128,00 e R\$ 57,00, respectivamente.

Tabela 10 - Análises de custos e produção de grãos de milho obtidos nos diferentes sistemas de sucessão com plantas de cobertura e adubação nitrogenada mineral.

Plantas de cobertura	Rendimento de grãos de milho				Diferença ⁽¹⁾		Custo do sistema ⁽²⁾		Receita bruta - custos do sistema ⁽³⁾		Retorno em função do N ⁽⁴⁾
	0 kg ha ⁻¹ N		180 kg ha ⁻¹ N				0 kg ha ⁻¹ N	180 kg ha ⁻¹ N	0 kg ha ⁻¹ N	180 kg ha ⁻¹ N	
	Kg ha	Sacas/ha	Kg ha	Sacas/ha	Kg ha	Sacas/ha	R\$ ha	R\$ ha	R\$ ha	R\$ ha	
Aveia preta	2.951 cB	49	6.841 aA	114	3.890	65	117,00	597,00	994,56	1.979,68	985,12
Azevém	2.750 cB	46	6.798 aA	113	4.048	67	117,50	597,50	918,48	1.963,07	1.044,59
Centeio	3.046 bcB	51	6.147 aA	102	3.101	52	150,00	630,00	997,15	1.685,29	688,14
Ervilhaca comum	6.036 aA	101	7.280 aA	121	1.243	21	166,00	646,00	2.107,73	2.096,03	- 11,70
Tremoço branco	5.795 abA	97	6.420 aA	107	625	10	450,00	930,00	1.732,82	1.488,17	- 244,65
Nabo forrageiro	5.491 abcA	92	6.189 aA	103	698	12	32,25	512,25	2.036,20	1.819,12	- 217,08
A+E	4.244 abcB	71	7.232 aA	121	2.988	50	244,00	724,00	1.354,62	2.000,03	645,40
A+E+N	5.822 aA	97	5.995 aA	100	173	3	224,00	704,00	1.968,98	1.554,23	- 414,75

¹ Diferença entre a produção obtida no sistema com 180 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N (para kg e sacas/ha⁻¹) ² Refere-se aos custos com sementes das plantas de cobertura + dose 180 kg ha⁻¹ de N mineral; ³ Receita bruta é o valor (reais) obtido em função da produção, descontando os custos do sistema. ⁴ Diferença referente a comparação da receita bruta do mesmo sistema, em relação a dose 0 e 180 kg ha⁻¹.

Tabela 11 - Análise entre o sistema de produção aveia preta/milho comparado aos sistemas que não apresentaram retorno econômico em função do nitrogênio mineral.

Planta de cobertura	Produtividade de grãos		Custo do sistema ⁽¹⁾	Diferença produtividade ⁽²⁾		Receita bruta - custos do sistema	Diferença de receita bruta da Aveia versus sistemas alternativos	
	(kg ha ⁻¹)	Sacas/ha ⁻¹		Kg ha ⁻¹	Sacas/ha ⁻¹			
	0 kg ha	180 kg ha	R\$ ha			R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	
Aveia preta	-	6.841	114	597,00	-	-	1.979,68	-
Ervilhaca comum	6036	-	101	166,00	-804	-13	2.107,73	128,00
Tremoço branco	5795	-	97	450,00	-1.046	-17	1.732,82	-247,00
Nabo forrageiro	5491	-	92	32,25	-1.349	-22	2.036,20	57,00
A+E+N	5822	-	97	224,00	-1.019	-17	1.968,98	-10,70

⁽¹⁾ Referente aos custos com as sementes de plantas de cobertura; ⁽²⁾ Diferença de produtividade refere-se ao obtido com sistemas fabáceas, brássica e consórcio A+E+N/milho, na ausência de N mineral, em comparação a aveia/ milho com 180 kg ha⁻¹.

Apesar de a ervilhaca comum favorecer elevadas produções de grãos, e aparentar ser um sistema viavelmente econômico para obtenção de produtividades médias sob baixo custo, quando é cultivada de forma solteira, deixa de atender quesitos importantes dentro do sistema plantio direto, principalmente ao que se relaciona a proteção do solo. O nabo forrageiro por sua vez, possibilitou elevadas produtividades de milho em sucessão, apresentando-se também como um sistema com baixo custo, entretanto, a recomendação de seu uso isolado deve ser cautelosa e pautado no conhecimento preliminar e seguro da fertilidade do solo em questão, afim de garantir reciclagens de N em quantidades satisfatórias.

Pela utilização do tremoço branco antecedendo o milho, sem utilização de N mineral, é observado que o produtor deixaria de “ganhar” R\$ 247,00 (Tabela 11) em relação ao uso da aveia preta com aplicação de ureia em cobertura na cultura de verão. Associado, a isto, a dificuldade de aquisição de sementes desta espécie, pode ser um fator decisivo no momento da escolha desta fabácea. Muito embora, exceto para taxa de cobertura do solo, este é um sistema que apresentou bons resultados para as demais variáveis estudadas.

A associação de fabáceas, brássica e poácea pelo consórcio triplo, nas proporções estudadas, mostra-se como uma alternativa muito promissora para a substituição do uso exclusivo de aveia. Isto porque, apesar de representar um déficit de R\$ 10,70 em relação a receita obtida pelo uso de aveia preta solteira, com 400 kg ha⁻¹ de ureia aplicada em cobertura no milho (Tabela 11), este sistema atende os mesmos objetivos almejados pelo uso da poácea isolada, que refere-se principalmente ao aporte e manutenção da MS sobre o solo, além de agregar outros benefícios, chegando a proporcionar produtividades de grãos de milho similares às fabáceas, sob ausência de fertilizante nitrogenado, neste, que é um cereal altamente exigente em N.

Neste contexto, verifica-se que apesar de muito utilizadas, as poáceas, quando antecedem o milho, provocam a necessidade de adição de elevadas quantidades de N mineral à cultura principal, para assim, atingir as produtividades de grãos almejadas pelos agricultores. Inevitavelmente, as poáceas como antecessoras exigem maiores investimentos em fertilizantes nitrogenados na cultura do milho. Além disso, a rotação de culturas utilizando espécies pertencentes à mesma família, fere um dos pressupostos básicos do sistema plantio direto e, não é recomendada por conta dos problemas fitossanitários que podem ocorrer ao longo dos anos. Entretanto, pelo uso dos consórcios, é possível ao longo do tempo, aliar a capacidade de proteção do solo e suprimento parcial de N para produtividades médias de grãos de milho.

3.4 CONCLUSÕES

Não há efeito da dose de N mineral para os componentes de rendimento do milho, quando cultivado sobre ervilhaca comum.

Fabáceas, nabo forrageiro e consórcios como plantas de cobertura influenciam positivamente o diâmetro e comprimento de espigas, número de grãos por fileira e número total de grãos por espiga em milho cultivado sob ausência de N mineral.

Sistemas compostos por fabáceas, brássica e consórcio A+E+N, antecedendo o milho, na ausência de N mineral, proporcionam produtividades de grãos similares aos sistemas com adição de 180 kg ha⁻¹ de N.

O incremento médio de produtividade de grãos pela adição de 180 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N é de 2,1 Mg ha⁻¹ de grãos, quando o milho é cultivado sobre fabáceas, brássica e consórcio A+E+N, e de 5,6 Mg ha⁻¹ de grãos em sistemas de sucessão a poáceas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente estudo foram obtidos em área de SPD, a partir do terceiro ano de estabelecimento, momento considerado como período de estabilização do sistema, mesmo assim, foi observado que determinadas plantas de cobertura hibernais antecedendo o milho, apresentam-se adequadas, e com potencial para serem utilizadas em substituição a tradicional sucessão poácea/poácea, que tem a aveia preta para obtenção de fitomassa antecedendo o milho como cultivo comercial de verão na região Sudoeste do Paraná.

Verificou-se elevado potencial dos consórcios para proteção do solo, em função da cobertura promovida pela biomassa vegetal, bem como manutenção dos resíduos em superfície, assemelhando-se a aveia preta isolada. Especificamente para o consórcio A+E+N, há elevado acúmulo e liberação de N, promovendo, na ausência de N mineral, produtividades de milho similares às fabáceas estudadas.

Deste modo, estas investigações sobre os melhores sistemas a serem adotados no plantio direto nas condições da região Sudoeste do Paraná, e a busca pela redução das doses de N mineral, devem ser mantidas e ampliadas ao longo do tempo, afim de possibilitar recomendações seguras aos produtores regionais, na busca de um sistema plantio direto sustentável com efetiva qualidade.

Considerando ainda, que mais do que nunca, há uma preocupação mundial com a sustentabilidade ambiental e agrícola, fato este, que faz do ano 2016, ter sido escolhido pela ONU como o ANO INTERNACIONAL DAS LEGUMINOSAS. As práticas e sistemas que favoreçam a produção de alimentos com redução de impactos, como é o caso das plantas de cobertura/adubos verdes, que contribuem para conservação do solo e melhoria de suas características físicas, químicas e biológicas, devem ser multiplicados e valorados, afim de que se tornem uma realidade comum entre os agricultores e promotores dessa atividade.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, José A. de A et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 801-809, 2014.

AITA, Celso et al. Plantas de cobertura de solo como fontes 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.

AITA, Celso, GIACOMINI, Sandro J., CERETTA, Carlos A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014. 507 p.

ALBUQUERQUE, Abel. et al. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 721-726, 2013

ALVARES, Clayton A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

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 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.; 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.

AMADO, Telmo J. C. et al. Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014. 507 p.

AMBROSANO, Edmilson J. et al. Adubação verde na agricultura. IN: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação**

Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014. 507 p.

BALBINOT JR. Avaldi A.; MORAES, Anibal; 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**, v.25, n.3, p.473-480, 2007.

BALBINOT JR. Avaldi A. et al. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**. v.26, n.3, p.569-576, 2008.

BITTENCOURT, Henrique V. H. et al. Produtividade de feijão-guará e efeito supressivo de culturas de cobertura de inverno em espontâneas de verão. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.31, n.4, p.689-694, 2009.

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.

BRITO, Marciano M. P.; MURAOKA, Takashi.; SILVA, E. C da. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento do feijão e caupi. **Bragantia**. Campinas, v.70, n.1, p.206-215, 2011.

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.

CABEZAS, Lara. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de Cerrado. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., 1998, Rio verde. **Resumos...** Rio Verde: Aldeia Norte, 1998. p. 78-92.

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**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

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

CALEGARI, Ademir et al. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**. v.100, n.4, p.1013 – 1019, 2008.

CALEGARI, Ademir. Perspectivas e estratégias para sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com uso de adubos verdes. In: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, José A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014. 507 p.

CAMPO, Rubens. J.; HUNGRIA, Mariangela. Inoculação da soja em sistema plantio direto. IN: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 2000. Ponta Grossa. **Anais...**Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos, p. 146 – 160, 2000.

CARVALHO, Arminda M de.; AMABILE, Renato F. **Cerrado Adubação Verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 369 p. 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**, v.8, n.2, p.179-184, 2007.

CARVALHO, João L. N et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 277 – 289, 2010.

CARVALHO, Arminda M. de. et al. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, 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, p.49-54, 2002.

CIVARDI, Ederson A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p.52-59, 2011.

CHERR, C.M.; SCHOLBERG, J.M.S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: a synthesis. **Agronomy Journal**, v.98, p.302-319, 2006.

COELHO, Antônio M.; FRANÇA, Gonçalo E. de. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2 ed. **Encarte/Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 2, p. 1 - 25, 1995.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira**: Grãos, décimo primeiro levantamento 2013. Setembro, 2013, 30p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_16_05_53_boletim_portugues_setembro_2013.pdf> Acesso em: 10 abr 2014

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira**: Grãos terceiro levantamento, safra 2013/14. Brasília: Conab, v.1, n.3, dez 2013, 72p. Disponível: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_12_10_16_06_56_boletim_portugues_dezembro_2013.pdf. Acessado em: 13 jan 2015.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** Grãos décimo segundo levantamento, safra 2014/15. Brasília: Conab, v.2, n.12, set 2015, 134 p. Disponível: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf Acesso: 12 abr 2016.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** Grãos, quinto levantamento 2016. V.3, n.5, fev 2016, 182p. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_04_11_21_34_boletim_graos_fevereiro_2016_ok.pdf Acesso em: 08 fev 2016.

DAHLEM, Ana R. **Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) 94f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

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. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering.** v.3, n.1, p. 1 – 26, 2010.

DERPSCH, Rolf. Sistemas conservacionistas de produção: Como assegurar a sustentabilidade?, 2013. IN: NÉRI, Álisson et al. **Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a ciência do solo.** III Reunião Paranaense de Ciência do Solo, Londrina – PR, 2013, 570p.

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

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa. 2ºed. Revisão Ampliada. Brasília DF: Embrapa Informações Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 627p. 2009.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

ESPÍNDOLA, José A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumuladas em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.321-328, 2006.

ESTADO da arte do plantio direto em 2013. Florianópolis: [s.n.], 2013. 43p. Disponível em: < http://www.agrisus.org.br/arquivos/relatorio_final_PA1080.pdf >. Acesso em: 29 mar. 2015.

FAGAN, Evandro B. et al. Fisiologia da fixação biológica de nitrogênio em soja. **Revista da FZVA.**, Uruguaiana, v.14, n.1, p.89-106. 2007.

FEBRAPDP – Área do sistema plantio direto no Brasil. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf> Acessado em: 30 abr 2016.

FEBRAPDP – Evolução do sistema plantio direto no Paraná.. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf> Acessado em: 13 fev 2015.

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

FIORIN, Jackson. E. **Avaliação de plantas de cobertura e/ou proteção do solo em sistemas de produção em plantio direto**. Porto Alegre: Fapergs, 2003. 46p

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

FLORENTÍN, Miguel A et al. **Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms**. (Intergrated crop management, 12), Rome: FAO, 2010. 97 p.

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**, v.33, 1721-1732.p, 2009.

FRAZÃO, Joaquim J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.18, p.1262-1267, 2014.

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**, v.28, p.751-762, 2004.

HEINRICH, Reges 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 X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, 1985.

HERRIDGE, David G.; GILLER, Ken E. Measurement of nitrogen fixation. IN: HOWIESON J.G.; DILWORTH M.J. (Eds.). 2016. **Working with rhizobia**. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. 312 p.

HOLDERBAUM, J. F et al. Fall-seeded legume cover crops for no-tillage corn in the humid east. **Agronomy Journal**. v.82, p. 117-124, 1990.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens J.; MENDES, Iêda C. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja. **Circular Técnica**, n.35, 48.p, 2001.

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

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

LÁZARO, Rafael de. L et al. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, p. 10-17, 2013.

LEAL, Aguinaldo J. F et al. Adubação nitrogenada ára milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p. 491 – 501, 2013.

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.

LOURENTE, Elaine R. P. et al. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, p. 55-61, 2007.

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

MAGALHÃES, Paulo C. et al. Fisiologia do milho. **Circular Técnica**. Embrapa, n. 22, 2002, 23p.

MAGALHÃES, Paulo C.; DURÃES, Frederico O. M. Fisiologia da produção de milho. **Circular Técnica**. Embrapa, n.76, 2006, 10p.

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

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

MIRANDA, Rubens A de et al. Milho com alto potencial produtivo e lucrativo. **Campo e Negócios**, edição: abril 2013, p. 14-16. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84224/1/Milho-alto-potencial.pdf> acessado em: 27 jan 2015.

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.

RIZZARDI, Mauro A.; FLECK, Nilson G. Métodos de determinação da cobertura foliar da infestação de plantas daninhas e da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.34, p.13-18, 2004.

ROSSI, Frabício; CARLOS, José A. D. Histórico da adubação verde no Brasil. In: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Frabício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014. 507 p.

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**, p.1486-1499. 2001.

SANTI, Anderson; DALMAGO, Ginei A; DENARDIN, José E. Potencial de sequestro de carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007, 8.p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 78). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do78.htm. Acesso em: 23 jan. 2015.

SANTOS, Pablo A. et al. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, p. 123-134, 2010.

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/DERAL. 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.

SEAB/DERAL. **Milho paranaense, safra 2013/2014**. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2013_14.pdf. Acesso em: 06 Maio 2014.

SEAB/DERAL. **Milho, Safra 2014/2015**. Disponível em:

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_10_08_51_33_boletim_graos_d_ezembro_2014.pdf Acesso em: 08 fev 2016.

SILVA, Paulo R. F. da et al. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.1011-1020, 2006.

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

SILVA, Paulo C. G. da. et al. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1504-1512, 2009.

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, João A.N. et al. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.769-775, 2012.

SILVA, Esdon C. et al. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. IN: LIMA FILHO, Oscar F de.; AMBRONSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício.; CARLOS, José A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Fundamentos e práticas. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014, 478p.

SIQUEIRA NETO, Marcos et al. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I – Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 1013 – 1022, 2009.

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

SOUZA, Caetano M. de. et al. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 108p.

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.

TORRES, José L. R.; PEREIRA, Marcos, G. Produção e decomposição de resíduos culturais antecedendo milho e soja num latossolo no cerrado mineiro. **Comunicata Scientiae**. v.5, n.4, p.419-426, 2014.

VARGAS, Luciano K.; SELBACH, Pedro A.; SÁ, Enilson L. S de. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.76-83, 2005.

VASCONCELLOS, Carlos A.; VIANA, Maria C.; FERREIRA, José J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período de inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1835-1845, 1998.

WEISMANN, Martin. Fases de desenvolvimento da cultura do milho. **Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno 2008**. Disponível em: <<http://www.atividaderural.com.br/artigos/4fb3e56aa8c56.pdf>> Acesso em: 06 Mai. 2014.

WILDNER, Leandro do P. Adubação verde na agricultura. IN: LIMA FILHO, Oscar F de.; AMBRONSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício.; CARLOS, José A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Fundamentos e práticas. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 2014, 478p.

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.

WUTKE, Elaine B.; CALEGARI, Ademir; WILDNER, Leandro do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, Oscar F. de.; AMBROSANO, Edmilson J.; ROSSI, Fabrício; CARLOS, João A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2014. 507 p.

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.

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

ZOTARELLI, Lincoln. **Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistemas de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR**. 2000. 128p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ÍNDICE DE APÊNDICES

- Apêndice 1 - Taxa de cobertura do solo (%) pelos sistemas plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio (N), dias após a semeadura (DAS), para os anos de 2012, 2013 e 2014. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016. 82
- Apêndice 2 - Acúmulo de N na fitomassa das plantas de cobertura do solo no período hibernar em cada um dos três anos acompanhados. UTFPR, Dois Vizinhos - PR 2016. 84
- Apêndice 3 - Preços médios para compra de sementes das plantas de cobertura hibernais, entre os anos de 2012 a 2014), densidade de semeadura e custo total com sementes utilizadas no sistema de produção de milho. 84

Apêndice 1 - Taxa de cobertura do solo (%) pelos sistemas plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio (N), dias após a semeadura (DAS), para os anos de 2012, 2013 e 2014. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2016.

Ano/Sistemas	Cobertura do Solo (%)						
	19 DAS (30/05)	26 DAS (06/06)	33 DAS (13/06)	40 DAS (20/06)	47 DAS (27/06)	54 DAS (04/07)	61 DAS (18/07)
2012							
Aveia	15,0 ab*	27,7 ab	46,7 ab	61,5 ab	60,7 a	85,7 ab	92,7 a
Azevém	0,5 c	4,3 c	8,3 d	23,0 d	32,0 c	75,5 b	88,8 a
Centeio	8,3 b	18,0 bc	35,8 abc	51,3 bc	55,7 ab	91,0 ab	93,7 a
Ervilhaca	6,3 b	11,2 bc	16,5 cd	31,0 cd	40,6 bc	74,2 b	86,8 a
Tremoço	7,5 b	10,8 bc	16,3 cd	27,3 d	31,9 c	48,2 c	61,5 b
Nabo	12,5 ab	23,0 ab	34,2 bcd	51,5 bc	58,7 a	89,3 ab	93,2 a
A+E	25,3 a	40,2 a	60,0 ab	80,2 a	68,3 a	95,2 ab	98,3 a
A+E +N	22,7 a	36,2 ab	61,3 a	76,5 a	73,6 a	98,7 a	99,7 a
CV	27,6	39,4	36,9	21,9	16,9	13,3	9,6
0 kg ha ⁻¹	12,0 a	20,8 a	32,5 a	46,6 a	51,3 a	79,2 b	87,7 a
180 kg ha ⁻¹	12,5 a	22,0 a	37,3 a	54,0 a	54,0 a	85,2 a	91,0 a
CV	26,1	32,7	27,2	26,1	16,5	10,8	9,3
2013	20 DAS (23/05)	27 DAS (30/05)	34 DAS (06/06)	41 DAS (13/06)	48 DAS (20/06)	55 DAS (27/06)	62 DAS (04/07)
Aveia	11,0 abc	20,0 abc	25,8 abc	25,8 abc	64,2 ns	65,5 ab	86,3 abc
Azevém	4,8 c	12,3 cd	18,0 bc	18,0 bc	38,0	54,7 ab	82,2 abcd
Centeio	8,0 bc	14,5 bcd	24,8 abc	24,8 abc	38,2	52,5 ab	59,7 bcd
Ervilhaca	4,8 c	7,0 d	11,5 c	11,5 c	33,0	41,7 b	50,7 d
Tremoço	16,7 a	22,2 ab	25,8 abc	25,8 abc	50,8	56,0 ab	55,0 cd
Nabo	8,5 bc	8,2 d	18,5 bc	18,5 bc	48,3	67,3 ab	77,0 abcd
A+E	11,3 ab	22,2 ab	34,7 ab	34,7 ab	57,0	90,5 a	90,5 ab
A+E +N	15,5 a	25,7 a	39,3 a	39,3 a	70,0	90,7 a	93,3 a
CV	31,2	28,1	37,3	37,3	43,5	33,3	20,9
0 kg ha ⁻¹	10,1 a	15,8 a	23,6 a	23,6 a	50,5 ns	65,1 a	73,6 a
180 kg ha ⁻¹	10,1 a	17,3 a	26,0 a	26,0 a	49,4	64,6 a	75,1 a

Continua...

Continuação...

CV	32,5	33,2	24	24	22,6	17,8	11,9
2014	21 DAS (15/05)	28 DAS (27/05)	35 DAS (30/05)	42 DAS (08/06)	49 DAS (16/06)	56 DAS (23/06)	63 DAS (30/06)
Aveia	21,0 ab	47,0 ab	60,3 a	71,3 ab	70,3 ab	75,8 ab	87,2 a
Azevém	10,0 cd	18,0 cd	31,2 bcd	50,7 c	56,3 bcd	68,3 abc	85,8 ab
Centeio	9,3 d	28,0 cd	34,8 bc	46,8 c	41,8 cd	53,8 bc	66,2 bc
Ervilhaca	8,2 d	13,5 d	17,2 d	27,5 d	35,7 d	44,0 c	60,2 c
Tremoço	11,0 cd	18,5 cd	19,0 cd	26,0 d	44,5 cd	52,8 bc	62,8 c
Nabo	17,3 bc	31,0 bc	38,0 b	54,5 bc	61,7 bc	73,3 ab	64,7 c
A+E	21,5 ab	46,0 ab	58,8 a	71,3 ab	83,3 a	84,5 a	95,7 a
A+E+N	26,3 a	55,8 a	63,8 a	78,7 a	88,5 a	91,2 a	93,3 a
CV	24,7		20,9	17,4	17,2	17,7	12,7
0 kg ha ⁻¹	15,3 a	29,3 b	37,3 b	50,0 b	58,4 a	62,6 b	73,5 b
180 kg ha ⁻¹	15,9 a	35,2 a	43,5 a	56,8 a	62,1 a	73,4 a	80,5 a
CV	25,1	17,7	16,7	13,9	20,1	14,8	9,9

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). 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.

Apêndice 2 - Acúmulo de N na fitomassa das plantas de cobertura do solo no período hibernar em cada um dos três anos acompanhados. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2016.

Plantas de Cobertura	2012/13		2013/14		2014/15		Média
	N acumulado (kg ha ⁻¹)						
Nabo forrageiro	95,0	ab	73,5	bc	49,4	bc	72,6ab
A+E+N	101,7	a	105,8	a	69,0	a	92,2a
Aveia preta	87,9	ab	58,6	cde	55,9	abc	67,4bc
Azevém	44,3	b	39,5	e	29,0	d	37,6d
Tremoço branco	97,3	a	105,0	a	69,4	a	90,6a
Ervilhaca	94,6	ab	68,0	bcd	67,9	a	76,8ab
Centeio	67,8	ab	40,3	de	41,6	cd	49,9cd
A+E	115,8	a	89,8	ab	66,8	ab	90,8a
CV%	28,7		19,3		15,6		15,2
Adubação nitrogenada							
0 kg ha ⁻¹	83,9	ns	72,5	ns	52,7	ns	69,7b
180 kg ha ⁻¹	92,2		72,5		59,5		74,7a
CV%	25,2		18,8		20,1		7,9

* Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns: não significativo pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). (A+E)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; (A+E+N)=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo.

Apêndice 3 - Preços médios para compra de sementes das plantas de cobertura hibernais, entre os anos de 2012 a 2014), densidade de semeadura e custo total com sementes utilizadas no sistema de produção de milho.

Plantas de cobertura	Preços médios das sementes obtidos entre 2012 e 2014 ⁽¹⁾	Necessidade de sementes	Custo total
	----- R\$ kg -----	----- Kg ha -----	----- R\$ ha -----
Aveia preta	1,30	90	117,00
Azevém	2,35	50	117,50
Centeio	3,00	50	150,00
Ervilhaca	4,15	40	166,00
Tremoço	4,50	100	450,00
Nabo	2,15	15	32,25
A+E	-	60/40	244,00
A+E+N	-	60/30/10	224,00

⁽¹⁾ Preços médios (2012 a 2014) foram obtidos de websites que apresentavam cotações e/ou websites de venda destas como insumos agrícolas.