

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

**CIDIMAR CASSOL**

**PLANTAS DE COBERTURA E ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO  
FONTE DE NITROGÊNIO À CULTURA DO MILHO EM PLANTIO  
DIRETO**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2019**

CIDIMAR CASSOL

**PLANTAS DE COBERTURA E ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO  
FONTE DE NITROGÊNIO À CULTURA DO MILHO EM PLANTIO  
DIRETO**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

PATO BRANCO

2019

C347p Cassol, Cidimar.  
Plantas de cobertura e adubação nitrogenada como fonte de nitrogênio à cultura do milho em plantio direto / Cidimar Cassol. -- 2019.  
85 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2019.

Bibliografia: f. 73 - 78.

1. Adubação verde. 2. Resíduos vegetais. 3. Produtividade. 4. Milho.  
I. Conceição, Paulo Cesar, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD (22. ed.) 630



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



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Dissertação n° 185**

### **PLANTAS DE COBERTURA E ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO FONTE DE NITROGÊNIO À CULTURA DO MILHO EM PLANTIO DIRETO**

por

**CIDIMAR CASSOL**

Dissertação apresentada às treze horas e trinta minutos do dia 08 de março de dois mil e dezenove, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Fertilidade e Manejo do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Evandro Spagnollo**  
EPAGRI-Chapecó

---

**Prof. Dr. Laercio Ricardo Sartor**  
UTFPR

---

**Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição**  
UTFPR  
Orientador

---

**Prof. Dr. Alcir José Modolo**  
Coordenador do PPGAG

“O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do PPGAG, conforme Norma aprovada pelo Colegiado do Programa.”

*Aos meus pais, Edir e Idecir Cassol  
A minha namorada Amanda Chagas da Silva*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Idecir e Edir Cassol pelo apoio e incentivo ao estudo, que mesmo apesar das dificuldades enfrentadas, sempre me ajudaram e me incentivaram.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Conceição pela amizade e confiança concedida em mais esta etapa de formação pessoal e profissional.

A minha namorada Amanda Chagas pelo companheirismo, amizade, apoio carinho e ajuda durante este período.

Ao bolsista de iniciação científica Dieyson Peruzzolo, pelo apoio auxílio nas atividades e condução do experimento em minha ausência.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa de Manejo e Conservação do Solo que ajudaram nas atividades referentes execução do projeto durante seus dois anos de condução.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

A UTFPR Campus Dois Vizinhos e Pato Branco, pelos professores, pela infraestrutura disponibilizada e aos profissionais de campo que auxiliaram nas atividades.

Aos professores que, de modo especial, que participaram da minha formação desde minha a escola primária até a graduação.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO !!!**

*Duvido, logo não posso duvidar da minha própria dúvida.*  
Cidimar Cassol

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

## RESUMO

CASSOL, Cidimar. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada como fonte de nitrogênio à cultura do milho em plantio direto. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

O sistema de plantio direto (SPD) se destaca como modelo predominante utilizado para produção de grãos no sul do Brasil. Assim, a utilização de plantas de cobertura se tornam relevantes para melhoria da qualidade desse sistema, proporcionando proteção do solo e a fixação/ciclagem de nutrientes em especial o nitrogênio (N), com liberação para cultura em sucessão. Neste sistema, no período de inverno, se destaca o uso predominante da aveia para obtenção de palhada. No entanto, não é a cultura mais adequada para anteceder a cultura do milho, devido à elevada relação C/N que ocasiona menor disponibilidade de N no solo durante a decomposição. Este trabalho objetiva avaliar o equilíbrio entre permanência de resíduos para proteção do solo e liberação de N para a cultura em sucessão em função do Índice Qualidade de Resíduo (IQR) de sistemas de cobertura hiberna, a capacidade produtiva de milho sobre resíduos de plantas de cobertura, com doses de N, durante duas safras agrícolas e, o efeito dos sistemas de cobertura no incremento de produtividade de milho após nove anos de plantio direto. A instalação do plantio direto foi realizada em 2010 na área experimental pertencente à UTFPR, Campus Dois Vizinhos, sob Latossolo Vermelho. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Nas parcelas principais foram testados oito sistemas de plantas de cobertura hibernais (aveia preta, ervilhaca comum, nabo forrageiro, tremoço branco, centeio serrano, azevém comum e consórcio aveia+ervilhaca [A+E] e aveia+ervilhaca+nabo [A+E+N]) que antecederam a cultura do milho. Nas subparcelas foram aplicadas três doses de nitrogênio (0, 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), em cobertura na cultura do milho. Os sistemas consorciados A+E+N e A+E apresentam os maiores IQR com permanência de 2,7 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca sobre a superfície do solo e liberação de 57 kg ha<sup>-1</sup> de N. A taxa de liberação de nitrogênio dos consórcios é mais próxima as poáceas com quantidade de N liberado semelhante ao verificado para ervilhaca. Na ausência de N mineral a maior capacidade produtiva de milho é verificada em sucessão a ervilhaca e tremoço com 8,6 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, seguida pelos consórcios com produtividade de 7,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Com adição de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, a capacidade produtiva do milho sobre todos os sistemas de cobertura é equivalente a maior dose utilizada (180 kg ha<sup>-1</sup> de N) destacando-se com maiores produtividades na dose 90 kg ha<sup>-1</sup> o cultivo de milho sobre ervilhaca, tremoço e A+E+N com produtividade média de 10,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Após nove anos de condução de plantio direto, os sistemas A+E+N e A+E apresentaram incremento de 2,5 e 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> na produção de MS e, aumento de 37 kg ha<sup>-1</sup> para ambos, no acúmulo de N nos tecidos. Os sistemas com ervilhaca, tremoço e A+E+N proporcionaram ao milho na ausência de N-mineral, incrementos de produtividade de 3,6, 3,2 e 2,5 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, após nove anos de plantio direto. Os sistemas com tremoço, centeio e A+E+N proporcionaram ao milho adubado com 180 kg ha<sup>-1</sup> incremento de produtividade de 1,1, 0,9 e 0,8 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente no mesmo período.

**Palavras-chave:** Adubos verdes. Resíduos vegetais. Produtividade. Milho.



## ABSTRACT

CASSOL, Cidimar. Cover crops and nitrogen fertilization as a source of nitrogen to maize crop in no-tillage. 85p. Dissertation (Masters in Agronomy) - Postgraduate Program in Agronomy (Area of Concentration: Soils and Integrated Systems of Agricultural Production), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2019.

The no-tillage system (SPD) stands out as the predominant model used for grain production in southern Brazil. Thus, the use of cover crops become relevant to improve the quality of this system, providing protection of the soil and fixation/cycling of nutrients, especially nitrogen (N), with release for cultivation in succession. In this system, during the winter period, the predominant use of oats to obtain straw is highlighted. However, it is not the most adequate crop to precede the maize crop, due to the high C N ratio that causes less N availability in the soil during decomposition. This work aims to evaluate the equilibrium between residues of residues for soil protection and N release for the crop in succession as a function of the Residual Quality Index (IQR) of winter cover systems, the productive capacity of maize over cover crop residues, with doses of N, during two agricultural crops, and the effect of cover systems on the increase of maize productivity after nine years of no-till. The installation of no-till was carried out in 2010 in the experimental area belonging to UTFPR, Campus Dois Vizinhos, under Red Latosol. The experimental design was of randomized blocks in subdivided plots with three replicates. In the main plots were tested eight systems of winter cover (black oats, common vetch, forage turnip, white lupine, ryegrass, common ryegrass and oat+vetch [O+V] and oat+vetch+turnip [O+V+T]) that preceded the corn crop. In the subplots, three nitrogen doses (0, 90 and 180 kg ha<sup>-1</sup>) were applied in maize crop cover. The A+E+N and A+E consortium systems present the highest IQR with permanence of 2.7 Mg ha<sup>-1</sup> of dry mass on the soil surface and release of 57 kg ha<sup>-1</sup> of N. The rate of release of nitrogen from the consortia is closer to the poaceae with amount of N released similar to that found for vetch. In the absence of mineral N the highest productive capacity of maize is verified in succession to vetch and lupine with 8.6 Mg ha<sup>-1</sup> of grains, followed by consortia with productivity of 7.0 Mg ha<sup>-1</sup>. With the addition of 90 kg ha<sup>-1</sup> of N, the productive capacity of maize over all cover systems is equivalent to the highest dose used (180 kg ha<sup>-1</sup> of N), with higher yields at 90 kg ha<sup>-1</sup> the cultivation of corn on vetch, lupine and O+V+T with an average productivity of 10.2 Mg ha<sup>-1</sup>. After nine years of no-tillage management, the O+V+T and O+V systems presented an increased 2.5 and 1.5 Mg ha<sup>-1</sup> in the production of DM and an increase of 37 kg ha<sup>-1</sup> for both, in the accumulation of N in the tissues. The systems with vetch, lupine and O+V+T provided yield increases of 3.6, 3.2 and 2.5 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, after nine years of no-tillage to corn in the absence of N-mineral. The systems with lupine, rye and A + E + N provide fertilizer maize with 180 kg ha<sup>-1</sup> increase in yield of 1.1, 0.9 and 0.8 Mg ha<sup>-1</sup> respectively in the same period.

**Keywords:** Green fertilizers. Vegetable waste. Productivity. Corn.

## Lista de figuras

- Figura 1 - Precipitação pluvial mensal acumulada (Ppa mm), temperatura média mensal (° C) (Tempe média) e umidade relativa (UR%) para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019. ....24
- Figura 2 - Precipitação pluvial quinzenal acumulada (Ppa) e temperatura média quinzenal (Tempe) para os períodos de avaliação da decomposição das plantas de cobertura nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos-PR, 2019. ....26
- Figura 3 - Modelo conceitual para Índice de Qualidade de Resíduos (IQR) de plantas de cobertura hibernais. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019. ....27
- Figura 4 - Relação C/N das plantas de cobertura hibernais o longo do período de decomposição de 105 dias para safra 17/18 (a) 18/19 (b). UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. ....35
- Figura 5 - Massa seca remanescente dos sistemas de plantas de cobertura hibernais em % da MS inicial (a, c) e, em kg ha-1 (b, d) ao longo dos 105 dias, após deposição em superfície do solo, para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, campus Dois Vizinhos, 2019. ....40
- Figura 6 - Liberação acumulada de nitrogênio (a, c) e quantidades de N remanescente (% do inicial) (b, d) de plantas de cobertura ao longo dos 105 dias, após deposição em superfície do solo, para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....44
- Figura 7. Pontos de interseção do percentual de MS remanescente e percentual deliberação de N dos sistemas de coberturas. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....48
- Figura 8 - Índice de qualidade de resíduos (IQR) de plantas de cobertura hibernais (dados médios 17/18 e 18/19). UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....48

## Lista de Tabelas

- Tabela 1 - Características químicas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, amostrado antes da instalação do experimento. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.....23
- Tabela 2 - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para produção de massa seca nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019. ....30
- Tabela 3 - Médias para relação C/N das plantas de cobertura e adubação nitrogenada para os anos agrícolas de 2017/18 a 2018/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019. ....34
- Tabela 4 - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para nitrogênio total acumulado na parte aérea, nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....36
- Tabela 5 - Produção de massa seca (MS) relativo às sementes utilizadas na semeadura para as espécies de plantas de cobertura de solo na média das safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....38
- Tabela 6 - Desdobramento das interações para produção de massa seca (MS), teor de N (TN), nitrogênio acumulado (NA) e relação C/N (C/N) da MS da cultura do milho para safra 2017/2018. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....50
- Tabela 7 - Desdobramento das interações para produção de massa seca (MS), teor de N (TN), nitrogênio acumulado (NA) e relação C/N (C/N) da MS da cultura do milho para safra 2018/2019. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....51
- Tabela 8 - Desdobramento das interações para produção de massa seca (MS), teor de N (TN), nitrogênio acumulado (NA) e relação C/N (C/N) da MS da cultura do milho para a média das safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....55
- Tabela 9 - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura versus doses de nitrogênio para componentes de rendimento de milho, safra 17/18. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....58
- Tabela 10 - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura versus doses de nitrogênio para componentes de rendimento de milho, safra 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....59
- Tabela 11 - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura x doses de nitrogênio para componentes de rendimento de milho, médias safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....62
- Tabela 12 - Produtividade média de grãos de milho cultivada em sucessão a plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....64
- Tabela 13 - Produção de massa seca de plantas de cobertura na ausência de adubação nitrogenada, na fase inicial (I) e de transição (T) e incremento na produção de MS da fase de transição em relação a fase inicial do PD.....67

Tabela 14 - Quantidade de nitrogênio acumulado na massa seca das plantas de cobertura na ausência de adubação nitrogenada, na fase inicial (I) e de transição (T) e incremento no acúmulo de N em relação a fase inicial do PD.....	68
Tabela 15 - Produtividade do milho sem adição de N, na fase inicial (I) e de transição (T) e incremento de produtividade proporcionada pelos sistemas de cobertura em relação a fase inicial do PD.....	69
Tabela 16 - Produtividade do milho com 180 kg ha <sup>-1</sup> de N, nas fases inicial (I) e de transição (T) e incremento de produtividade proporcionada pelos sistemas de cobertura em relação a fase inicial do PD. ....	70

## Anexos

Anexo 1 - Permanência da massa seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....	79
Anexo 2 - Permanência da massa seca das plantas de cobertura (kg ha <sup>-1</sup> ), após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....	79
Anexo 3 - Porcentagem de massa seca remanescente das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....	80
Anexo 4 - Porcentagem de massa seca remanescente das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....	80
Anexo 5 - Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....	81
Anexo 6 - Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....	81
Anexo 7 - Quantidade de nitrogênio remanescente (% do inicial) dos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....	82
Anexo 8 - Quantidade de nitrogênio remanescente (% do inicial) dos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....	82
Anexo 9 - Quantidade de carbono (C) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2017/2018. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....	83
Anexo 10 – Massa seca total (MST), nitrogênio total acumulado (NTA), massa seca remanescente (MSR), nitrogênio liberado (NL), índice de nitrogênio liberado (INL), índice de massa seca remanescente (IMSR) e índice de qualidade de resíduos de plantas de cobertura hibernais, média safras 17/18 e 18/19. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. ....	84
Anexo 11 - Numero de espigas (NE) por hectare de plantas de milho para safra 17/18 e 18/19. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.....	84
Anexo 12 - Dados de Precipitação pluvial mensal acumulada (mm), temperatura média mensal (° C) e umidade relativa (UR%) para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.....	85

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

C	Carbono
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
MOS	Matéria Orgânica do Solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
CONAB	Companhia Nacional do Abastecimento
SEAB	Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento
SPD	Sistema de Plantio Direto
PD	Plantio direto
MS	Massa Seca
DAS	Dias após a semeadura
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub>	Nitrogênio Atmosférico
PR	Unidade da Federação – Paraná
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 PLANTIO DIRETO .....	17
2.2 PLANTAS DE COBERTURA .....	18
2.3 CULTURA DO MILHO .....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	23
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
3.3 PARÂMETROS AVALIADOS.....	25
3.3.1 Plantas de Cobertura Hibernais .....	25
3.3.2 Cultura do Milho .....	27
3.3.3 Efeito do sistema .....	28
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	29
<b>4 RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1 PLANTAS DE COBERTURA .....	30
4.1.1 Produção de massa seca e relação C/N.....	30
4.1.2 Nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea .....	36
4.1.3 Massa seca remanescente .....	39
4.1.4 Liberação de nitrogênio .....	42
4.1.5 Índice de qualidade de resíduo (IQR).....	47
4.2 CULTURA DO MILHO .....	49
4.2.1 Produção de massa seca, nitrogênio acumulado e relação C/N da parte aérea .....	49
4.2.2 Componentes de rendimento .....	57
4.2.3 Produtividade de grãos .....	63
4.2.4 Efeito do sistema .....	67
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de plantas de cobertura do solo nos sistemas de produção de grãos ainda é limitada a poucas propriedades, tornando-se um indicativo da falta de entendimento em relação às vantagens que essa técnica pode proporcionar ao sistema produtivo pela melhoria da qualidade do solo.

Entre as culturas de grãos produzidas no Brasil, a cultura do milho se destaca pela sua importância, tanto econômica como social. Além disso, é essencial para viabilizar o sistema de plantio direto (SPD) em função da sua capacidade de adição de resíduos ao sistema, que proporciona aumento dos teores de matéria orgânica na camada superficial do solo, melhorando a estabilidade dos agregados e consequentemente conferindo maior resistência do solo a erosão.

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes exigidos em maior quantidade pela cultura do milho, dessa forma o sistema de cobertura que o antecede deve ser pensado de forma a evitar imobilização de N, além de possuir a capacidade de fornecer N externo ao sistema pela fixação biológica de nitrogênio (FBN). Dessa forma, aumentando a viabilidade de produção dessa cultura pela redução dos custos.

Conforme dados de Pessôa (2015) referentes ao Rally da Safra de 2015, os tipos de resíduos mais comuns que antecedem a cultura do milho na região sul do Brasil são de aveia preta (*Avena sativa* L.) com 56% e de trigo (*Triticum* sp) com 24%. No entanto, não é a espécie preferencial para anteceder a cultura do milho, em função da alta relação C/N dos resíduos, que diminuem a disponibilidade de N em função da imobilização.

Entre os sistemas de manejo, o SPD é o mais adotado para produção grãos e, representa um dos maiores avanços no processo produtivo brasileiro. Esse sistema é caracterizado pelo mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Para assegurar a sustentabilidade desse sistema nos subtrópicos e trópicos, são necessárias adições mínimas de 8-12 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de resíduos vegetais (DERPSCH, 2013). A quantidade e qualidade dos resíduos vegetais aportados ao solo e, sua manutenção na superfície após ser manejada, constitui fator preponderante para o sucesso do SPD.

Dessa forma, buscando atender tanto aos aspectos econômicos da produção de grãos como a viabilidade do sistema de produção na região Sul do Brasil, as pesquisas vêm sugerindo que a diversificação de espécies no sistema produtivo, tanto pela consorciação de plantas de cobertura antecedendo a cultura de grãos quanto a semeadura intercalada de cultura



de grãos com plantas de cobertura na entrelinha, promove a diminuição da demanda por fertilizantes nitrogenados e aumento da qualidade do SPD, em função da agregação de benefícios, pela rápida cobertura do solo, menor sensibilidade a estresses climáticos, melhor controle de plantas invasoras e, pela capacidade de explorar o solo de forma mais efetiva em função do sistema radicular diferenciado que promove maior ciclagem de nutrientes e aporte de MS de composição bioquímica diferenciada.

Deste modo, o presente estudo tem como hipóteses que: I) os sistemas de coberturas consorciados apresentam maior capacidade de ciclagem de N, produção de MS e maior equilíbrio entre liberação de N e permanência de resíduos para proteção solo. II) A utilização de sistemas consorciados com  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral podem promover produtividades equivalentes aos sistemas com poáceas com fornecimento de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral.

Com base no exposto, o trabalho objetiva avaliar o equilíbrio entre permanência de resíduos para proteção do solo e liberação de N para a cultura em sucessão em função do Índice Qualidade de Resíduo (IQR) de sistemas de cobertura hiberna, a capacidade produtiva de milho sobre resíduos de plantas de cobertura, com doses de N, durante duas safras agrícolas e, o efeito dos sistemas de cobertura no incremento de produtividade de milho após nove anos de plantio direto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PLANTIO DIRETO

Nos climas tropical e subtropical, os sistemas de manejo de solo, visando à conservação, à produtividade do solo e à expressão do potencial genético das culturas de grãos, devem ter como princípios o mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. O SPD é um dos principais exemplos desses princípios, pelo menos no que tange ao mínimo revolvimento do solo (AMADO et al., 2014). Atualmente o SPD é empregado pela maioria dos produtores brasileiros em 32,9 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2018).

No Brasil, o SPD com a mobilização do solo somente na linha de semeadura, teve início em 1972, realizado pelo agricultor Herbert Bartz em Rolândia no norte do Paraná, com objetivo principal de reduzir a erosão do solo e minimizar os impactos ambientais decorrente da utilização do sistema convencional (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LANILLO, 2012).

Posteriormente acabou se difundindo por várias cidades do Paraná iniciando por Campo Mourão e Cornélio Procópio e com o passar do tempo para outras regiões do estado e do Brasil, estabelecendo-se com uma importante tecnologia para o manejo sustentável do solo (MELLO; CONCEIÇÃO, 2008). No entanto sem aumentos significativos nas primeiras décadas de adoção.

A área em SPD só passou a ter um aumento expressivo na década de 90, passando de 1 milhão de hectares para 14,3 milhões de hectares no ano de 2000, sendo que na última estimativa realizada no ano de 2013 a área em SPD estava em aproximadamente de 31,8 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2013) sendo que deste total o estado do Paraná apresenta 5,3 milhões de hectares cultivados em SPD (FEBRAPDP, 2014).

A utilização dessa técnica conservacionista promove uma série de benefícios tais como, o aumento dos teores de matéria orgânica na camada superficial do solo, melhorando a estabilidade dos agregados e conseqüentemente conferindo maior resistência do solo a erosão (COSTA et al., 2015). Além disso, contribui para a melhoria da qualidade ambiental, reduzindo o consumo de óleo diesel ao redor de 50% pela redução de práticas agrícolas, promovendo o sequestro do carbono que é incorporado através das plantas, e posterior aporte ao solo, apresentando-se como uma alternativa para mitigação dos gases do efeito estufa,

contribuindo para a redução do aquecimento global (ABEAS/LANDERS, 2005).

A utilização de plantas de coberturas é fundamental para viabilização do SPD, embora com o início da revolução verde tenha perdido temporariamente sua importância, devido ao surgimento e desenvolvimento de máquinas, equipamentos e insumos modernos, foi a sua utilização que promoveu um salto de qualidade na agricultura, tornando-se componente fundamental nos arranjos de sucessão e rotação de culturas, possibilitando a viabilização dos sistemas de cultivos (WILDNER, 2014).

O SPD representa um dos maiores avanços conservacionista para o sistema de produção em nosso país. No entanto, atualmente passa por um período de fragilidades, associadas à ausência da adoção de suas premissas básicas, sejam elas a baixa adição de palhada, rotação de culturas e mínimo revolvimento do solo. Por conta disso, vem enfrentando alguns problemas como a compactação do solo e erosão associada com a retirada dos terraços.

Os princípios do SPD podem ser obtidos de forma eficiente e econômica pela utilização de plantas de cobertura do solo estivais ou hibernais, aproveitando as entre safras das culturas de grãos, dessa forma não há competição com as culturas comerciais, mas sim uma modificação positiva quanto à redução de custo e aumento da rentabilidade.

## 2.2 PLANTAS DE COBERTURA

O uso de plantas de cobertura já é conhecido há milênios, sendo os chineses, a primeira civilização a utilizar esta técnica, onde era denominada de adubação verde, sendo recomendada sua incorporação para promover o seu efeito de fertilizar o solo (1134-247 a.C). Posteriormente, os gregos e romanos passaram a utilizar plantas de cobertura como o tremoço e fava, que eram incorporadas ao solo, para aumentar os teores de matéria orgânica e a produtividade das culturas em sucessão (PIETERS, 1927). A observação dos resultados benéficos da adubação verde fez com que essa prática fosse utilizada por mais de dois mil anos, apesar de não ter nenhuma explicação técnica ou científica sobre o motivo desses benefícios (ROSSI; CARLOS, 2014).

No Brasil, o primeiro registro oficial sobre adubos verdes datam do ano de 1919 com conceito que deixava explícito uma “visão química”, cujo requisito era a incorporação da massa vegetal ao solo, com objetivo de melhorar sua fertilidade, passando na década 90 a ter uma visão mais “integral e holística” onde foram atendidos os aspectos de solo (proteção e recuperação física, química e biológica), dos animais (forragens), do homem (alimentação,

fibras, produção sementes etc.) e do ambiente (diminuição dos impactos ambientais da agricultura e o sequestro do carbono - C). A definição também incorpora a possibilidade de utilização de outras famílias botânicas incorporadas ou não ao solo (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

A utilização de plantas de coberturas possibilita diversos benefícios para os sistemas de cultivo, tais como proteção do solo contra erosão, aporte de N (no caso das leguminosas), diminuição das plantas espontâneas através do efeito supressor e/ou alelopático, evitando a incidência direta de radiação solar, proporcionando a manutenção da umidade e evitando oscilações de temperatura. O sistema radicular “agressivo” descompacta e estrutura o solo (agregação e aeração) aumentando a infiltração de água (AMBROSANO et al., 2014). Promovem reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo, sendo mantidos na forma orgânica (na planta) estando menos sujeitos a lixiviação e são disponibilizados (mineralizados) mais lentamente às plantas de acordo com a decomposição da matéria orgânica (CALEGARI, 2004; AMBROSANO et al., 2014).

O desempenho do plantio direto (PD) depende em grande parte da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais aportados ao solo e, sua manutenção na superfície do solo após ser manejada. A permanência no solo é determinada pela taxa de decomposição dos resíduos, quanto mais rápida a taxa de decomposição maior a liberação de nutrientes e, menor a proteção do solo. Por isso, há uma preocupação em utilizar espécies vegetais que apresentam alta produção de massa seca e decomposição lenta.

As espécies vegetais podem ser classificadas em duas categorias de acordo com sua taxa de decomposição, aquelas de decomposição lenta (poáceas) com relação C/N alta (30/1) que promovem a imobilização de N, e a outra de decomposição rápida (fabáceas e brássicas) com relação C/N inferior a 20/1 que promovem mineralização de N. Valores intermediários (25:1) promovem um equilíbrio entre mineralização e imobilização (ALVARENGA et al., 2010).

Em manejos conservacionistas preconiza-se a manutenção de palhada sobre o solo, que é condicionado pela adição de resíduos com alta relação C/N, sendo a aveia a principal espécie utilizada na região sul do país. No entanto, quando o milho é cultivado em sucessão a aveia ocorre redução na absorção de N e a redução da produtividade devido à alta relação C/N dos resíduos adicionados ao solo (ZIECH, 2016).

A utilização de fabáceas é uma alternativa para o fornecimento de N, podendo reduzir parcialmente ou totalmente a utilização da adubação nitrogenada (CHERUBIN et al., 2014), no entanto, em função da baixa relação C/N a decomposição dos resíduos é rápida,

deixando o solo desprotegido logo no início do cultivo.

Alternativas como a consorciação entre espécies são estratégias que vêm sendo estudadas, tanto para proteção do solo como para o fornecimento de N ao milho (AITA et al., 2004; GIACOMINI et al., 2004; DONEDA et al., 2012; DAHLEM, 2013; ZIECH et al., 2015; ZIECH, 2016). Embora apresentem grande potencial para reduzir a demanda por insumos e melhorar a proteção do solo, verifica-se mínima adoção dessas técnicas, restringindo-se a poucas propriedades, o que pode estar relacionado ao não conhecimento sobre estas espécies, dificuldade de aquisição de sementes e ou, uma visão de retorno econômico de curto de prazo.

Em virtude desse contexto, ainda se faz necessário estudos para averiguar demais influencias de sistemas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no sistema de produção de milho.

### 2.3 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays*) é um dos principais cereais cultivados no mundo, e tem sua importância caracterizada pela diversidade de formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal, humana até indústrias de alta tecnologia. Estima-se que há mais de 3.000 derivados do milho tanto para consumo humano como industrial, representando em torno de 21% da nutrição humana no planeta (SEAB/DERAL, 2018a).

A cultura do milho destaca-se por ser a primeira cultura de grãos a atingir a marca de um bilhão de toneladas produzidas mundialmente, na safra 2014/15. A produção mundial de milho na safra 2017/18 foi de 1.033,6 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores os Estados Unidos, China e Brasil, responsáveis por 36, 21 e 8% da produção mundial respectivamente (USDA, 2018).

A expectativa de produção para safra 2018/19 está em 1.069,0 milhões de toneladas e o consumo em 1.106,1 milhões de toneladas, mostrando saldo negativo na produção de 37,1 milhões de toneladas, evento que não ocorria desde a safra de 2012/13 quando o saldo negativo foi de 1,38 milhões de toneladas (USDA, 2018).

Segundo projeções do SISTEMA FARSUL utilizando dados USDA (2017), a demanda pelo grão continua aumentando, sendo 52% (103,48 milhões de toneladas) na Ásia, 39% (77,29) na América, 7% (13,36) África e 2% (4,63 milhões) na Europa.

A cultura do milho no Brasil ocupa 27% da área agricultada do país com uma produção de 81,4 milhões de toneladas representando 38% da produção total de grãos

produzidos no país e, com uma média de produtividade de  $4,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  entre safra e safrinha no ano agrícola 2017/18 (CONAB, 2018a). Para a safra 2018/19 a expectativa de produção é de 94,5 milhões de toneladas, aumento de 15,2% em relação à safra anterior (USDA, 2018).

O Paraná é o segundo maior produtor de milho do país com produção de 12,0 milhões de toneladas e com produtividade média do milho variando entre 8,7 e  $4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  na primeira e segunda safra, respectivamente, para a safra 2017/18, ficando entre os estados com a maior produtividade do país (CONAB, 2018a).

Do total produzido de milho no Paraná nos últimos anos, em média 20% é destinado ao mercado externo e os 80% restantes são destinadas principalmente às atividades pecuárias, mais especificamente para avicultura e suinocultura (SEAB/DERAL, 2013). Essas atividades são expressivas e fundamentais no desenvolvimento socioeconômico da região, uma vez que a avicultura, produção de milho e suinocultura ocupam o segundo (15,27%), terceiro (8,25%) e quinto (4,08%) lugares respectivamente do Valor Bruto da Produção (VBP) do estado do Paraná. Em primeiro e quarto lugar destacam-se a produção de soja com 21,84% e leite com 5,73% do VBP, respectivamente. (FAEP, 2018).

No que diz respeito ao potencial produtivo da cultura do milho, os produtores brasileiros já vêm obtendo sistematicamente rendimentos de milho superiores a  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $200 \text{ sacas/ha}^{-1}$ ), não sendo raros aqueles que produzem mais do que  $14 \text{ Mg ha}^{-1}$  (MIRANDA et al., 2013). Entretanto, estes resultados são encontrados em regiões com produtividades médias bem inferiores, demonstrando um grande variação entre os sistemas de cultivo em uso no Brasil. Em função dessa grande variabilidade, o Brasil dispõe de um grande potencial de aumento da produção por aumento de produtividade.

Entre os nutrientes essenciais à cultura do milho, o N é considerado um dos principais limitantes a obtenção de altas produtividades. No Brasil, a principal forma de fornecimento de N à cultura do milho se dá mediante a aplicação de ureia em cobertura. No entanto, essa fonte de N utilizada apresenta elevada suscetibilidade às perdas de N por volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ) (FRAZÃO et al., 2014). E quando não respeitados os aspectos técnicos para sua utilização, podem causar grandes perdas econômicas e também danos ambientais.

Entre os vários fatores que dificultam a obtenção de altas produtividades da cultura, destaca-se a baixa eficiência de utilização do N, a qual é influenciada pelo sistema de cultivo, tipo de fertilizante, formas de manejo e condições edafoclimáticas (FIGUEIREDO et al., 2005).

A baixa eficiência de recuperação do N de fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas tem sido atribuída principalmente às perdas por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ),

oriunda de fontes amoniacais de N (FRAZÃO et al., 2014). No SPD as perdas quando comparadas ao sistema convencional são maiores, em função da maior atividade da urease neste sistema, que aumenta a volatilização da amônia (ROJAS et al., 2012).

Dessa forma, uma maneira de diminuir estas perdas de N é pela substituição parcial ou total da adubação nitrogenada (dependendo do nível tecnológico adotado pelo produtor), pela utilização de plantas de cobertura capazes de fazer a fixação biológica de nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) (CHERUBIN et al., 2014), diminuindo os custos de produção, e tornando o sistema de produção mais sustentável

Embora apresentem grande potencial para reduzir a demanda por insumos e melhorar a proteção do solo, verifica-se mínima adoção dessas técnicas, restringindo-se a poucas propriedades, o que pode estar relacionado ao não conhecimento sobre estas espécies, dificuldade de aquisição de sementes e ou, uma visão de retorno econômico de curto de prazo.

Considerando a importância da cultura do milho para viabilização da atividade agropecuária da região é de fundamental importância a redução dos custos de produção, sendo que o principal componente dos custos são os fertilizantes que representam em média 25% dos custos variáveis e 17% do custo total da produção do milho, considerando uma expectativa de rendimento de  $8,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  (CONAB, 2018b). Dessa forma, sistemas de manejo que possam diminuir a demanda por fertilizantes principalmente os nitrogenados, são de extrema importância para a produção de milho com menores custos de produção e tornar o sistema de produção mais sustentável (ACOSTA 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi realizado nos anos agrícolas de 2017/18 e 2018/19 na estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, situada a 25° 42' 52" de latitude S e longitude de 53° 03' 94" W-GR, a 530 metros acima do nível do mar.

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho (CABREIRA, 2015) com textura muito argilosa (773 g kg<sup>-1</sup> argila, 224 g kg<sup>-1</sup> de silte e 3 g kg<sup>-1</sup> de areia). O clima da região é Cfa (subtropical úmido) sem estação seca definida com temperatura média do mês mais quente de 22 ° C (ALVARES et al., 2013).

O experimento teve início no ano de 2010, sendo cultivada com sucessão de milho e plantas de cobertura do solo, sobre duas doses de N (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas em cobertura na cultura do milho, em área que historicamente vinha sendo utilizada para produção de grãos, porém sem um manejo de solo definido e estabilizado, sob as seguintes condições químicas do solo na camada 0-20 cm (Tabela 1). Não foram realizadas aplicações de calcário posterior ao início do experimento.

**Tabela 1** - Características químicas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, amostrado antes da instalação do experimento. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.

pH	pH	MO	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	SB	CTC	V
CaCl <sub>2</sub>	SMP	(g.dm <sup>-3</sup> )	(mg.dm <sup>-3</sup> )	-----cmol.dm <sup>-3</sup> -----						%
5,3	6,4	40,8	4,3	0,2	6,0	2,8	3,8	9,0	13,0	70

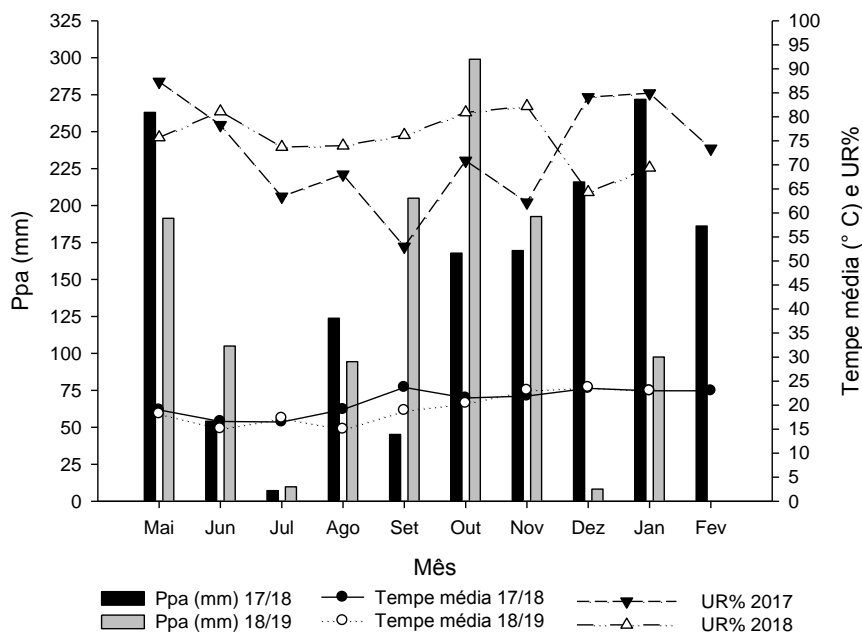
pH cacl<sub>2</sub> 1:2,5; M.O. por digestão úmida; P e K determinados pelo método Mehlich1; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. CTC: capacidade de troca de cátions. V%: saturação por bases. Modificado (Ziech, 2016).

Para as safras 17/18 e 18/19 acrescentou-se uma dose de N no valor de 90 kg ha<sup>-1</sup> ao experimento, objetivando a avaliação de uma dose intermediária no desempenho agrônomo do milho em relação ao analisado por Ziech (2016).

Os dados climáticos de precipitação pluvial acumulada mensalmente e a variação de temperatura média do ar, referente ao período experimental, foram obtidos junto à estação meteorológica INMET, instalada no próprio Campus UTFPR (Figura 1 e Anexo 12).



**Figura 1** - Precipitação pluvial mensal acumulada (Ppa mm), temperatura média mensal (° C) (Tempe média) e umidade relativa (UR%) para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.



### 3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições. Nas parcelas principais de (5 x 15 m), foram testados oito sistemas de plantas de cobertura de inverno: aveia preta (A) (*Avena strigosa*) 90 kg ha<sup>-1</sup>, ervilhaca comum (E) (*Vicia sativa*) 40 kg ha<sup>-1</sup>, nabo forrageiro (N) (*Raphanus sativus*), 15 kg ha<sup>-1</sup>, tremoço branco (*Lupinus albus*) 100 kg ha<sup>-1</sup>, centeio (*Secale cereale*) 50 kg ha<sup>-1</sup>, azevém Comum (*Lolium multiflorum*) 50 kg ha<sup>-1</sup>, consórcio aveia + ervilhaca (A+E) 60 + 40 kg ha<sup>-1</sup>, aveia + ervilhaca + nabo (A+E+N) 60 + 30 + 10 kg ha<sup>-1</sup>. A densidade de semeadura refere-se à quantidade de sementes viáveis. Nas subparcelas (5 x 5 m), foram aplicadas três doses de N (0, 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) em cobertura na cultura do milho (V4), na forma de ureia.

As plantas de cobertura foram semeadas de forma mecanizada na primeira (02/05/17) e segunda quinzena (22/05/18) do mês de maio, com espaçamento de 0,17 m entre linhas, para todos os sistemas. Para estas culturas não foram feitas adubações de base e de cobertura e nem aplicações de inoculantes. O manejo de dessecação das plantas de cobertura ocorreu aos 126 (2017) e 105 (2018) dias após a semeadura (DAS), com a aplicação de herbicida (Glifosato 576 g ha<sup>-1</sup> de i.a).

A semeadura do milho (AG8780 VTPRO3) sobre os resíduos das plantas de

cobertura foi realizada com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de semeadura estimada para 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>, nos dias 05/10/17 e 12/09/18, aproximadamente 30 e 8 dias após o manejo químico dos sistemas de cobertura para a safra 17/18 e 18/19 respectivamente. A adubação de base foi realizada com a aplicação de 550 e 575 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 02-20-20 e 02-18-18 (N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O), para uma expectativa de rendimento de 9 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho para as duas safras. A adubação nitrogenada foi realizada manualmente em cobertura em dose única, direcionadas próximo às linhas de semeadura do milho aos 32 e 33 DAS para as safras 17/18 e 18/19, respectivamente.

Para o manejo de plantas daninhas e controle de insetos na cultura do milho foi realizada aplicação de herbicida (Glifosato 576 g ha<sup>-1</sup> de i.a) e inseticida (Deltametrina 37,5 g ha<sup>-1</sup> de i.a), respectivamente.

### 3.3 PARÂMETROS AVALIADOS

#### 3.3.1 Plantas de Cobertura Hibernais

A coleta da biomassa das plantas de cobertura foi realizada de acordo com o florescimento das espécies mais precoces aos 115 (25/08/17) e 87 (17/08/18) DAS para as safras 17/18 e 18/19 respectivamente, utilizando-se um quadro metálico com 0,25 m<sup>2</sup> em dois pontos aleatórios de cada subparcela. Nos tratamentos constituídos por consórcios procedeu-se a separação botânica das espécies a fim de determinar a participação de cada espécie na produção de biomassa total. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura de 55 °C +-5 por 48-72 horas até peso constante, determinando a produção de massa seca (MS).

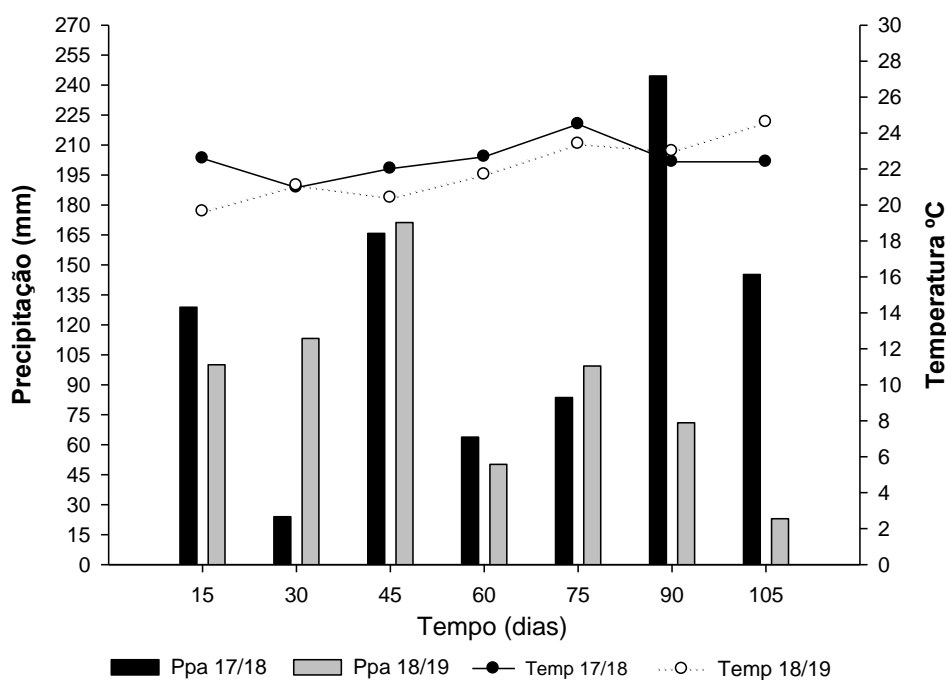
A decomposição e liberação de N das plantas de cobertura foram realizadas utilizando bolsas de decomposição ou *litters bags* (BOCOCK; GILBERT, 1957) confeccionadas com tecido *voil*, de malha inferior a 1 mm, nas dimensões de 0,2 x 0,2 m perfazendo uma área de 0,04m<sup>2</sup>. Nas bolsas de decomposição, adicionou-se material vegetal previamente seco em estufa, fracionado em partes de aproximadamente 10 cm, em quantidade proporcional a MS produzida por cada espécie na subparcela. Para ambas as safras foram confeccionadas oito bolsas de decomposição de igual massa dentro de cada subparcela, sendo alocadas sete bolsas logo após a semeadura da cultura do milho nas suas entre linhas em cada subparcela. Uma das amostras em cada ano de cada subparcela foi armazenando em local seco e protegido servindo como controle (tempo zero).

A coleta das bolsas, uma por subparcela, foi realizada em intervalos pré-determinados

aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 DAS para ambas as safras. O material remanescente foi seco em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de  $\pm 55^{\circ}\text{C} \pm 5$ , por 48 horas, pesado em balança semi-analítica para quantificação da massa seca remanescente (MSR), (mediante perda de massa) e analisado C orgânico segundo Yeomans e Bremner (1988) e o conteúdo de N total remanescente (EMBRAPA, 2009). A liberação de N dos resíduos foi calculada pela diferença na quantidade de N acumulada no tempo zero em relação aos demais períodos coletados a campo. As taxas de decomposição e liberação de N foram expressas em porcentagem da MS inicial e porcentagem do N inicial respectivamente, para cada avaliação.

Em função da influência das condições climáticas no processo de decomposição e liberação de N, foi elaborado um gráfico com precipitações acumuladas e temperatura média para cada período (intervalo) de coleta (Figura 2).

**Figura 2** - Precipitação pluvial quinzenal acumulada (Ppa) e temperatura média quinzenal (Tempe) para os períodos de avaliação da decomposição das plantas de cobertura nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos-PR, 2019.



O índice de qualidade do resíduo (IQR) das plantas de cobertura do solo foi obtido pelo produto do índice de liberação de nitrogênio (ILN) e índice de massa seca remanescente (IMSR) com base na fórmula:

$$\text{IQR} = \text{ILN} * \text{IMSR}$$

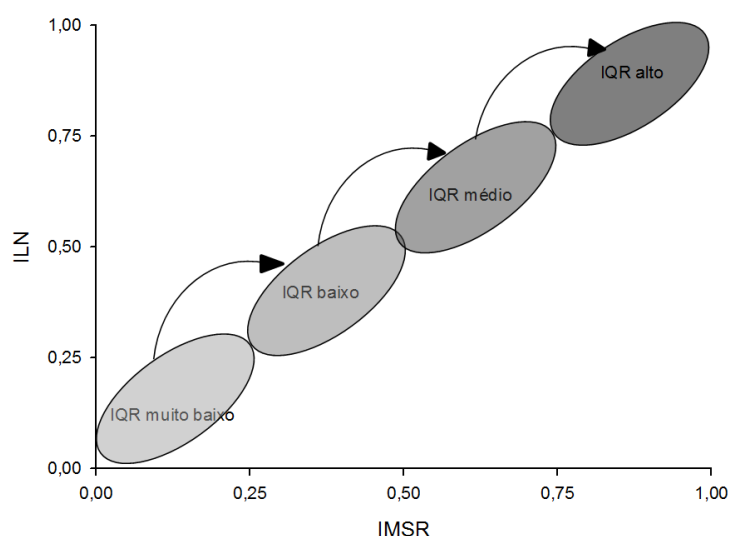
Para obtenção do ILN e IMSR definiu-se a maior capacidade de liberação de N e

maior permanência de resíduos entre os sistemas avaliados como 100%, ou seja, o sistema ideal, relativo aos processos ocorridos no tempo 105 dias após a semedura da cultura do milho:

Onde ILN = Percentual de liberação de nitrogênio do sistema de cobertura aos 105 dias em relação a maior liberação de N entre os sistemas avaliados e IMSR = Percentual de massa seca remanescente aos 105 dias em relação a maior quantidade de massa seca remanescente entre os sistemas avaliados.

Dessa forma, em um modelo conceitual, quanto maior o IQR, melhor será o equilíbrio de determinado sistema de cobertura entre liberação de N e permanência de resíduos para proteção do solo (Figura 3).

**Figura 3** - Modelo conceitual para Índice de Qualidade de Resíduos (IQR) de plantas de cobertura hibernais. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.



Sistemas de cobertura com IQR alto devem apresentar simultaneamente alta permanência de resíduo e liberação de N (IQR > 0,75 a 1); IQR médio ocorre para sistemas com liberação de N e permanência de resíduos intermediários (IQR > 0,5 a 0,75); IQR baixo ocorre para sistemas que apresentam alta liberação de N e baixa permanência de resíduos (IQR > 0,25 a 0,5) quanto para sistemas que promovem baixa liberação de N e alta permanência de resíduos; IQR muito baixo ocorre para sistemas com baixa liberação de N e baixa proteção do solo (IQR = 0,0 a 0,25).

### 3.3.2 Cultura do Milho

A avaliação da produção de MS da cultura do milho foi realizada na fase de

enchimento de grãos, 95 e 90 DAS para a safra 17/18 e 18/19, respectivamente. Coletou-se cinco plantas dentro da área útil de cada subparcela, sendo posteriormente moídas em triturador de forragens pesadas e subamostradas uma quantidade de 0,6 kg por subparcela, posteriormente, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, sob temperatura de  $\pm 55$  °C, até atingirem peso constante, após a obtenção da umidade fez-se a correção do peso inicial. Para a extrapolação do peso para hectare utilizou-se o estande de plantas verificadas na avaliação de produtividade de grãos. As amostras de tecido vegetal foram trituradas em moinho de facas tipo willey, equipado com peneira de 20 mesh, e posteriormente realizada a análise de N (EMBRAPA, 2009) e C orgânico (YEOMANS e BREMNER, 1988).

A colheita foi realizada manualmente em 07/02/18 (125 DAS) e 28/01/19 (138 DAS), em uma área total de 2,7 m<sup>2</sup> dentro de cada subparcela, determinando o número de espigas por hectare (NEH). Posteriormente em 10 espigas, ao acaso, em cada subparcela foram determinados os componentes de rendimento. As variáveis foram: diâmetro de espiga (DE) (determinada no terço médio da espiga utilizando paquímetro), comprimento de espiga (CE) (sem palha, da base até os últimos grãos formados), número de fileiras por espiga (MFE), número de grãos por fileira (NGF) (duas contagens em pontos opostos da espiga), número total de grãos por espiga (NGE) (multiplicação NF x NGF) e massa de 1000 grãos (MMG) (quatro amostras de 100 grãos, corrigindo-se para 13% de umidade). Posteriormente, as espigas foram passadas em debulhador elétrico, sendo realizada a pesagem da produção de grãos e determinado a umidade dos grãos através do método da estufa a 105 °C por 48 horas. O rendimento de grãos foi estimado por meio da extrapolação da produção colhida na área útil das parcelas para hectare, corrigindo-se para 13% de umidade.

### 3.3.3 Efeito do sistema

Para verificar o incremento proporcionado pelos sistemas de plantas de cobertura/milho da fase de transição (T) em relação à fase inicial (I) do SPD, foram utilizados dados médios de produção de MS, N acumulado das plantas de cobertura na média dos sistemas e a produtividade média de milho na dose 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral obtidas nas duas safras iniciais (safras 2010/11 e 2011/12) (DAHLEM, 2013) comparando com os dados das safras analisadas no presente trabalho (2017/18 e 2018/19). Nos primeiros dois anos a adubação de base utilizada foi para uma expectativa de rendimentos de 6 Mg ha<sup>-1</sup>. A variedade de milho utilizando foi o Bandeirante e Pioneer P32R48 para as safras 10/11 e 11/12, respectivamente. Para as safras 17/18 e 18/19, o híbrido de milho utilizado foi o AG8780

VTPRO3 e adubação de base para uma expectativa de rendimento de  $9 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Como houve mudança da adubação de base e de híbrido de milho, utilizou-se o sistema aveia/milho como referência para os ganhos em função do material genético e da adubação de base utilizada.

Segundo modelo proposto por Sá (1999), a fase entre oito e nove anos marcam o momento de transição, onde a mineralização de N passa a ser maior ou igual a imobilização. Desta forma, buscou-se verificar o efeito proporcionado pelos sistemas de plantas de cobertura/milho no sistema de produção.

### 3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Lilliefors), após a análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ), pelo programa computacional GENES (CRUZ, 2016). Os dados que não apresentaram normalidade utilizou-se o teste não paramétrico de Friedman. A relação C/N foi submetida à análise de regressão não linear, através do modelo de equação polinomial quadrática [ $y = y_0 + ax + bx^2$ ]. As curvas de MS remanescente 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 a liberação de N foi aplicada a análise de regressão não linear, ajustado ao modelo matemático exponencial tendendo ao máximo [ $y = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$ ] para a safra 17/18 e 18/19, com exceção dos sistemas com tremoço, aveia e azevém por apresentarem liberação de N ajustado a uma equação polinomial quadrática [ $y = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2$ ]. Para verificar os modelos mais adequados, considerou-se a significância ( $p \leq 0,05$ ) e a magnitude dos coeficientes.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 PLANTAS DE COBERTURA

#### 4.1.1 Produção de massa seca e relação C/N

A produção de MS para safra 2017/18 não apresentou interação em função das doses residuais de N mineral aplicado na cultura comercial, possivelmente em função da boa disponibilidade hídrica que proporcionou igualdade de condições para o desenvolvimento das plantas de cobertura, e conseqüentemente, diminuindo o grau de respostas às doses residuais de N. As maiores produções foram verificadas com a utilização dos consórcios A+E+N, A+E e aveia, com 7,4, 6,5 e 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> de MS (Tabela 2).

**Tabela 2** - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para produção de massa seca nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.

N kg ha <sup>-1</sup>	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>MS (Mg ha<sup>-1</sup>) 17/18</b>										
0	<sup>ns</sup> 6,1	6,6	6,5	1,7	3,4	2,0	3,5	2,5	**4,0 A	
90	5,8	6,4	8,7	1,9	3,3	2,6	3,1	4,0	4,5 A	2,67
180	3,8	6,5	6,9	1,6	3,0	2,4	2,4	2,0	3,6 B	
Média	**5,3 a	6,5 a	7,4 a	1,7 c	3,2 b	2,3 b	3,0 b	2,8 b		4,09
<b>MS (Mg ha<sup>-1</sup>) 18/19</b>										
0	**2,8 cB	5,3 aA	4,7 bC	2,1 dA	2,2 dC	1,8 eA	1,0 fA	4,3 bA	**3,0 C	
90	3,6 dA	5,0 bA	6,9 aA	1,8 eA	3,7 dA	2,0 eA	1,4 fA	4,4 cA	3,6 A	4,8
180	3,2 cB	4,6 bA	5,6 aB	2,3 dA	3,0 cB	1,9 eA	1,3 fA	4,4 bA	3,3 B	
Média	**3,2 c	5,0 b	5,7 a	2,1 d	3,0 c	1,9 d	1,2 e	4,4 b		8,6
<b>Média MS (Mg ha<sup>-1</sup>) 17/18 e 18/19</b>										
0	*4,5 bA	5,9 aA	5,6 aB	1,9 dA	2,8 cA	1,9 dA	2,2 dA	3,4 cB	**3,5 B	
90	4,7 cA	5,7 bA	7,8 aA	1,9 eA	3,5 dA	2,3 eA	2,2 eA	4,2 dA	4,0 A	14,1
180	3,5 bB	5,6 aA	6,2 aB	1,9 cA	3,0 bA	2,1 cA	1,8 cA	3,2 bB	3,4 B	
Média	**4,2 c	5,7 b	6,5 a	1,9 e	3,1 d	2,1 e	2,1 e	3,6 d		18,2

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE= Centeio e TÇ= Tremoço Branco. Para análise estatística, os dados de MS das safras 2017/18 e 2018/19, foram transformados para log de x e raiz de x, respectivamente.

Na safra 2018/19 foi verificada interação entre produção de MS e as doses de N residual, onde os sistemas de cobertura com aveia, A+E+N e centeio apresentaram maior produção de MS sobre as doses de N residual, evidenciando a ocorrência da ciclagem do N oriundo da palhada do milho, ou do solo, pelas plantas de cobertura. A maior produção de MS na dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> em relação à dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N pode ter sido favorecida pela

menor quantidade de inócuo de pragas e doenças em função do menor tempo de sucessão plantas de cobertura/milho (constatação visual). Quando comparado às produções sobre a dose residual de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, apenas os sistemas com A+E+N e centeio apresentaram incremento na produção de MS em relação a ausência de N residual em 19 e 35%, respectivamente.

Entre os sistemas de coberturas, o consórcio A+E+N apresentou o maior aporte de MS (5,7 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> superior em relação ao nabo que apresentou a menor produção entre os sistemas de cobertura do solo. Em relação a ervilhaca, o incremento chegou a 200% (3,8 Mg ha<sup>-1</sup>).

Para essa safra 18/19 devido a menor disponibilidade hídrica, apenas 34% (151 mm) em relação à ocorrida na safra anterior (Figura 1), provocou a antecipação do florescimento e aceleração da senescência, diminuindo o ciclo das culturas (PES & ARENHARDT., 2018), a qual teve sua avaliação de MS com 87 DAS, resultando em uma redução de 18% na produção de biomassa em relação à média geral da safra anterior.

Oscilações de produtividades de plantas de cobertura são comuns entre os anos, e locais, tendo em vista que é altamente dependente de condições edafoclimáticas, e fitossanitárias bem como a particularidade de cada ano agrícola que é realizado o cultivo (AMADO et al., 2002).

A produção de MS na média das safras apresentou interação significativa ( $p \geq 0,05$ ) com as doses residuais de N, onde o consórcio A+E+N e tremoço apresentaram maior produção de MS sobre a dose residual de 90 kg ha<sup>-1</sup>. A aveia, cultura de cobertura tradicional utilizada pelo agricultor na região sul do Brasil apresentou uma produção menor sobre a dose residual de 180 kg ha<sup>-1</sup>, possivelmente em função da acidificação do solo, caracterizada pela diminuição do pH e do teor de Ca trocável (exportação via grãos) e aumento da acidez trocável (Al) e potencial (H+Al) em função do uso de ureia por nove anos sem neutralização da acidez (calagem).

Na média dos anos, a maior produção de MS para as plantas de cobertura foi verificada para o sistema em consórcio triplo A+E+N, com 6,5 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido pelo consórcio duplo A+E com 5,7 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa aportada ao solo, sendo que nas doses de 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N residual as produções não diferiram, com exceção para aveia. Para o sistema A+E+N, a quantidade aportada de biomassa é 2,3 (55%), 4,4 (210%) e 4,4 (210%) Mg ha<sup>-1</sup> superior a verificada no cultivo de aveia, ervilhaca e nabo em cultivo solteiro, respectivamente. O sistema consorciado de A+E apresentou um incremento de 1,5 (36%) e 3,6 Mg ha<sup>-1</sup> (171%) em relação ao cultivo solteiro de aveia e ervilhaca, respectivamente.



A alta produção de MS dos consórcios deve-se a diversidade de culturas, onde é comum uma servir de tutora para outra com melhor aproveitamento dos recursos naturais, pelos extratos diferenciados para aproveitamento de luz, exploração de camadas distintas de solo, possibilitando maior ciclagem de nutrientes, rápida cobertura do solo com maior controle de plantas invasoras, menor sensibilidade a estresses climáticos e a diminuição da ocorrência de pragas e doenças (AMADO et al., 2014).

Resultados obtidos na região do primeiro planalto Paranaense em um Gleissolo Melânico Distrófico típico corroboram com os resultados encontrados neste trabalho, onde a produção de MS dos consórcios A+E e A+E+N ficaram entre 4,6 e 4,3 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, sendo em média 68% superior às produções de MS verificadas para ervilhaca e nabo forrageiro, porém não apresentaram diferenças de produção de MS em relação a cultura da aveia (CARVALHO et al., 2007). Dahlem, (2013) e Ziech, (2016) também observaram diferenças na produção de MS dos cultivos consorciados em relação à produção de MS dos sistemas com nabo e ervilhaca para o mesmo experimento nos primeiros cinco anos de condução, no entanto, nesse período as produções não diferiram da aveia. No SPD tem se observado que, quanto maior e mais diversificado for o aporte de resíduos, mais rápido se chega à fase de transição, onde a mineralização de N passa a ser maior ou igual a imobilização de N segundo modelo proposto por Sá (1999) e, conseqüentemente, melhores os rendimentos das culturas.

A utilização de ervilhaca, nabo e azevém proporcionaram as menores produções de MS na média dos anos, com aporte médio entre 1,9 e 2,1 Mg ha<sup>-1</sup>. Essa produção é considerada baixa para o azevém e nabo e média para ervilhaca, respectivamente (AMADO et al., 2014). Esse resultado diverge com dados de produção de MS obtido por Cherubin et al. (2014), em Latossolo Vermelho aluminoférrico típico, onde ervilhaca, nabo e azevém apresentaram produção de MS de 7,2, 4,6 e 3,2 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente e, possivelmente, o melhor desempenho pode estar relacionado ao maior tempo de permanência a campo (aproximadamente 150 DAS), somado a realização de adubação de base nas plantas de cobertura e nos maiores teores de Ca e Mg no solo. A coleta para avaliação da produção de MS para ervilhaca e azevém foi realizada aos 115 e 87 DAS para as safras de 17/18 e 18/19 respectivamente, onde estas espécies não estavam no ponto de máximo de acúmulo de MS, o qual deve ocorrer de 120-150 e 150-180 dias para o azevém e ervilhaca respectivamente (WUTKE et al., 2014).

O nabo, em função da sua característica de elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, o torna dependente do N disponibilizado por meio da mineralização da MOS

(Matéria Orgânica do Solo) ou adubação mineral, pois não possui a capacidade de fazer associação com bactérias fixadoras de N, ou seja, não promove o aporte externo de N ao sistema, como fazem as fabáceas por meio da FBN. E o seu cultivo continuado durante nove anos em sucessão ao milho, pode ter ocasionado redução dos teores de N no solo, mesmo sobre as doses residuais em função da elevada exportação de N pela cultura do milho além de possíveis perdas por volatilização e lixiviação. Verificou-se também desuniformidade na emergência da cultura do nabo que podem estar ocorrendo em função do crescente aumento da infestação das parcelas por *Sclerotinia sclerotiorum* (mofo branco). O desempenho do nabo está diretamente relacionado com o solo e com o antecedente cultural, como mostram resultados verificados por Giacomini et al. (2003) onde o nabo cultivado após o milho apresentou 68% da produção verificada após o cultivo de soja.

A utilização de tremoço e centeio foram sistemas com capacidade de produção intermediária em relação aos demais sistemas testados, com aporte de 3,6 e 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS ao solo. Para as fabáceas, produções acima de 3 Mg ha<sup>-1</sup> são consideradas altas, sendo que em anos anteriores, neste experimento verificou-se rendimentos de milho de até 79 % da obtida sobre o milho com dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (ZIECH, 2016).

Os valores para relação C/N das plantas de cobertura hibernais apresentaram variações entre os anos avaliados (Tabela 3), possivelmente em função da constituição dos tecidos no momento da avaliação da MS, com exceção da ervilhaca e tremoço que pouco variaram sua relação C/N e foram os que apresentaram as menores relações C/N entre os sistemas. Já a aveia apresentou a maior relação C/N com variação de 3 pontos entre os anos.

Os sistemas em consórcio A+E e A+E+N e nabo apresentaram uma redução enquanto os sistemas com poáceas exclusivas apresentaram um aumento da relação C/N da safra 2017/18 para a safra 18/19, possivelmente devido a consorciação em função da presença de nabo e ervilhaca, proporcionando condições de melhor disponibilidade hídrica em função da rápida taxa de cobertura do solo (ZIECH et al., 2015), diminuindo oscilação de temperatura resultando em melhores condições de desenvolvimento.

Na média dos anos obteve-se relações C/N intermediária com a utilização dos consórcios A+E e A+E+N em relação as observadas em seus cultivos solteiros, dessa forma sendo possível a obtenção de altas produções de MS com relação C/N intermediária, aumentando o tempo de permanência dos resíduos para proteção do solo e reduzindo a imobilização temporária de N na biomassa microbiana em relação aos sistemas solteiros.

**Tabela 3** - Médias para relação C/N das plantas de cobertura e adubação nitrogenada para os anos agrícolas de 2017/18 a 2018/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.

Plantas de cobertura	2017/18	2018/19	Média
-----Relação C/N-----			
Aveia	**30 a	*33 a	**32 a
A+E	28 a	22 b	25 c
A+E+N	25 b	21 b	23 d
Azevém	19 c	32 a	25 c
Centeio	26 b	30 a	28 b
Ervilhaca	13 d	13 c	13 g
Nabo	21 c	18 b	19 e
Tremoço	15 d	16 c	15 f
<b>CV%</b>	<b>14,8</b>	<b>8,8</b>	<b>5,2</b>
<b>N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>			
0	<sup>ns</sup> 22	*25 a	*24 a
90	22	23 b	23 b
180	22	22 b	22 b
<b>CV%</b>	<b>12,2</b>	<b>8,2</b>	<b>9,5</b>

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. Para análise estatística, os dados da relação C/N da safra 2018/19.

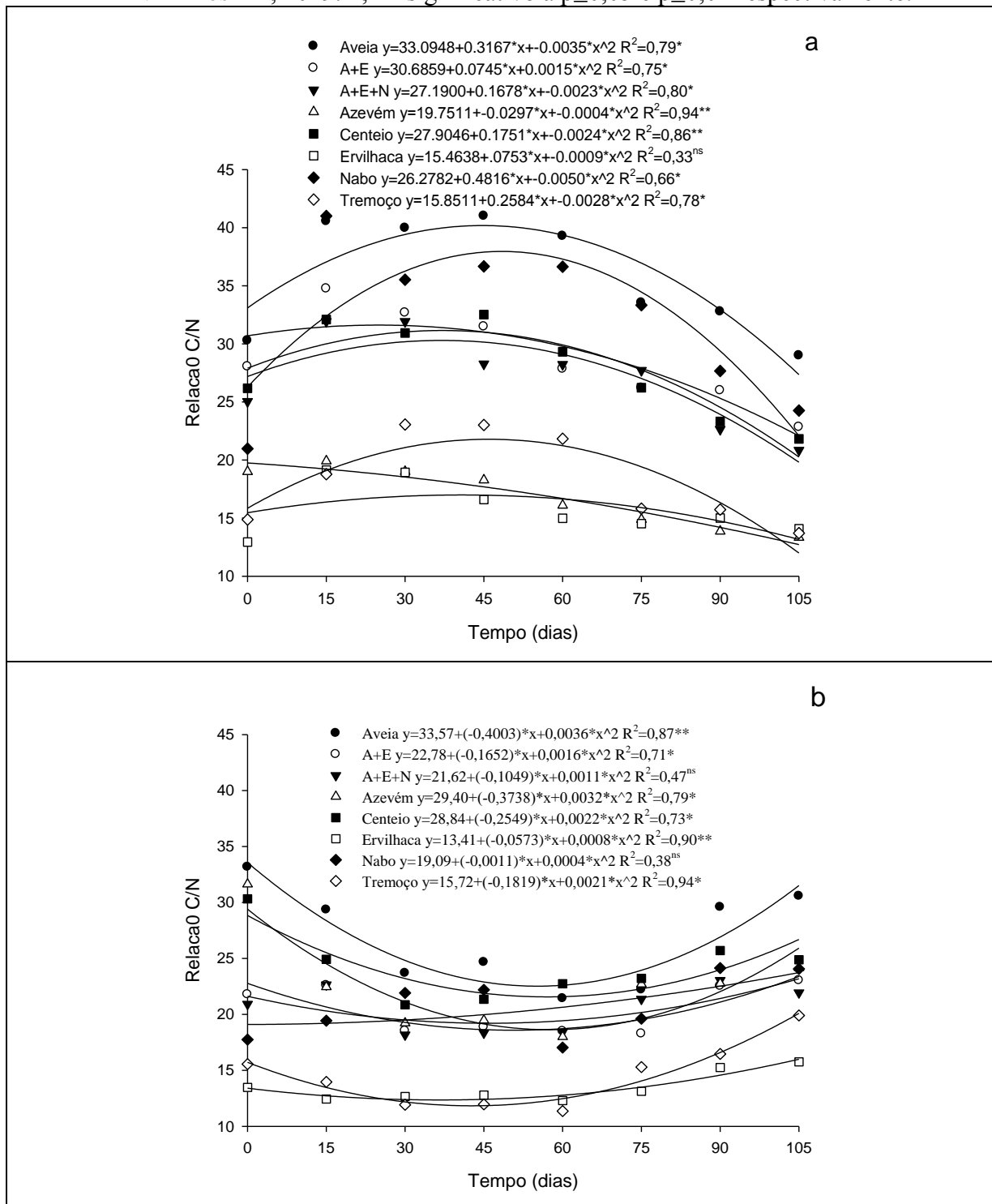
A relação C/N da MS aportada ao solo pelas espécies vegetais tem grande importância no processo de decomposição, determinando a ocorrência de imobilização ou mineralização de N pelos microrganismos que decompõem o material vegetal. As bactérias e fungos presentes no solo apresentam uma relação C/N em média de 8/1, ou seja, necessitam incorporar oito partes de carbono para uma parte de N. Em razão de cerca de um terço do carbono metabolizado ser incorporado (o restante é respirado na forma de CO<sub>2</sub>) os organismos precisam incorporar 1g de N para cada 24g de carbono (BRADY; WEIL, 2013). Desse modo a relação C/N próxima a 25 é considerada como a de equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização de N.

A relação C/N dos resíduos vegetais das plantas de cobertura acompanhada à decomposição sofreram alterações significativas nas duas safras analisadas, ocorrendo ajuste a uma curva polinomial quadrática (Figura 4). Estes resultados divergem dos resultados encontrados por Calonego et al., (2012) onde a relação C/N de três resíduos vegetais avaliados (braquiária, labe-labe e milho) não se alteraram significativamente no decorrer do período de avaliação (135 dias).

A relação C/N apresentou comportamento contrastante entre as safras avaliadas com curvas ascendentes e descendentes para safra 17/18 e 18/19, respectivamente. Para ambas as safras, a taxa de liberação de C dos tecidos foram semelhantes (Anexo 9). Já as taxas de

liberação de N entre os anos apresentaram comportamentos distintos (Figura 6b e d).

**Figura 4** - Relação C/N das plantas de cobertura hibernais o longo do período de decomposição de 105 dias para safra 17/18 (a) 18/19 (b). UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente.



Na safra 17/18, o aumento da relação C/N ocorreu possivelmente em função da maior taxa inicial de liberação de N dos tecidos ocasionando aumento da relação C/N. Já para safra

18/19, a menor taxa de liberação de N em relação à safra 17/18 (Figura 6b e d) proporcionou a redução da relação C/N dos tecidos.

As maiores variações na relação C/N aos 15 dias para safra 17/18 foram verificadas para a aveia e nabo as quais chegaram a valores de 41, com 10 e 20 pontos respectivamente a mais que a relação C/N verificada inicialmente. Os sistemas com A+E+N, A+E, centeio, ervilhaca, tremoço e azevém apresentaram aumento de 7, 7, 6, 6, 4 e 1 pontos na relação C/N. Enquanto para safra 18/19, o ponto de inflexão ocorreu aos 45 DAS onde as maiores variações foram verificadas para a aveia, azevém e centeio com redução de 12, 14 e 8 pontos na relação C/N, respectivamente. Os demais sistemas apresentaram variações de 1 a 4 pontos.

#### 4.1.2 Nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea

Analisando o acúmulo de N na biomassa das plantas de cobertura nos dois anos, observou-se que apenas o tremoço apresentou aumento de 53% na quantidade de N acumulado (Tabela 4), em função da maior produção de MS (Tabela 2).

**Tabela 4** - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura hibernais e doses de nitrogênio mineral, para nitrogênio total acumulado na parte aérea, nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N kg ha <sup>-1</sup>	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>N acumulado (kg ha<sup>-1</sup>) 17/18</b>										
0	<sup>ns</sup> 86	92	113	36	51	60	64	70	**72 A	
90	74	96	130	36	61	86	58	109	81 A	5,6
180	59	101	113	34	44	67	44	52	64 B	
Média	**73 b	96 a	118 a	35 d	52 c	71 b	55 c	77 b		8,0
<b>N acumulado (kg ha<sup>-1</sup>) 18/19</b>										
0	*33 cB	98 aA	97 aB	24 dA	27 cB	55 bA	20 dB	104 aB	**57 B	
90	49 cA	97 bA	115 aA	25 dA	55 cA	57 cA	29 dA	132 aA	70 A	6,4
180	41 cA	90 bA	122 aA	31 dA	49 cA	55 cA	31 dA	117 aB	67 A	
Média	**41 d	95 b	111 a	27 e	44 d	56 c	27 e	118 a		9,8
<b>Média N acumulado (kg ha<sup>-1</sup>) 17/18 e 18/19</b>										
0	<sup>ns</sup> 60	95	105	30	39	58	42	87	**64 B	
90	62	96	122	31	58	72	44	121	76 A	7,0
180	50	96	117	33	47	61	37	85	66 B	
Média	**57 c	96 b	115 a	31 f	48 d	63 c	41 e	97 b		8,8

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Na avaliação da safra 2017/18 não ocorreu interação para o N acumulado na biomassa com as doses residuais de N mineral, assim como verificado para produção de MS (Tabela 2), possivelmente em função da boa disponibilidade hídrica (448 mm) durante o ciclo das culturas, sendo que os sistemas em consórcio A+E+N e A+E apresentaram os maiores acúmulos de N na biomassa com 118 e 96 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente, seguidos pelo tremoço e aveia com 77 e 73 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para a safra 2018/19 ocorreu interação para o acúmulo de N, onde os sistemas com aveia, A+E+N, centeio e nabo apresentaram maior acúmulo de N pelo efeito residual do N aplicado ao milho, não diferindo entre as doses de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>. O incremento para essas espécies, considerando o acúmulo de N da média das doses residuais (90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) em relação à ausência de N residual foi de 12, 22, 25 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. Esse incremento no acúmulo está relacionado à maior produção de MS (Tabela 2) e pela constante ciclagem do N oriundo da palhada residual do milho, que é absorvido pelas plantas de cobertura mantendo-o no sistema. Ziech (2016) verificou aumento da quantidade de N acumulado para aveia e centeio em 27,7 e 15,6 kg ha<sup>-1</sup> quando cultivados sobre a dose residual de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Entre as plantas de coberturas, na média das safras, a maior quantidade de N acumulada foi verificada para o sistema consorciado A+E+N com 115 kg ha<sup>-1</sup> de N, seguido pelo consórcio A+E e tremoço que acumularam quantidades de 96 e 97 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente. O incremento na quantidade de N acumulado quando se realiza a consorciação é de 58, 52 e 74 kg ha<sup>-1</sup> de N a mais em relação à aveia, ervilhaca e nabo em cultivo solteiro, respectivamente. Giacomini et al. (2003) em Argissolo Vermelho distrófico arênico verificou que na média de dois anos (1999 e 2000), os consórcios A+E, na média de todas as proporções testadas apresentaram 33 kg ha<sup>-1</sup> de N a mais que a verificada para a aveia (50kg ha<sup>-1</sup>). Já o consórcio A+E (45%A+55%E) apresentou maior acúmulo de N em relação ao cultivo solteiro de aveia, ervilhaca e nabo no terceiro ano de condução do experimento.

Analisando conjuntamente os dados de acúmulo de N, produção de MS (Tabela 2) e relação C/N (Tabela 3) é possível perceber que a inclusão da fabácea ou fabácea+brássica em consórcio com poáceas possibilitou a obtenção de maior produção de MS, acúmulo de N na biomassa com uma relação C/N intermediária em relação ao uso solteiro dessas espécies na média dos anos. Portanto, quando se realiza consorciação de espécies, ao menos uma deve pertencer à família das fabáceas, em função de ser a única que realiza a FBN.

Embora sem diferenças estatísticas, a ervilhaca nos consórcios duplo e triplo apresentou redução da produção de MS quando comparada ao seu cultivo solteiro em 779 kg

ha<sup>-1</sup> (37%) e 970 kg ha<sup>-1</sup> (46%) quando em consórcio duplo e triplo, respectivamente. No entanto, quando a aveia foi cultivada em consórcio com a ervilhaca, observou-se um aumento de 57% e 30% na produção de MS (relativo à quantidade de semente utilizada) para a aveia no consórcio A+E e A+E+N, respectivamente. Para o nabo no consórcio A+E+N o aumento foi de 27% em relação ao nabo em monocultivo (

Tabela 5).

**Tabela 5** - Produção de massa seca (MS) relativo às sementes utilizadas na semeadura para as espécies de plantas de cobertura de solo na média das safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de cobertura	MS kg ha <sup>-1</sup>	kg semente ha <sup>-1</sup>	kg MS/kg sementes ha <sup>-1</sup>
Aveia	**4232 ab	90	**47 ab
Ervilhaca	2091 bcd	40	52 ab
Nabo	2096 bcd	15	140 ab
A+E	5736 a	100	57 ab
Aveia (A+E)	4423 ab	60	74 ab
Ervilhaca (A+E)	1312 cd	40	33 b
A+E+N	6538 a	100	65 ab
Aveia (A+E+N)	3681 abc	60	61 ab
Ervilhaca (A+E+N)	1121 d	30	37 b
Nabo (A+E+N)	1780 bcd	10	178 a

A=aveia; E=ervilhaca; N= nabo. Aveia (A+E)= Produção de MS da aveia no consorcio A+E. Aveia (A+E+N)= Produção de MS da aveia no consorcio A+E+N. Ervilhaca (A+E)= Produção de MS da ervilhaca no consorcio A+E+N. \*\* significativo pelo teste de Friedman  $p > 0,01$ . Desconsiderou-se o efeito das doses.

Possivelmente o aumento na produção de MS ocorre em função da contribuição indireta da simbiose tripartite para não fabáceas, onde os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) colonizam simultaneamente raízes de plantas de diferentes espécies formando uma rede e, quando as malhas fúngicas de diferentes espécies de plantas se encontram no solo, as hifas podem formar conexões, ou anastomoses, por onde os nutrientes podem ser transferidos entre diferentes espécies de plantas (CRUZ e MARTINS, 1998). Foi demonstrado em estudo de vasos compartimentalizados que transferência direta de 15N do feijão para o milho através do micélio fúngico que conectava as duas plantas foi de 16,6%, enquanto a transferência indireta envolvendo o FMA, ou seja, a absorção do 15N excretado pelas raízes do feijão na solução do solo que foi absorvido e transferido através do micélio do FMA para o milho foi de 34,1% (MARTINS e CRUZ, 1997). A transferência de N de fabáceas arbóreas, *Enterolobium contortisiliquum*, *Dalbergia nigra* e *Peltophorum dubium* para capim Survenola (poácea) foi verificada em valores de 29,9; 37,7 e 28% do total acumulado pelo capim Survenola, equivalente a 22,0; 16,7 e 8,2 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente (DIAS et al., 2007).

Além disso, o consórcio permite contornar problemas sanitários verificados no cultivo

solteiro do nabo como a disseminação de *Sclerotinia sclerotiorum*, proporcionado produção de MS equivalente a do cultivo solteiro, com menor gasto de sementes na semeadura, dessa forma com maior eficiência visto que cada kg de semente de nabo na média dos dois anos foi convertida em 178 kg de MS em relação aos 140 kg de MS verificados sobre o nabo em cultivo solteiro.

#### 4.1.3 Massa seca remanescente

As curvas de decomposição das plantas de cobertura, avaliada em função da porcentagem da MS remanescente ao longo do tempo, apresentou cinética de decomposição diferenciada entre as culturas e entre os anos avaliados (Figura 5).

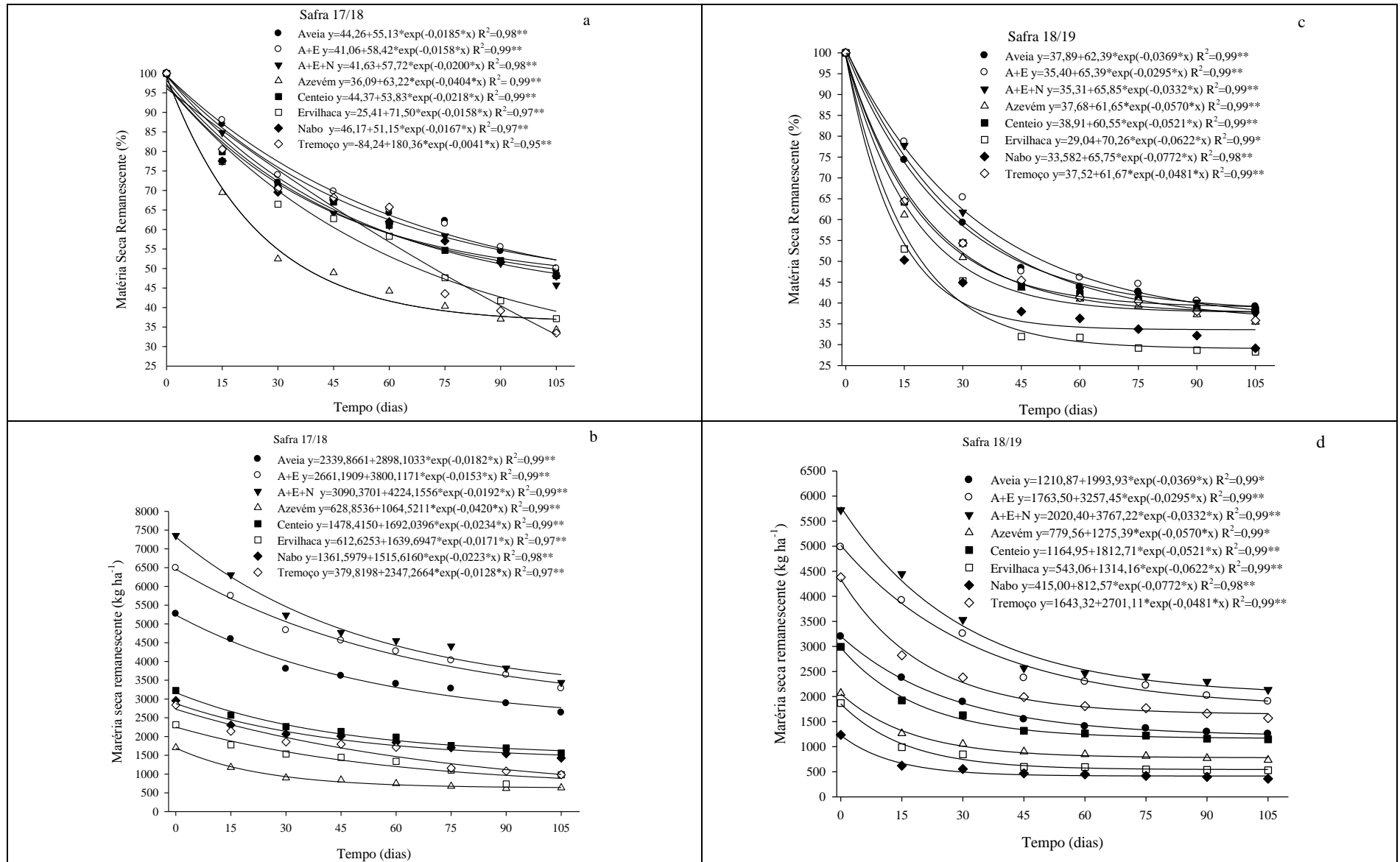
Entre os anos avaliados, constatou-se que para o ano safra 18/19 a taxa de decomposição foi mais acelerada, aos 15 DAS apenas 65% dos resíduos adicionados pelas plantas de cobertura permaneciam na superfície do solo enquanto na safra 17/18, 81% dos resíduos aportados pelas plantas de cobertura permaneciam sobre o solo. Aos 45 dias as diferenças nas taxas de MS remanescentes foram de 22%, maior amplitude verificada. Ao final do período de avaliação, a diferença caiu para oito pontos percentuais, onde na safra 17/18 e 18/19 os percentuais de MS remanescente que ainda cobriam o solo foi de 43 e 35% da quantidade inicial adicionada, respectivamente.

A taxa de decomposição está relacionada à qualidade dos materiais, como teores de N, celulose, hemicelulose, relação lignina/N e relação C/N (MEDRADO et al., 2011) em conjunto com as condições climáticas (ACOSTA et al., 2014) que controlam a taxa de decomposição dos tecidos vegetais a campo. Além disso, outro fator que pode tornar diferenciada a taxa de decomposição para as espécies em diferentes anos é a quantidade de MS no compartimento lábil (DONEDA et al., 2012), ou seja, compartimento que apresenta maior facilidade de decomposição. Possivelmente, a maior taxa de decomposição verificada para o ano safra 18/19 esteja relacionada com o menor período de tempo das plantas de cobertura a campo, apenas 87 dias, conseqüentemente menor o acúmulo de lignina celulose e hemicelulose, portanto maior a quantidade de MS no compartimento facilmente decomponível.

Observa-se que mais da metade (56%) da decomposição ocorrida durante o período de avaliação (105 dias), ocorreu nos primeiros 30 dias para safra 17/18, enquanto que para a safra 18/19 a decomposição foi mais acentuada até os 45 DAS com 88% da decomposição nesse período.



**Figura 5** - Massa seca remanescente dos sistemas de plantas de cobertura hibernais em % da MS inicial (a, c) e, em kg ha<sup>-1</sup> (b, d) ao longo dos 105 dias, após deposição em superfície do solo, para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, campus Dois Vizinhos, 2019.



Dessa forma, constata-se um período de rápida decomposição seguida de outra fase mais lenta conforme relatado por outros autores (DONEDA et al., 2012; DALHEM, 2013, ZIECH et al., 2015; ZIECH, 2016). A primeira fase de decomposição é mais rápida, pois é dependente dos teores iniciais de C solúvel e N do resíduo, a segunda é regulada pela concentração de lignina e polifenóis, compostos de difícil decomposição, por isso relativamente mais lenta (AITA et al., 2004).

Na primeira quinzena após a deposição dos *litter bags* a campo (17/18), registrou-se precipitações acumuladas de 128,8 mm. Nesse período a MS remanescente das plantas de cobertura hibernais, ficou entre 88% (A+E) e 69% (azevém). Nas avaliações aos 30, 45 e 60 dias o azevém apresentou a maior taxa de decomposição com 52, 49 e 44% de MS remanescente para estes períodos, respectivamente, enquanto os demais sistemas variaram de 70, 67 e 63% para o mesmo período (Figura 5a Anexo 3).

A elevada taxa de decomposição do azevém, assim como a taxa de decomposição da aveia e do centeio similares a das fabáceas nos períodos iniciais (15-60 DAS) da avaliação pode estar associada à baixa relação C/N verificada para estas espécies (Tabela 3) e possivelmente a maior quantidade de MS no compartimento lábil o qual varia de acordo com a espécie e também com a fase de desenvolvimento em que é realizado o manejo das plantas de cobertura.

Neste trabalho, em função da realização do manejo priorizando as espécies de florescimento mais precoces (nabo), as demais não se encontravam em estágio de florescimento pleno. Em trabalho no mesmo local o azevém também apresentou comportamento similar em função de apresentar no momento do manejo a maioria de sua fitomassa constituída por folhas, teoricamente pouco lignificadas, favorecendo a baixa permanência de seus resíduos em superfície (ZIECH, 2016).

Aos 75 dias a ervilhaca, tremoço e azevém apresentaram as menores permanências de MS na superfície do solo com 48% ( $1,101 \text{ kg ha}^{-1}$ ), 44% ( $1.168 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e 40% ( $674 \text{ kg ha}^{-1}$ ) da MS total, respectivamente. Por sua vez, a aveia, A+E e A+E+N apresentaram as menores decomposições no mesmo período, ficando com 62% ( $3.304 \text{ kg ha}^{-1}$ ), 61% ( $4.015 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e 58% ( $4.350 \text{ kg ha}^{-1}$ ) dos resíduos nesta ordem. Embora a taxa de decomposição não tenha sido alterada durante o período inicial (15-60 DAS) de decomposição como verificado por Aita et al., (2003) e Ziech, (2016), os sistemas consorciados A+E+N, A+E e aveia apresentaram as maiores quantidades de MS remanescente em todos os períodos avaliados (Figura 5b e Anexo 1).

Verificou-se que ao final do período de avaliação os sistemas com azevém, ervilhaca e

tremoço apresentaram as menores quantidades remanescentes de resíduos para proteção do solo com 576 (34%), 864 (37%) e 927 (33%) kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. O centeio e nabo apresentaram valores intermediários em relação aos demais, de 1.557 (48%) e 1.426 (48%). Já os sistemas com aveia e consórcios A+E e A+E+N apresentaram as maiores quantidades remanescentes de resíduos para proteção do solo com 2.630 (50%), 3.283 (49%) e 3.441(53%), ao final dos 105 dias para a safra 17/18 (Figura 5b).

Para a safra 2018/19, durante a primeira quinzena, as precipitações ocorridas somaram 100 mm. Nesse período, os sistemas apresentaram três grupos de decomposição, o primeiro com menor taxa de decomposição, composto pelos consórcios A+E e A+E+N (79%) os quais proporcionaram proteção semelhante à aveia isolada, que manteve 74% da MS inicial sobre a superfície do solo, o segundo de decomposição intermediária com centeio, azevém e nabo (63%) e o terceiro grupo com maiores taxas de decomposição para ervilhaca e nabo, apresentando apenas 52% da MS inicial sobre o solo (Figura 5c e Anexo 4).

Aos 30 DAS as taxas de decomposição para o primeiro, segundo e terceiro grupo, apresentaram valores de 62, 63 e 45% da MS inicial respectivamente. Nas demais avaliações (45-105 DAS), foram verificados dois grupos distintos; os sistemas com ervilhaca e nabo apresentaram aos 45 DAS, 38 (597 kg ha<sup>-1</sup>) e 34% (469 kg ha<sup>-1</sup>) da MS inicial; permanecendo com 28 (529 kg ha<sup>-1</sup>) e 29% (398 kg ha<sup>-1</sup>) da MS inicial sobre a superfície do solo ao final do período de avaliação. Os demais sistemas apresentaram taxas de decomposição estatisticamente iguais com 45% da MS remanescente aos 45 DAS e ao final do período de avaliação a permanência foi de 37% (Anexo 4).

Os consórcios A+E e A+E+N apresentaram as maiores quantidades de MS remanescente durante todo período de avaliação, apresentando na avaliação realizada aos 105 DAS 1.901 e 2.136 kg ha<sup>-1</sup> de MS na superfície do solo. Já os sistemas com ervilhaca, nabo e azevém apresentaram as menores quantidades de MS ao final do período de avaliação com apenas 529, 360 e 733 kg ha<sup>-1</sup> de MS na superfície do solo. A utilização do tremoço proporcionou ao final do período de avaliação maior quantidade de MS remanescente que aveia, centeio, azevém, nabo e ervilhaca, possivelmente atrelado a maior produção de MS e as taxas de decomposição finais (45-105 DAS) semelhantes ao verificado para as poáceas.

Dessa forma fica a seguinte ordem de acordo com a permanência dos resíduos para proteção do solo, considerando a média das duas safras: A+E+N>A+E>aveia>centeio>tremoço>nabo>ervilhaca>azevém.

#### 4.1.4 Liberação de nitrogênio

A taxa de liberação de N dos tecidos apresentou comportamento similar à decomposição nos dois anos avaliados, visto que a taxa de liberação de nutrientes depende da taxa de decomposição (AITA et al., 2014). Para a safra 17/18 na primeira quinzena verificou-se rápida taxa de liberação de N dos tecidos das plantas de cobertura, cerca de 61% do total liberado durante os 105 dias de avaliação, subindo para 80% aos 30 dias, seguido de uma liberação gradual nas demais avaliações (Figura 6a Anexo 5). Já a taxa de liberação na primeira quinzena da safra 18/19 somou 41%, subindo para 51 e 68% aos 30 e 45 dias respectivamente, aos 60 DAS a liberação ficou estagnada somando 70% e posteriormente aos 75 e 90 DAS as liberações aumentaram para 82 e 97% respectivamente do total liberado nos 105 dias de avaliação (Figura 6c e Anexo 5).

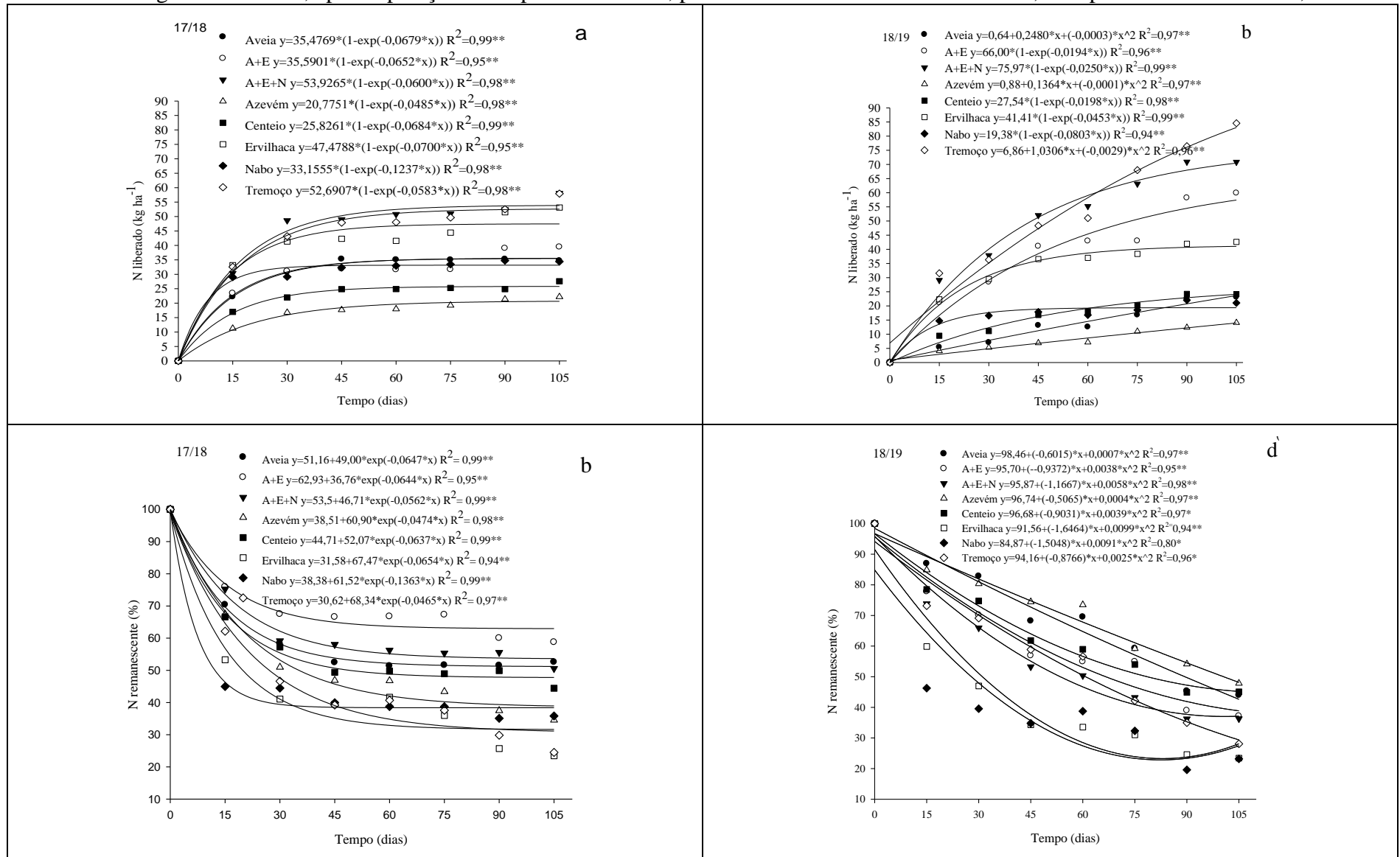
Observou-se uma maior quantidade de N liberado dos 30 aos 45 e 75 aos 90 DAS para a safra 18/19 em comparação a safra 17/18 momento que corresponde às fases V4-V8 e VT-R3, estádios onde é definido o número de fileiras e o potencial de número de grãos por espiga da cultura do milho. A rápida liberação de N na primeira quinzena ocorrida na safra 17/18 foi condicionada pelo volume acumulado de precipitação de 128,8 mm (Figura 2), contribuindo para rápida decomposição dos tecidos.

Aos 15 dias, os sistemas com ervilhaca, nabo e tremoço e consórcio A+E+N liberaram 33, 29, 33 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. Já para os sistemas A+E, aveia, centeio e azevém a liberação foi de 23, 22, 17 e 11 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 6a), porém sem diferenças significativas (Anexo 5). Já a taxa de liberação de N foi maior para a ervilhaca e nabo com valores de 47 e 55% do N acumulado na parte aérea liberado na primeira quinzena (Figura 6b e Anexo 6).

No entanto, verificou-se que todos os sistemas apresentaram liberação de mais da metade do total do N liberado durante os 105 dias de avaliação já nos primeiros 15 dias após a deposição dos *litter bags* a campo, momento em que a cultura do milho apresenta baixa demanda por esse nutriente, podendo ocorrer perdas por lixiviação ou volatilização.

De acordo com Cruz et al., (2008) a absorção de N pela cultura do milho é mais intensa no período de 40-60 dias após a semeadura, onde há acúmulo de 70-80% de toda MS durante o ciclo. E nesse período a maior liberação de N para os sistemas variou de 1 a 4 kg ha<sup>-1</sup> de N. Em trabalho realizado por Ziech (2016) durante três safras agrícolas 12/13, 13/14 e 14/15 constatou-se que quando em condições de menor disponibilidade hídrica na primeira quinzena ( 12/13: 45 mm, 13/14: 135 mm e 14/15: 226 mm) após a deposição dos *litter bags* a campo os sistemas apresentam uma melhor sincronia na liberação de N com as exigências da cultura do milho, refletido nas médias de produtividade para os sistemas

**Figura 6** - Liberação acumulada de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (a, c) e quantidades de N remanescente (% do inicial) (b, d) de plantas de cobertura ao longo dos 105 dias, após deposição em superfície do solo, para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.



A+E+N, A+E, tremoço e nabo (sem aplicação de N) que nas duas primeiras safras foram de 7,14 e 6,36 Mg ha<sup>-1</sup> em relação a safra 14/15 que apresentou produtividade de 5,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, fica evidente a importância das condições climáticas como determinantes no processo de decomposição e liberação de N, que resultaram em melhor sincronia entre a demanda de N pela cultura do milho com liberação de N pelos resíduos de plantas de cobertura.

Aos 30 DAS a precipitação acumulada foi de 152 mm, ocorrendo um aumento das curvas de liberação de N com tendência de estabilização posterior. As maiores quantidades de N liberado nesse período foi verificada para aveia, A+E, A+E+N, ervilhaca, nabo e tremoço com 31, 31, 49, 41, 29 e 43 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, a taxa de liberação foi maior para ervilhaca nabo e tremoço com 59, 56 e 53% do N acumulado na MS da parte aérea liberado.

Nas demais avaliações, o consórcio A+E+N, ervilhaca e tremoço apresentaram os maiores valores acumulados para a liberação de N a cultura do milho, sendo aos 60 dias com precipitação acumulada de 382 mm a contribuição desses sistemas foi de 51, 48 e 42 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente e, aos 105 dias as liberações acumuladas para estes sistemas chegaram 58, 53 e 58 kg ha<sup>-1</sup> de N. Enquanto o consórcio A+E, aveia, nabo, centeio e azevém apresentaram liberação de 32, 35, 33, 25 e 18 kg ha<sup>-1</sup> aos 60 DAS e 39, 35, 34, 28 e 22 kg ha<sup>-1</sup> aos 105 DAS. Deste modo, a liberação do consórcio A+E+N apresentou liberação de 23 kg ha<sup>-1</sup> a mais do que a verificada para aveia e similar às liberações verificadas para as fabáceas.

Ao final do período de avaliação, as maiores porcentagens de liberação de N foram verificadas para os sistemas com fabáceas com 77% do N dos tecidos liberados em 105 dias. Os sistemas com nabo e azevém apresentaram porcentagem de liberação intermediária entre as plantas avaliadas (64%), enquanto os sistemas consorciados A+E, A+E+N, aveia e centeio apresentaram as menores porcentagens de liberação do N dos tecidos com 59, 53, 51 e 44%. No entanto, para o sistema A+E+N em função do maior quantidade acumulada de N (Tabela 2) sua liberação de N para cultura do milho foi similar a das fabáceas.

As liberações de N acompanhadas durante a safra 18/19 apresentaram liberação mais gradual do N dos resíduos das plantas de cobertura (Figura 6c) em relação à safra 17/18 (Figura 6a). Na avaliação realizada aos 15 dias, o volume de precipitação acumulada foi de 100 mm e as maiores quantidades de N liberada para cultura do milho foram verificadas para o sistema em consórcio A+E+N e tremoço com 29 e 32 kg de N liberado, representando 26% do N inicial liberado (Figura 6c, Anexo 6 e Anexo 7). Já o nabo e a ervilhaca liberaram 22 e 15 kg de N ha<sup>-1</sup> no mesmo período se diferenciando com a maior taxa de liberação de N, com 30 e 52% do N acumulado na parte aérea, liberado logo na primeira quinzena.

Aos 30 DAS e com 213 mm de chuva acumulado, as maiores quantidades de N liberado foram verificadas para os consórcios A+E, A+E+N, ervilhaca e tremoço, variando de 28 a 38 kg de N ha<sup>-1</sup>, sendo a maior taxa de liberação de N entre estes sistemas, verificada para a ervilhaca e tremoço com 56%, momento em que os sistemas consorciados apresentaram 32% de N liberado dos tecidos.

Diferentemente do ocorrido na safra 17/18, verificou-se que na safra 18/19 ocorreu liberações significativas aos 45 DAS, onde o consórcio A+E+N e tremoço apresentaram liberação acumulada de 52 e 48 kg N ha<sup>-1</sup>, com liberação de 14 e 12 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente no período entre os 30 e 45 DAS. Embora os sistemas com A+E e ervilhaca apresentaram menor liberação de N acumulado com 41 e 37 kg N ha<sup>-1</sup>, as suas contribuições foram similares aos sistemas que apresentaram maior contribuição no fornecimento de N, sendo a liberação destes sistemas de 13 e 8 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente para o mesmo período.

As precipitações ocorridas no período entre 45-60 DAS foram de 50 mm acarretando baixa liberação de N nesse período. Sendo aos 60 DAS as menores quantidades de N remanescente verificadas para ervilhaca e nabo com 34 e 40%, ou seja, 66 e 60% do N acumulado na biomassa já haviam sido liberados. Já os sistemas com A+E, A+E+N, tremoço e centeio apresentaram uma posição intermediária com 51 a 60% do N remanescente. Por outro lado, os consórcios tremoço e ervilhaca apresentavam as maiores quantidade de N liberado para cultura em sucessão. Já os sistemas com azevém e aveia apresentavam as maiores quantidades de N remanescente com 71 e 74% e as menores contribuições na liberação de N com 13 e 7 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Nas avaliações subsequentes aos 75 e 90 DAS, as precipitações acumuladas no período foram de 99 e 71 mm respectivamente, fazendo com que as liberações acumuladas para os consórcios A+E, A+E+N e tremoço, subissem para 58, 71 e 76 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente aos 90 DAS, dessa forma estes sistemas apresentaram uma contribuição entre o período de 60 e 90 DAS de 15, 16 e 25 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Aos 105 dias e com precipitação acumulada de 628 mm a máxima quantidade de N liberado pelas plantas de cobertura foi de 85 kg ha<sup>-1</sup>, verificado para tremoço, representando 72% do N total presente na parte aérea (Figura 6c e Anexo 8). Os consórcios A+E e A+E+N apresentaram liberação de 60 e 71 kg N ha<sup>-1</sup>, 63 e 64% do N acumulado nos tecidos da parte aérea. Já o sistema com azevém apresentou a menor liberação de N, 14 kg ha<sup>-1</sup>, seguido por centeio, aveia e nabo com 24, 23 e 21 kg ha<sup>-1</sup> de N liberado.

A taxa de liberação de N dos consórcios verificados na safra 17/18 similar a das poáceas difere do encontrado por Aita et al., (2003), o qual verificou que as curvas de

liberação para os consórcios ficaram mais próximas das leguminosas, possivelmente em função da menor relação C/N dos consórcios (19) ser mais próximos da relação C/N da ervilhaca (14,8) do que da relação C/N da aveia (40). Neste trabalho, as relações C/N dos consórcios (27) ficaram mais próximas da relação C/N da aveia (30) em relação à ervilhaca (14). Para a safra 18/19, a taxa de liberação dos consórcios ficou em uma posição intermediária em relação à utilização de fabáceas e poáceas de modo solteiro. Já a cultura do tremoço, mesmo pertencendo à família das fabáceas, apresentou taxa de liberação similar aos consórcios até 90 DAS, apresentando na última avaliação taxa igual ao da ervilhaca. Possivelmente, a maior proporção de colmos em relação a folhas (observação visual) em função da maior produção de MS em relação a safra anterior (Tabela 2) pode ter influenciado na taxa de liberação de N dos tecidos do tremoço.

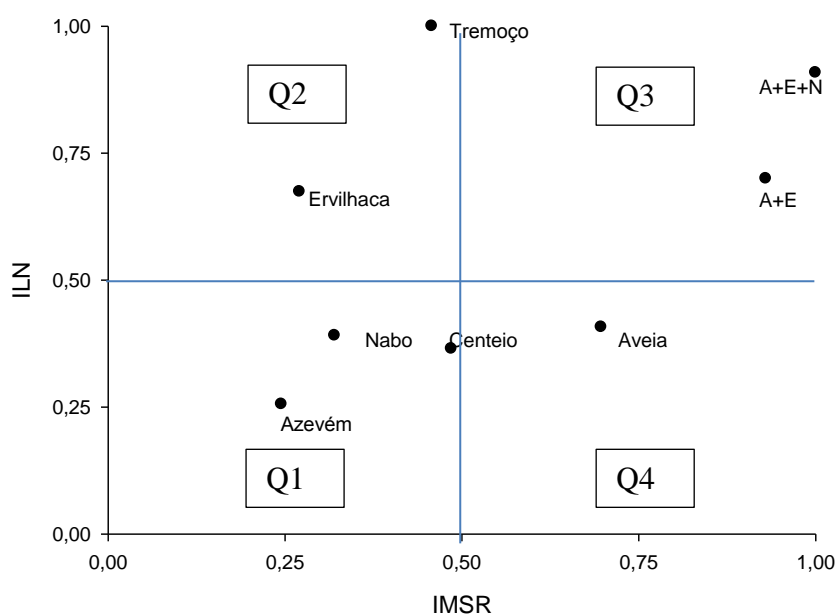
#### 4.1.5 Índice de qualidade de resíduo (IQR)

Com base no modelo teórico para o IQR, este se baseia no IMSR e ILN dos sistemas de cobertura em relação a um sistema ideal, ou seja, o maior valor de liberação de N e MS remanescente ao longo de 105 dias entre os sistemas. O sistema com tremoço que apresentou liberação de 71 kg ha<sup>-1</sup> de N e A+E+N que apresentou a maior quantidade de MS remanescente com 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> formaram o sistema ideal.

Os pontos em negrito apresentados na Figura 7 indicam o ponto de intersecção entre os valores do IMSR e ILN para cada sistema de plantas de cobertura, onde é observado um agrupamento de acordo com as características das espécies e consórcios. Espécies com maior potencial de liberação de N são observadas no Q2 (fabáceas); espécies com elevada capacidade de permanência de resíduos no Q4 (aveia e centeio que embora no Q3, apresenta uma tendência a se juntar a aveia no Q4); espécies com baixa liberação de N e permanência de resíduos no Q1 (nabo e azevém) e, espécies que apresentam alta liberação de N e ao mesmo tempo com permanência de resíduos são observados no Q3 (consórcios), o produto oriundo desses dois fatores (ILN x IMSR) resulta no índice de qualidade do resíduo (IQR) de cada sistema de cobertura (Figura 8).

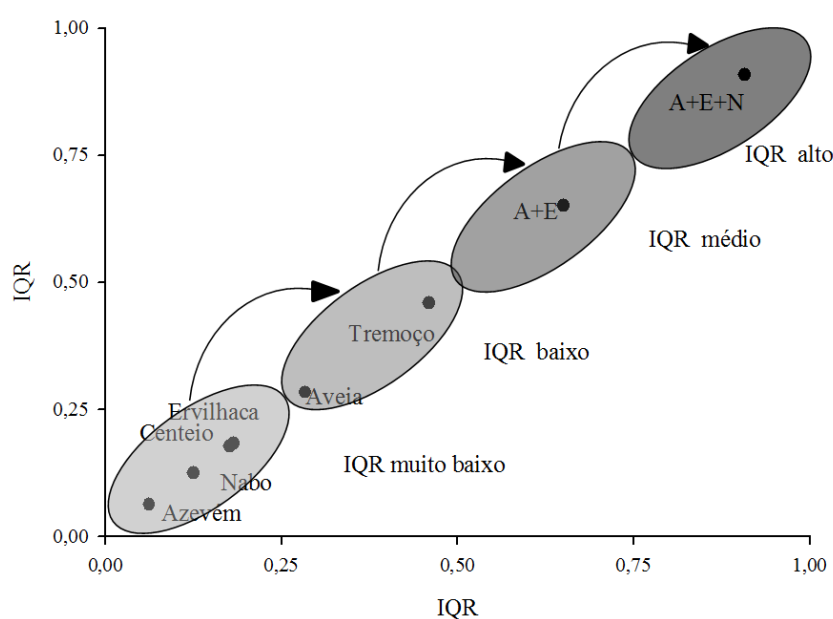


Figura 7. Pontos de interseção do percentual de MS remanescente e percentual deliberação de N dos sistemas de coberturas. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.



Desta forma, o IQR considera os aspectos quantitativos de maior permanência de resíduos para proteção do solo e maior liberação acumulada de N das plantas de cobertura para a cultura do milho ao final de um período de 105 dias, onde maiores valores de IQR indicam melhor equilíbrio do sistema de cobertura entre liberação de N para a cultura em sucessão e permanência de resíduos para proteção do solo (Figura 8).

**Figura 8** - Índice de qualidade de resíduos (IQR) de plantas de cobertura hibernais (dados médios 17/18 e 18/19). UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.



Deste modo, verifica-se que o sistema em consórcio triplo A+E+N apresenta o maior valor de IQR (0,91) em relação aos demais sistemas, seguido pelo consórcio A+E com um IQR de 0,65. Os maiores IQR para os consórcios ocorrem em função da maior produção de MS e conseqüentemente acúmulo de N nos tecidos destes sistemas (Tabela 2 e Tabela 4), que proporcionam tanto permanência como liberação de N em função da relação C/N intermediária (Tabela 3).

A cultura do tremoço, embora pertencente a família das fabáceas, apresentou um IQR de 0,46, superior ao da ervilhaca (0,18) que pertence a mesma família botânica. O maior valor de IQR para o tremoço ocorre em função da quantidade de MS produzida com alto ILN (1,0) ocorrido pela baixa relação C/N (Tabela 3) e do IMSR mais elevado ocorrido pela maior proporção de colmos em relação a folhas (constatação visual) em função da alta produção de MS (Tabela 2), dessa forma com maior permanência desses resíduos em superfície do solo.

As culturas do nabo e azevém, centeio e ervilhaca para as condições analisadas apresentaram os menores IQR, variando de 0,06 a 0,18 em função da baixa liberação de N e ou baixa permanência de resíduos na superfície do solo. Como constatado para os consórcios, o IQR pode ser aumentado realizando a consorciação de espécies, de forma a se obter aumento da produção de MS e acúmulo de N nos tecidos e relação C/N intermediária.

Esses resultados evidenciam que os consórcios entre A+E+N, seguido pelo consórcio A+E, sistemas pouco utilizados pelos produtores na região Sudoeste do Paraná, constitui uma alternativa promissora em função do maior IQR que promove a permanência de resíduos para proteção do solo contra erosão e liberação de N para a cultura do milho em sucessão. No entanto, a utilização desses sistemas em nossa região é pouco ou quase inexistente.

## 4.2 CULTURA DO MILHO

### 4.2.1 Produção de massa seca, nitrogênio acumulado e relação C/N da parte aérea

Para produção de MS da cultura do milho não houve interação entre plantas de cobertura e doses de N-mineral para ambas as safras, já para as médias das doses constatou-se maior produção de MS nas doses de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral em relação à ausência de adubação com N, com aumento de 12 e 53% na produção de MS para as safras de 17/18 e 18/19 respectivamente (Tabela 6 e Tabela 7).

Em ambos os anos foi verificado que os sistemas de cobertura proporcionaram diferenças na produção de MS do milho, onde em sucessão aos sistemas com azevém,

ervilhaca, nabo e tremoço (17/18) e A+E+N, ervilhaca e tremoço (18/19) foram constatados os maiores valores com média 13,7 e 13,2 Mg ha<sup>-1</sup> de MS respectivamente.

**Tabela 6** - Desdobramento das interações para produção de massa seca (MS), teor de N (TN), nitrogênio acumulado (NA) e relação C/N (C/N) da MS da cultura do milho para safra 2017/2018. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	EV	NB	TÇ	Média	cv%
<b>MS (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	<sup>ns</sup> 8,5	12,6	10,1	12,6	10,9	14,3	11,4	14,5	*11,9 B	
90	12,9	11,5	14,5	13,6	11,7	14,1	14,0	15,6	13,5 A	14,78
180	12,7	12,6	12,1	13,6	14,0	14,4	13,4	13,1	13,2 A	
Média	*11,4 b	12,2 b	12,2 b	13,2 a	12,2 b	14,3 a	13 a	14,4 a		12,89
<b>TN (g kg<sup>-1</sup>)</b>										
0	**8,5 cB	9,4 bB	11,4 aA	7,6 cB	7,7 cC	11,0 Ab	7,3 cB	10,2 bB	**9,1 C	
90	11,7 aA	11,4 aA	12,2 aA	11,3 aA	11,0 aB	12,1 aA	11,5 aA	12,1 aA	11,7 B	7,75
180	12,1 bA	11,6 bA	13,1 aA	11,3 bA	13,5 Aa	13,1 aA	12,6 aA	12,7 aA	12,5 A	
Média	**10,8 b	10,8 b	12,2 a	10,1 b	10,7 b	12,1 a	10,5 b	11,7 a		7,54
<b>NA (kg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	*72 cB	118 bA	116 bB	95 cB	84 cC	157 aA	84 cB	148 aA	**109 B	
90	151 bA	132 bA	178 aA	154 bA	128 bB	171 aA	164 aA	188 aA	158 A	15,18
180	156 aA	145 aA	158 aA	152 aA	185 aA	187 aA	169 aA	166 aA	165 A	
Média	*126 b	132 b	151 a	134 b	132 b	172 a	139 b	167 a		17,5
<b>C/N</b>										
0	**49 bA	45 cA	36 dA	55 aA	55 aA	38 dA	57 aA	40 cA	**47 A	
90	36 aB	37 aB	34 aA	37 aB	37 aB	34 aA	37 Ab	35 aB	36 B	8,75
180	35 aB	36 aB	32 Aa	38 aB	31 aC	31 aA	33 aB	33 aB	34 C	
Média	**40 a	39 a	34 b	43 a	41 a	34 b	42 a	36 b		8,11

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

A produção de MS do milho cultivado sobre o azevém ser equivalente ao das fabáceas e, no cultivo sobre aveia e centeio ser equivalente a dos consórcios na safra 17/18, pode ter ocorrido em função da menor produção de MS das plantas de cobertura (Tabela 2) associada a baixa relação C/N (Tabela 3) dessas espécies de plantas de cobertura, contribuindo para evitar a imobilização de N pelos microrganismos do solo, visto pela rápida liberação de N dessas espécies (Figura 6), evitando reduções significativas na produção de MS.

Em trabalho realizado por Giacomini et al., (2004), verificou-se que a produção de MS e N acumulado pela cultura do milho em sucessão a aveia e pousio sem adubação nitrogenada não diferiram entre si, e confirmaram o resultado obtido em estudo paralelo no qual em análise periódica não evidenciaram imobilização líquida de N durante a decomposição da poácea, o que não era verificado na maioria dos estudos com cereais de inverno no sistema de

produção de milho, pois na maioria dos trabalhos a produção de MS e N acumulado pela cultura em sucessão a essa planta de cobertura de outono-inverno são menores do que no pousio. Dessa forma sendo provável que o fato de não ter sido detectada imobilização líquida de N após a aveia se deva a menor produção de MS ( $4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e principalmente, a menor relação C/N (36,5) em relação aos verificados em outros trabalhos, citando Sullivan et al., (1991).

**Tabela 7** - Desdobramento das interações para produção de massa seca (MS), teor de N (TN), nitrogênio acumulado (NA) e relação C/N (C/N) da MS da cultura do milho para safra 2018/2019. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	EV	NB	TÇ	Média	cv%
<b>MS (<math>\text{Mg ha}^{-1}</math>)</b>										
0	<sup>ns</sup> 5,6	9,9	10,4	5,0	6,5	12,7	7,5	11,1	**8,6 B	
90	11,2	14,0	13,8	12,2	12,3	13,9	12,9	15,0	13,1 A	16,80
180	12,8	11,6	14,6	12,1	14,4	14,7	14,1	12,2	13,3 A	
Média	**9,9 b	11,8 b	12,9 a	9,8 b	11,1 b	13,8 a	11,5 b	12,8 a		16,87
<b>TN (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>										
0	<sup>ns</sup> 5,1	6,2	7,3	5,3	5,8	8,9	7,1	7,4	**6,6 C	
90	7,7	10,7	9,5	8,5	8,6	10,4	7,7	9,8	9,1 B	11,31
180	10,1	10,9	11,6	9,5	11,7	11,1	10,8	11,0	10,8 A	
Média	*7,7 b	9,3 a	9,5 a	6,1 b	8,7 b	10,1 a	8,5 b	9,4 a		16,00
<b>NA (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>										
0	29	62	76	26	37	119	54	82	**61 C	
90	87	151	130	105	106	143	101	148	122 B	24,36
180	130	127	169	117	170	163	153	138	146 A	
Média	82 b	113 a	125 a	83 b	104 b	142 a	103 b	123 a		29,01
<b>C/N</b>										
0	*79 aA	66 aA	54 bA	75 aA	70 aA	45 cA	57 bA	54 bA	**63 A	
90	53 aB	39 bB	44 bB	48 aB	47 aB	40 bA	52 aA	43 bB	46 B	2,79
180	41 aC	37 aB	36 aC	44 aB	35 aC	46 aA	39 aB	37 aB	38 C	
Média	58 a	47 b	45 b	56 a	51 a	40 b	50 a	45 b		4,19

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Em trabalho realizado por Dahlem, (2013) no primeiro ano de condução deste experimento não foram verificados diferenças para produção de MS e N acumulado na cultura do milho sobre os sistemas de plantas de cobertura hibernais, nem diferenças para as doses em relação à produção de MS, no entanto, ocorreu maior acúmulo de N sobre os sistemas adubados com N-mineral. No segundo ano, verificou-se que o milho cultivado sobre aveia, azevém e A+E apresentou menor produção de MS e N acumulado na biomassa na ausência de adubação nitrogenada em função da menor contribuição na quantidade de N liberado até os 90

DAS em relação aos demais sistemas. A ausência de diferenças no primeiro ano foi atribuída ao cultivo sucessivo de feijão e soja anterior a instalação do experimento e, conseqüentemente com maior quantidade de N disponível no solo, em função da menor relação C/N, características destas espécies. E embora sem análise estatística, verificou-se maiores valores de N nos tecidos no primeiro ano de condução do experimento.

Plantas de cobertura versus doses de N apresentaram interação para os teores de N no tecido da cultura do milho para a safra 17/18. Quando aplicado 90 kg ha<sup>-1</sup> de N os teores de N na biomassa da cultura do milho sobre todos os sistemas de cobertura (exceto centeio) não diferem dos teores verificados sobre a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, assim como não ocorreu diferenças entre os sistemas de cobertura do solo.

Na ausência da adubação nitrogenada o milho cultivado sobre o sistema consorciado A+E+N apresentou teores de N equivalente aos obtidos sobre as doses de N-mineral, com valor de 11,4 g kg<sup>-1</sup>. Embora o milho cultivado sobre a ervilhaca apresentou menor teor de N na ausência da adubação nitrogenada, os seus teores (11,0 g kg ha<sup>-1</sup>) foram equivalentes ao sistema de milho sobre A+E+N. Enquanto que, sobre os sistemas com tremoço e A+E, apresentou valores intermediários de 9,4 e 10,2 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Os menores valores foram constatados para milho em sucessão a aveia, centeio, azevém e nabo variando de 7,3 a 8,5 g kg<sup>-1</sup>, evidenciando a menor contribuição desses sistemas na liberação N a cultura do milho (Figura 6).

Em ambas as safras os teores de N no tecido do milho foram crescentes em relação às doses de N utilizadas com acréscimos de 29 e 37% para safra 17/18 e 38 e 64% para safra 18/19 nas doses 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, quando comparados aos teores verificados na ausência de N-mineral. As maiores diferenças relativas verificadas para safra 18/19 ocorreram possivelmente em função da menor precipitação ocorrida entre 45 e 90 DAS, cerca de 4,9 mm/dia enquanto a exigência da cultura varia de 5 a 7 mm/dia durante essa fase (ALVARENGA et al., 2010) associadas a menor quantidade de N liberado até os 90 DAS (época da avaliação da MS) para os sistemas com poáceas e brássicas (Figura 6a) em relação à safra anterior que apresentou maior liberação para estes sistemas (Figura 6c) associada a precipitações de 8,7 mm/dia para o mesmo período.

Entre as plantas de cobertura avaliadas os maiores teores de N na MS do milho foram verificados sobre os sistemas A+E+N, ervilhaca e tremoço (17/18) e A+E, A+E+N, ervilhaca e tremoço (18/19) em função da maior liberação de N nos primeiros 90 dias, variando de 50 (A+E+N) a 53 kg ha<sup>-1</sup> (tremoço) e 42 (ervilhaca) a 76 kg ha<sup>-1</sup> (tremoço) para as safras 17/18 e 18/19 respectivamente.

O N acumulado na MS da cultura do milho estimado pela multiplicação dos teores de N no tecido pela produção de MS apresentou interação entre plantas de cobertura e doses de adubação nitrogenada apenas para a safra 17/18, onde na ausência de adubação nitrogenada no milho em sucessão aos sistemas de cobertura com A+E, ervilhaca e tremoço, os valores de N acumulado foram equivalentes aos verificados nas doses de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-mineral. Na dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N-mineral verifica-se, com exceção do milho cultivado sobre o centeio, que os valores de N acumulado nos tecidos não diferem dos verificados sobre a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-mineral, no entanto, há diferenças entre as plantas de cobertura do solo, onde os sistemas com A+E+N, ervilhaca, nabo e tremoço (175 kg ha<sup>-1</sup>) proporcionaram maiores valores de N acumulado na biomassa do milho.

Possivelmente essas diferenças verificadas no acúmulo de N para o milho sobre estes sistemas se deve a maior contribuição via liberação de N que somado ao N-mineral adicionado em cobertura, proporcionou disponibilidade de N semelhante a maior dose utilizada (180 kg N ha<sup>-1</sup>), na qual não foram verificadas diferenças significativas para o acúmulo de N na MS do milho sobre os sistemas de cobertura.

Na ausência da adubação nitrogenada foi possível distinguir três grupos de tratamentos. O primeiro, com maiores valores de N acumulado na biomassa do milho, são verificados sobre as fabáceas com valor médio de 152,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 35,5 kg ha<sup>-1</sup> de N (30%) maior que o milho sobre os sistemas consorciados A+E+N e A+E que apresentou valores intermediários de 117 kg ha<sup>-1</sup> de N e, 68,5 kg ha<sup>-1</sup> de N (82%) maior que o N acumulado pelo milho no terceiro grupo sobre os sistemas com aveia, azevém, centeio e nabo que apresentou na média 84 kg ha<sup>-1</sup> de N. Giacomini et al., (2004), verificou que o cultivo de milho após ervilhaca resultou em maior quantidade de N acumulado (aproximadamente 58% a mais) em relação a aveia, porém não diferindo do N acumulado pelo milho em sucessão ao nabo, assim como também foi verificado por Dahlem, (2013). Este menor acúmulo de N pela cultura do milho em sucessão a cultura do nabo pode estar relacionada aos oito anos de sucessão milho/nabo sem adubação nitrogenada, o que pode ter propiciado a redução dos teores de N do solo em decorrência de só ocorrer exportação de N pelos grãos e não ocorrer adubação via mineral ou fixação biológica de N, como verificado para os consórcios que apresentam uma espécie da família das fabáceas. Dahlem, (2013) verificou que o cultivo de milho após o centeio resultou em quantidade de N acumulado estatisticamente igual o verificado no milho sobre ervilhaca, sendo atribuído o resultado a baixa relação C/N (21) verificada para esta espécie que promoveu liberação de 54% de todo N (84,5 kg ha<sup>-1</sup>) presente em seus resíduos.

Para safra 18/19, os sistemas consorciados e com fabáceas se destacam por proporcionar maior quantidade de N na biomassa na cultura do milho em função das maiores liberações de N até os 90 DAS (Figura 6c). Em ambas as safras, a quantidade de N acumulado foi crescente com as doses de N-mineral utilizado (Tabela 6 e Tabela 7), com aumentos de maior magnitude para a safra 18/19 de 100 a 139% quando comparados às médias verificadas nas doses de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N em relação ao valor obtido na ausência de adubação nitrogenada.

Observa-se que o acúmulo de N pelo milho na ausência de adubação nitrogenada (Tabela 6 e Tabela 7) foi superior à capacidade de liberação de N destes sistemas em ambas as safras (Figura 6a e Figura 6c), assim como verificado por Dahlem, (2013). Este acúmulo superior ao disponibilizado pode estar relacionado a contribuição pelo fornecimento de N pela mineralização da MOS, da contribuição desses sistemas em função do N remanescente dos resíduos de safras anteriores, que para a safra em questão foi de aproximadamente 53% para consórcios e aveia, 36% para nabo e azevém e 24% para as fabáceas. Além da contribuição das raízes, que muitas vezes tem sua contribuição subestimada. Em trabalho realizado por Wolschick, (2014) constatou-se que o N acumulado nas raízes até a profundidade 20 cm para os tratamentos com pousio, aveia, nabo, ervilhaca e consórcio A+E+N foi de 19, 24, 15 e 13 % do N total adicionado pela parte aérea mais raiz respectivamente. Já para Medina et al., (2013) avaliando até 100 cm de profundidade as raízes de milheto, feijão de porco, mucuna cinza e crotalária juncea, constatou-se que a quantidade de N adicionado pelas raízes foi superior ao verificado na parte aérea, correspondendo a 61, 51, 74 e 53% do N total adicionado pela parte aérea mais raiz, respectivamente

As relações C/N para cultura do milho em sucessão a plantas de cobertura hibernais e doses de N apresentou interação entre os fatores para ambas as safras avaliadas. Para o milho cultivado sobre a ervilhaca e consórcio A+E+N (17/18) e ervilhaca (18/19), as relações C/N não foram influenciadas pelas doses de adubação nitrogenada. Para safra 17/18, a adição de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral permitiu obter relações C/N equivalentes a obtida em relação à aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral para todos os sistemas avaliados, bem como relações C/N iguais entre todos os sistemas avaliados, assim como ocorrido na maior dose de N utilizada. Já para safra 18/19 ainda verificou-se redução da relação C/N para aveia, A+E+N e centeio sobre dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e ausência de diferenças para relação C/N entre os sistemas avaliados.

Os menores valores de relação C/N em ambas as safras foram verificados para os sistemas com A+E+N (34), ervilhaca (34) e tremoço (36) (17/18) e A+E (47), A+E+N (45),

ervilhaca (40) e tremoço (45) (18/19), sistemas que apresentaram a maior contribuição na liberação de N para a cultura do milho. Como os dados de C para MS da cultura do milho não apresentaram diferenças significativas, variando de 410 g kg para a ervilhaca a 421 g kg para o tremoço (dados não apresentados), a relação C/N está diretamente relacionada as variações dos teores de N no tecido.

Quando realizada análise estatística para a média das duas safras agrícolas as interações entre plantas de cobertura versus doses de N mineral, ocorre para todas as variáveis analisadas (Tabela 8).

**Tabela 8** - Desdobramento das interações para produção de massa seca (MS), teor de N (TN), nitrogênio acumulado (NA) e relação C/N (C/N) da MS da cultura do milho para a média das safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>MS (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	*7,1 bB	11,2 aA	10,2 bB	8,8 bB	8,7 bC	13,5 aA	9,5 bB	12,8 aB	*10,2 B	10,71
90	12,0 aA	12,8 aA	14,1 Aa	12,9 aA	12,0 aB	14,0 aA	13,6 aA	15,3 aA	13,3 A	
180	12,8 aA	12,1 aA	13,4 aA	12,9 aA	14,2 aA	14,5 aA	13,8 aA	12,7 aA	13,3 A	
	**10,6 b	12,0 b	12,6 b	11,5 b	11,6 b	14,0 a	12,3 b	13,6 a		13,20
<b>TN (g kg<sup>-1</sup>)</b>										
0	**6,8 bC	7,8 bB	9,4 aC	6,5 bB	6,7 bC	10,0 aB	7,2 bC	8,8 aB	**7,9 C	6,42
90	9,7 bB	11,1 aA	10,9 aB	9,9 bA	9,8 bB	11,3 aA	9,6 bB	11,0 aA	10,4 B	
180	11,1 aA	11,2 aA	12,3 aA	10,4 bA	12,6 aA	12,1 aA	11,7 aA	11,9 aA	11,7 A	
	**9,2 b	10 b	10,8 a	8,9 b	9,7 b	11,1 a	9,5 b	10,5 a		8,13
<b>NA (kg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	*51 cB	90 bB	96 bB	61 cB	61 cC	138 aA	69 cB	115 aB	**85 C	14,55
90	119 bA	142 bA	154 aA	130 bA	117 bB	157 aA	133 bA	168 aA	140 B	
180	143 bA	136 bA	164 aA	134 bA	177 aA	175 aA	161 aA	152 bA	155 A	
	**104 b	123 b	138 a	108 b	118 b	157 a	121 b	145 a		16,25
<b>C/N</b>										
0	**64 aA	55 bA	45 cA	65 aA	62 aA	41 cA	57 bA	47 cA	**55 A	6,78
90	45 aB	38 bB	39 bB	43 aB	42 aB	37 bB	45 aB	39 bB	41 B	
180	38 aC	36 aB	34 aB	41 aB	33 aC	34 aB	36 aC	35 aB	36 C	
	**49 a	43 b	39 b	49 a	46 a	37 b	46 a	41 b		9,05

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabos; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabos; AZ= Azevém; CE= Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Para a produção de MS verifica-se que os sistemas com A+E e ervilhaca não apresentaram respostas as doses de adubação nitrogenada com produção média de MS de 12 e 14 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na ausência de adubação nitrogenada, as maiores produções de MS foram verificadas para os sistemas com A+E (11,2 Mg ha<sup>-1</sup>), ervilhaca (13,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e



tremoço ( $12,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Os incrementos na produção de MS do milho sobre a dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral sobre sistemas com aveia, A+E+N, azevém, centeio, nabo e tremoço foram de 69, 38, 47, 38, 43 e 20%.

Na dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, com exceção do centeio, todos os demais sistemas de cobertura apresentaram produção de MS equivalentes às verificadas sobre a dose de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ . E sobre estas doses não foram verificadas diferenças entre os sistemas de cobertura para produção de MS da cultura do milho.

A adição de N mineral nas doses de  $90$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  na cultura do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura proporcionou aumento para os teores de N na MS. Os sistemas com aveia, A+E+N, centeio e nabo responderam de forma crescente ao aumento das doses de N mineral. Já os teores de N no milho cultivado sobre os sistemas com ervilhaca, tremoço, azevém e consórcio A+E não apresentaram diferenças entre as doses de  $90$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral.

As plantas de cobertura proporcionaram diferenças nos teores de N na cultura do milho em todas as doses avaliadas, onde os sistemas com A+E+N, ervilhaca e tremoço proporcionaram os maiores teores de N na ausência de N mineral. Na dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  os sistemas com poáceas e brássicas proporcionaram os menores teores de N na cultura do milho. Já para a dose de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  o sistema com azevém proporcionou os menores teores de N na MS da cultura do milho. Verifica-se que quanto maior a contribuição dos sistemas de cobertura na liberação de N maior foram os teores de N na cultura do milho (na ausência de N mineral), o qual apresentou correlação de 0,88 com o N liberado pelas plantas de cobertura até os 90 DAS.

Para a quantidade de N acumulado na MS da cultura do milho, verificou-se que na ausência de adubação nitrogenada apenas a ervilhaca ( $138 \text{ kg ha}^{-1}$ ) não apresentou respostas às doses de adubação nitrogenada, apresentando juntamente com o tremoço ( $115 \text{ kg ha}^{-1}$ ) as maiores quantidades de N acumulado quando a cultura do milho foi cultivada sem adição de N mineral.

Quando associado o fornecimento de N pelas plantas de cobertura com adição de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, observa-se com exceção do milho em sucessão ao centeio que os demais sistemas de cobertura do solo proporcionaram quantidade de N acumulado igual ao verificado sobre o milho na maior dose utilizada. No entanto, as plantas de cobertura proporcionaram diferenças na quantidade de N acumulada pela cultura do milho em ambas as doses, que podem estar relacionado à liberação de N em sincronia com o período de maior necessidade pela cultura do milho, verificadas para A+E+N ( $138 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ervilhaca ( $157 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e

tremoço ( $145 \text{ kg ha}^{-1}$ ) as quais proporcionaram ao milho na média das três doses avaliadas os maiores valores de N acumulado na MS.

Os menores teores de N nos sistemas na ausência de N mineral refletiram nos maiores valores de relação C/N da MS da cultura do milho sobre todos os sistemas de cobertura do solo em comparação aos sistemas que receberam adubação nitrogenada. Na ausência de N mineral, os menores valores de relação C/N foram verificados para os sistemas com A+E+N (45), ervilhaca (41) e tremoço (47). Quando comparado os valores de relação C/N na dose 0 em relação a dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, verifica-se redução de 30, 31, 34 e 32% para aveia, A+E, azevém, centeio. Já para A+E+N, ervilhaca e tremoço a redução foi de 13, 10 e 17%.

De maneira geral fica evidenciado que o cultivo do milho sobre os sistemas com fabáceas e o consórcio triplo na média das doses avaliadas proporcionou maior qualidade da MS em função dos maiores teores de N, N acumulado e redução da relação C/N dos tecidos, em relação ao cultivo de milho sobre nabo e poáceas.

#### 4.2.2 Componentes de rendimento

Houve interação para os componentes de rendimento de milho, exceto para número de fileiras por espiga e massa de mil grãos em ambas as safras avaliadas (Tabela 9 e Tabela 10).

Os valores para diâmetro de espiga, comprimento de espiga, número de grãos por fileira, número total de grãos por espiga, verificados para a cultura do milho cultivada sobre plantas de cobertura na dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N apresentou-se equivalente a dose de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N nas duas safras avaliadas (17/18 e 18/19) com exceção do número total de grãos por espigas na safra 18/19 sobre os sistemas com A+E+N e azevém.

De acordo com Ohland et al. (2005), o comprimento, diâmetro de espiga, o número de espigas por área e a densidade dos grãos são características que determinam o potencial de produtividade, dessa forma, os dados verificados podem indicar a ocorrência de produtividades equivalentes ao milho cultivado sobre plantas de cobertura mais  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-mineral.

Na ausência de N-mineral para os dados da safra 17/18, verifica-se que os sistemas com A+E, ervilhaca e tremoço para comprimento e A+E, A+E+N, ervilhaca e tremoço para diâmetro de espiga foram equivalentes aos sistemas adubados. Já para o número de grãos por fileira se destacam os sistemas com A+E e ervilhaca enquanto para o número total de grãos por espiga os sistemas mais promissores são A+E, A+E+N e ervilhaca, respectivamente.

**Tabela 9** - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura versus doses de nitrogênio para componentes de rendimento de milho, safra 17/18. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>Diâmetro de Espiga (cm)</b>										
0	*4,5 bB	4,9 aA	4,8 aA	4,6 bB	4,6 bB	4,9 aA	4,5bB	4,8 aA	**4,7 B	
90	4,9 aA	5,0 aA	5,1 aA	5,0 aA	5,0 aA	5,1 aA	5,0 aA	5,1 aA	5,0 A	3
180	5,0 aA	5,0 aA	5,0 aA	5,2 aA	5,2 aA	4,9 aA	5,2 aA	5,1 aA	5,1 A	
Média	<sup>ns</sup> 4,8	5	5	4,9	4,9	5	4,9	5		2,6
<b>Comprimento de Espiga (cm)</b>										
0	*12,2 bB	16,0 aA	15,4 aB	12,2 bB	12,9 bB	15,3 aA	14,0 bB	15,2 aA	**14,2 B	
90	16,5 aA	16,5 aA	17,5 aA	16,9 aA	16,9 aA	16,3 aA	16,3 aA	15,9 aA	16,6 A	7
180	16,2 aA	16,1 aA	17,1 aA	16,6 Aa	16,9 aA	16,0 aA	16,7 aA	15,8 aA	16,4 A	
Média	**15,0	16,2	16,7	15,2	15,5	15,9	15,7	15,6		4,9
<b>Número de Fileiras por Espiga</b>										
0	<sup>ns</sup> 15,1	15,5	15,6	15,3	15	15,9	15,9	15,9	<sup>ns</sup> 16,2	
90	15,7	15,1	15,4	15,4	15,4	15,9	15,9	16,1	15,6	12,6
180	15,4	15,5	15,1	16,0	15,5	15,9	16,1	16,2	15,7	
Média	*15,4 b	15,4 b	15,4 b	17,2 b	15,3 b	15,9 a	16,0 a	16,1 a		10,3
<b>Número de Grãos por Fileira</b>										
0	**22,7 bB	30,4 aA	27,3 aB	21,2 bB	23,6 bB	28,8 aA	24,8 bB	28,0 aB	**25,9 B	
90	29,6 aA	30,5 aA	32,1 aA	31,0 aA	30,4 aA	30,0 aA	30,8 aA	33,6 aA	31,0 A	8,1
180	30,6 aA	29,3 aA	31,7 aA	30,0 aA	31,7 aA	29,2 aA	31,9 aA	28,4 aB	30,4 A	
Média	<sup>ns</sup> 27,6	30	30,4	27,4	28,6	29,4	29,2	30		10,6
<b>Número Total de Grãos por Espiga</b>										
0	*344 bB	471 aA	427 aA	325 bB	355 bB	459 aA	394 bB	447 aB	**403 B	
90	464 aA	459 aA	495 aA	478 aA	468 aA	477 aA	489 aA	538 aA	483 A	8,9
180	472 aA	455 aA	480 aA	475 aA	490 aA	464 aA	516 aA	460 aB	477 A	
Média	<sup>ns</sup> 426	462	467	465	438	467	466	482		10,7
<b>Peso de Mil Grãos (g)</b>										
0	<sup>ns</sup> 273 bB	316 aA	323 aA	290 bB	296 bB	320 aA	300 bB	313 aB	**304 B	
90	312 aA	325 aA	333 aA	336 aA	341 aA	344 aA	350 aA	333 aB	335 A	5,6
180	314 aA	335 aA	344 aA	348 aA	355 aA	341 aA	348 aA	360 aA	343 A	
Média	**300 b	326 a	333 a	325 a	331 a	335 a	333 a	335 a		4,5

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Na safra 18/19 as plantas de cobertura do solo com A+E+N, ervilhaca e tremoço proporcionaram ao milho comprimento e diâmetro de espiga equivalente aos sistemas que receberam adubações nitrogenadas. Já a ervilhaca e tremoço proporcionaram número de grãos por fileira e número de grãos por espiga equivalentes a seus respectivos sistemas adubados. Em ambas as safras, estes sistemas de cobertura do solo na ausência de adubação nitrogenada em cobertura proporcionaram os maiores valores das variáveis mencionadas.

**Tabela 10** - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura versus doses de nitrogênio para componentes de rendimento de milho, safra 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>Diâmetro de Espiga (cm)</b>										
0	*4,2 bB	4,6 bB	5,0 aA	4,4 bB	4,5 bB	4,9 aA	4,5 bB	4,9 aA	**4,6 B	
90	4,9 aA	5,2 aA	4,9 aA	4,8 aA	5,0 aA	4,9 aA	5,0 aA	4,9 aA	5,0 A	3,73
180	5,0 aA	5,1 aA	5,1 aA	5,1 aA	5,0 aA	5,0 aA	5,0 aA	5,1 aA	5,0 A	
Média	<sup>ns</sup> 4,7	5,0	5,0	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0		4,15
<b>Comprimento de Espiga (cm)</b>										
0	**8,3 cB	11,9 bB	13,8 aA	9,3 Cc	10,3 bB	14,3 aA	11,2 bB	15 aA	**11,8 C	
90	14,1 aA	16,4 Aa	15,4 aA	13,1 aB	14,9 aA	14,7 aA	15,1 aA	15,4 aA	14,9 B	8,2
180	15,8 aA	16,3 aA	15,7 aA	15,3 aA	14,3 aA	15,8 aA	16,2 aA	16,1 aA	15,7 A	
Média	**13,7 b	14,9 a	15,0 a	12,6 b	13,2 b	14,9 a	14,2 a	15,5 a		11,59
<b>Número de Fileiras por Espiga</b>										
0	<sup>ns</sup> 16	17	17	16	16	17	16	16	<sup>ns</sup> 16	
90	16	17	16	17	17	16	17	17	16	3,19
180	16	16	17	16	17	17	16	16	16	
Média	<sup>ns</sup> 16	16	17	16	16	16	16	17		2,49
<b>Número de Grãos por Fileira</b>										
0	**16 cB	23 bB	26 aB	18 cC	20 bB	28 aA	23 bB	31 aA	**23 C	
90	29 aA	32 aA	30 aA	26 aB	30 aA	31 aA	31 aA	30 aA	30 B	7,98
180	33 aA	34 aA	32 aA	32 aA	32 aA	33 aA	33 aA	33 aA	33 A	
Média	**26 b	30 a	30 a	25 b	27 b	31 a	29 b	31 a		6,93
<b>Número Total de Grãos por Espiga</b>										
0	257 cB	383 bB	435 aB	292 cC	334 bB	467 aA	372 bB	505 aA	**381 C	
90	475 aA	534 aA	485 aB	442 aB	494 aA	493 aA	515 aA	510 aA	493 B	8,69
180	534 aA	545 aA	546 aA	519 aA	534 aA	546 aA	528 aA	545 aA	537 A	
Média	422 b	487 a	488 a	418 b	454 b	502 a	472 a	520 a		7,61
<b>Peso de Mil Grãos (g)</b>										
0	<sup>ns</sup> 238	273	302	258	270	328	279	305	**282 C	
90	302	321	325	282	323	329	306	321	314 B	7,54
180	333	349	336	329	335	329	333	341	336 A	
Média	<sup>ns</sup> 291	314	321	290	309	329	306	322		7,70

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste SkoottKnott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Possivelmente estes resultados estejam relacionados ao maior aporte de N por estes sistemas (Tabela 2) bem como maior liberação de N na cultura do milho por estas espécies, nestas safras (Figura 6) e de safras anteriores (DAHLEM, 2013; ZIECH, 2016) as quais vem proporcionando efeitos sobre a fertilidade do solo.

As plantas de cobertura na ausência de N mineral proporcionaram efeito benéfico sobre diâmetro de espiga em ambas as safras, onde os sistemas de cobertura com A+E, A+E+N, ervilhaca e tremoço proporcionaram as maiores médias, com valores variando de 4,8 a 5,1 cm (17/18), já para safra 18/19 as maiores médias foram verificadas para A+E+N e fabáceas com variações entre 4,9 e 5,0 cm.

De forma similar para o comprimento de espiga, na ausência de N mineral, as maiores médias foram verificadas para as fabáceas e os consórcios, variando de 15,2 e 16,0 cm para a safra 17/18. Já para safra 18/19 os sistemas com fabáceas e consórcio A+E+N conferiram as maiores médias variando de 13,8 a 15,0 cm. O comprimento de espiga é definido nas últimas semanas antes do pendoamento (V12) em torno de 60 DAS, fase esta em que quantidade de N liberado acumulado pelos sistemas com poáceas e brássicas foram as menores entre os sistemas avaliados em ambos os anos (Figura 6), resultando em menores valores para esta variável.

Efeitos significativos das plantas de cobertura sobre diâmetro e comprimento de espiga de milho foram verificados em outros trabalhos como de Santos et al., (2010), com plantas de cobertura estivais, após cultivo de milho em sistema convencional (MO de 13,6 g dm<sup>3</sup>); Albuquerque et al., (2013), com plantas de cobertura estivais semeadas após preparo convencional (MO 22 g dm<sup>3</sup>); Ziech (2016) em uma sucessão de plantas de cobertura hibernais e milho durante cinco anos (MO 40,8 g dm<sup>3</sup>). Porém, Torres et al., (2014), com plantas de cobertura estivais em área cultivada anteriormente com sucessão soja e milho na safra e safrinha respectivamente (MO: 23,8 g dm<sup>3</sup>); Lazaro et al., (2013), com plantas de cobertura hibernais (MO de 40,47 g dm<sup>3</sup>), não observaram efeito das plantas de cobertura sobre estes componentes de rendimento no primeiro ano de cultivo das plantas de cobertura posterior a soja. Denotando-se um possível efeito do sistema de manejo e tempo de adoção do plantio direto sobre estas características.

O número de fileiras por espiga não apresentou interação com as doses de N mineral em ambas as safras. Segundo Ohland et al., (2005) e Valderrama et al., (2011) esta característica é influenciada pelo genótipo e normalmente é definida entre as fases V5 e V8. No entanto, interações para número de fileiras por espiga de milho sobre plantas de cobertura hibernais versus doses de N foram verificados por Ziech (2016), constatando que, quando se fez uso de poáceas no sistema em 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 safra 2012/13. Os menores valores sobre as poáceas foram atribuídos às variações na disponibilidade de N no sistema solo-planta como fator limitante à expressão gênica, já que a

demanda hídrica não foi um fator limitante. Em trabalho realizado por Albuquerque et al., (2013) sobre plantas de cobertura estivais (crotalária, guandu e mucuna), também foi constada interação, porém sem diferenças entre as plantas de cobertura utilizadas.

O número total de grãos por espiga apresentou o mesmo comportamento que número de grãos por fileira na ausência da adubação nitrogenada em ambas as safras, onde para a safra 17/18 os maiores valores para estes componentes foram verificados sobre os consórcios e fabáceas. Já para a safra 18/19 foi verificado sobre as fabáceas e o consórcio A+E+N. Para a safra 17/18, verifica-se que os menores números totais de grãos por espiga no milho, na ausência de adubação nitrogenada foi verificado sobre a aveia, azevém, centeio e nabo, redução de 21% em relação aos sistemas com as maiores médias. Já para safra 18/19, a redução foi de 41%, verificada no cultivo de milho em sucessão a aveia e azevém. Possivelmente a maior redução relativa no ano safra 18/19 pode estar relacionada a menor disponibilidade de N pelas poáceas e brássicas associada a baixa precipitação durante a fase de enchimento de grãos ocorrida no mês de Dezembro de 2018 com precipitação de apenas 8 mm (Figura 1).

Santos et al. (2010) observaram diferenças significativas em relação ao número de grãos por espiga onde a utilização de feijão de porco proporcionou valores de 506, não diferindo da crotalária *spectabilis* com 452, porém sem interações de plantas de coberturas e doses de adubação nitrogenada. O número de grãos por espiga é definido durante e após a polinização, mas pode ser comprometida a priori por reduções no comprimento de espiga, (como verificado para as poáceas e brássicas em ambas as safras) em função da deficiência de N, além dos estresses climáticos que acarretam no abortamento dos grãos.

Em trabalho realizado por Caires e Milla, (2016) constatou que o número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, e massa de mil grãos apresentaram comportamento linear sobre doses de N que variaram de 0 a 360 kg ha<sup>-1</sup> de N; Enquanto em trabalho de Souza et al., (2011) o número de grãos por fileira, número de grãos por espiga se ajustaram a uma equação quadrática e a massa de mil grãos a um ajuste linear com doses variando de 0 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. Em resposta à adição de doses de N, Cruz et al. (2005) também obtiveram aumentos crescentes na massa de mil grãos, mediante aplicação de doses de 0 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para a massa de mil grãos, não se verificou interação entre plantas de cobertura e doses de N mineral em ambas as safras. Mas, verificaram-se diferenças entre as doses utilizadas, sendo que a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou valores equivalentes aos obtidos sobre a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, com um incremento médio de 12% (35 g) na massa de mil grãos em relação à ausência de N-mineral na safra 17/18, já para a safra 18/19 verificou-se

valores crescentes da massa de mil grãos com o aumento das doses de N com incrementos 32g (11% ) e 54g (19%) da dose de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N em relação a dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N. Somente na safra 17/18 verificou-se diferenças para massa de mil grãos sobre as plantas de cobertura onde o menor valor foi constatado sobre cultura da aveia.

Uma visão geral do comportamento dos componentes de rendimentos de milho sobre os sistemas de cobertura na média das duas safras é apresentada na Tabela 11.

**Tabela 11** - Desdobramento das interações entre plantas de cobertura x doses de nitrogênio para componentes de rendimento de milho, médias safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>Diâmetro de Espiga (cm)</b>										
0	**4,36 bA	4,76 aB	4,91 aA	4,46 bB	4,56 bB	4,88 aA	4,52 bB	4,88 aA	**4,67 C	
90	4,93 aA	5,08 aA	5,00 aA	4,92 aA	4,97 aA	4,97 aA	5,0 aA	5,0 aA	4,98 B	3,54
180	5,01 aA	5,05 aA	5,03 aA	5,11 aA	5,09 aA	4,97 aA	5,11 aA	5,09 aA	5,06 A	
	<sup>ns</sup> 4,76	4,96	4,98	4,83	4,88	4,94	4,88	4,99		3,00
<b>Comprimento de Espiga (cm)</b>										
0	**10,2 cB	14,0 aB	14,6 aB	10,8 cB	11,6 bB	14,8 aA	12,6 bB	15,1 aA	**13,0 B	
90	15,3 aA	16,4 aA	16,4 aA	15,0 aA	15,9 aA	15,5 aA	15,7 aA	15,6 aA	15,7 A	6,29
180	16,0 aA	16,2 aA	16,4 aA	16,0 aA	15,6 aA	15,9 aA	16,5 aA	15,9 aA	16,1 A	
	**13,8 b	15,5 a	15,8 a	13,9 b	14,3 b	15,4 a	14,9 a	15,5 a		6,25
<b>Número de Grãos por Fileira</b>										
0	**20 cB	27 aB	27 aB	20 cB	22 bB	28 aA	24 bB	29 aA	**25 C	
90	29 aA	31 aA	31 aA	29 aA	30 aA	30 aA	31 aA	32 aA	30 B	6,29
180	32 aA	31 aA	32 aA	31 aA	32 aA	31 aA	32 aA	31 aA	32 A	
	**27 b	30 a	30 a	26 b	28 b	30 a	29 a	31 a		6,02
<b>Número Total de Grãos por Espiga</b>										
0	**301 cB	427 aB	431 aB	309 cB	345 bB	463 aA	383 bB	476 aA	**392 C	
90	470 aA	496 aA	490 aA	460 aA	481 aA	485 aA	502 aA	524 aA	488 B	6,70
180	503 aA	500 aA	513 aA	499 aA	512 aA	505 aA	522 aA	502 aA	507 A	
	**425 b	474 a	478 a	423 b	446 b	484 a	469 a	501 a		6,59
<b>Peso de Mil Grãos (g)</b>										
0	291	335	356	311	320	357	327	350	**331 C	
90	347	365	371	352	371	380	372	373	366 B	5,04
180	368	385	387	384	387	379	379	388	382 A	
	336 b	362 a	371 a	349 b	359 a	372 a	359 a	370 a		4,43

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabos; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabos; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Para as interações entre plantas de cobertura versus doses de N mineral, constatou-se que todos os componentes de rendimento sobre os sistemas de cobertura com fabáceas não tiveram respostas significativas às doses de adubação nitrogenada. E os maiores componentes

de rendimento de milho na ausência de adubação nitrogenada foram obtidos sobre sistemas com fabáceas e daqueles com ao menos uma das espécies pertencendo a esta família. Confirmando a importância das fabáceas no fornecimento de N via FBN, tanto em seu uso isolado, como consorciado o qual proporciona maior agregação de benefícios ao SPD para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

A utilização da dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no cultivo de milho em todos os sistemas de plantas de cobertura do solo proporcionou componentes de rendimento similares aos observados sobre a dose de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, assim como proporcionou igualdade dos componentes de rendimento em todos os sistemas de cobertura avaliados.

No cultivo de milho com ausência da adubação nitrogenada, as poáceas influenciaram negativamente todos os componentes de rendimento, assim como o cultivo de nabo solteiro, em função de não possuírem a capacidade de fixação biológica de N ao sistema e, com o passar dos anos, a quantidade extraída de N pela cultura do milho (além dos demais nutrientes que não são repostos via adubação de base, como Ca, Mg e S) sobre estes sistemas acaba possivelmente por diminuir os estoques de N e conseqüentemente afetando todo o ciclo de produção, visto as menores produções de MS e acúmulo de N obtidos sobre estes sistemas de plantas de cobertura (Tabela 2 e Tabela 4).

#### 4.2.3 Produtividade de grãos

Houve interação significativa entre plantas de cobertura e doses de N-mineral em cobertura para produtividade de grãos de milho em ambas as safras 17/18 e 18/19 (Tabela 12). O rendimento de grãos para os sistemas com fabáceas e consórcios ( $8,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) na ausência de adubação nitrogenada para safra 17/18 foram similares aos sistemas que receberam adubação nitrogenada em cobertura ( $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e 1,5 vezes maior que os sistemas com poáceas e brássicas ( $5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) quando comparados na ausência de adubação nitrogenada.

Apesar de a produtividade do milho na ausência de adubação nitrogenada sobre os sistemas com tremoço e os consórcios A+E e A+E+N para safra 17/18 ter sido equivalente as doses de  $90$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, observa-se que o mesmo não ocorreu para safra 18/19, mesmo com maior a quantidade de N liberado em relação a safra 17/18 ( $27$ ,  $21$  e  $13 \text{ kg ha}^{-1}$  a mais respectivamente) (Figura 6a Figura 6c). Esse resultado pode ser associado à baixa precipitação durante a fase de enchimento de grãos ocorrida no mês de dezembro (Figura 1) que pode ter limitado o desempenho do milho quando comparado às condições de maior disponibilidade de N no solo verificadas para os sistemas adubados.



**Tabela 12** - Produtividade média de grãos de milho cultivada em sucessão a plantas de cobertura hibernais e adubação nitrogenada nas safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>Safra 17/18 (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	4,5 bB*	8,4 aA	7,9 aA	5,5 bB	5,9 bB	9,6 aA	6,7 bB	9,1 aA	**7,2 B	
90	8,7 bA	7,9 bA	10,3 aA	9,7 aA	8,8 bA	10,7 aA	8,7 bB	11,0 aA	9,5 A	12,6
180	9,1 aA	9,0 aA	10,4 aA	10,5 aA	9,8 aA	10,1 aA	10,8 aA	10,5 aA	10,0 A	
Média	7,4 b*	8,4 b	9,5 a	8,6 b	8,2 b	10,2 a	8,7 b	10,2 a		16,0
<b>Safra 18/19 (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	*2,5 cC	4,8 bB	6,8 aB	3,5 cB	4,9 bB	8,0 aA	5,0 bB	7,6 aB	**5,4 C	
90	7,6 aB	8,8 aA	8,8aB	7,8 aA	9,6 aA	9,8 aA	9,1 aA	10,4 aA	9,0 B	14,21
180	10,2 aA	10,1 aA	11,0 aA	9,1 aA	11,4 aA	10,0 aA	9,7 aA	10,4 aA	10,2 A	
Média	*6,8 b	7,9 b	8,8 a	6,8 b	8,6 a	9,3 a	7,9 b	9,5 a		18,78
<b>Média 17/18 e 18/19 (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	3,5 dB	6,6 bB	7,4 bB	4,5 dB	5,4 cB	8,8 aA	5,8 cB	8,4 aB	**6,3 C	
90	8,1 bA	8,4 bA	9,5 aA	8,7 bA	9,2 bA	10,3 aA	8,9 bA	10,7 aA	9,2 B	10,65
180	9,7 aA	9,5 aA	10,7 aA	9,8 aA	10,6 aA	10,1 aA	10,2 aA	10,4 aA	10,1 A	
Média	7,1 b	8,2 b	9,2 a	7,7 b	8,4 a	9,7 a	8,3 b	9,8 a		11,98

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

Deste modo apenas a ervilhaca se destacou apresentando produtividade de grãos (8,0 Mg ha<sup>-1</sup>) na ausência de adubação nitrogenada equivalente às produtividades obtidas aos sistemas adubados (9,9 Mg ha<sup>-1</sup>) e as maiores produtividades em relação as poáceas brássicas e A+E quando comparada na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para a safra de 17/18, quando utilizado a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup>, todos os sistemas, com exceção do nabo, igualaram suas produtividades (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>) ao alcançado com dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (9,9 Mg ha<sup>-1</sup>). Quando observado os dados para a safra 18/19, com exceção da aveia e A+E+N, os demais sistemas apresentaram produtividades (9,3 Mg ha<sup>-1</sup>) equivalentes as produtividades (10,1 Mg ha<sup>-1</sup>) do milho adubado com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. No entanto, para safra 17/18 ainda foram verificadas diferenças na produtividade de milho em função das plantas de cobertura na dose de 90 kg ha<sup>-1</sup>, onde as fabáceas, A+E+N e azevém proporcionaram as maiores produtividades de milho (10,7 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo o efeito das plantas de cobertura nulo na maior dose utilizada para ambas as safras, com produtividade média de 10 e 10,2 Mg ha<sup>-1</sup> para as safras 17/18 e 18/19 respectivamente.

A produtividade de milho sobre ervilhaca na média das safras na ausência de adubação nitrogenada (8,8 Mg ha<sup>-1</sup>) foi 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> superior ao verificado para a aveia (3,5 Mg ha<sup>-1</sup>), entretanto, a diferença para os consórcios (7 Mg ha<sup>-1</sup>) cai para 1,8 Mg ha<sup>-1</sup>. E, quando ocorre

aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N a produtividade do consórcio A+E+N se torna equivalente ao da ervilhaca. Dessa forma, é possível planejar um sistema de rotação com a inclusão de fabáceas de forma a se obter produtividade equivalente à obtida sobre a maior dose de N (180 kg ha<sup>-1</sup>), evitando custos com fertilizantes nitrogenados.

No entanto, quando se deseja diversificação do sistema com maior proteção do solo aliado ao fornecimento de N a cultura (Figura 8), o sistema com A+E+N/milho mais adição de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N se obtém produtividades equivalentes a obtida com a maior dose utilizada (180 kg ha<sup>-1</sup> de N) com metade do custo com a aquisição de fertilizantes nitrogenados. Além do mais, a produtividade alcançada pelo milho sobre a ervilhaca na ausência de adubação nitrogenada como do milho sobre o consórcio na dose de 90 kg ha<sup>-1</sup>, na média das safras foi similar à produtividade de milho do Paraná na primeira safra de 2018/19 que chegou de 9 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018).

O cultivo de milho sobre ervilhaca e tremoço na ausência de adubação nitrogenada apresentou produtividade média de 8,6 Mg ha<sup>-1</sup>, resultado similar aos 9 Mg ha<sup>-1</sup> calculados para adubação de base realizada. Dessa forma, há possibilidades principalmente sobre as fabáceas depois de nove anos de cultivo obter maiores rendimentos pela elevação da adubação de base.

Nos primeiros anos de condução deste experimento também foi constatado que o milho cultivado sobre os sistemas com fabáceas tinha seu rendimento limitado pela adubação de base, a qual era estimada para 6 Mg ha<sup>-1</sup> (DAHLEM, 2013; ZIECH, 2016). A elevada capacidade de produção de milho cultivado sobre fabáceas foi constatado em vários trabalhos (AITA et al., 2001; GIACOMINI et al., 2004; DAHLEM, 2013, ZIECH et al., 2016) a qual é atribuída a capacidade das fabáceas em realizar fixação biológica de N em simbiose com *Rhizobium*, bem como a liberação desse nutriente em sincronia com o momento de maior demanda pela cultura do milho.

O incremento de produtividade sobre as fabáceas pela adição de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foi de 2,3 e 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, similar ao verificado sobre os sistemas consorciados com incrementos de 2,0 e 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> em relação as doses de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral respectivamente, já quando se compara o aumento de produtividade do milho pela adição de N em sucessão aos sistemas com poáceas, observa-se acréscimos de 4,2 e 5,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

Assim, a eficiência pela adição 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral na cultura do milho em sucessão a poáceas apresentam maior eficiência da utilização de N, convertendo 1 kg de N mineral em 46,6 e 30,6 kg ha<sup>-1</sup> de grãos respectivamente. Já o milho em sucessão a fabáceas e

consórcios converte respectivamente 1 kg de N mineral em 25,5 e 15,55 kg ha<sup>-1</sup> e 22,2 e 17,22 kg ha<sup>-1</sup> de grãos em relação às doses de 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral respectivamente.

A menor eficiência na conversão de N em grãos de milho sobre os sistemas com fabáceas e consórcios ocorre em função do aporte externo de N ao sistema pela FBN, o que proporciona maior produtividade de grãos a estes sistemas quando na ausência de N mineral. No entanto, menor eficiência com aumento das doses de N mineral.

Considerando o método de diferenças de N citado por Herridge e Giller (2016), constata-se que a quantidade de N oriundo da FBN das fabáceas nos sistemas A+E, A+E+N, ervilhaca e tremoço (na ausência de N) chegam a 16,5 (17%), 18,4 (17%), 31,1 (54%) e 40,8 (47%) kg ha<sup>-1</sup> de N em relação a quantidade de N acumulada nos tecidos da parte aérea. Deste modo, ao considerar na ausência de adubação os acréscimos de 2,1, 2,9, 4,3 e 3,9 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente na produtividade destes sistemas em relação a média das poáceas (4,5 Mg ha<sup>-1</sup>), obtém-se conversão de 127, 158, 139 e 96 kg ha<sup>-1</sup> de grãos para cada kg ha<sup>-1</sup> de N fixado. Dessa forma, justificando as elevadas produtividades obtidas nos sistemas com fabáceas isoladas e dos consórcios pela inclusão desta espécie.

O nabo, embora seja considerado um excelente reciclador de nutrientes, especialmente o N, proporcionou menor produtividade do milho em relação aos sistemas com fabáceas e consórcio A+E+N em ambas as safras. Esses resultados divergem da maioria dos trabalhos onde a produtividade do milho sobre o nabo é equivalente ao obtido sobre as fabáceas (GIACOMINI et al., 2004; SILVA, 2004; OHLAND et al., 2005; LOURENTE et al., 2007; ZIECH et al., 2016). Possivelmente a menor produtividade do milho cultivado sobre nabo está relacionada a problemas sanitários com *Sclerotinia sclerotiorum* (mofo branco) e da extração de nutrientes pela cultura do milho, principalmente N, que acaba por limitar a produção de MS na safra subsequente (Tabela 2). O desempenho do nabo está diretamente relacionado com o solo e com o antecedente cultural, como mostram resultados verificados por Giacomini et al., (2003) onde o nabo cultivado após o milho apresentou 68% da produção verificada após o cultivo de soja.

As menores produtividades em sucessão aos sistemas com poáceas e brássicas podem estar relacionadas a baixa contribuição desses sistemas na liberação de N para cultura do milho em sucessão (Figura 6a e Figura 6c), considerando também efeito destes sistemas ao longo dos nove anos do cultivo de milho em sucessão as plantas de cobertura, histórico este que proporciona uma “memória residual de N” no solo e conseqüentemente afeta os cultivos subsequentes.

#### 4.2.4 Efeito do sistema

A produção de MS das plantas de cobertura ao longo do período de condução do SPD e a diferença da produção de MS da fase de transição em relação à fase inicial estão apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13** - Produção de massa seca de plantas de cobertura na ausência de adubação nitrogenada, na fase inicial (I) e de transição (T) e, incremento na produção de MS da fase de transição em relação a fase inicial do PD.

Plantas de cobertura	Produção média MS (Mg ha <sup>-1</sup> )		Diferença produção MS (Mg ha <sup>-1</sup> )
	I	T	T-I
A	3,85	3,98	0,13
A+E	4,25	5,80	1,55
A+E+N	3,55	6,00	2,45
AZ	3,30	1,95	-1,35
CE	4,35	2,90	-1,45
E	2,20	2,05	-0,15
N	2,45	2,10	-0,35
TC	2,85	3,35	0,50

\* I= média de produtividade das safras 11/12 12/13, Dahlem, (2013); T= média de produção de MS das safras 17/18 e 18/19

Entre os sistemas de cobertura utilizados, verifica-se que a utilização dos consórcios A+E e A+E+N apresentaram incrementos na produção de MS de 1,55 Mg ha<sup>-1</sup> (36%) e 2,45 Mg ha<sup>-1</sup> (69%) após os nove anos de condução de SPD em relação a fase inicial. Já o azevém e centeio estão entre os sistemas que apresentaram as maiores reduções dos valores de produção de MS em 1,35 Mg ha<sup>-1</sup> (41%) e 1,45 Mg ha<sup>-1</sup> (33%). Os demais sistemas apresentaram pouca diferença entre as fases analisadas variando a produção de -0,35 Mg ha<sup>-1</sup> a 0,5 Mg ha<sup>-1</sup> para o nabo e tremoço, respectivamente.

Para a quantidade de N acumulado na MS das plantas de cobertura, verifica-se comportamento similar ao observado na produção de MS em função da variável ser obtida da multiplicação dos teores de N nos tecidos pela quantidade de MS produzida (Tabela 14).

Entre as plantas analisadas apenas os sistemas com aveia e os consórcios apresentaram valores positivos para a quantidade de N acumulada nos tecidos. Quando comparado a quantidade de N acumulado pelos consórcios A+E e A+E+N na fase de transição em relação à fase inicial, o incremento chega a 36,5 e 38,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, representado incremento de 59% e 54%, respectivamente. Possivelmente este aumento tanto na produção de MS como na quantidade de N acumulada nos tecidos constatada com a utilização dos consórcios se deve a diversidade de culturas que proporcionam melhor controle das invasoras, menor sensibilidade a estresses climáticos e a diminuição da ocorrência de pragas e doenças (AMADO et al.,

2014), bem como capacidade de explorar o solo de forma mais efetiva em função do sistema radicular diferenciado que explora camadas distintas de solo, promovendo maior ciclagem de nutrientes (KOEENDER et al., 2016), e pela contribuição indireta da simbiose tripartite, onde ocorre transferência de N das plantas de fabáceas para outras espécies, mediado por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), proporcionando aumento da produção de MS e na quantidade de N acumulado. Já os sistemas cultivados de forma isolada apresentaram redução do N acumulado em relação à fase inicial, variando de 6 a 27% para nabo e ervilhaca respectivamente.

**Tabela 14** - Quantidade de nitrogênio acumulado na MS das plantas de cobertura na ausência de adubação nitrogenada, na fase inicial (I) e de transição (T) e, incremento no acúmulo de N em relação à fase inicial do PD.

Plantas de cobertura	Acúmulo de N (kg ha <sup>-1</sup> )		Diferença N acumulada
	I	T	T-I
A	58,6	66,3	7,7
A+E	61,8	98,3	36,5
A+E+N	71,0	109,4	38,4
AZ	51,3	38,3	-13,0
CE	72,4	55,6	-16,8
E	85,2	62,0	-23,2
N	48,2	45,3	-2,9
TC	83,0	67,6	-15,4

\* I= média de produtividade das safras 11/12 12/13, Dahlem, (2013); T= média de N acumulado das safras 17/18 e 18/19.

O efeito dos sistemas de cobertura na qualidade do solo; quantitativo (C e N na MO) e qualitativo - grau de humificação (H<sub>FIL</sub>), índice de aromaticidade (IA) e (IH) foi analisado no terceiro ano de condução deste experimento, onde constatou-se diferenças entre os sistemas de cobertura para carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N do solo, se restringindo nos primeiros 10 cm de solo, onde os sistemas com A+E+N apresentaram os maiores estoques de COT, a ervilhaca apresentou o maior estoque de N (5,80 Mg ha<sup>-1</sup>), diferindo significativamente apenas da aveia (4,63 Mg ha<sup>-1</sup>) (LAFAY, 2016).

Com exceção do milho cultivado sobre aveia, todos os demais sistemas de plantas de cobertura apresentaram incrementos de produtividade quando comparado os rendimentos da fase de transição com a fase inicial do PD, na ausência de N (Tabela 15). Já quando o cultivo de milho foi realizado sobre a dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, verificou-se incrementos de produtividade para todos os sistemas (Tabela 16).

Estes ganhos em produtividade da cultura do milho no presente trabalho ocorreram pelo aumento da adubação de base, dos ganhos pelo potencial genético do material utilizado e

do efeito que cada sistema de planta de cobertura proporcionou ao solo no decorrer do tempo, bem como as condições climáticas ocorridas em cada ano. Desta forma para destacar o efeito dos sistemas de plantas de cobertura no incremento de produtividade utiliza-se a cultura da aveia como referência para os ganhos com aumento da adubação de base e ganhos em função do material genético utilizado.

Embora a utilização da ervilhaca, tremoço e nabo apresentaram decréscimos tanto na produção de MS como no acúmulo de N (Tabela 13 e Tabela 14), foram estes sistemas juntamente com os consórcios A+E e A+E+N que proporcionaram incrementos de produtividade da cultura do milho com o passar do tempo de adoção de PD na ausência de adubação nitrogenada (Tabela 15).

**Tabela 15** - Produtividade do milho sem adição de N, na fase inicial (I) e de transição (T) e, incremento de produtividade proporcionada pelos sistemas de cobertura em relação a fase inicial do PD.

Plantas de cobertura	Produtividade média (Mg ha <sup>-1</sup> )		Incremento (Mg ha <sup>-1</sup> )
	I	T	
A	3,9	3,5	-0,3
A+E	5,1	6,6	1,5
A+E+N	4,8	7,3	2,5
AZ	4,0	4,5	0,5
CE	4,4	5,4	1,0
E	5,6	8,8	3,2
N	5,4	6,8	1,5
TC	4,8	8,4	3,6

\* I= média de produtividade das safras 11/12 12/13, Dahlem, (2013); T= média de produtividade das safras 17/18 e 18/19.

Constatou-se que as plantas de cobertura formaram quatro grupos para o incremento de produtividade na ausência de adubação nitrogenada. O primeiro para os sistemas com ervilhaca e tremoço com incrementos da ordem de 3,2 (57%) e 3,6 Mg ha<sup>-1</sup> (75%). Numa posição intermediária entre fabáceas e brássicas situou-se o sistema de consorcio A+E+N com incrementos de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> (52%). Já o sistema com A+E apresentou comportamento igual ao nabo com 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> (29 e 28% respectivamente) de incremento na produtividade do milho. Os sistemas com poáceas apresentaram os menores incrementos de produtividade de 0,5 a 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> para azevém e centeio, respectivamente. O sistema como aveia, utilizado como referência não apresentou incrementos de produtividade (-0,3 Mg ha<sup>-1</sup>) após nove anos de PD.

Já o efeito dos sistemas de cobertura na produtividade da cultura do milho com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, também indicou diferenças. Os maiores incrementos de produtividade de milho foram verificados para os sistemas com tremoço, centeio e A+E+N, acima de 4 Mg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>. Utilizando o incremento de produtividade do milho sobre aveia ( $3,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) como referência para os ganhos genéticos e com adubação de base, constata-se que o aumento da produtividade de milho em nove anos sobre estes sistemas foram de 1,1, 0,9 e  $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Em parte, os resultados verificados para a produtividade de milho sobre estes sistemas de cobertura na média das duas safras e, na média das doses (Tabela 12), corroboram com estes resultados.

Possivelmente, os maiores incrementos sobre estes sistemas com suprimento de N em quantidade adequada podem estar relacionados à maior capacidade desses sistemas na ciclagem de fósforo, de acordo com resultados de análise de solo da safra de 13/14 (dados não publicados), onde o sistema com centeio apresentou os maiores teores de fósforo ( $15,8 \text{ mg dm}^3$ ) (Mehlich 1) no solo na camada de 5-10 cm não diferindo portanto dos sistema com A+E+N ( $10,7 \text{ mg dm}^3$ ), tremoço ( $8,9 \text{ mg dm}^3$ ) e azevém ( $10,7 \text{ mg dm}^3$ ).

**Tabela 16** - Produtividade do milho com  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, na fase inicial (I) e de transição (T) e, incremento de produtividade proporcionada pelos sistemas de cobertura em relação a fase inicial do PD.

Plantas de cobertura	Produtividade média ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )		Incremento ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )
	I	T	T-I
A	6,4	9,6	3,3
A+E	6,7	9,5	2,9
A+E+N	6,6	10,7	4,1
AZ	6,1	9,8	3,7
CE	6,4	10,6	4,2
E	6,3	10,1	3,8
N	6,6	10,2	3,6
TC	6,1	10,5	4,4

\*I= média de produtividade das safras 11/12 12/13, Dahlem, (2013); T= média de produtividade das safras 17/18 e 18/19.

Apesar de apresentar menor magnitude em relação ao verificado na ausência de N, evidencia que a influência dos sistemas de cobertura do solo também ocorre independente de supridas as exigências em nutrientes (NPK) e do potencial genético do material utilizado.

## 5. CONCLUSÕES

Os sistemas consorciados A+E+N e A+E apresentam os maiores IQR, com permanência de  $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS sobre a superfície do solo e liberação de  $57 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

A taxa de liberação de N dos consórcios é mais próxima às poáceas com quantidade de N liberado semelhante ao verificado para ervilhaca.

Na ausência de N mineral, a maior capacidade produtiva de milho é verificada em sucessão a ervilhaca e tremoço com  $8,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos, seguida pelos consórcios com produtividade de  $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Com adição de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, a capacidade produtiva do milho sobre os sistemas de cobertura é equivalente a maior dose utilizada ( $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) e, a maior capacidade produtiva é verificada para os sistemas com ervilhaca tremoço e A+E+N com produtividade de  $10,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Após nove anos de condução de plantio direto, os sistemas A+E+N e A+E apresentaram incremento de  $2,5$  e  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  na produção de MS e aumento de  $37 \text{ kg ha}^{-1}$  para ambos, no acúmulo de N nos tecidos.

Os sistemas com ervilhaca, tremoço e A+E+N proporcionaram ao milho na ausência de N-mineral incrementos de  $3,6$ ,  $3,2$  e  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, após nove anos de plantio direto.

Os sistemas com tremoço, centeio e A+E+N proporcionaram ao milho adubado com  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  incremento de produtividade de  $1,1$ ,  $0,9$  e  $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, após nove anos de plantio direto.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente estudo foram obtidos de experimento em plantio direto na fase entre oito e nove anos. Segundo modelo proposto por Sá (1999) o experimento encontra-se no momento de transição, onde a mineralização de N passa a ser maior ou igual a imobilização.

Nessa fase com maior tempo de agregação dos efeitos dos sistemas de cobertura no solo é possível distinguir que a diversificação do sistema pelo uso de consórcios de espécies proporcionou aumentos consistentes na produção de MS e acúmulo de N nos tecidos das plantas de cobertura do solo em relação à fase inicial do experimento. Especificamente o consórcio A+E+N se destaca por proporcionar produtividades de grãos de milho similares aos sistemas com fabáceas nas doses testadas (0, 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) agregando vantagens ao SPD por proporcionar maior Índice de Qualidade de Resíduo (IQR), ou seja, melhor equilíbrio entre liberação de N e permanência de resíduos para proteção do solo.

Ao longo do tempo de adoção do PD percebe-se que as plantas de cobertura condicionam efeitos distintos na qualidade do solo, visto pelo aumento da produtividade de grãos mesmo em condições em que as exigências de nutrientes (NPK) são supridas pela adubação de base e aplicação de N em cobertura.

Deste modo, estudos para caracterizar os efeitos proporcionados pelos sistemas de plantas de cobertura na qualidade do solo devem ser realizados de forma a quantificar as adições de C e N e a relação com os estoques no solo, definindo sistemas com maior potencial no sequestro de C bem como a quantidade mínima de resíduos que deve ser adicionado anualmente ao solo pelos sistemas de produção para manter os teores de MO no solo, nas condições edafoclimáticas da região Sudoeste do Paraná.

Considerando que a sustentabilidade ambiental é uma preocupação mundial, o uso de plantas de cobertura deve ser incentivado, pois proporciona melhoria da conservação do solo e redução do uso de insumos, atendendo umas das principais demandas da agricultura contemporânea.

## REFERÊNCIAS

- ABEAS. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto** (Curso Plantio Direto. Módulo 1). Tutor: LANDERS, John. ABEAS; Brasília. DF: Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 113 p. 2005.
- ACOSTA, J. A. A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Brasil. 200pp. 2009.
- ACOSTA, J. A. A.; AMADO, T. J. C.; DA SILVA, L. S.; SANTI, A.; & WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; & FRIES, M. R. 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.
- ALBUQUERQUE, A. W DE.; SANTOS, J. R.; & REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 7, 2013.
- ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA-FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; & HERNANI, L. C. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.
- ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo Sistema de Produção, 1. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Setembro, 2010. Disponível em <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_6\\_ed/manejo2.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejo2.htm)>. Acesso em: 25 Jul. 2018.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.
- AMADO, T J C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 26, n. 1 (2002), p. 241-248, 2002.
- AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R. da. S.; & FERREIRA, A. de. O. 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.2, 83 p, 2014.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; & AMBROSANO, G. M. B. Adubação verde na agricultura orgânica. 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, 507 p, 2014.

BOCOCK, K. L.; GILBERT, O. J. W. The disappearance of litter under different woodland conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 9, n. 2, p. 179-185, 1957.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 685 p. 2013.

CABREIRA, M. A.F. LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE SOLOS DA ÁREA EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CÂMPUS DOIS VIZINHOS. Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Florestal, 50p, 2015.

CAIRES, E. F.; & MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 87-95, 2016.

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

CARVALHO, I. Q.; DA SILVA, M. J. S.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; & POSSAMAI, J. C. 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.

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

CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; DA ROCHA, E. M. T.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; & LAMEGO, F. P. Desempenho agrônomo do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, 2014

CIESLIK, L. F. **Leguminosas de verão como cobertura do solo para produção de milho em sistema de plantio direto**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CONAB. COMPANINHA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de produção**. Brasília: Conab 2018b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/406-planilhas-de-custos-de-producao-culturas-de-1-safra>. (Acessado em 23 out. 18), 2018b

CONAB. COMPANINHA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**, Brasília: Conab 2018a. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos). (Acessado em 23 Out. 18), 2018.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; MASCARENHAS LOPES, K. S.; YOKOBATAKE, K. L.;

FERREIRA, J. P.; MAGALHÃES PARIZ, C.; & LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 3, 2015.

CRUZ, A. F.; MARTINS, M. A. Transferência de nitrogênio entre plantas interconectadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). *Revista brasileira de ciência do solo*, v. 21, n. 4, p. 559-565, 1997.

CRUZ, C.D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum*. v.38, n.4, p.547-552, 2016

CRUZ, S.; PEREIRA, F. R. D. S.; SANTOS, J. R.; DE ALBUQUERQUE, A. W.; & DA SILVA, E. T. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho irrigado em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, p. 370-375, 2008.

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

DERPSCH, R.R. 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.

DIAS, P. F., MANHÃES SOUTO, S., SILVA RESENDE, A., URQUIAGA, S., PORTO ROCHA, G., FERNANDES MOREIRA, J., & FRANCO, A. A. Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim *Survenola* crescido em consórcio. *Ciência Rural*, v. 37, n. 2, 2007.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; & GONZATTO, R. (2012). Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

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

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

FAEP. Federação da Agricultura do Estado do Paraná. Disponível em: <http://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2017/05/Estudo-Completo-Escoamento-da-Producao-CC-A7a-CC-83o.pdf>. (Acessado em 21 Out.18), 2018.

FEBRAPDP – Área do sistema plantio direto no Brasil. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/area-PD-Brasil-e-estados.pdf> Acessado em: 05 Nov. 2018.

FEBRAPDP – Evolução do sistema plantio direto no Paraná. Disponível em: [http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO\\_DO\\_SPD\\_NO\\_PARANA\\_2014.pdf](http://febrapdp.org.br/download/EVOLUCAO_DO_SPD_NO_PARANA_2014.pdf). Acessado em: 05 Nov. 2018.

FERNANDES, F. C. S.; ARF, S. B. O.; & ANDRADE, J. A. D. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 4, n. 02, 2010.

FIGUEIREDO, C.C. de.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; URQUIAGA, S. Sistemas de

manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.279-287, 2005.

FRAZÃO, J. J.; DA SILVA, Á. R.; DA SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A.; & CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, n. 12, 2014.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; & CADORE, F. 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.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; & FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, 2003.

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

IPNI - International Plant Nutrition . Disponível em: < <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#aparente>> Acessado: 28 Jul 2017.

KOEFENDER, J.; SCHOFFEL, A.; MANFIO, C. E.; & GOLLE, D. P. Biomass and nutrient cycling by winter cover crops. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 816-821, 2016.

LAFAY, C. B. B. **Caracterização quantitativa e qualitativa da matéria orgânica do solo em plantio direto**. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

LÁZARO, R. D. L.; DA COSTA, A. C. T.; DA SILVA, K. D. F.; SARTO, M. V. M.; & JÚNIOR, J. B. D. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, 2013.

MARTINS, M.A. & CRUZ, A.F. The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal fungi: III. A study of nitrogen transfer between plants interconnected by a common mycelium. **Revista de Microbiologia**., 29:289-294, 1998.

MEDINA, C. D. C.; NEVES, C. S. V. J.; AITA, C.; BORDIN, I.; PETRI, E.; AGUIAR, R. S. D.; & URQUIAGA, S. Aporte de matéria seca por raízes e parte aérea de plantas de cobertura de verão. **Semina: ciências agrárias**, v. 34, n. 2, p. 675-682, 2013.

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

MIRANDA, R. A de.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; & FILHO, I. A.P. 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: 29 Set. 2018), 2013.

OHLAND, R. A. A.; DE SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; & GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 29, p. 538-544, 2005.

PES, L. Z.; & ARENHARDT, M. H. A. H. **Caderno Didático de Fisiologia Vegetal**. Cadernos Pronatec Goiás, v. 1, n. 1, p. 386-378, 2018.

PESSÔA, A.S.M. O estado da arte do plantio direto em 2015 (Rally da Safra). Disponível em: [https://febrapdp.org.br/download/publicacoes/Relatorio\\_final\\_Rally\\_2015.pdf](https://febrapdp.org.br/download/publicacoes/Relatorio_final_Rally_2015.pdf). (Acessado em: 30 Set. 2018), 2015.

PIETERS, A. J. **Green Manuring, Principles and Practice**. Agronomist in Charge of Clover Investigations, Bureau of Plant Industry U. S. Department of Agriculture. Disponível em: <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010160.Pieters.pdf>: Acesso em: (27 Out. 18), 1927.

ROJAS, C. A. L.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WEBER, M. A.; & VIEIRO, F. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista brasileira de ciência do solo**. Viçosa. Vol. 36, n. 1 (jan./fev. 2012), p. 261-270, 2012.

ROSSI, F.; & CARLOS, J. A. D. Histórico da adubação verde no Brasil. 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.2, 83 p, 2014.

SANTOS, P. A., DA SILVA, A. F.; DE CARVALHO, M. A. C.; & CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2013. Disponível em: [http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho\\_2013\\_14.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/milho_2013_14.pdf). (Acessado em: 22 Out. 18), 2013

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2018a. **Milho, análise de conjectura**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=240>. (Acessado em: 27 Out. 18), 2018

SILVA, D.A. da. **Cultura antecessora e adubação nitrogenada na produção do milho, em um sistema de plantio direto**. 2004. Tese (Mestrado)-Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2004.

SISTEMA FARSUL. Análise do mercado do milho. Disponível em: [http://coral.ufsm.br/petagronomia/images/pdf/SimposioMilho/MILHO---Curto-Prazo-e-Longo-Prazo\\_Ruy-Augusto-da-Silveira-Neto-min.pdf](http://coral.ufsm.br/petagronomia/images/pdf/SimposioMilho/MILHO---Curto-Prazo-e-Longo-Prazo_Ruy-Augusto-da-Silveira-Neto-min.pdf). (Acessado em: 23 Out. 18), 2018.

TORRES, F. E.; DE SOUZA, L. C.; DE ANDRADE, L. H.; PEDROSO, F. F.; MATOSO, A. D. O.; TORRES, L. D.; & BENETT, K. S. Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, 2014.

USDA - United States Department of Agriculture. Disponível

em:<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. (Acessado em 19 Out. 18), 2018.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; & TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 254-263, 2011.

WILDNER, L. do P. Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo. IN: LIMA FILHO, O. F. de.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D (Ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil**. Fundamentos e Prática. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 2014. 21 p.

WOLSCHICK, N. H. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; & WILDNER, L do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, 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, 507 p, 2014.

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, A. R. D. **Sistema de produção de milho sob adubação nitrogenada e plantas de cobertura do solo**. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; HEBERLE, C. T.; CASSOL, C.; & BALIN, N. Produtividade e componentes de rendimento de milho em função de plantas de cobertura e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 2016.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; & GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

## ANEXOS

**Anexo 1** - Permanência da massa seca das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	Tempo (dias)															
	0	15	30	45	60	75	90	120								
<b>MS Remanescente kg ha<sup>-1</sup></b>																
Aveia	**5269	a	**4593	a	**3801	a	**3599	a	**3401	a	**3304	a	**2886	a	*2630	a
A+E	6491	a	5746	a	4830	a	4558	a	4269	a	4015	a	3641	a	3283	a
A+E+N	7355	a	6309	a	5233	a	4773	a	4554	a	4350	a	3821	a	3441	a
Azevém	1703	c	1177	c	898	c	836	c	746	c	674	d	615	d	576	c
Centeio	3225	b	2571	b	2264	b	2136	b	1961	b	1761	b	1681	b	1557	b
Ervilhaca	2313	b	1778	b	1533	b	1444	b	1338	b	1101	c	971	c	864	c
Nabo	2957	b	2306	b	2068	b	2012	b	1845	b	1698	b	1536	b	1426	b
Tremoço	2841	b	2143	b	1858	b	1797	b	1714	b	1168	c	1066	c	927	c
<b>CV (%)</b>	<b>4,09</b>		<b>3,95</b>		<b>4,75</b>		<b>4,57</b>		<b>4,54</b>		<b>4,56</b>		<b>5,00</b>		<b>5,23</b>	
<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>																
0	**4031	a	*3326	a	<sup>ns</sup> 2809		<sup>ns</sup> 2553		<sup>ns</sup> 2552		*2299	a	*2042	a	*1812	a
90	4465	a	3646	a	3031		2615		2614		2440	a	2245	a	2053	a
180	3562	b	3010	b	2591		2276		2276		2036	b	1794	b	1649	a
<b>CV (%)</b>	<b>2,7</b>		<b>2,87</b>		<b>3,08</b>		<b>3,23</b>		<b>3,57</b>		<b>3,63</b>		<b>4,02</b>		<b>4,06</b>	

**Anexo 2** - Permanência da massa seca das plantas de cobertura (kg ha<sup>-1</sup>), após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	Tempo (dias)															
	0	15	30	45	60	75	90	105								
<b>%</b>																
Aveia	3196	c	2374	b	1893	c	1546	c	1402	c	1364	c	1293	c	1251	c
A+E	4981	b	3919	a	3254	a	2369	a	2297	a	2219	a	2017	a	1901	a
A+E+N	5721	a	4449	a	3533	a	2569	a	2469	a	2404	a	2298	a	2136	a
Azevém	2069	d	1252	d	1053	e	902	d	848	d	814	d	770	d	733	d
Centeio	2994	c	1923	c	1628	d	1318	c	1264	c	1220	c	1161	c	1147	c
Ervilhaca	1870	d	990	e	847	e	597	d	593	d	546	d	536	d	529	d
Nabo	1236	e	622	f	555	f	469	d	446	d	417	d	398	d	360	d
Tremoço	4380	b	2822	b	2380	b	1989	b	1811	b	1768	b	1666	b	1569	b
<b>CV (%)</b>	<b>8,57</b>		<b>11,33</b>		<b>10,92</b>		<b>28,06</b>		<b>28,86</b>		<b>30,32</b>		<b>27,34</b>		<b>34,69</b>	
<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>																
0	3027	c	2087	b	1771	b	1389	b	1276	b	1226	b	1193	a	1101	a
90	3598	a	2476	a	2032	a	1564	a	1529	a	1479	a	1357	a	1295	a
180	3291	b	2318	a	1870	a	1458	a	1369	b	1327	b	1252	a	1215	a
<b>CV (%)</b>	<b>4,82</b>		<b>7,38</b>		<b>6,41</b>		<b>14,52</b>		<b>17,11</b>		<b>17,14</b>		<b>18,21</b>		<b>21,68</b>	

\*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. (A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+Nabo.



**Anexo 3** - Porcentagem de massa seca remanescente das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	Tempo (dias)													
	15		30		45		60		75		90		105	
	%													
Aveia	<sup>ns</sup> 87		*72	a	*68	a	*64	a	**62	a	**54	a	**49	a
A+E	88		74	a	70	a	65	a	61	a	55	a	50	a
A+E+N	85		70	a	65	a	61	a	58	a	51	a	46	a
Azevém	69		52	b	49	b	44	b	40	b	37	b	34	b
Centeio	80		71	a	66	a	61	a	55	a	52	a	48	a
Ervilhaca	77		66	a	62	a	58	a	48	b	42	b	37	b
Nabo	78		70	a	68	a	62	a	57	a	52	a	48	a
Tremoço	81		70	a	68	a	66	a	44	b	39	b	33	b
<b>CV (%)</b>	<b>10,9</b>		<b>17,6</b>		<b>16,4</b>		<b>16,9</b>		<b>13,4</b>		<b>16,3</b>		<b>18,7</b>	
<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>														
0	*80	b	*68	a	**65	a	**62	a	<sup>ns</sup> 54		<sup>ns</sup> 48		<sup>ns</sup> 43	
90	79	b	65	b	61	b	56	b	52		48		44	
180	83	a	71	a	68	a	63	a	53		47		43	
<b>CV (%)</b>	<b>7,4</b>		<b>10,2</b>		<b>10,4</b>		<b>13,5</b>		<b>12,4</b>		<b>15,1</b>		<b>15,0</b>	

**Anexo 4** - Porcentagem de massa seca remanescente das plantas de cobertura, após a distribuição das bolsas de decomposição na superfície do solo para safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	Tempo (dias)													
	15		30		45		60		75		90		105	
	%													
Aveia	74	a	59	a	48	a	44	a	43	a	40	a	39	a
A+E	79	a	65	a	48	a	46	a	45	a	40	a	38	a
A+E+N	78	a	62	a	45	a	43	a	42	a	40	a	37	a
Azevém	61	b	51	b	44	a	41	a	39	a	37	a	35	a
Centeio	64	b	54	b	44	a	42	a	41	a	39	a	38	a
Ervilhaca	53	c	45	c	32	b	32	b	29	b	29	b	28	b
Nabo	50	c	45	c	38	b	36	b	34	b	32	b	29	b
Tremoço	64	b	54	b	45	a	41	a	40	a	38	a	36	a
<b>CV (%)</b>	<b>8,66</b>		<b>10,58</b>		<b>14,09</b>		<b>15,48</b>		<b>15,55</b>		<b>14</b>		<b>17,8</b>	
<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>														
0	<sup>ns</sup> 65		<sup>ns</sup> 58		<sup>ns</sup> 44		<sup>ns</sup> 41		<sup>ns</sup> 39		<sup>ns</sup> 38		<sup>ns</sup> 36	
90	64		53		42		41		39		36		34	
180	67		55		43		40		39		37		35	
<b>CV (%)</b>	<b>9,16</b>		<b>9,26</b>		<b>8,85</b>		<b>9,94</b>		<b>10,07</b>		<b>10,05</b>		<b>13</b>	

\*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. (A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+Nabo.

**Anexo 5** - Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)									
	15	30	45	60	75	90	105			
N kg ha <sup>-1</sup>										
Aveia	<sup>ns</sup> 22	*31 a	**35 b	**35 b	**35 b	**35 b	**35 b	**35 b	**35 b	**35 b
A+E	23	31 a	32 b	32 b	32 b	32 b	39 b	39 b	39 b	39 b
A+E+N	30	49 a	49 a	51 a	51 a	51 a	52 a	58 a	58 a	58 a
Azevém	11	17 b	18 b	18 b	19 b	19 b	21 b	22 b	22 b	22 b
Centeio	17	22 b	25 b	25 b	25 b	25 b	25 b	28 b	28 b	28 b
Ervilhaca	33	41 a	42 a	42 a	44 a	44 a	51 a	53 a	53 a	53 a
Nabo	29	29 a	32 b	33 b	33 b	33 b	35 b	34 b	34 b	34 b
Tremoço	33	43 a	48 a	48 a	50 a	50 a	53 a	58 a	58 a	58 a
<b>CV (%)</b>	<b>36,8</b>	<b>25</b>	<b>44</b>	<b>20,1</b>	<b>23</b>	<b>44</b>	<b>20,2</b>			
N kg ha <sup>-1</sup>										
0	27	*34 a	*41 a	**35 a	<sup>ns</sup> 37		*41 a	*43 a	*43 a	*43 a
90	28	38 a	43 a	43 a	40		43 a	45 a	45 a	45 a
180	20	27 b	34 b	28 b	30		34 b	35 b	35 b	35 b
<b>CV (%)</b>	<b>28,6</b>	<b>19,8</b>	<b>32,2</b>	<b>16</b>	<b>18,9</b>	<b>32,3</b>	<b>14,2</b>			

**Anexo 6** - Quantidade de nitrogênio total (N) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)									
	15	30	45	60	75	90	105			
N kg ha <sup>-1</sup>										
Aveia	**5 d	**7 b	**13 c	**13 b	**17 c	**23 c	23	**d		
A+E	21 b	28 a	41 b	43 a	43 b	58 a	60 b	60 b	60 b	60 b
A+E+N	29 a	38 a	52 a	55 a	63 a	71 a	71 b	71 b	71 b	71 b
Azevém	4 d	5 b	7 c	7 b	11 d	12 d	14 e	14 e	14 e	14 e
Centeio	9 c	11 b	17 c	18 b	20 c	24 c	24 d	24 d	24 d	24 d
Ervilhaca	22 b	29 a	37 b	37 a	38 b	42 b	43 c	43 c	43 c	43 c
Nabo	15 c	17 b	18 c	17 b	19 c	22 c	21 d	21 d	21 d	21 d
Tremoço	32 a	36 a	48 a	51 a	68 a	76 a	85 a	85 a	85 a	85 a
<b>CV (%)</b>	<b>37,5</b>	<b>45,5</b>	<b>31,0</b>	<b>22,1</b>	<b>12,5</b>	<b>7,61</b>	<b>6,16</b>			
N kg ha <sup>-1</sup>										
0	<sup>ns</sup> 15	<sup>ns</sup> 19	*24 b	*26 b	**30 b	**37 b	38	**b		
90	19	23	32 a	32 a	39 a	44 a	45 a	45 a	45 a	45 a
180	17	22	31 a	32 a	36 a	42 a	45 a	45 a	45 a	45 a
<b>CV (%)</b>	<b>59,84</b>	<b>57,0</b>	<b>31,8</b>	<b>13,1</b>	<b>8,9</b>	<b>4,9</b>	<b>5,2</b>			

\*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. (A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+Nabo.

**Anexo 7** - Quantidade de nitrogênio remanescente (% do inicial) dos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2017/2018. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

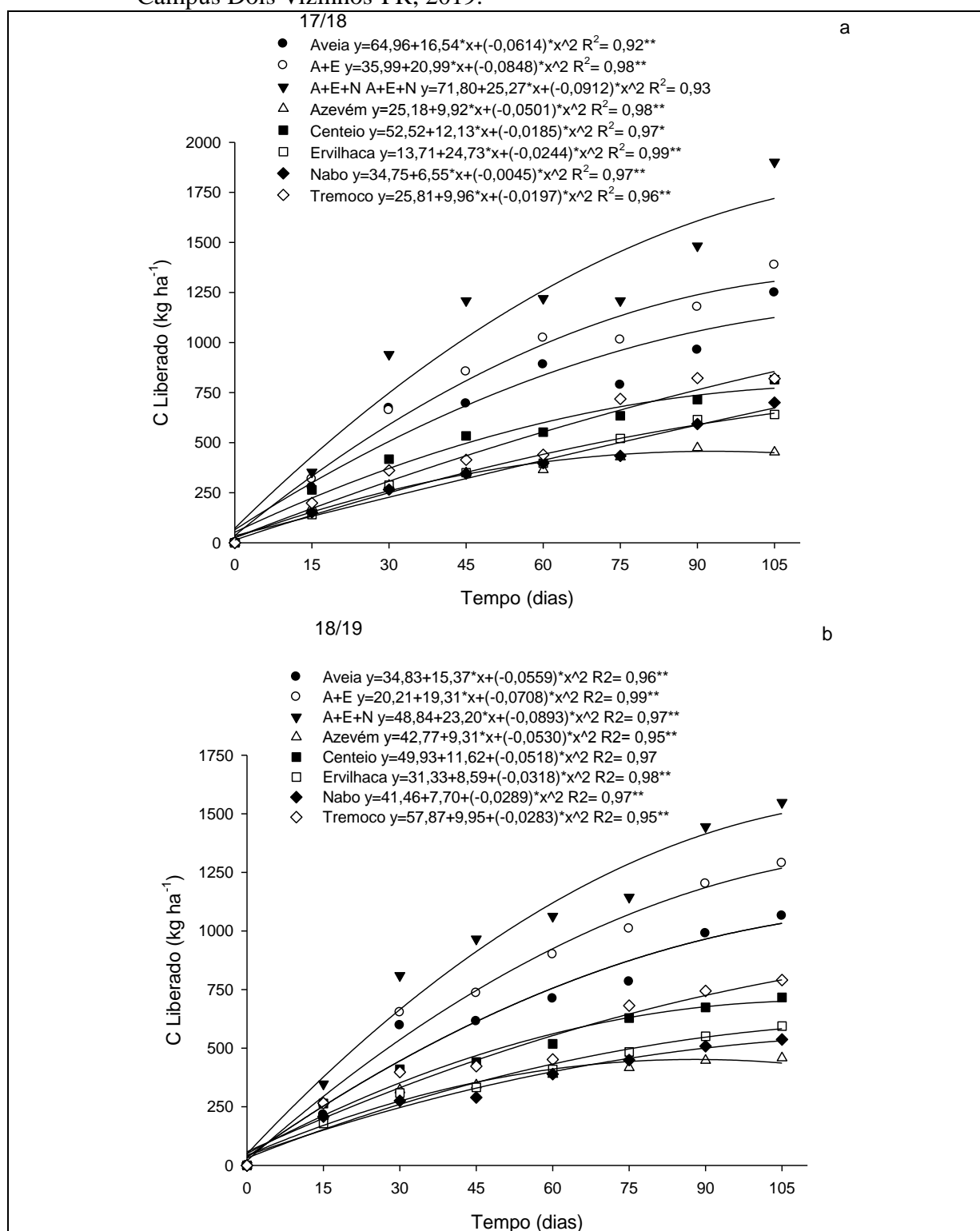
Plantas de Cobertura	Tempo (dias)						
	15	30	45	60	75	90	120
	<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>						
Aveia	**70 a	*58 a	**52 b	**51 c	**57 b	**52 a	**53 a
A+E	76 a	67 a	67 a	67 a	67 a	60 a	59 a
A+E+N	75 a	59 a	58 b	56 b	55 b	56 a	51 a
Azevém	67 a	51 b	47 c	47 c	43 c	37 b	35 b
Centeio	67 a	57 a	49 c	50 c	49 c	50 a	44 a
Ervilhaca	53 b	41 b	39 d	42 d	36 c	26 b	23 c
Nabo	45 b	44 b	40 d	39 d	39 c	35 b	36 b
Tremoço	62 a	47 b	39 d	41 d	38 c	30 b	24 c
<b>CV (%)</b>	<b>22,5</b>	<b>25,1</b>	<b>17,1</b>	<b>19</b>	<b>20,1</b>	<b>32,1</b>	<b>23,5</b>
	<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>						
0	<sup>ns</sup> 62	<sup>ns</sup> 53	<sup>ns</sup> 47	<sup>ns</sup> 48	<sup>ns</sup> 46	<sup>ns</sup> 40	<sup>ns</sup> 37
90	64	51	48	45	48	44	42
180	68	56	52	53	50	45	42
<b>CV (%)</b>	<b>21,8</b>	<b>23,9</b>	<b>22,8</b>	<b>23,8</b>	<b>28,6</b>	<b>26,5</b>	<b>22,2</b>

**Anexo 8** - Quantidade de nitrogênio remanescente (% do inicial) dos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2018/2019. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de Cobertura	DIAS APÓS A SEMEADURA (DAS)						
	15	30	45	60	75	90	105
	<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>						
Aveia	**87 a	84 a	69 a	71 a	63 a	46 a	45 a
A+E	78 b	70 b	57 b	55 b	55 a	39 b	37 b
A+E+N	74 b	66 b	53 b	51 b	43 b	36 b	36 b
Azevém	87 a	79 a	74 a	74 a	59 a	53 a	48 a
Centeio	79 b	79 a	64 a	60 b	56 a	45 a	46 a
Ervilhaca	60 c	47 c	34 c	34 c	31 c	25 c	23 c
Nabo	48 d	41 c	34 c	40 c	33 c	26 c	24 c
Tremoço	74 b	70 b	60 b	58 b	44 b	35 b	28 c
<b>CV (%)</b>	<b>15,09</b>	<b>16,9</b>	<b>18,57</b>	<b>22,8</b>	<b>27,6</b>	<b>21,5</b>	<b>16,9</b>
	<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>						
0	<sup>ns</sup> 72	<sup>ns</sup> 69	<sup>ns</sup> 58	<sup>ns</sup> 57	<sup>ns</sup> 50	<sup>ns</sup> 38	<sup>ns</sup> 36
90	73	65	54	55	46	38	36
180	75	67	56	53	48	39	35
<b>CV (%)</b>	<b>25,69</b>	<b>21,9</b>	<b>18,83</b>	<b>13,5</b>	<b>18</b>	<b>16,3</b>	<b>17,9</b>

\*Médias seguidas pela mesma letra coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $P < 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. (A+E) = Aveia+Ervilhaca; (A+E+N) = Aveia+Ervilhaca+Nabo.

**Anexo 9 - Quantidade de carbono (C) liberado pelos resíduos das plantas de cobertura após a distribuição das bolsas de decomposição a campo, safra 2017/2018. UTFPR, Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.**



**Anexo 10** – Massa seca total (MST), nitrogênio total acumulado (NTA), massa seca remanescente (MSR), nitrogênio liberado (NL), índice de nitrogênio liberado (ILN), índice de massa seca remanescente (IMSR) e índice de qualidade de resíduos de plantas de cobertura hibernais, média safras 17/18 e 18/19. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

Plantas de cobertura	MST	NTA	MSR	NL	ILN	IMSR	IQR
	----- (kg ha <sup>-1</sup> ) -----				----- % -----		
Aveia	4233	57	1943	29	41%	70%	0,28
A+E	5736	96	2592	50	70%	93%	0,65
A+E+N	6538	115	2788	64	91%	100%	0,91
Azevém	1886	31	684	18	26%	25%	0,06
Centeio	3109	48	1353	26	36%	49%	0,18
Ervilhaca	2092	63	755	48	67%	27%	0,18
Nabo	2096	41	893	28	39%	32%	0,13
Tremoço	3611	97	1276	71	100%	46%	0,46

**Anexo 11** - Numero de espigas (NE) por hectare de plantas de milho para safra 17/18 e 18/19. UTFPR Campus Dois Vizinhos-PR, 2019.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	A	A+E	A+E+N	AZ	CE	E	N	TÇ	Média	cv%
<b>NE17/18 (Espigas ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	<sup>ns</sup> 55.556	60.494	62.963	70.370	65.432	71.605	64.198	70.370	<sup>ns</sup> 65.123	
90	65.432	56.790	62.962	64.196	59.259	70.370	64.198	71.605	65.894	12,1
180	62.963	60.494	67.901	64.198	61.728	65.432	67.901	66.667	64.660	
Medias	<sup>ns</sup> 61.316	59.259	64.609	66.255	62.140	69.136	65.432	69.547		15,5
<b>NE 18/19 (Espigas ha<sup>-1</sup>)</b>										
0	<sup>ns</sup> 55.556	62.963	64.198	61.728	70.370	65.432	56.790	61.728	<sup>ns</sup> 62.346	
90	66.667	64.198	64.198	70.370	66.667	66.667	62.963	69.136	66.358	13,71
180	65.432	58.025	70.370	61.728	69.136	69.136	65.432	61.728	65.123	
Medias	<sup>ns</sup> 62.551	61.729	66.255	64.609	65.724	67.078	61.728	64.197		12,16

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo. \*, \*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente. A= Aveia; E= Ervilhaca; N= Nabo; A+E=consórcio entre Aveia+Ervilhaca; A+E+N=consórcio entre Aveia+Ervilhaca+Nabo; AZ= Azevém; CE: Centeio e TÇ= Tremoço Branco.

**Anexo 12** - Dados de Precipitação pluvial mensal acumulada (mm), temperatura média mensal (° C) e umidade relativa (UR%) para as safras 17/18 e 18/19. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2019.

<b>safra 17/18</b>										
<b>Mês</b>	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
<b>Ano</b>	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2018	2018
<b>Ppa (mm)</b>	263,0	54,2	7,2	123,8	45,2	167,8	169,6	216,0	271,8	186,2
<b>Temp Média</b>	19,0	16,6	16,5	19,1	23,7	21,5	21,9	23,5	23,0	23,0
<b>UR%</b>	87,3	78,3	63,4	68,0	53,0	70,9	62,2	84,1	84,9	73,4
<b>safra 18/19</b>										
<b>Mês</b>	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
<b>Ano</b>	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2019	2019
<b>Ppa (mm)</b>	<sup>1</sup> 91,4	105,0	9,8	94,4	205,0	299,0	192,6	8,2	97,6	--
<b>Temp Média</b>	18,2	15,1	17,3	15,0	18,9	20,4	23,1	23,7	23,0	--
<b>UR%</b>	75,7	81,1	73,7	74,0	76,2	80,9	82,2	64,3	69,4	--

\*Ppa= precipitação pluvial mensal acumulada; Temp Média= temperatura média mensal; UR= Umidade relativa.

<sup>1</sup>Ocorrida até dia 18/05/18, semeadura das plantas realizada dia 22/05 com chuva posterior em 01/06/18.