



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PATO BRANCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



RICARDO VIOLA

**EFEITO DE ESPÉCIES OUTONAIAS CULTIVADAS EM SUCESSÃO AO
MILHO NA PRODUTIVIDADE DO TRIGO, SOB DIFERENTES DOSES
DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2011

RICARDO VIOLA

**EFEITO DE ESPÉCIES OUTONAIIS CULTIVADAS EM SUCESSÃO AO
MILHO NA PRODUTIVIDADE DO TRIGO, SOB DIFERENTES DOSES
DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

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: Dr. Giovani Benin
Co-Orientador: Dr. Luís César Cassol

PATO BRANCO

2011

V795e

Viola, Ricardo

**Efeito de espécies outonais cultivadas em sucessão ao milho na produtividade do trigo, sob diferentes doses de adubação nitrogenada / Ricardo Viola. Pato Branco/PR, 2011
xi, 83 f. : il. ; 30 cm**

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin

Co-orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2011.

Bibliografia: f. 78 – 82

1. Nabo forrageiro. 2. Tremoço. 3. Ervilhaca. 4. Matéria seca. 5. Nitrogênio. 6. trigo. 7. Rotação de culturas I. Benin, Giovani, orient. II. Cassol, Luís César, co-orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD: 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Elda Lopes Lira CRB 9/1295
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco
Gerência de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 036


Efeito de espécies outonais cultivadas em sucessão ao milho na produtividade do trigo, sob diferentes doses de adubação nitrogenada

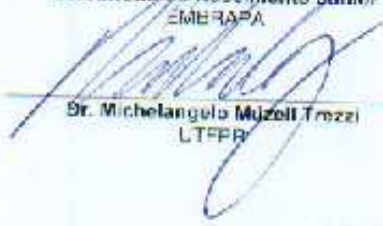
por

Ricardo Viola

Dissertação apresentada às oito horas e trinta minutos do dia vinte e cinco de fevereiro de dois mil e onze, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho *aprovado*.

Banca examinadora:



Dr. Alfredo do Nascimento Júnior
EMBRAPA


Dr. Michelangelo Muzoli Trezzi
LTFPR


Dr. Luis César Cassol
UTPR


Dr. Giovanni Benin
UTPR
Orientador

Visto da Coordenação:


Prof. Dr. Idemir Citadin
Coordenador do PPGAG

Dedico este trabalho

A minha esposa Camile

Ao meu pai Lori

À minha mãe Marilene (*in memoriam*)

À minha irmã Luciane

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais Lori Miguel Viola e Marilene Boaretto Viola (*in memoriam*) que me ensinaram os caminhos corretos e sempre torceram pela minha vitória. Ao meu pai também pelo auxílio na condução dos experimentos.

A minha esposa Camile Criminácio Viola por ter me apoiado nos momentos mais difíceis durante esta caminhada, inclusive nos finais de semana quando passava horas elaborando esta dissertação.

Agradeço a UTFPR por disponibilizar excelentes professores, ensino gratuito e de qualidade.

Ao meu orientador, professor Dr. Giovani Benin por me incentivar a ingressar no Programa de Pós-Graduação e por me auxiliar no desenvolvimento deste projeto, sendo acima de tudo um grande amigo.

Ao laboratório de solos UTFPR/IAPAR pelas análises realizadas, em especial ao meu co-orientador Luís César Cassol.

Ao meu amigo e compadre Paulo Fernando Adami pelo companheirismo nas horas de estudo.

A acadêmica do 5º ano do curso de agronomia da UTFPR, Mariana Faber Flores, pelas análises químicas realizadas ao decorrer deste projeto.

Ao acadêmico do curso de agronomia Cilas Pinnow, pelo auxílio nas análises estatísticas e na interpretação dos dados.

Ao gerente de produção Sidney Toledo Martins pelo apoio e incentivo e, também a direção da empresa Sementes Guerra S.A.

“Há sempre um lugar a ser conquistado no mundo. Lamentar o que não foi alcançado é um jeito estranho de eternizar a derrota”.

Fábio de Melo

RESUMO

VIOLA, Ricardo. **Efeito de espécies outonais cultivadas em sucessão ao milho na produtividade do trigo, sob diferentes doses de adubação nitrogenada**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

Em função da elevada relação C/N da palhada da cultura do milho, esta mobiliza uma maior quantidade de nitrogênio para a sua decomposição. Este é um problema quando se cultiva em sucessão uma cultura também exigente em adubação nitrogenada, tal qual a cultura do trigo. Algumas espécies vegetais tais como o nabo forrageiro, a ervilhaca comum, o tremoço, o feijoeiro comum e a ervilha forrageira podem ser utilizadas como culturas intercalares no período outonal, entre a colheita do milho e a semeadura do trigo. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo do nabo forrageiro, da ervilhaca comum, do tremoço, da ervilha forrageira e do feijoeiro comum, utilizados como culturas intercalares entre a colheita do milho e a semeadura do trigo, comparados com o pousio, sobre o rendimento de grãos da cultura do trigo, cultivada com diferentes doses de adubação nitrogenada. O experimento foi conduzido em duas safras agrícolas (2009 e 2010) no município de Pato Branco-PR, instalado em sistema de semeadura direta, em delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, num esquema fatorial, com a seguinte combinação de fatores: a) espécies intercalares; b) doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹), aplicadas sobre a cultura do trigo. No momento em que as espécies nabo forrageiro, ervilhaca, tremoço e ervilha forrageira estavam para serem manejadas, foi feita a determinação de matéria seca. As amostras utilizadas para a determinação de matéria seca foram moídas e submetidas à análise para determinações das concentrações de carbono orgânico, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Após a determinação da matéria seca, foi avaliada a velocidade de decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes da palhada do milho, nabo forrageiro, ervilha forrageira, tremoço, ervilhaca e feijão através da coleta de Litter bags. O rendimento de grãos de trigo em kg ha⁻¹ foi obtido através da colheita das 8

linhas centrais das subparcelas, ajustado a 13% de umidade. Os cultivos da ervilha forrageira, do tremoço e do nabo forrageiro proporcionaram as maiores produções de matéria seca entre as espécies de cobertura. A relação C/N da palhada de milho e do feijoeiro comum não permitiu manter um equilíbrio adequado entre a mineralização e a imobilização do nitrogênio, diferentemente das demais espécies onde a mineralização foi superior a imobilização. Os maiores acúmulos de nitrogênio foram observados para a ervilha forrageira, tremoço e ervilhaca comum, enquanto o feijoeiro comum foi o tratamento que proporcionou os menores acúmulos de fósforo. O nabo forrageiro e o tremoço acumularam as maiores quantidades de potássio e cálcio e, juntamente com a ervilha forrageira, os maiores acúmulos de magnésio. O cultivo do trigo em sucessão a ervilha forrageira, nabo forrageiro e ervilhaca comum sem adubação nitrogenada proporcionou rendimentos equivalentes ao cultivo em sucessão a palhada de milho com no mínimo 40 kg ha⁻¹ de N, em função do sincronismo da liberação de nitrogênio com as fases do trigo em que o nitrogênio é requerido em maiores quantidades. A ervilha forrageira e o nabo forrageiro, devido à elevada produção de matéria seca e liberação gradativa de nitrogênio, são alternativas promissoras para cultivo em sucessão ao milho e antecedendo a cultura do trigo.

Palavras-chave: nabo forrageiro, tremoço, ervilhaca, matéria seca, nitrogênio, trigo, rotação de culturas.

ABSTRACT

VIOLA, Ricardo. **Effect of autumnal species cultivated in succession to corn over the wheat yield under different nitrogen rate fertilization.** 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

High corn C/N straw ratio mobilizes a large amount of nitrogen for its decomposition being this a problem to the wheat cultivated in sequence once this crop also demand a significative nitrogen availability. Some plant species such as radish, common vetch, lupine, common bean and pea may be used as an alternative of catch crops at autumn, between corn harvest and wheat sowing. In this way, this study aimed to evaluate the effect of cultivation of radish, common vetch, lupine, pea, and the common bean, used as catch crops between corn harvest and wheat sowing, compared with fallow over the grain yield of wheat, grown under different nitrogen fertilization levels. Experiment was carried out along 2009 and 2010 growing season at Pato Branco-PR on a no-tillage system management and laid out as randomized blocks with three replications with a factorial scheme: a) cover crops; b) nitrogen levels (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). Dry matter determination was done at the time that the species turnip, vetch, lupine and pea were able to be managed. Dry matter samples were ground and subjected to chemical analysis to determinate the concentrations of organic carbon, total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium. After determining the dry matter was measured the decomposition rate of dry matter and nutrient release from corn straw, turnip, pea, lupine, vetch and beans through the Litter bags technique. Wheat grain yield in kg ha⁻¹ was obtained by harvesting eight central rows of the subplots, adjusted to 13% of moisture. Forage pea, lupine and wild radish were the most productive crops among the cover crop species. Corn straw and common bean C/N ratio did not maintain a proper balance between nitrogen mineralization and immobilization, unlike other species where mineralization was higher than immobilization. The highest nitrogen accumulations were observed for forage pea, lupine and vetch, while the common bean was the treatment that showed the smallest accumulation of phosphorus. Radish and lupine accumulated the largest amounts of potassium and calcium and along with forage pea, the highest accumulation of magnesium. Wheat cultivation in succession to forage pea, turnip and common vetch without N fertilizer provided equivalent yields to the cultivation in succession to the corn straw with at least 40 kg of N ha⁻¹, due to the synchronism between nitrogen releases from these species with the stage of wheat in which the nitrogen is required in greater quantities.

Key-words: radish, lupine, vetch, dry matter, nitrogen, wheat, crop rotation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Histórico da área cultivada, produção e da produtividade de trigo no Brasil nas últimas safras	17
--	----

CAPÍTULO I

Figura 2.1 - Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2009	30
Figura 2.2 - Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2010	31
Figura 2.3 - Produção de matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	33
Figura 2.4 - Relação C/N da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	34
Figura 2.5 - Acúmulo de nitrogênio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	36
Figura 2.6 - Acúmulo de fósforo na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	37
Figura 2.7 - Acúmulo de potássio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	38
Figura 2.8 - Acúmulo de cálcio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	39
Figura 2.9 - Acúmulo de magnésio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos	40
Figura 2.10 - Comportamento da matéria seca remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	42
Figura 2.11 - Nitrogênio remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	45
Figura 2.12 - Liberação acumulada de nitrogênio durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	46
Figura 2.13 - Fósforo remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	49

Figura 2.14 - Liberação acumulada de fósforo durante 100 dias de avaliação em função das espécies intercalares e da palhada de milho	50
Figura 2.15 - Potássio remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	52
Figura 2.16 - Liberação acumulada de potássio durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	52

CAPÍTULO II

Figura 3.1 - Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2009	64
Figura 3.2 - Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2010	64
Figura 3.3 - Dados de radiação solar observados durante o período experimental nos anos de 2009 e 2010	65
Figura 3.4 - Rendimento de grãos de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de adubação nitrogenada em dois anos	69
Figura 3.5 - Liberação acumulada de nitrogênio durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho	70
Figura 3.6 - Número de afilhos férteis por metro linear de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de adubação nitrogenada em dois anos	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 2.1 – Atributos químicos do solo na profundidade de 0-10 cm antes da implantação do experimento em dois anos	26
Tabela 2.2 – Resumo da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis matéria seca e relação C/N de cinco espécies outonais e da palhada de milho, em dois anos.....	31
Tabela 2.3 – Resumo da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL), quadrados médio (QM) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de cinco espécies outonais e da palhada de milho como testemunha, em dois anos.....	35
Tabela 2.4 – Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da matéria seca remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de decomposição (Ka e Kb), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2	44
Tabela 2.5 - Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos da nitrogênio remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de decomposição (Ka e Kb), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2	47
Tabela 2.6 - Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos do fósforo remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de decomposição (Ka e Kb), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2	48
Tabela 2.7 - Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos do potássio remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de decomposição (Ka e Kb), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2	51

CAPÍTULO II

Tabela 3.1 – Atributos químicos do solo na profundidade de 0-10 cm antes da implantação do experimento em dois anos	60
Tabela 3.2 – Resumo da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis rendimento de grãos (RG), peso do hectolitro (PH), número de afilhos férteis por metro linear (NAF), número de grãos por espiguetas (NGEt), número de espiguetas por espiga (NEE), peso de mil sementes (PMS) e número de grãos por espiga (NGE) cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio em dois anos ..	66
Tabela 3.3 – Equações de regressão ajustadas para o rendimento de grãos de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio em dois anos	70
Tabela 3.4 - Equações de regressão ajustadas para o número de afilhos férteis por metro linear de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio em dois anos.....	73
Tabela 3.5 – Comparação de médias para as variáveis número de grãos por espiguetas (NGEt), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil sementes (PMS) e peso do hectolitro (PH) para o trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio em dois anos	73
Tabela 3.6 – Comparação de médias para a variável número de espiguetas por espiga (NEE) para o trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio em dois anos	74
Tabela 3.7 – Cálculo da dose de máxima eficiência técnica (MET) e da máxima eficiência econômica (MEE) em kg ha ⁻¹ de nitrogênio, para o trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio em dois anos.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS

MS	matéria seca
N	nitrogênio
P	fósforo
K	potássio
Ca	cálcio
Mg	magnésio
RG	rendimento de grãos
PH	peso do hectolitro
NAF	número de afilhos férteis
NGE	número de grãos por espiga
NGEt	número de grãos por espiguetas
NEE	número de espiguetas por espiga
PMG	peso de mil grãos
MET	máxima eficiência técnica
MEE	máxima eficiência econômica
MSR	matéria seca remanescente
NR	nitrogênio remanescente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	17
1.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO TRIGO	17
1.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS	18
1.3 ESPÉCIES DE COBERTURA	19
1.4 IMPORTÂNCIA DOS NUTRIENTES PARA AS PLANTAS	20
2 CAPÍTULO I - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, RELAÇÃO C/N, ACÚMULO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES POR ESPÉCIES DE COBERTURA INTERCALARES A COLHEITA DO MILHO E SEMEADURA DO TRIGO.....	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.2.1 Caracterização do Local.....	25
2.2.2 Caracterização do solo.....	25
2.2.3 Delineamento Experimental e Tratamentos	26
2.2.4 Avaliação da Produção de Matéria Seca.....	27
2.2.5 Caracterização Química das Espécies Intercalares e Pousio	27
2.2.6 Taxa de Decomposição da Matéria Seca e Liberação de Nutrientes dos Resíduos Vegetais	28
2.2.7 Análise Estatística	28
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
2.3.1 Dados Meteorológicos.....	30
2.3.2 Produção de Matéria Seca e Relação C/N.....	31
2.3.3 Acúmulo de Nutrientes	34
2.3.3.1 Acúmulo de nitrogênio.....	35
2.3.3.2 Acúmulo de fósforo.....	37
2.3.3.3 Acúmulo de potássio	38
2.3.3.4 Acúmulo de cálcio	39
2.3.3.5 Acúmulo de magnésio	39
2.3.4 Decomposição dos Resíduos Culturais das Espécies Intercalares.....	40
2.3.5 Liberação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio dos Resíduos Culturais das Espécies Intercalares	44

2.3.5.1 Liberação de nitrogênio	44
2.3.5.2 Liberação de fósforo.....	47
2.3.5.3 Liberação de potássio	50
2.4 CONCLUSÕES	53
2.5 REFERÊNCIAS.....	53

3 CAPÍTULO II - EFEITO DE ESPÉCIES OUTONAIAS IMPLANTADAS EM SUCESSÃO AO MILHO E DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A CULTURA DO TRIGO

57

3.1 INTRODUÇÃO	57
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3.2.1 Caracterização do Local.....	59
3.2.2 Caracterização do Solo	59
3.2.3 Delineamento Experimental e Tratamentos	60
3.2.4 Taxa de Liberação de Nitrogênio dos Resíduos Vegetais.....	61
3.2.5 Avaliações Efetuadas na Cultura do Trigo	61
3.2.6 Análise Estatística	62
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
3.4 CONCLUSÕES	75
3.5 REFERÊNCIAS.....	75

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

81

5 REFERÊNCIAS (Introdução Geral).....

82

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO TRIGO

O trigo é uma poaceae cultivada no mundo todo, sendo um cereal consumido em larga escala, grande parte em forma de pão. No Brasil, há relatos que o cultivo do trigo tenha se iniciado em 1534, na antiga Capitania de São Vicente. A partir de 1969/70, o trigo expandiu-se para as áreas de solos mais férteis do norte/oeste do Paraná e, em 1979, o estado assumiu a liderança na produção de trigo no Brasil (EMBRAPA SOJA, 2010).

No ano de 2009, a produção mundial de trigo foi de 610,2 milhões de toneladas, com 218,2 milhões de hectares cultivados (USDA, citado por EMBRAPA SOJA, 2010). No Brasil, a área cultivada na safra 2010 foi de 2,1 milhões de hectares, 11,8% menor que a área cultivada na safra 2009 (Figura 1.1), com produção de 5,8 milhões de toneladas (CONAB, 2010).

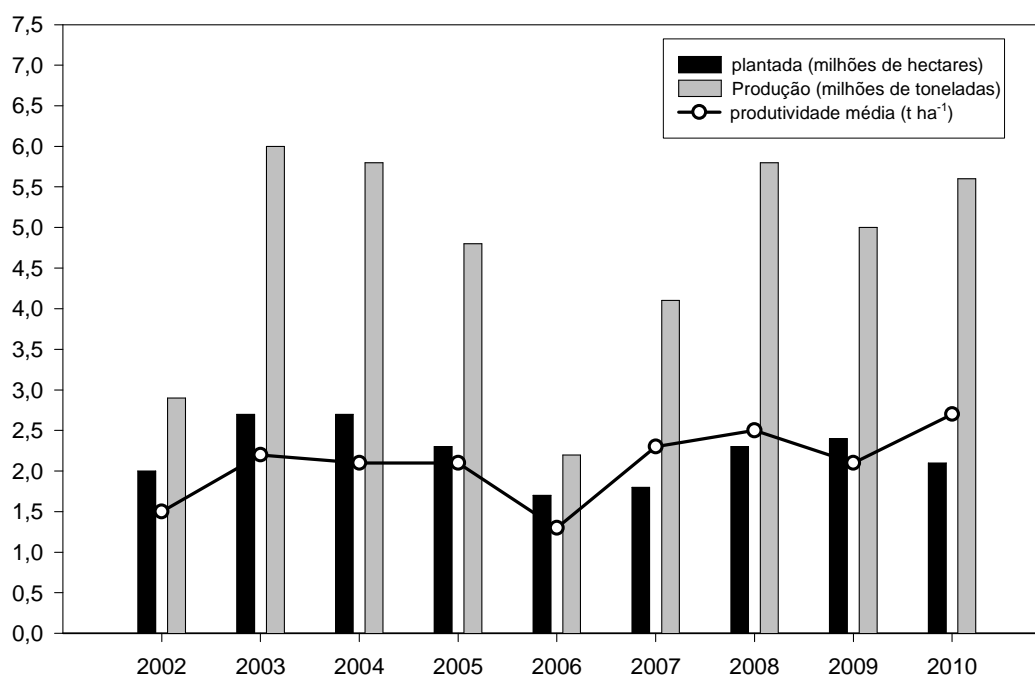


Figura 1.1 – Histórico da área cultivada, produção e da produtividade de trigo no Brasil nas últimas nove safras. Fonte: Companhia Brasileira de Abastecimento (CONAB, 2010).

A viabilização da produção de trigo é de fundamental importância, não só para a rotação de culturas, mas também em relação ao aspecto econômico. Devido aos riscos e ao alto custo de produção que o cultivo do trigo impõe ao produtor, é necessário aprimorar conhecimentos em manejos que possam ser utilizados com o intuito de melhoria na produção e sustentabilidade do sistema (ROSSATO, 2004).

1.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS

A rotação de culturas tem como benefícios a promoção da biodiversidade, o favorecimento ao manejo integrado de pragas, de doenças e de plantas infestantes, a promoção de cobertura permanente do solo, a diversificação e estabilização da produtividade, a racionalização de mão-de-obra e a redução do risco de perdas de renda (RCSBPTT/RCCSBPT, 2006). Neste sentido, o posicionamento do trigo, em uma sequência de cultivos, deve permitir o máximo aproveitamento dos recursos do ambiente, dentro de um plano racional de manejo da área, e maximizar a interação benéfica entre as espécies, no que diz respeito à incorporação de matéria orgânica, estruturação do solo e reciclagem de nutrientes.

Os efeitos promovidos pela adubação verde nas propriedades químicas do solo são bastante variáveis, dependendo de fatores como: a época de semeadura e de manejo da biomassa, a espécie utilizada, tempo de permanência dos resíduos sobre o solo e as condições ambientais locais (NETO et al., 2008). Outra contribuição para a fertilidade do solo é a constante cobertura vegetal na maior parte do ano (GOUVEIA & ALMEIDA, 1997), pois a manutenção da superfície do solo constantemente coberta por resíduos vegetais é o manejo mais recomendado para a proteção e conservação do solo (ALVARENGA, 1995).

Além dos benefícios promovidos pela rotação de culturas, com adubação verde, sobre as propriedades do solo, merece destaque o efeito da rotação sobre as culturas no que tange ao processo antagônico que gera sobre as plantas daninhas, patógenos e insetos, proporcionando benefícios consideráveis para as culturas, além do desenvolvimento biológico que promove (NETO et al., 2008).

1.3 ESPÉCIES DE COBERTURA

Algumas espécies vegetais, com habilidade de fixar e/ou ciclar nutrientes das camadas mais profundas, podem ser utilizadas no período de pousio, entre as culturas do milho e trigo, sendo alternativas para o agricultor melhorar e conservar o solo (KOCHHANN & SELLES, 1991), pois atuam na ciclagem de nutrientes, na manutenção da umidade do solo e na proteção contra a erosão (DERPSCH et al., 1985).

Além disso, a cobertura do solo é de extrema importância para a redução do selamento superficial do solo, ocasionado pelo impacto das gotas de chuva, na redução da velocidade de escoamento da enxurrada e no aumento da infiltração de água (AMADO et al., 2002). Associado a isso, a atividade radicular auxilia na agregação e na atividade dos microrganismos, influenciando em processos como a fixação biológica de nitrogênio, decomposição dos restos culturais e ciclagem e mineralização dos nutrientes (AGOSTINETTO et al., 2000).

Para escolha das espécies a serem utilizadas, é importante observar o tempo de permanência dos restos culturais das plantas de cobertura de solo, o qual é um dos fatores de maior importância no momento de tomar a decisão de qual espécie utilizar para esta finalidade, pois os resíduos vegetais irão atuar na proteção contra a erosão e na fertilidade do solo através da liberação dos nutrientes acumulados, seja por fixação biológica ou ciclagem de nutrientes, em função da decomposição da palhada que se encontra na superfície do solo (SÁ, 2001). Segundo Wolschick (2000) a disponibilidade de sementes e rusticidade de cada espécie, em particular, também deve ser avaliada, antes da tomada de decisão sobre qual espécie utilizar.

Neste sentido, as leguminosas, pela sua capacidade de fixação de nitrogênio, tornam-se alternativas interessantes e atrativas para o cultivo de outono, antecedendo o do trigo. Entretanto, conforme relatou Calegari (2001), o desempenho de cada espécie com a finalidade de cobertura de solo deve ser avaliado para cada particularidade, tanto para condições de solo, condições de clima e situação econômica do agricultor.

As principais espécies estudadas para a finalidade de cobertura de solo e ciclagem de nutrientes no período outono/inverno são a aveia preta, a ervilhaca comum e mais recentemente o nabo forrageiro. Entretanto, outras espécies, tais

como ervilha forrageira e o tremoço também podem ser utilizadas. A ervilhaca comum, a ervilha forrageira e o tremoço pela capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, e o nabo forrageiro, pelo seu potencial de ciclagem de nutrientes do solo, apresentam condições para fornecer nitrogênio e outros nutrientes para os cultivos em sucessão (GIACOMINI et al., 2003).

O feijoeiro comum, em função de seu ciclo precoce (aproximadamente 90 dias), é uma espécie utilizada pelos agricultores em áreas que ficam disponíveis para o cultivo por um curto espaço de tempo, como ocorre na região Sudoeste do Paraná. Nesta região, o feijão é cultivado entre a colheita do milho e a semeadura do trigo, ciclando parte dos nutrientes liberados pela palhada de milho. A produção é utilizada para comercialização industrial ou mesmo para a subsistência de pequenos agricultores.

1.4 IMPORTÂNCIA DOS NUTRIENTES PARA AS PLANTAS

O nitrogênio é requerido pela cultura do trigo em grande quantidade, o qual geralmente não é suprido em quantidade e no estágio fisiológico adequado. Muitas vezes, o suprimento de nitrogênio é prejudicado pela quantidade de palhada remanescente de culturas anteriores, como o milho, o que resulta em maior imobilização de deste nutriente, diminuindo a sua disponibilidade para a cultura sucessora (WENDLING et al., 2007). O nitrogênio, além da elevada importância econômica, principalmente para as culturas não-leguminosas, apresenta importância ambiental significativa, por ser um nutriente facilmente perdido no ambiente, ocasionando contaminação ambiental (WENDLING et al., 2007). Desta forma, seu aporte, via fixação biológica, é de fundamental importância, visando à sustentabilidade do sistema.

O potássio, juntamente com o nitrogênio, é um dos nutrientes mais absorvidos pela cultura do trigo, tornando-se mais importante à medida que a cultura evolui em busca de máxima produtividade (ROSSATO, 2004). O potássio interage com quase todos os outros nutrientes essenciais às plantas, sendo importante para a ativação enzimática, uso eficiente da água, fotossíntese, transporte de açúcares, água e movimento de nutrientes, síntese de proteínas, formação de amido e qualidade da

cultura (POTAFOS, 1996);já o fósforo desempenha função importante na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética.

A relação carbono/nitrogênio governa boa parte dos processos de decomposição, mineralização e disponibilidade de N para as culturas em sucessão (HEINZMANN, 1985). A decomposição de palha sobre o solo é regulada principalmente pela relação C/N do material vegetal. Com isso, a relação C/N é inerente à espécie e reflete a velocidade de decomposição do material vegetal. Quanto a essa característica, as espécies de cobertura de solo podem ser agrupadas em duas classes, uma de decomposição rápida (leguminosas, crucíferas) e a outra de decomposição lenta (gramíneas), sendo bem aceito um valor de relação C/N próximo a 25 para o equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização.

2 CAPITULO I – PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, RELAÇÃO C/N, ACÚMULO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES POR ESPÉCIES DE COBERTURA INTERCALARES AS CULTURAS DO MILHO E DO TRIGO

2.1 INTRODUÇÃO

O cultivo do trigo em sucessão ao milho, na região sudoeste do Paraná, é menos comum quando comparado com a sucessão à soja, em função da elevada relação C/N dos resíduos do milho, o que resulta em demanda de maior adubação nitrogenada. Um esquema de sucessão de culturas, comumente adotado pelos agricultores da região, é a semeadura do feijoeiro, ocupando o espaço compreendido entre a colheita do milho (meados de fevereiro) e a semeadura do trigo (meados de junho). Entretanto, quando o produtor opta por não implantar a cultura do feijoeiro comum, as áreas permanecem em pousio por até 120 dias, até a semeadura do trigo. Nestes casos, o sistema fica vulnerável a processos erosivos, perda de nutrientes e degradação do solo. Tal situação vai contra o que preconiza o sistema de plantio direto, no seu conceito fundamental.

A utilização de espécies que apresentam uma maior relação C/N favorece a proteção do solo por um maior período de tempo, em função da menor velocidade de decomposição, entretanto, o período de imobilização do nitrogênio do solo pelos microrganismos é maior, o que pode prejudicar o desenvolvimento e produtividade da cultura implantada em sucessão por deficiência de nitrogênio (AGOSTINETTO et al., 2000). Quando a cultura implantada em sucessão é uma gramínea, com necessidade de elevadas doses de nitrogênio, a utilização de leguminosas em sucessão, objetivando o fornecimento deste nutriente, é mais indicada, devido a maior disponibilização de nitrogênio para a gramínea cultivada em sequência.

Aita et al. (2000), observaram que a produção de matéria seca de espécies não leguminosas variaram entre 4.000 e 5.000 Kg ha⁻¹, enquanto espécies leguminosas produziram de 3.000 a 5.000 Kg ha⁻¹ de MS. Para a ervilha forrageira, uma leguminosa até então pouco estudada para a finalidade de cobertura de solo, há relatos de produção de MS de 3.490 kg ha⁻¹ (AGOSTINETTO et al., 2000), 2.754

kg ha⁻¹ (AITA et al., 2001) e de 870 kg ha⁻¹ (VOSS et al., 2004). O tremoço, por sua vez, caracteriza-se por apresentar um sistema radicular mais agressivo dentre as leguminosas e há relatos que indicam produção de 5.228 (AITA et al., 2001), 3.200 (ALMEIDA; CÂMARA, 2007) e 3.380 (GOULART et al., 2009) kg ha⁻¹ de MS.

A ervilhaca comum é reconhecidamente uma espécie com baixa produção de MS dentre as leguminosas, podendo alcançar níveis mais elevados quando cultivada em solos com alta fertilidade. Relatos de 2.527 (AITA et al., 2001), 1.808 (GOUVEIA & ALMEIDA, 1997) e de 3.280 (AGOSTINETTO et al., 2000) kg ha⁻¹ de MS comprovam seu potencial e demonstram que a produção de MS depende do ambiente de cultivo. Já para o nabo forrageiro, há relatos de produção de 2.000 a 2.855 kg ha⁻¹ de MS (ALMEIDA; CÂMARA, 2007; VOSS et al., 2004). No entanto, quando cultivado em condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento, apresenta produções que variam entre 3.694 a 5480 kg ha⁻¹ de MS (AGOSTINETTO et al., 2000; GIACOMINI et al. 2003b; LIMA et al. 2007; CASSOL et al., 2010).

O desempenho das plantas de cobertura com relação ao acúmulo de nutrientes no período de outono/inverno tem sido pouco explorado, sendo a implantação restringida, na maioria das vezes, no período de inverno/primavera, antecedendo a implantação da cultura do milho. Desta forma, faz-se necessário avaliar as espécies com relação ao comportamento e adaptação nesta condição, visando maximizar o acúmulo de nutrientes para a cultura do trigo a ser cultivada em sucessão.

As espécies leguminosas, apesar da menor produção de MS (quando comparadas as espécies não leguminosas), acumulam maiores quantidades de N e K (AITA et al., 2000). A ervilhaca comum, dependendo das condições de clima e solo, pode acumular entre 76,7 a 240 kg ha⁻¹ de N e 12 e 65 kg ha⁻¹ de P e K (AITA et al., 2001; GIACOMINI et al., 2003b; ALMEIDA; CÂMARA, 2007). Para a ervilha forrageira, estudos demonstram acúmulo de 69,2 kg ha⁻¹ de N (AITA et al., 2001). O tremoço também demonstra ótimo potencial de acúmulo de N (113,7 kg ha⁻¹), conforme evidenciado por Aita et al. (2001). Também, o nabo forrageiro, uma das espécies mais utilizadas em rotação de culturas, tem demonstrado potencial de acúmulo de 42,8 a 150 kg ha⁻¹ de N (GIACOMINI et al., 2003b; ALMEIDA; CÂMARA, 2007; LIMA et al., 2007 e CASSOL et al., 2010).

Paralelamente ao acúmulo de nutrientes, os adubos verdes devem produzir de MS com relação C/N que proporcione equilíbrio entre a mineralização e

imobilização. O conhecimento da dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos restos culturais de plantas de cobertura é imprescindível para que as espécies de cobertura possam ser cultivadas antecedendo a cultura do trigo, com equilíbrio entre o fornecimento de N e a permanência dos resíduos culturais necessários à proteção do solo (HEINRICHS et al., 2001; AITA & GIACOMINI, 2003).

Para a ervilhaca comum, há relatos de relação C/N de 10,5 (AITA et al., 2001), 13,5 (HEINRICHS et al., 2001) e de 12,8 a 15,8 (GIACOMINI et al., 2003b). Já, a relação C/N da ervilha forrageira pode variar de 13,1 a 22 (DIEKOW et al., 1997; AITA et al., 2001). Para o tremoço (AITA et al., 2001; DIEKOW et al., 1997) e nabo forrageiro (GIACOMINI et al., 2003; LIMA et al., 2007 e CERETTA et al., 2002), outros autores encontraram de 15,4 a 21 e 22,5 a 30, respectivamente, de relação C/N.

A dinâmica da liberação de nitrogênio pode variar, em função da espécie em cultivo e das condições climáticas da região. Agostinetto et al. (2000), observaram que a taxa de decomposição do nabo forrageiro, ervilha forrageira e ervilhaca comum variaram de 0,0023g até 0,070g ao dia. Também, Aita & Giacomini (2003), verificaram que 30 dias após a deposição das bolsas de decomposição no campo, 57% da MS inicial da ervilhaca comum e 75% da MS inicial do nabo forrageiro ainda não haviam sido decompostas e, no caso da ervilhaca comum, constataram que já nos primeiros 15 dias, apenas a metade do nitrogênio ainda permanecia nos resíduos culturais. Quanto à liberação do fósforo e potássio, Giacomini et al. (2003a), constataram que na ervilhaca, menos de 60% do fósforo permaneceu nos resíduos culturais nos primeiros 15 dias, enquanto no nabo forrageiro este valor foi superior a 90%. Tal processo é dependente da relação C/N da espécie vegetal e sujeito a fatores ambientais, tais como: temperatura, radiação solar, pH do solo, disponibilidade de nutrientes, aeração, umidade e composição dos resíduos vegetais (AGOSTINETTO et al., 2000; AITA et al., 2001).

A maior parte dos estudos de liberação de nutrientes é com o nitrogênio e, muito pouco tem sido feito em relação ao fósforo e ao potássio, nutrientes estes indispensáveis ao sistema de produção agrícola.

Desta forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a produção de matéria seca, relação C/N, acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio da ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, nabo forrageiro,

feijoeiro comum, comparadas a palhada de milho, bem como a decomposição e liberação de nutrientes destas espécies, buscando identificar às mais indicadas para serem cultivadas no período intercalar entre a colheita do milho e semeadura do trigo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização do Local

O experimento foi conduzido em uma propriedade particular, no município de Pato Branco-PR, localizada a 26°10'43.0" Sul e 52°38'48.2" Oeste, com altitude próxima de 800 metros, sendo o clima classificado como Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico (MAAK, 1968). A área na qual foi instalado o experimento vem sendo conduzida no sistema de semeadura direta desde 1987.

2.2.2 Caracterização do Solo

O solo onde foi instalado o experimento pertence à unidade de mapeamento LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, textura argilosa, álico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado (BHERING et al., 2008). Anteriormente à instalação do experimento, em ambos os anos, foram realizadas as análises químicas do solo, coletando-se 10 subamostras na profundidade de 0,0 a 10,0 cm. As subamostras foram homogeneizadas e retirou-se 500 gramas de solo, que posteriormente foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/IAPAR, Campus de Pato Branco. As características químicas do solo das áreas encontram-se na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Atributos químicos do solo na profundidade de 0-10 cm antes da implantação do experimento em dois anos. Pato Branco, 2010.

Ano	pH	M.O. ¹	H+Al	Ca	Mg	K	P	Al (%)	V (%)
	CaCl ₂	%	.....cmol _(c) dm ⁻³ .....	.....cmol _(c) dm ⁻³ .....	.....cmol _(c) dm ⁻³ .....	.....cmol _(c) dm ⁻³	mg dm ⁻³%.....%.....
2009	4,9	4,3	7,20	5,62	2,77	0,65	7,83	0,00	55,67
2010	4,8	4,9	6,69	5,08	2,64	0,48	10,77	0,00	55,07

¹ M.O. = matéria orgânica; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; K = potássio; P= fósforo; Al (%) = saturação por alumínio; V (%) = saturação por bases.

2.2.3 Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em três repetições, com os tratamentos dispostos em esquema bifatorial: a) nabo forrageiro, ervilhaca comum, ervilha forrageira (cultivar BRS Forrageira), tremoço e feijoeiro comum (cultivar IAPAR 81), além de uma parcela que permaneceu em pousio, ficando apenas com restos culturais da cultura do milho e, b) anos de avaliação (2009 e 2010).

As espécies intercalares foram implantadas no sistema de plantio direto, sobre resteva da cultura do milho (híbridos DKB 240 e 32R48 em 25/02/2009 e 04/03/2010, respectivamente), com uma semeadora de parcelas experimentais marca Semina/Embrapa. As espécies intercalares foram compostas de 12 linhas com 6 metros de comprimento, espaçadas em 0,20 m, com densidade de semeadura de 15 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro, ervilhaca comum, tremoço e da ervilha forrageira, respectivamente. Para a cultura do feijoeiro foram utilizadas 7 sementes por metro linear e 200 kg ha⁻¹ do fertilizante (N-P-K), fórmula 05-20-20, na base.

2.2.4 Avaliação da Produção de Matéria Seca

Em 13/06/2009 (108 DAS) e 12/06/2010 (100 DAS) procedeu-se à avaliação da matéria seca (MS) da parte aérea, cortando-se aleatoriamente três amostras de 0,25 m² das espécies intercalares e recolhendo-se 0,25 m² da palhada remanescente do milho, na área que permaneceu em pousio. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da UTFPR/IAPAR, onde se procedeu a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante, para ajuste da porcentagem de MS. Para a cultura do feijoeiro, a coleta do material vegetal ocorreu logo após a colheita.

Nos dois anos, no momento da avaliação, a ervilhaca comum encontrava-se em fase de desenvolvimento vegetativo, o tremoço no início do florescimento, a ervilha forrageira em pleno florescimento e o nabo forrageiro no final do florescimento. Posteriormente à coleta, as espécies intercalares foram dessecadas com a aplicação de uma dose de 5 L ha⁻¹ de Glifosato (1800 gramas ha⁻¹ de equivalente ácido).

2.2.5 Caracterização Química das Espécies Intercalares e Pousio

As amostras utilizadas para a determinação de matéria seca das espécies intercalares e pousio foram moídas em um triturador de forragens, subamostradas e novamente moídas e, então, submetidas à análise para determinações das concentrações de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). As concentrações de N, P, K, Ca e Mg dos tratamentos foram determinadas no extrato obtido após a oxidação úmida de 0,2 g de tecido vegetal seco e moído (TEDESCO et al., 1995). Para determinar o teor de C, usou-se o método Walkley Black descrito por Tedesco et al. (1995).

2.2.6 Taxa de Decomposição da Matéria Seca e Liberação de Nutrientes dos Resíduos Vegetais

A avaliação da taxa de decomposição do resíduo vegetal, bem como a taxa de liberação de nutrientes referente à matéria seca, realizada apenas na safra agrícola de 2009, foi implementada através da metodologia do uso de sacos de decomposição ou litter bags. Os litter-bags foram confeccionados com nylon com dimensões de 20x20cm e malha de 2mm. Cada um dos litter-bags recebeu 10 gramas de MS moída e foram alocados nas entrelinhas da cultura do trigo, logo após sua implantação, sendo coletados aos 14, 28, 42, 56, 70 e 100 dias após.

Após a coleta, o material proveniente dos litter bags foi secado em estufa a 60 °C até peso constante. A velocidade de decomposição foi estimada por diferença de peso, ou seja, a porcentagem do material remanescente foi calculada baseando-se na quantidade total (10 g) alocada no início das avaliações, menos a quantidade remanescente ao longo dos períodos de avaliação. Após, o material foi moído em moinho de faca tipo Willey (< 40 mesh) e submetido à caracterização química para estimar a taxa de liberação de nutrientes ao longo do tempo. Após a digestão sulfúrica, o N total foi determinado em destilador de arraste de vapor semi-micro Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995). Após, usando uma amostra da alíquota obtida na digestão, foram determinados os teores totais de P, K, Ca e Mg por fotolorimetria, fotometria de chama e espectrofotometria de absorção atômica (TEDESCO et al., 1995).

2.2.7 Análise Estatística

Foram testadas a homogeneidade e normalidade dos erros do modelo matemático, via testes de Bartlett (STELL et al., 1997) e Lilliefors (CAMPOS, 1983), respectivamente. Como as variâncias foram homogêneas e normais, procedeu-se às análises de variância, sem necessidade de transformação.

Os dados referentes à produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise de variância conjunta, com efeitos fixos e aleatórios para

as espécies intercalares e anos de avaliação, respectivamente. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram implementadas com o aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2001) e os gráficos gerados com o aplicativo SigmaPlot versão 11.0.

As taxas de decomposição da matéria seca (MS) dos resíduos vegetais das plantas e a liberação de nutrientes foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não linear aos valores observados, conforme proposto por Wieder & Lang (1982), através da seguinte equação:

$$\text{MSR} = A e^{-kat} + (100-A) \quad \text{Equação 01}$$

$$\text{MSR} = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt} \quad \text{Equação 02}$$

em que:

MSR: porcentagem de matéria seca remanescente; Ka: constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); Kb: constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A); t: tempo, em dias.

Ambos os modelos consideram que a matéria seca dos resíduos pode ser dividida em dois compartimentos. No modelo assintótico (Equação 01), apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo à matéria seca, é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. No modelo exponencial duplo (Equação 02), a matéria seca e os nutrientes dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, com a primeira fração transformada a taxas mais elevadas (Ka) que a segunda (Kb), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

A escolha do tipo de modelo de cada tratamento foi feita com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2), o qual indica o grau de associação entre o modelo ajustado e os valores observados.

A partir dos valores da constante de decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes de cada compartimento, calculou-se o tempo da meia vida ($t^{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para que 50% da matéria seca daquele compartimento seja decomposta ou 50% dos nutrientes fossem liberados. Para este cálculo utilizou-se a fórmula a seguir, cuja dedução é apresentada em Paul & Clark (1996): $t^{1/2} = 0,693/k_{(a,b)}$.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos de período experimental para os anos de 2009 e 2010 são apresentados nas figuras 2.1 e 2.2. Observou-se que na média dos meses de fevereiro a junho, a precipitação pluvial da safra agrícola de 2010 foi 88% superior em relação a safra agrícola de 2009, fato esse que influenciou o desempenho das espécies avaliadas.

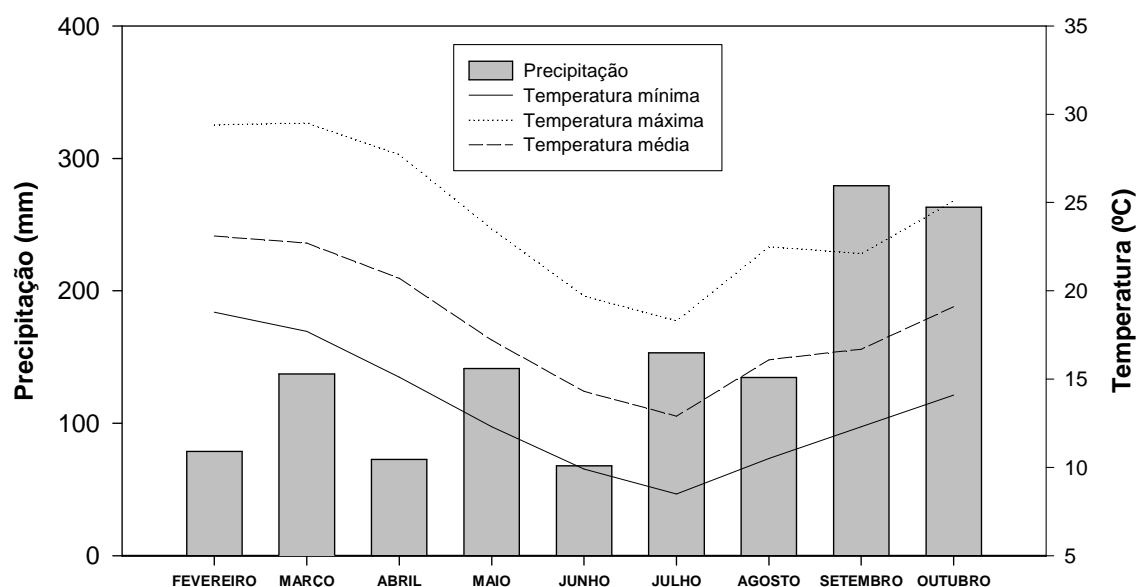


Figura 2.1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2009. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (Comunicação pessoal).

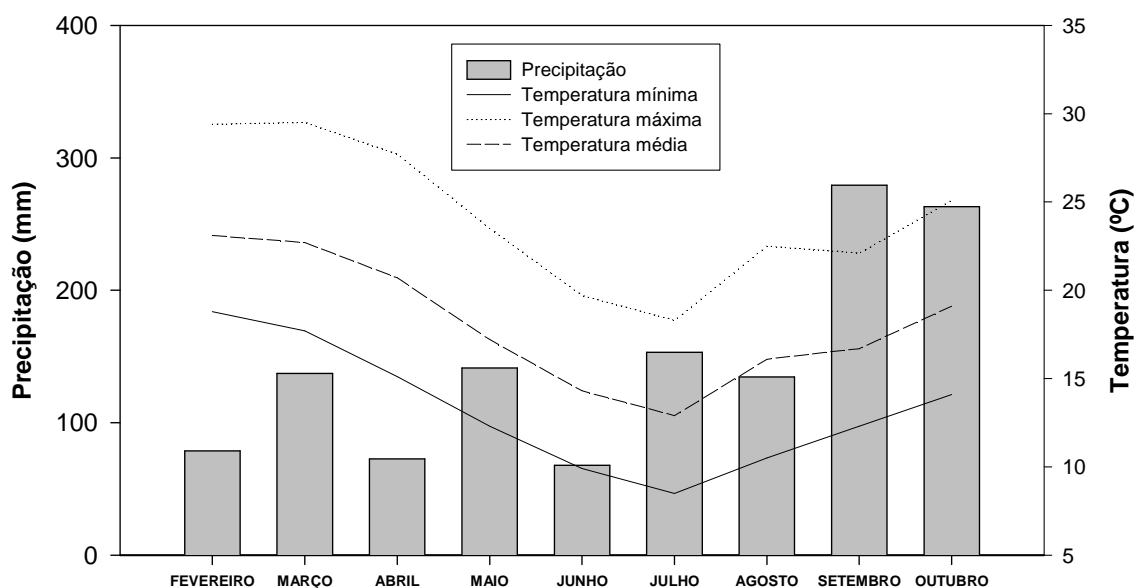


Figura 2.2 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2010. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (Comunicação pessoal).

2.3.2 Produção de Matéria Seca e Relação C/N

A análise conjunta revelou significância, ao nível de 5% de probabilidade de erro, para a interação espécies x anos, para todos os caracteres avaliados (Tabela 2.2), indicando diferenças de desempenho entre as espécies para os parâmetros produção de MS e relação C/N e que a expressão destes foi dependente do ano de avaliação.

Tabela 2.2 – Resumo da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis matéria Seca e relação C/N de cinco espécies outonais e da palhada de milho, em dois anos. Pato Branco-PR, 2010.

Fontes de variação	GL	Matéria Seca	Relação C/N
(B/E)/A	4	215573,19	9,47
Espécies (E)	5	29517968,64*	2561,76*
Anos (A)	1	445333,77*	306,25*
Espécies x Anos (ExA)	5	405125,31*	322,38*
Resíduo (Erro)	20	98801,49	22,57
Total	35		
MÉDIA		4.387,00	29,36
CV (%)		7,10	16,10
Relação maior QME / menor QME		1,01	6,41

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$) pelo teste F.

A produção de MS para as espécies outonais não diferiram estatisticamente entre anos (Figura 2.3), com exceção para o tremoço, que produziu maior quantidade de MS no ano de 2009 (5.762 kg ha⁻¹) em relação a 2010 (4.767 kg ha⁻¹), produções estas 70 e 44 % superiores as relatadas por Almeida; Câmara (2007) e Goulart et al. (2009), respectivamente, entretanto, semelhantes ao que observaram Aita et al. (2001). No ano de 2009 a ervilha forrageira (5.774 kg ha⁻¹) e o tremoço (5.752 kg ha⁻¹) apresentaram as maiores produções de MS dentre as espécies intercalares, não diferindo estatisticamente entre si. Em 2010 o comportamento foi semelhante, no entanto, a produção de MS da ervilha forrageira (5.001 kg ha⁻¹) não diferiu estatisticamente à do tremoço (4.767 kg ha⁻¹) e do nabo forrageiro (4.487 kg ha⁻¹), sendo, entretanto, superior à da ervilhaca comum (2.757 kg ha⁻¹).

Entre as espécies testadas, todas proporcionaram produção de MS (Figura 2.3) em quantidades, na maioria das vezes, superiores as produções observadas em diferentes regiões do país (AITA et al. 2001; AGOSTINETTO et al., 2000; VOSS et al., 2004; ALMEIDA; CÂMARA, 2007; LIMA et al., 2007). O bom resultado pode ser atribuído a excelente adaptabilidade das espécies às condições climáticas da região Sudoeste do Paraná (Figuras 2.1 e 2.2) e a elevada fertilidade do solo e teor de matéria orgânica (Tabela 2.1), onde o experimento foi implantado.

A ervilhaca comum, que no momento do manejo, mesmo não estando em estágio de pleno florescimento (ponto de máximo acúmulo de nutrientes), apresentou produção de MS superior quando comparada a locais onde foi manejada no momento adequado. Neste sentido, Gouveia & Almeida (1997), Aita et al. (2001), Agostinetto et al. (2000) e Heinrichs et al. (2001), que observaram produções de 1.808, 2.527, 3.280 e 2.730 kg ha⁻¹ de MS, respectivamente.

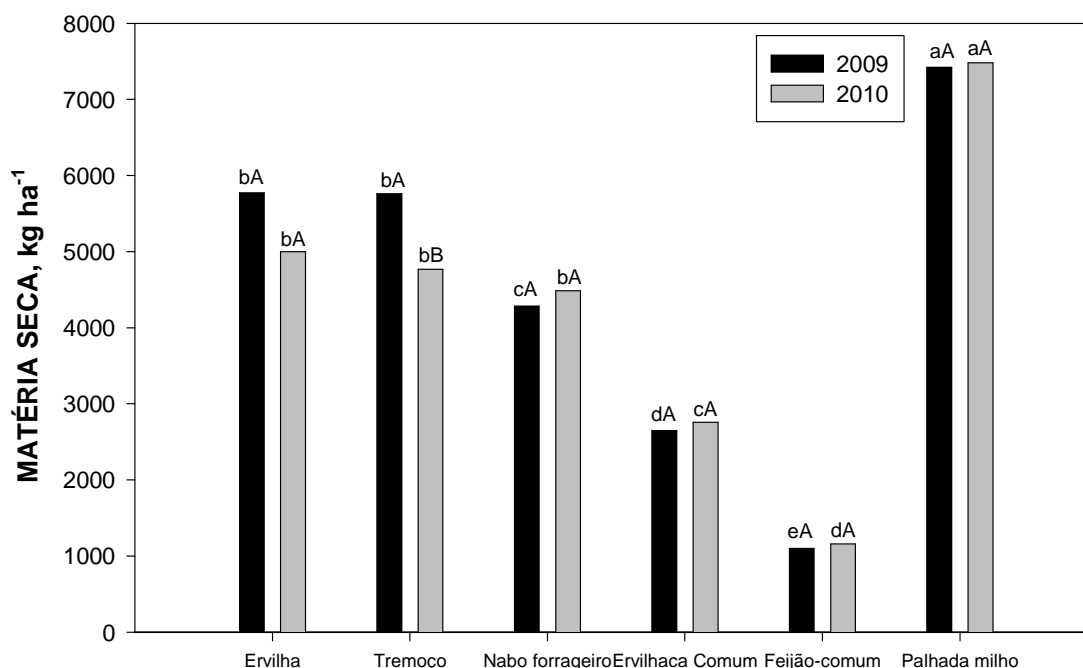


Figura 2.3 - Produção de matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

A relação C/N é inerente à espécie e reflete a velocidade com que a decomposição do material pode se processar e governam boa parte dos processos de decomposição, mineralização e disponibilidade de N para as culturas em sucessão (HEINZMANN, 1985). Duas classes de plantas se destacam: uma de decomposição rápida (leguminosas) e a outra de decomposição lenta (gramíneas), sendo bem aceito um valor de relação C/N próximo a 25, valor que tende a manter equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização.

Neste contexto, a palhada do milho e o feijoeiro, na média de ambos os anos, apresentaram relações C/N de 64 e 44, respectivamente (Figura 2.4), não permitindo manter um equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização do N na palhada, o que pode acarretar um maior período de imobilização de N do solo pelos microorganismos decompositores e prejudicar o desenvolvimento da cultura subsequente pela deficiência deste elemento.

Os valores da relação C/N do nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e tremoço, situados entre 10 e 23, indicam que, nestas espécies, a mineralização tende a ser superior à imobilização, resultando em maior disponibilidade de nitrogênio no solo durante o processo de decomposição dos

restos vegetais, fator este de fundamental importância para a cultura do trigo implantada em sucessão. A diferença da relação C/N da palhada de milho entre os anos pode ser atribuída ao híbrido de milho cultivado no verão, que foram o DKB 240 e o 32R48 em 2009 e 2010, respectivamente. Já, a elevada relação C/N observada para o feijoeiro comum, pode ser devida ter sido determinada posteriormente à colheita dos grãos, momento em que os tecidos se encontravam mais lignificados.

Relatos de relação C/N de 28 a 30 (LIMA et al., 2007 e CERRETA et al., 2002) para o nabo forrageiro, 10 e 13 para a ervilhaca comum (AITA et al., 2001 e HEINRICHS et al. 2001), 15 a 21 para o tremoço (AITA et al., 2001 e DIEKOW et al., 1997) e 13 a 22 (AITA et al., 2001 e DIEKOW et al., 1997) para a ervilha forrageira, confirmam o potencial destas espécies em proporcionar uma maior mineralização do N na palhada.

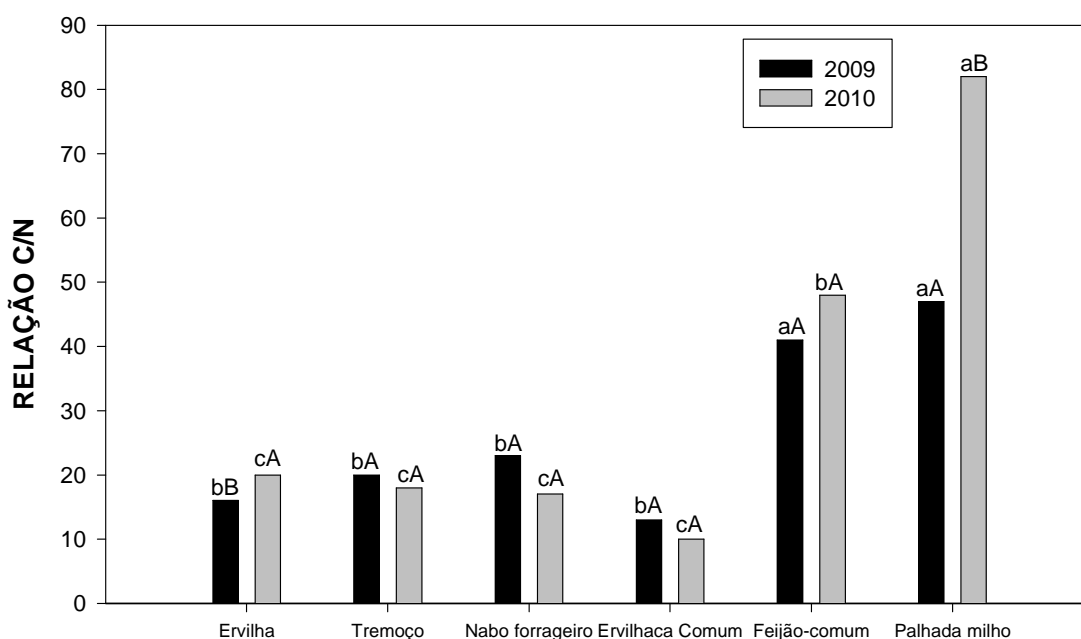


Figura 2.4 - Relação C/N da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.3 Acúmulo de Nutrientes

A análise conjunta revelou significância, ao nível de 5% de probabilidade de erro, para os efeitos principais de espécies (E), anos (A), bem como as interações

(ExA), para todos os caracteres avaliados (Tabela 2), indicando diferenças de desempenho entre as espécies para os parâmetros acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e que a expressão destes foram dependentes do ano de avaliação.

Tabela 2.3 – Resumo da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio de cinco espécies outonais e da palhada de milho como testemunha, em dois anos. Pato Branco-PR, 2010.

Fontes de variação	GL	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
(B/E)/A	4	249,72	6,94	316,94	166,72	5,88
Espécies (E)	5	17494,31*	248,89*	56119,31*	4983,25*	183,78*
Anos (A)	1	10234,69*	10,02*	20640,11*	584,02*	318,02*
Espécies x Anos (ExA)	5	2140,22*	55,69*	3939,57*	810,89*	39,82*
Resíduo (Erro)	20	151,32	4,71	492,31	51,45	2,15
Total	35					
MÉDIA		98,50	13,97	133,38	35,08	7,91
CV (%)		12,40	15,50	16,60	19,20	18,50
Relação maior QME / menor QME		3,94	3,95	1,40	1,62	6,32

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$) pelo teste F.

2.3.3.1 Acúmulo de nitrogênio

Os maiores acúmulos de nitrogênio em 2009 (Figura 2.5) foram observados para a ervilha forrageira (209 kg ha^{-1}) e tremoço (162 kg ha^{-1}), entretanto, estes não diferiram significativamente da ervilhaca comum; o nabo forrageiro apresentou acúmulo intermediário e o menor desempenho foi para observado para o feijoeiro comum. Em 2010 a ervilha forrageira (113 kg ha^{-1}), o tremoço (107 kg ha^{-1}), o nabo forrageiro (103 kg ha^{-1}) e ervilhaca comum (121 kg ha^{-1}) apresentaram os maiores acúmulos de nitrogênio, diferindo significativamente da palhada de milho e do feijoeiro comum.

O bom desempenho da ervilha forrageira deve-se a elevado produção de MS (Figura 2.3) e, quanto ao tremoço, à sua elevada concentração do nutriente (Figura 2.5). Aita et al. (2001), observaram desempenho de 69 e 113 kg ha^{-1} de N para a

ervilha forrageira e tremoço, respectivamente, confirmando a importância destas espécies em esquemas de rotação/sucessão com espécies que demandam altas doses de adubação nitrogenada, tal como a cultura do trigo.

Os resultados obtidos para a ervilhaca comum corroboram com Giacomini et al. (2003b), que relataram acúmulos 76 e 91 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, entretanto, são inferiores ao resultado de 240 kg ha⁻¹ de N, observado por Almeida; Câmara (2007). Quanto ao nabo forrageiro, o acúmulo encontrado foi superior aos observado por Giacomini et al. (2003b) e Almeida; Câmara (2007), que relataram 65 e 42 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, principalmente em função da baixa produção de MS. Entretanto, o potencial da espécie pode ser comprovado com o resultado observado por Lima et al. (2007), que observaram acúmulo de 139 kg ha⁻¹ de N.

Os resultados deste trabalho evidenciam que as espécies avaliadas, cultivadas no outono, intercalares entre a colheita do milho e semeadura do trigo, possuem alta capacidade de incorporação de nitrogênio para o sistema, seja por fixação biológica ou mesmo ciclagem de camadas mais profundas do solo.

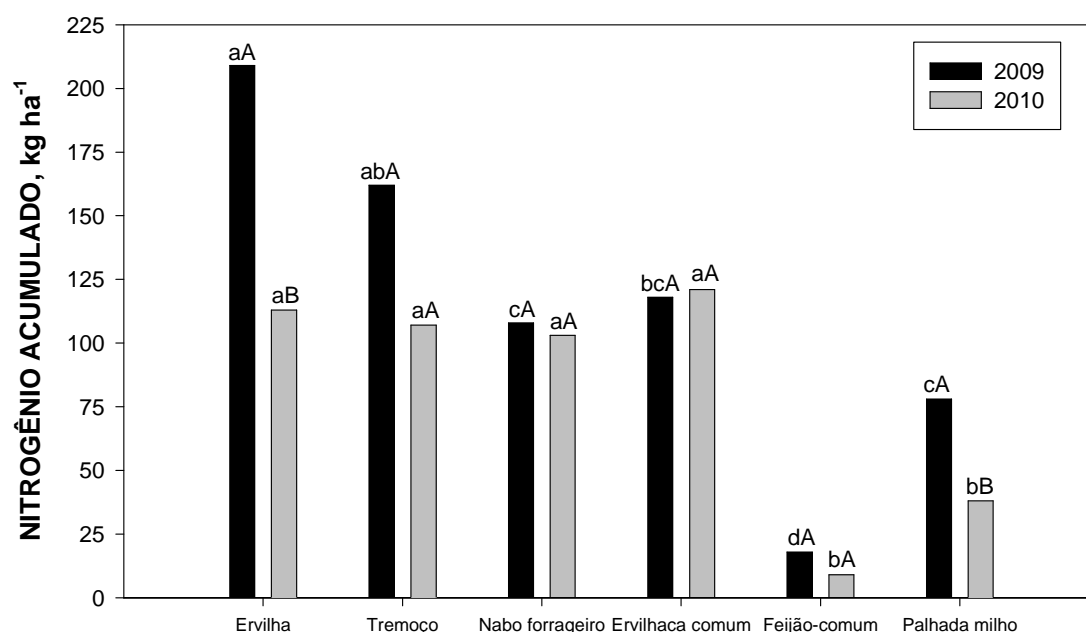


Figura 2.5 – Acúmulo de nitrogênio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.3.2 Acúmulo de fósforo

A ervilha forrageira, o nabo forrageiro e o tremoço acumularam, em 2009, em torno de 20 kg ha⁻¹ de P (Figura 2.6), desempenho este estatisticamente superior as demais espécies. Em 2010, o tremoço e o nabo forrageiro, novamente, foram classificados no grupo de superior desempenho, entretanto, a ervilhaca comum e a ervilha forrageira apresentaram resposta diferencial entre anos. Neste contexto, Giacomini et al. (2003b) observaram acúmulo de 12 e 14 kg ha⁻¹ de P para a ervilhaca comum e nabo forrageiro, respectivamente.

Devido à elevada quantidade de palhada de milho remanescente sobre o solo (Figura 2.3), esta não diferiu estatisticamente em relação à ervilha forrageira, tremoço e nabo forrageiro, quanto ao acúmulo de P, em 2009 (Figura 2.6).

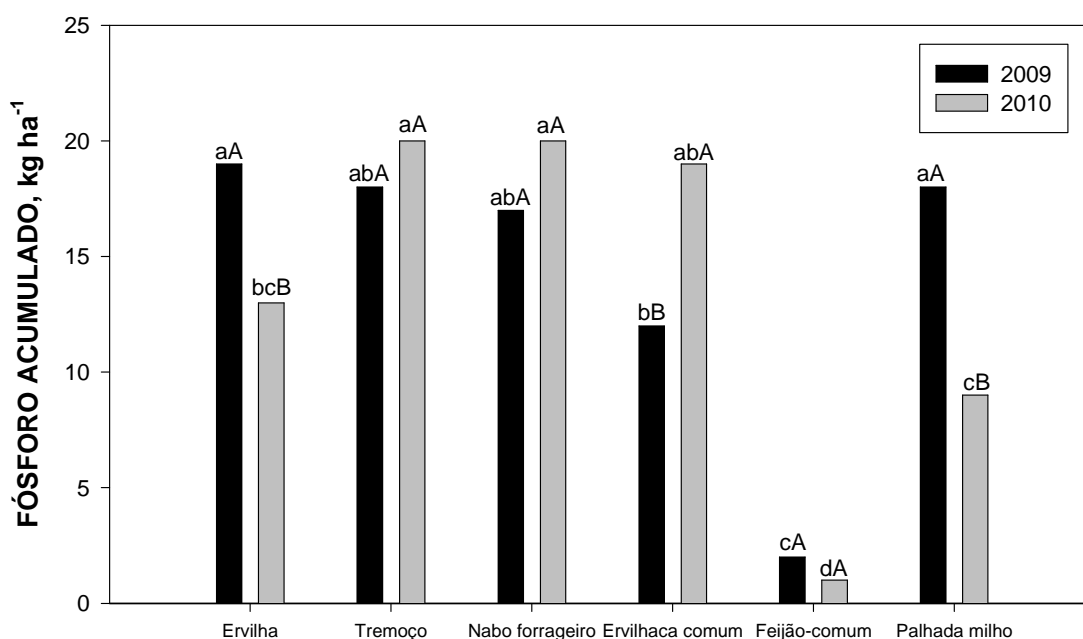


Figura 2.6 – Acúmulo de fósforo na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.3.3 Acúmulo de potássio

O melhor desempenho quanto ao acúmulo de K (277 e 257 kg ha⁻¹ de K em 2009 e 2010, respectivamente), foi para o nabo forrageiro, sendo que, para o ano de 2009, este não diferiu do tremoço, apenas. Embora a ervilha forrageira tenha superado o nabo forrageiro em produção de MS, a quantidade de K acumulado pelo nabo forrageiro foi 27 e 133% em 2009 e 2010, respectivamente. Ao comparar o acúmulo de nutrientes na parte aérea do nabo forrageiro com diferentes espécies de adubos verdes, Lima et al. (2007), destacaram o nabo como cultura recicladora de nutrientes, por apresentar altos teores de P, K, Ca e Mg, resultados estes que corroboram com este experimento.

Ainda, em 2009, a ervilhaca comum apresentou o menor acúmulo de K (132 kg ha⁻¹) e, em 2010 seu acúmulo (138 kg ha⁻¹) não diferiu estatisticamente da ervilha forrageira e do tremoço (Figura 2.7). Em ambos os anos o feijoeiro e a palhada remanescente de milho foram os tratamentos que proporcionaram os menores acúmulos de K. Tal fato pode ser atribuído a baixa produção de MS observada para o feijoeiro (Figura 2.3) e pelo tempo entre a colheita do milho e a coletada da palhada para análise (110 dias e 115 dias para 2009 e 2010, respectivamente).

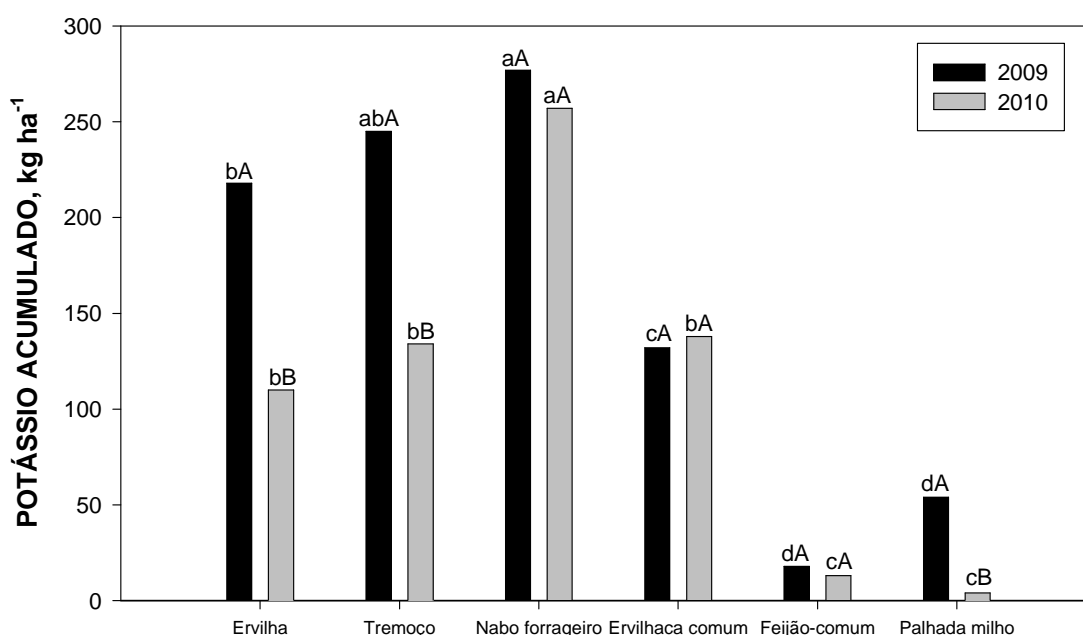


Figura 2.7 – Acúmulo de potássio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.3.4 Acúmulo de cálcio

Em ambos os anos, o nabo forrageiro e tremoço foram às espécies que apresentaram os maiores acúmulos de cálcio (Figura 2.8), sendo que apenas em 2009 este último não diferiu da ervilha forrageira. A ervilhaca comum e o feijoeiro comum não apresentaram um bom desempenho para o acúmulo de cálcio.

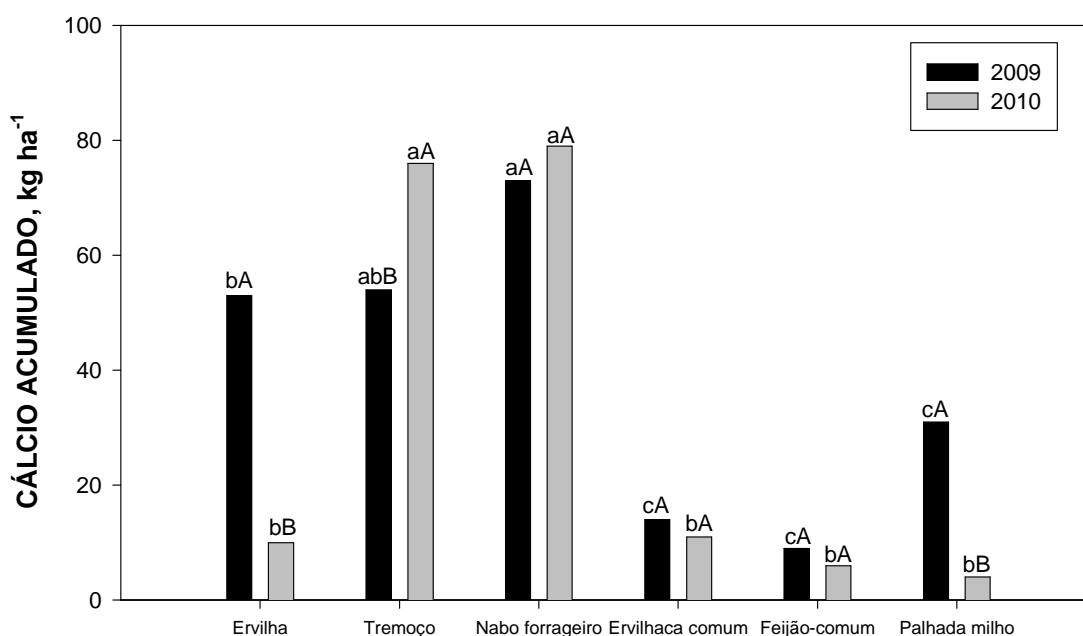


Figura 2.8 – Acúmulo de cálcio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.3.5 Acúmulo de magnésio

Em 2009, os maiores acúmulos de magnésio (Figura 2.9) foram observados para o tremoço, nabo forrageiro e ervilha forrageira, com 20, 18 e 17 kg ha⁻¹ de magnésio, respectivamente. No ano de 2010, essas espécies novamente não diferiram entre si, entretanto, apresentaram desempenho superior aos demais tratamentos.

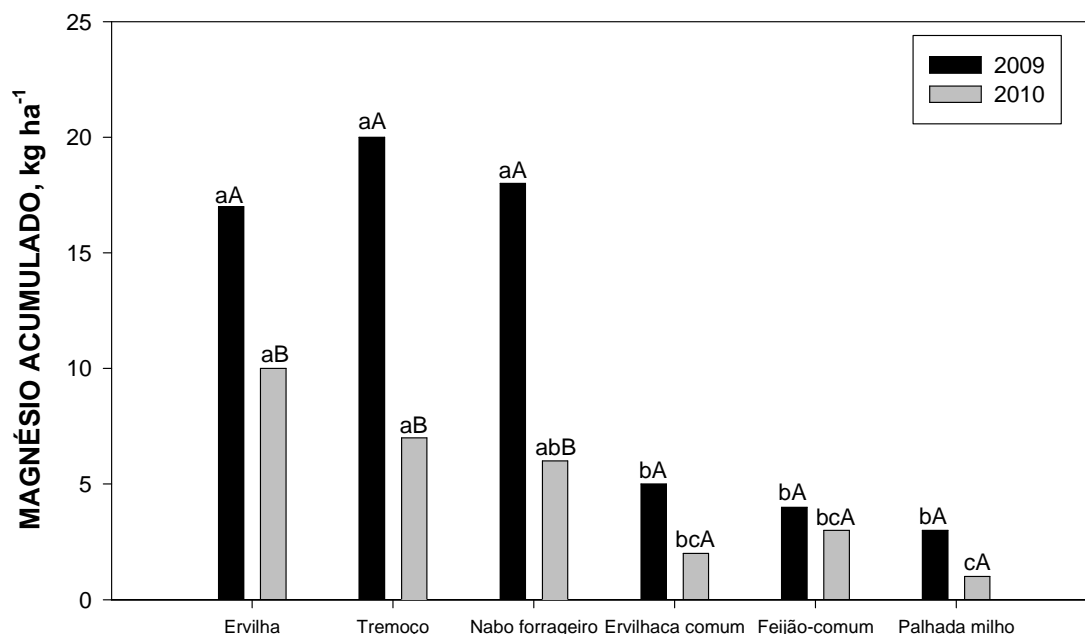


Figura 2.9 – Acúmulo de magnésio na matéria seca da parte aérea de diferentes espécies outonais e palhada de milho em dois anos. Médias seguidas com letras minúsculas no ano e maiúsculas entre anos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.4 Decomposição dos Resíduos Culturais das Espécies Intercalares

A velocidade de decomposição dos resíduos vegetais é de fundamental importância com relação à proteção do solo. A quantificação dos nutrientes presentes e a liberação destes para as culturas implantadas em sucessão servem de parâmetro para se estimar o que está sendo disponibilizado e imobilizando.

Quanto a taxa de decomposição da matéria seca (Figura 2.10), observa-se que os resíduos culturais do milho e feijoeiro-comum apresentam taxa de decomposição mais lenta em relação as demais espécies. Em todos os tratamentos, com exceção a palhada de milho, que apresentou elevada relação C/N, a dinâmica da decomposição foi semelhante, com uma fase inicial rápida, diminuindo no decorrer do tempo. Tal fato está de acordo com Wieder & Lang (1982), os quais relatam que, no início do processo de decomposição, a maior parte dos resíduos vegetais das plantas são compostos de mais fácil decomposição, como açúcares e proteínas, restando para o final o material recalcitrante, de decomposição mais lenta, como celulose, gorduras, tanino e lignina. Segundo eles, com a decomposição ao

decorrer do tempo, a proporção relativa do material recalcitrante aumenta gradativamente enquanto a decomposição geral decresce, ficando a decomposição constante. Provavelmente, isto determinou que a decomposição dos resíduos de ervilha forrageira, tremoço, ervilhaca comum e nabo forrageiro, neste trabalho, tenham sido mais elevados nas avaliações iniciais.

Após 15 dias de alocação a campo dos sacos de decomposição, as taxas de decomposição foram de 39, 32, 28 e 14% para o nabo forrageiro, ervilhaca comum, ervilha forrageira e tremoço, respectivamente e, de apenas 14 e 5% para o feijoeiro comum e milho, respectivamente. As maiores taxas de decomposição nas fases iniciais são reflexos dos compostos mais facilmente decomponíveis, com tendência a serem mais lentos na sequência (HEAL et al., 1997).

Aos 28 dias após a alocação a campo dos sacos de decomposição, verificou-se que 44 e 45% da matéria seca inicial do nabo forrageiro e ervilhaca comum permaneciam na superfície do solo, diferindo de resultados de Aita & Giacomini (2003), que, para o mesmo período, relatam permanência de 75% e 57% da matéria seca inicial, respectivamente. A palhada de milho e o feijoeiro comum foram os tratamentos com a maior taxa de matéria seca remanescente, com 89% e 77% respectivamente. Nesse mesmo período, a ervilha forrageira e o tremoço apresentaram um comportamento intermediário, com 55% e 59% da matéria seca inicial, respectivamente, ainda estavam presentes sobre o solo. A partir do quinquagésimo sexto dia da alocação das bolsas de decomposição, ocorreu uma maior estabilização da taxa de decomposição, com a porcentagem de matéria seca remanescente variando de 37% a 86%, com o maior residual observado para a palhada do milho e o menor para o nabo forrageiro (Figura 2.10).

Aos 100 dias após a alocação das bolsas de decomposição no campo, a ervilhaca comum apresentou a maior decomposição (71%), seguida do nabo forrageiro, tremoço e ervilha forrageira com 70%, 57% e 56%, respectivamente. A maior velocidade da ervilhaca comum pode ser atribuída pelo fato da mesma não ter atingido o florescimento ter apresentado uma menor relação C/N (Figura 2.4); neste estágio os tecidos menos lignificados. Neste período, os tratamentos com maiores teores de matéria seca remanescente foram o feijoeiro comum (65%) e palhada de milho (80%).

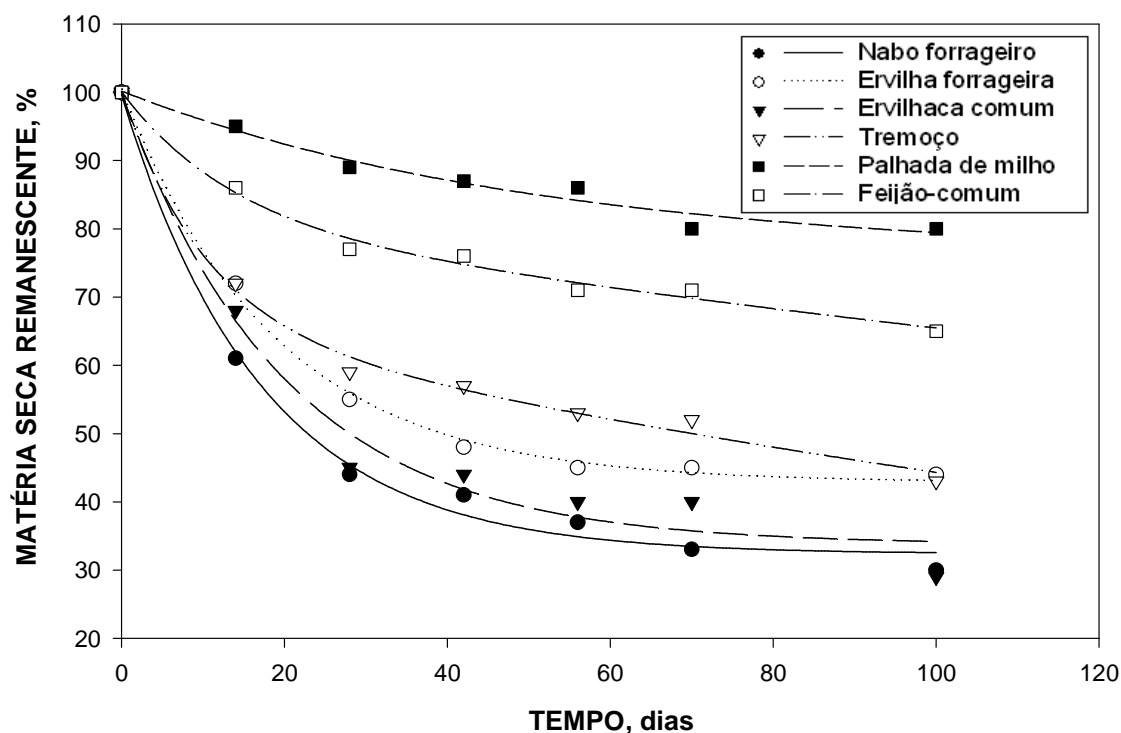


Figura 2.10 – Comportamento da matéria seca remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

Para melhor compreender as taxas de decomposição da matéria seca, faz-se analisar as constantes de decomposição (Tabela 2.4) conforme proposto por Wieder & Lang (1982). O nabo forrageiro, a ervilha forrageira e ervilhaca comum se ajustaram ao modelo exponencial simples (um compartimento). No modelo assintótico (Equação 1), apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo à matéria seca, é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. A matéria seca do segundo compartimento é considerada mais recalcitrante e, por isso, não sofre transformação no período de tempo considerado (WIEDER & LANG, 1982).

Para o tremoço, palhada de milho e feijoeiro, o modelo que melhor se ajustou às taxas de decomposição foi o exponencial duplo (tabela 2.4). As menores velocidades de decomposição observadas para a palhada de milho e do feijoeiro comum podem ser atribuídas, provavelmente, à elevada concentração de lignina, conferindo a esses materiais uma maior resistência a ação e penetração de microrganismos decompositores.

A maior constante de decomposição para o compartimento ka (0,0994761) foi observada no tremoço, onde o compartimento mais facilmente decomponível (A) representou apenas 33,7952% da matéria seca e levou um período de 6,9 dias para decompôr 50% (meia vida). No entanto, o compartimento mais recalcitrante do tremoço apresentou uma constante de decomposição (Kb) de 0,0039582, resultando em uma meia vida de 175,1 dias, caracterizando-se como uma espécie com aptidão para proteger o solo por maior período de tempo contra os processos erosivos.

A espécie que apresentou o maior percentual de matéria seca no compartimento mais facilmente decomponível (A), foi o nabo forrageiro (67,5974%), com uma constante de decomposição de 0,0587033, resultando em uma meia vida de 11,8 dias. Comportamento semelhante foi observado para a ervilhaca comum e ervilha forrageira, as quais levaram 13,7 e 13,6 dias para completar a meia vida do compartimento mais facilmente decomponível, com 66,1145% e 57,5866% respectivamente; assim, estas espécies não são as melhores opções quando se busca proteção ao solo, no entanto, em função da maior velocidade de decomposição, podem ser eficientes no fornecimento de nutrientes ao trigo cultivado em sucessão, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento.

O tratamento que apresentou a menor constante de decomposição ($ka=0,0191534$) foi a palhada de milho, onde o compartimento mais facilmente decomponível representou 23,3134% da matéria seca e levou um período de 36,1 dias para decompôr 50%, porém, o compartimento mais recalcitrante (76,6866%) levou 6.996,5 dias para decompôr 50% da matéria seca. O tremoço foi a melhor alternativa quando se busca maior tempo de permanência dos resíduos culturais sobre a superfície do solo, sendo mais eficiente para a proteção do solo contra processos erosivos.

Tabela 2.4 – Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo, ajustados aos valores medidos da matéria seca remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de decomposição (K_a e K_b), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2 . Pato Branco-PR, 2010.

Tratamentos	A	k_a	k_b	$t^{1/2}$		R^2
				A	(100 - A)	
Material	%	-----dia ⁻¹ -----		-----dias-----		
Nabo forrageiro	67,5974	0,0587033	-	11,8	-	0,8966
Ervilha forrageira	57,5866	0,0508284	-	13,6	-	0,9283
Ervilhaca comum	66,1145	0,050579	-	13,7	-	0,9497
Tremoço	33,7952	0,0994761	0,0039582	6,9	175,1	0,9450
Palhada de milho	23,3134	0,0191534	0,0000990493	36,1	6.996,5	0,7348
Feijoeiro comum	19,3295	0,0782934	0,00202926	8,8	341,5	0,8533

2.3.5 Liberação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio dos Resíduos Culturais das Espécies Intercalares

Para um eficiente fornecimento de nutrientes, é essencial que ocorra sincronia entre o nutriente liberado pelos restos culturais das espécies de cobertura e a demanda da cultura implantada em sucessão (STUTE & POSNER, 1995). Se a liberação e a demanda das culturas não coincidirem, haverá perda de nutrientes por lixiviação (STUTE & POSNER, 1995; LARA CABEZAS et al., 2000).

2.3.5.1 Liberação de nitrogênio

Observou-se que a liberação de nitrogênio seguiu o mesmo modelo da decomposição da matéria seca, com uma liberação mais rápida nos primeiros dias (Figura 2.11). Nos primeiros 14 dias, as maiores liberações de N forma observadas para a ervilhaca comum (51%), ervilha forrageira (39%) e tremoço (38%). Aos 42 dias após a deposição dos sacos de decomposição no solo, 41, 46, 48 e 50% do nitrogênio remanescente ainda estava presente na palhada do feijoeiro comum tremoço, ervilhaca comum e ervilha forrageira, respectivamente. Aita & Giacomini

(2003), observaram que aos 15 dias, 50% do nitrogênio ainda estava presente nos resíduos culturais da ervilhaca comum; para o nabo forrageiro, constataram que aos 40 dias, 75% do nitrogênio ainda estava presente nos resíduos culturais. Para a ervilhaca comum, a liberação de nitrogênio pela foi muito rápida, já nos primeiros dias, que não coincidiu com o estágio de máxima demanda pela cultura. Por outro lado, o forrageiro e da ervilha forrageira apresentaram uma liberação mais gradativa do N.

Aos 28 dias após a deposição dos sacos de decomposição a campo, a ervilha forrageira, o tremoço e a ervilhaca comum contribuíram com 84, 38 e 63 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente, enquanto a palhada de milho contribuiu com apenas 24 kg ha⁻¹; ao final do período de avaliação, aos 100 dias, tais espécies contribuíram com a totalidade de 111, 56, 77 e 34 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Dentre estas, destaca-se o nabo forrageiro que contribuiu com 46 kg ha⁻¹ de nitrogênio aos 28 dias e 71 kg ha⁻¹ de ao final do período (Figura 2.12).

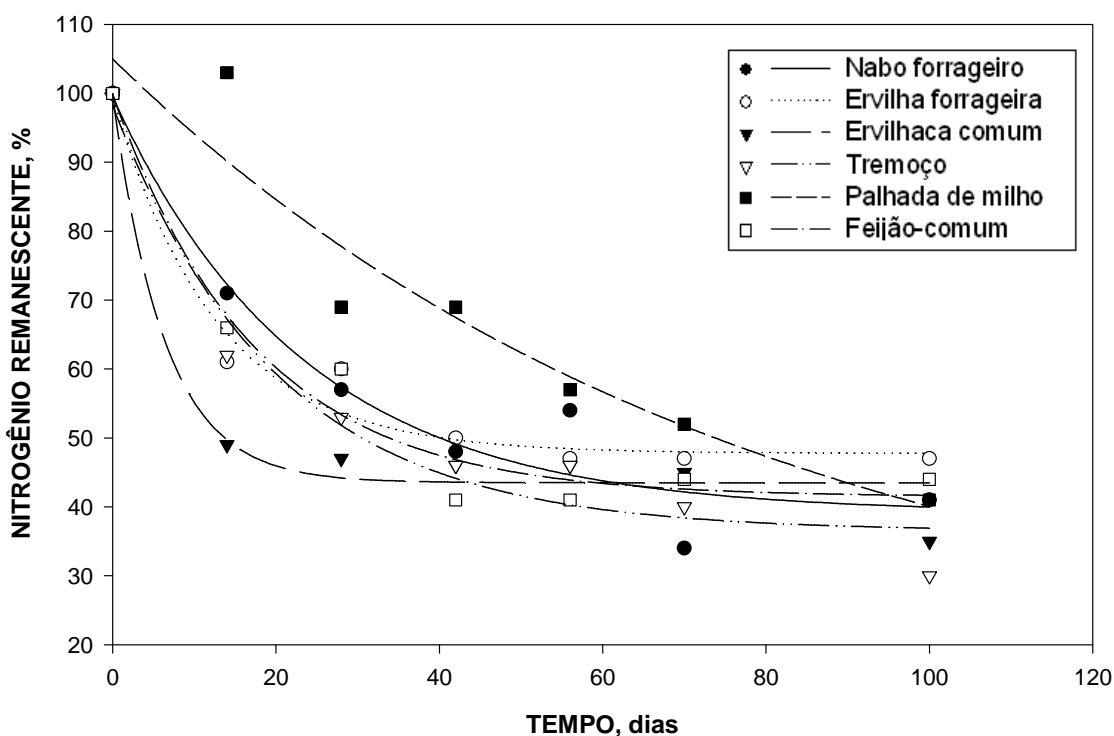


Figura 2.11 – Nitrogênio remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

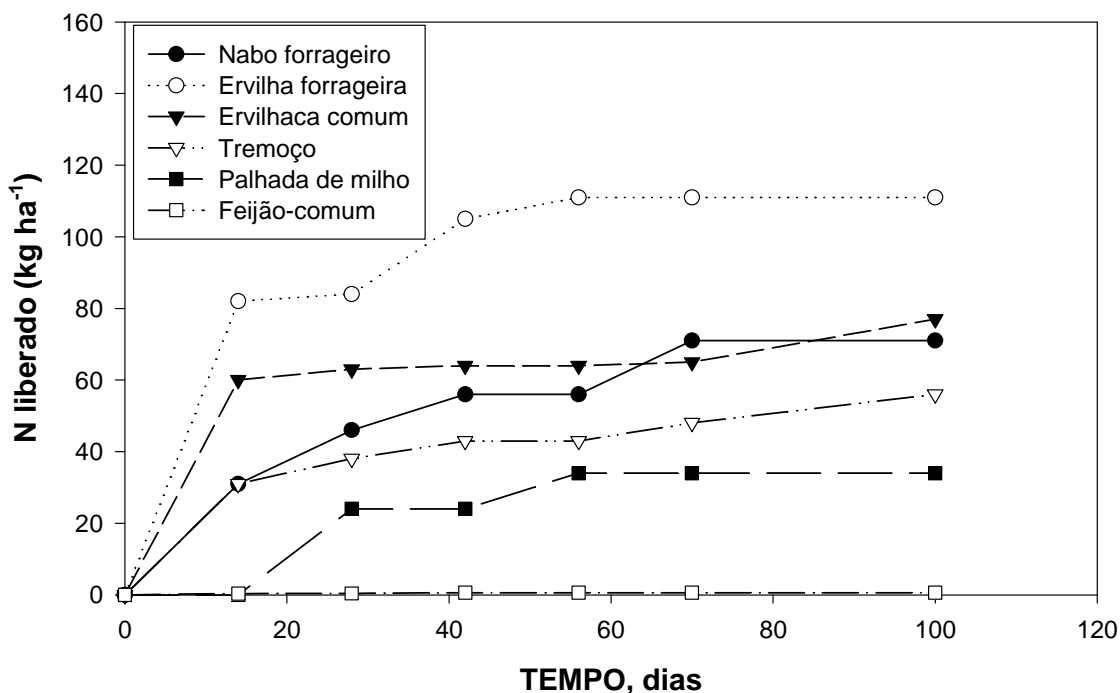


Figura 2.12 – Liberação acumulada de nitrogênio durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

A liberação de nitrogênio do nabo forrageiro, ervilha forrageira e ervilhaca comum se ajustaram ao modelo assintótico simples. Para o tremoço, palhada de milho e o feijoeiro comum, foi selecionado o modelo duplo (Tabela 2.5), indicando que apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo ao nitrogênio, foi transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo, a uma taxa constante. O nitrogênio do segundo compartimento é considerado mais recalcitrante e, por isso, este não sofreu transformação no período de tempo considerado.

A quantidade de nitrogênio presente no compartimento mais prontamente decomponível foi superior na palhada de milho, com uma constante $ka=0,00972571$ e meia vida de 90,3 dias. Dentre as espécies testadas, a maior constante de decomposição ka foi observada para o tremoço com 0,180876, com meia vida de 3,8 dias para o compartimento A; o compartimento mais recalcitrante do tremoço apresentou uma meia vida para a liberação de nitrogênio de 94,6 dias. O nabo forrageiro apresentou a menor velocidade de liberação do nitrogênio ($ka=0,0170653$), levando 40,6 dias para liberar 50% do nitrogênio presente na MS, o que é desejável para a dinâmica de fornecimento deste nutriente a cultura cultivada em sucessão.

A ervilhaca comum apresentou 56,5% do nitrogênio presente no compartimento mais facilmente decomponível e uma constante de liberação $k_a=0,15135$, demonstrando ter boa capacidade de fornecimento de nitrogênio, no entanto, a cultura do trigo deveria ser implantada logo após seu manejo, pois seus resíduos levaram apenas 4,5 dias para liberar 50% do nitrogênio total.

Tabela 2.5 – Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos de nitrogênio remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de liberação (K_a e K_b), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2 . Pato Branco-PR, 2010.

Tratamentos	A	k_a	k_b	$t^{1/2}$		R^2
				A	(100 - A)	
Material	%	-----dia ⁻¹ -----		-----dias-----		
Nabo forrageiro	61,1115	0,0170653	-	40,6	-	0,63
Ervilha forrageira	36,2688	0,0275213	-	25,1	-	0,3184
Ervilhaca comum	56,5017	0,15135	-	4,5	-	0,858
Tremoço	34,82	0,180876	0,0073267	3,8	94,6	0,8845
Palhada de milho	79,46	0,00972571	0,00766856	71,2	90,3	0,4254
Feijoeiro comum	68,56	0,0458132	0,00313659	15,1	220,9	0,4348

2.3.5.2 Liberação de fósforo

A liberação do fósforo da matéria seca remanescente do nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e tremoço se ajustaram ao modelo simples e os a palhada de milho e feijoeiro comum se ajustaram ao modelo duplo (Tabela 2.6), indicando que apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo ao fósforo, foi transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. O fósforo do segundo compartimento é considerado mais recalcitrante e, por isso, não sofreu transformação no período de tempo considerado.

Tabela 2.6 – Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos de fósforo remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de liberação (K_a e K_b), tempo de meia vida ($t^{1/2}$) de cada compartimento e valores de R^2 . Pato Branco-PR, 2010.

Tratamentos	A	k_a	k_b	$t^{1/2}$		R^2
				A	(100 - A)	
Material	%	-----dia ⁻¹ -----		-----dias-----		
Nabo forrageiro	39,3314	0,0213214	-	32,5	-	0,6652
Ervilha forrageira	40,6015	0,0203482	-	34	-	0,4420
Ervilhaca comum	33,1178	0,0123242	-	56,2	-	0,4704
Tremoço	75,4756	0,0102508	-	67,6	-	0,7508
Palhada de milho	32,7425	0,006765	0,001475	102,4	469,8	0,7510
Feijoeiro comum	40,4121	0,216093	0,00282626	3,2	245,2	0,8036

A palhada de milho foi o tratamento que apresentou a menor quantidade de fósforo na porção mais prontamente decomponível (32,7425%), levando aproximadamente 102 dias para liberar 50% do nutriente. Para o tremoço, a maior parte do fósforo esteve no compartimento mais prontamente decomponível, com uma meia vida de 67 dias. O feijoeiro comum apresentou o maior coeficiente de decomposição para o compartimento mais facilmente decomponível, com $k_a=0,216093$, sendo necessário apenas 3,2 dias para liberar 50% para o sistema.

O coeficiente de decomposição k_a observado para a ervilhaca comum e nabo forrageiro foi de 0,0123242 e 0,0213214, respectivamente; para estas espécies, Giacomini et al. (2003), relataram coeficiente de 0,04252 e 0,01355, respectivamente. De maneira geral, a liberação do fósforo foi mais lenta comparando-se ao nitrogênio, sendo que, para a maioria dos tratamentos, aos 56 dias após a deposição dos sacos de decomposição a campo, apenas o feijoeiro comum havia liberado mais de 50% do fósforo.

A ervilhaca comum, que apresentou uma liberação rápida do N, não demonstrou o mesmo comportamento com relação ao fósforo, pois, aos 28 dias ainda restavam 89% do fósforo nos resíduos culturais, resultados que discordam dos obtidos por Giacomini et al. (2003a), onde constataram que aos 29 dias o fósforo remanescente era apenas 40%, em relação a quantidade inicial. O nabo forrageiro, ao final do período de avaliação, constava com 81% do fósforo inicial (Figura 2.13), discordando dos autores anteriormente citados, onde, aos 112 dias, observaram que 40% do fósforo ainda permanecia nos restos culturais.

A maior quantidade de fósforo liberada foi observada na palhada de milho, chegando ao final do período com uma liberação total de 11 kg ha⁻¹. Dentre as espécies utilizadas para cobertura e adubação verde, o maior acúmulo foi verificado para a ervilha forrageira e o tremoço, ambas acumulando 8 kg ha⁻¹ de P, ao final dos 100 dias de avaliação (Figura 2.14).

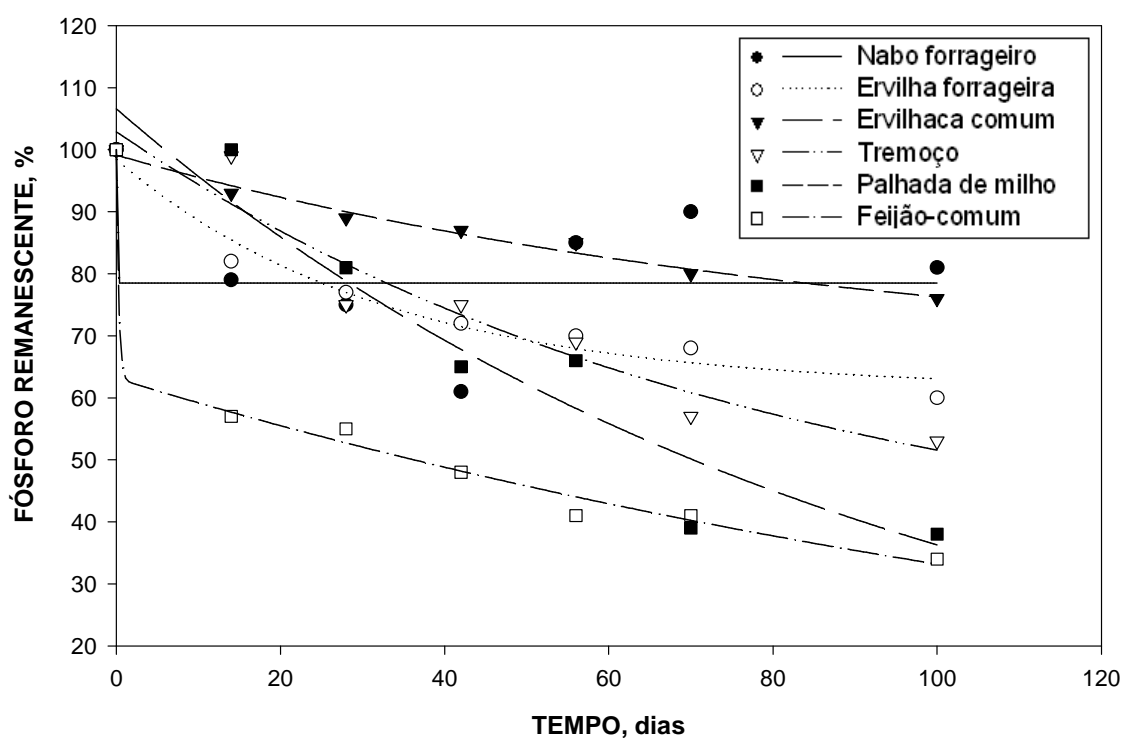


Figura 2.13 – Fósforo remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

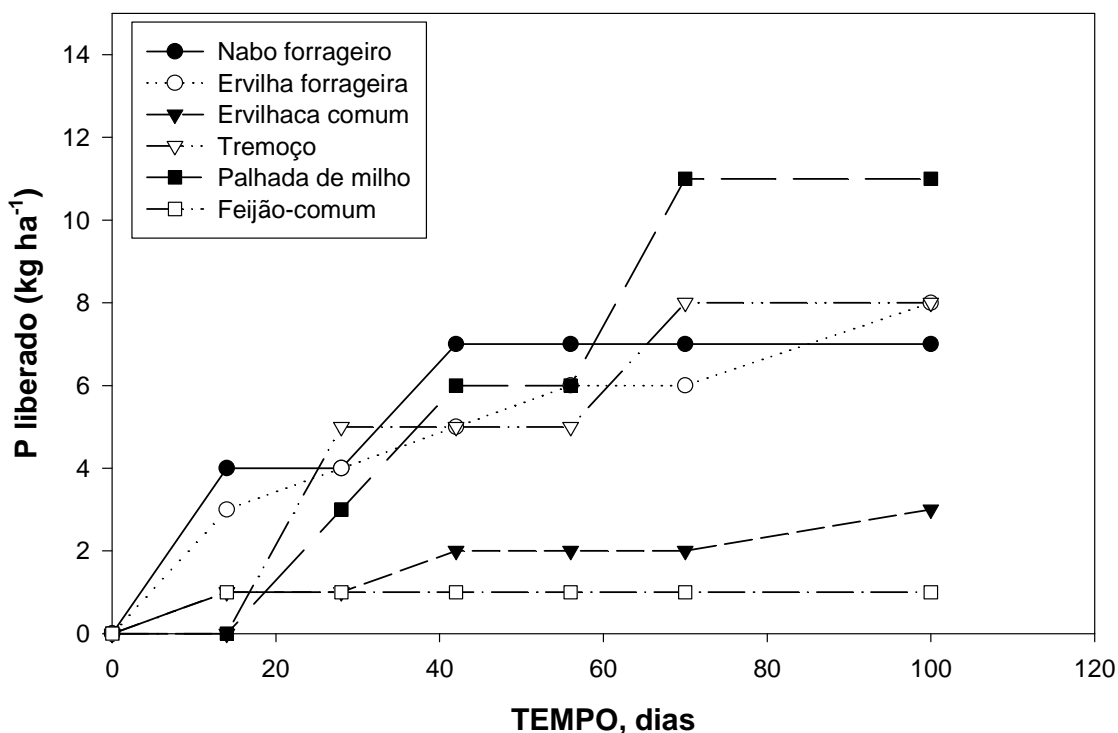


Figura 2.14 – Liberação acumulada de Fósforo durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

2.3.5.3 Liberação de potássio

Para todos os tratamentos, ocorreu uma rápida liberação inicial de potássio seguida de uma mais lenta. Apenas a palhada de milho demonstrou liberação mais lenta. Todos os tratamentos ajustaram-se ao modelo assintótico simples (Tabela 2.7). O tremoço apresentou a maior quantidade de potássio na porção mais prontamente decomponível (95,1046%), com uma meia vida de 3,5 dias. O nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e o tremoço apresentaram mais de 90% do potássio na fração mais prontamente decomponível e com meia vida inferior a 07 dias.

O potássio foi rapidamente liberado dos resíduos culturais (Figura 2.15). Na primeira amostragem, realizada aos 14 dias, cerca de 20, 14, 26 e 10% do potássio, nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilha comum e tremoço permaneciam nos resíduos culturais. Tais resultados corroboram com Giacomini et al. (2003a), onde aos 15 dias, observaram que 10 e 15% permaneciam nos resíduos culturais da

ervilhaca comum e do nabo forrageiro, respectivamente. A rápida liberação do potássio pode ser atribuída em função ser um elemento que não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal, pois, de acordo com Meurer & Inda (2004), é um elemento que apresenta alta mobilidade na planta, tanto entre tecidos como entre células. Por isso, sendo móvel entre membranas e tecidos, é compreensível que seja lixiviado dos tecidos mortos das plantas.

Os maiores valores de liberação de potássio foram observados para o nabo forrageiro (266 kg ha⁻¹) ao final dos 100 dias. O tremoço também demonstrou potencial para ciclagem de potássio, com uma liberação total de 243 kg ha⁻¹. A ervilhaca comum, apesar da menor produção de matéria seca, liberou 123 kg ha⁻¹ de potássio. O feijoeiro comum e palhada de milho apresentaram as menores liberações de potássio, com 17 e 51 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2.16). Estes resultados indicam o nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e o tremoço como espécies promissoras em ciclar potássio para o sistema, na região de Pato Branco-PR, no período de outono/inverno.

Tabela 2.7 - Parâmetros do modelo exponencial simples e duplo ajustados aos valores medidos de potássio remanescente de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum, tremoço, palhada de milho e feijoeiro comum, constantes de liberação (K_a e K_b), tempo de meia vida (t^{1/2}) de cada compartimento e valores de R². Pato Branco-PR, 2010.

Tratamentos	A	k _a	k _b	t ^{1/2}		R ²
				A	(100 - A)	
Material	%	-----dia ⁻¹ -----		-----dias-----		
Nabo forrageiro	94,2203	0,132818	-	5,2	-	0,9951
Ervilha forrageira	91,373	0,192944	-	3,6	-	0,9942
Ervilhaca comum	93,2143	0,114192	-	6,1	-	0,9975
Tremoço	95,1046	0,194931	-	3,5	-	0,9914
Palhada de milho	87,9749	0,0274817	-	25,2	-	0,665
Feijoeiro comum	82,8515	0,156133	-	4,4	-	0,9506

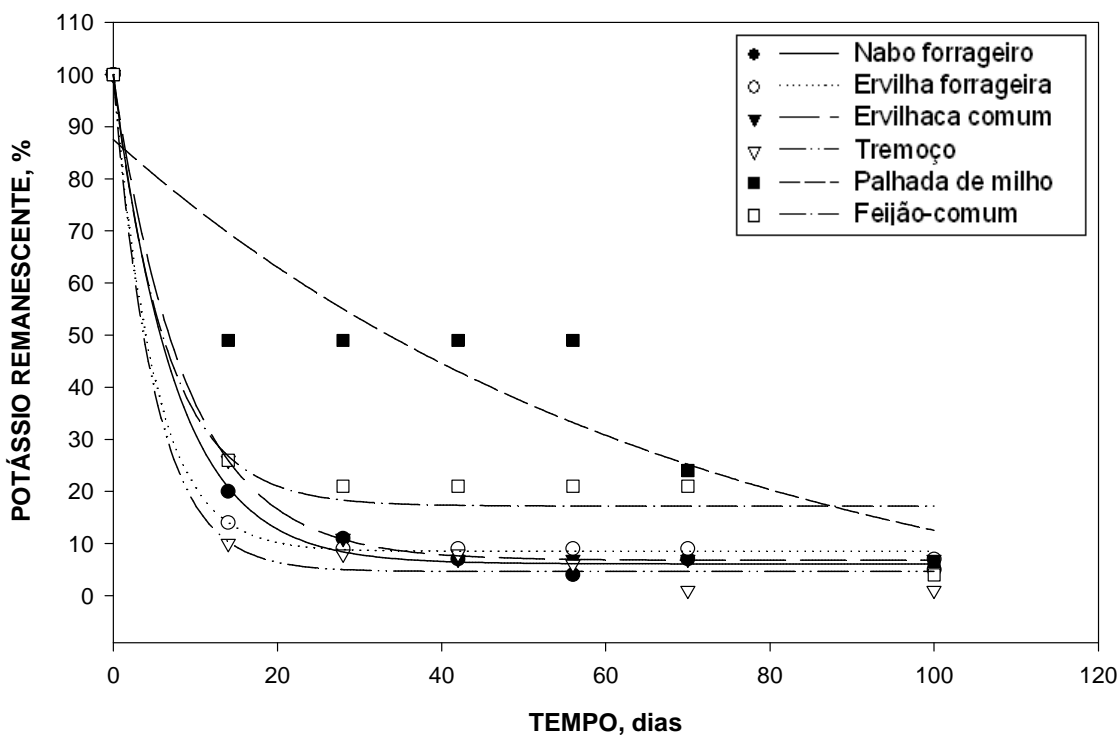


Figura 2.15 – Potássio remanescente durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

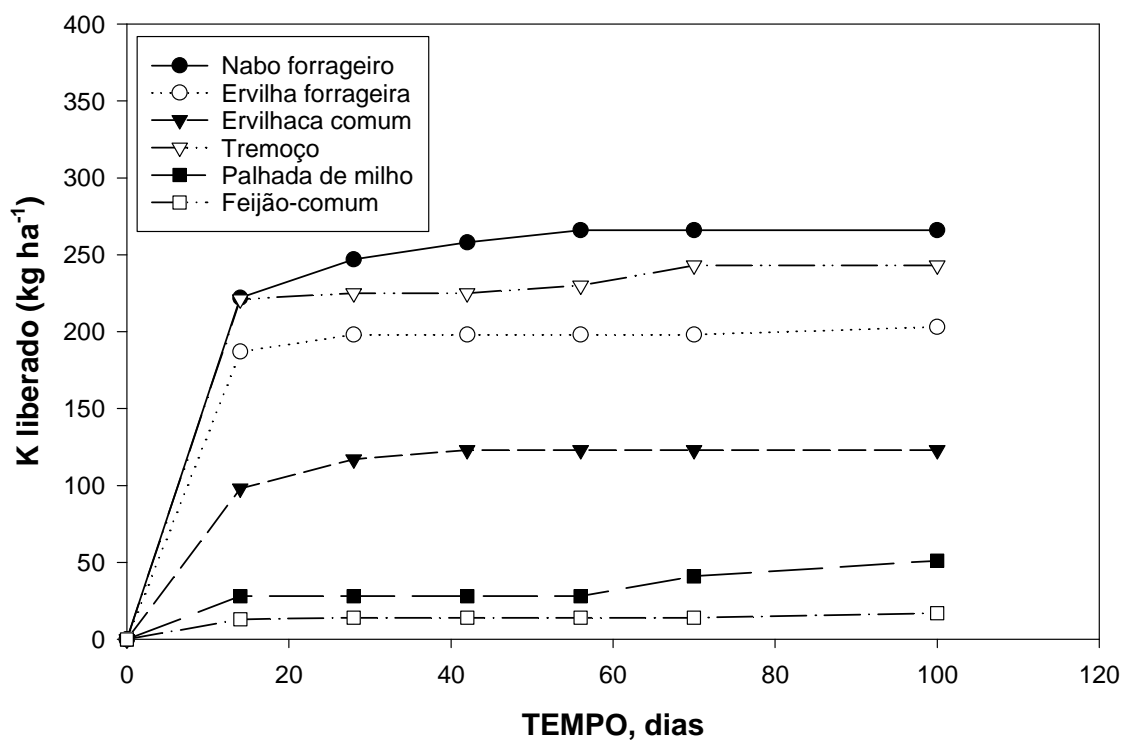


Figura 2.16 – Liberação acumulada de potássio durante 100 dias de avaliação em função das espécies outonais e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

2.4 CONCLUSÕES

1. O cultivo da ervilha forrageira, tremoço ou nabo forrageiro, cultivados no período intercalar à colheita do milho e a semeadura do trigo, produzem maiores quantidades de matéria seca.
2. A palhada de milho e o feijoeiro comum apresentaram as maiores relações C/N, enquanto para o nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e tremoço a mineralização é superior a imobilização.
3. A ervilha forrageira, tremoço, nabo forrageiro e ervilhaca comum acumulam quantidades superiores a 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.
4. O nabo forrageiro e o tremoço são as espécies indicadas para o cultivo no período intercalar a colheita do milho e semeadura do trigo visando à ciclagem de potássio.
5. A ervilha forrageira, ervilhaca comum e o nabo forrageiro são as espécies mais indicadas para o cultivo entre a colheita do milho e a semeadura do trigo, em função da liberação de nitrogênio para a cultura do trigo em estádios fenológicos de maior demanda deste nutriente.

2.5 REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; FERREIRA, F.B.; STOCH, G.; FERNANDES, F.F.; PINTO, J.J.O. Adaptação de espécies para cobertura de solo no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, 6: 47-52, 2000.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O.C. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 25: 157-165, 2001.

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

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; VENDRUSCOLO, E.R.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; CUBILLA, M.M.; FRIES, M.R. Leguminosas de verão como culturas intercalares ao milho e sua influência sobre a associação de aveia (*Avena strigosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa* L.). In: **XVII Congresso Argentino de la ciência del suelo**, 2000, Mar Del Plata. Mar Del Plata, 2000.

ALMEIDA, K. de; CÂMARA, F.L.A. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em espécies de adubos verdes de inverno. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2: 1224-1227, 2007.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. DOS; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C. da S.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR. 2008. 74p.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4ª ed. Piracicaba, Departamento de Matemática e estatística – ESALQ, 1983. 349p.

CASSOL, L.C.; SILVA, L.H.R. da; BORTOLINI, D; ROCHA, K.F. Utilização do nabo forrageiro e da aveia preta intercalares ao cultivo do milho e do trigo no sudoeste do Paraná. In: **XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. da. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, 32: 49-54, 2002.

CRUZ, C. D. **Programa GENES**: versão windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

DIEKOW, J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; MARCOLAN, A.L. Influência da relação C/N de plantas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no rendimento de grãos de milho. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 1997, Rio de Janeiro – Rj. **Resumo e Anais**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. p.212.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HÜBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. do. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.38, n.9: 1097-1104, 2003a.

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 Ciência do Solo**, 27: 325-334, 2003b.

GOULART, P.; CAMPOS, S.; BASTIANI, M.; FONTANETTI, A.; MOREIRA, G.; PEREIRA, L. Desempenho da biomassa das plantas de cobertura de inverno na supressão de plantas espontâneas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2: 139-143, 2009.

GOUVEIA, R.F.; ALMEIDA, D.L. de. **Avaliação das características agronômicas de sete adubos verdes de inverno no município de Paty do Alferes (RJ)**. Comunicado técnico, EMBRAPA, n. 20, 1997, p.7.

HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (Eds). **Driven by nature: Plant litter quality and decomposition**. 1997, CAB International, Wallingford, UK, p.3-30, 1997.

HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 25: 331-340, 2001.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20: 1021-1030, 1985.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 24: 363-376, 2000.

LIMA, J.D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R.K.; SOLIMAN, E.P.; MORAES, W.S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 37(1): 60-63, 2007.

MEURER, E.J.; INDA JUNIOR, A. V.. **Potássio e adubos potássicos**. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARCO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre. Gênese, 2004. p. 139-152.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. California: Academic Press, 340p. 1996.

STELL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill Book, 1997. 666p.

STUTE, J.K.; POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. **Agronomic Journal**, 87: 1063-1069, 1995.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2^a ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

VOSS, M.; TOMM, G.O.; SANTOS, H.P. dos; WIETHÖLTER, S. **Ervilha forrageira como adubo verde para o trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 5 p. HTML (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico On-line, 139).

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

3 CAPÍTULO II – EFEITO DE ESPÉCIES OUTONAIAS IMPLANTADAS EM SUCESSÃO AO MILHO E DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A CULTURA DO TRIGO

3.1 INTRODUÇÃO

A falta de políticas agrícolas de preços mínimos, e o manejo inadequado, contribuem para as baixas produtividades da cultura do trigo no Brasil, com valores próximos a 2.700 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010). Assim, o estabelecimento de práticas que otimizem os insumos aplicados, pode contribuir para aumentar a produtividade nas lavouras de trigo, no Brasil.

Na região Sudoeste do Paraná, apesar de menos comum, o triticultor opta por implantar a lavoura em sucessão a cultura do milho, sendo, neste caso, o suprimento de nitrogênio prejudicado pela quantidade de palhada remanescente, que resulta em maior imobilização de nitrogênio (WENDLING et al., 2007). Neste contexto, nas regiões I e II tritícolas, que compõem a micro-região de Pato Branco, Segundo Ignaczak et al. (2006), apenas 38% dos produtores fazem uso de mais de 200 kg ha⁻¹ de fertilizantes (NPK) na adubação de base e, aproximadamente, 50% dos produtores não realizam nenhum tipo de adubação nitrogenada de cobertura, principalmente devido ao seu custo.

O impacto dos fertilizantes nitrogenados sobre o custo de produção e alta demanda em N pelo trigo, que pode responder até 156 kg ha⁻¹ (HEINEMANN et al., 2006), aliada a necessidade de proteger o solo da erosão durante o período outonal, justificam a necessidade de cultivo de espécies de adubos verdes que forneçam nutrientes prontamente disponíveis para a cultura do trigo. Isto evidencia a necessidade de ampliar os estudos com o cultivo de plantas de cobertura no período outonal, intercalares ao cultivo de verão e semeadura do trigo.

Em função da fixação e/ou reciclagem de nutrientes, especialmente o nitrogênio, diferentes espécies de cobertura têm sido identificadas com potencial para serem cultivadas, antecedendo a cultura do trigo. Para a ervilhaca comum, relatos confirmam acúmulos de 76 (AITA et al., 2001), 91 (GIACOMINI et al., 2003), chegando a até 240 (ALMEIDA; CÂMARA, 2007) kg ha⁻¹ de N. A ervilha forrageira e

o tremoço, segundo AITA et al. (2001) podem acumular 69 e 113 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Também, o nabo forrageiro, uma das espécies mais utilizadas para rotação de culturas, relatos indicam acúmulos na ordem de 42,8 a 150 kg ha⁻¹ de N (ALMEIDA; CÂMARA, 2007; LIMA et al., 2007 e CASSOL et al., 2010). No período outonal, a ervilha forrageira e o nabo forrageiro, segundo Voss et al. (2004) e Kochhann et al. (2003), cultivadas após milho, contribuíram com aproximadamente 80 kg ha⁻¹ de N para a cultura do trigo, cultivado em sucessão.

A resposta do trigo a adubação nitrogenada é dependente da palhada presente na superfície do solo, cuja liberação de nutrientes pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003) ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999). O estágio de desenvolvimento da espécie no momento em que for manejada, disponibilidade hídrica, aeração, temperatura, atividade biológica do solo e composição química dos resíduos culturais podem interferir no acúmulo de nutrientes pelas espécies intercalares e sua velocidade de liberação (OLIVEIRA et al., 1999; ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; PRIMAVESI et al., 2002) e, conseqüentemente, na resposta da cultura do trigo aos nutrientes disponibilizados.

Paralelamente ao acúmulo de nutrientes e a proteção do solo, os adubos verdes devem apresentar produção de MS com relação C/N que proporcione equilíbrio entre a mineralização e imobilização. A dinâmica da liberação de nutrientes pode variar, em função da espécie em cultivo e das condições climáticas da região. Tal conhecimento é imprescindível para que as espécies de cobertura possam ser introduzidas de forma eficiente no sistema de produção do trigo, buscando o equilíbrio entre o fornecimento adequado de N ao trigo e a permanência dos resíduos culturais visando a proteção do solo (HEINRICH, et al., 2001; AITA & GIACOMINI, 2003).

Aita & Giacomini (2003) verificaram que para a ervilhaca comum e o nabo forrageiro, já nos primeiros 15 dias, 50% e 80% do nitrogênio ainda permanecia nos resíduos culturais e, aos 59 dias 40% e 75%, respectivamente. Tal processo, além da relação C/N, é dependente de fatores ambientais, tais como: temperatura, radiação solar, pH do solo, disponibilidade de nutrientes, aeração, umidade e composição dos resíduos vegetais (AGOSTINETTO et al., 2000; AITA et al., 2001).

A utilização de espécies de cobertura no período intercalar entre a colheita do milho e a semeadura do trigo que, na região Sudoeste do Paraná, pode atingir até 120 dias, pode promover incrementos da matéria orgânica e nutrientes,

principalmente o nitrogênio, reduzindo custos e otimizando a sustentabilidade do sistema. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de adubos verdes outonais, implantados entre a colheita do milho e semeadura do trigo, suas liberações acumuladas de nitrogênio e o efeito de doses de adubação nitrogenada sobre o desempenho da cultura do trigo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização do Local

O experimento foi conduzido em duas safras agrícolas, em uma propriedade particular no município de Pato Branco-PR, situada a 26°10'43.0" Sul e 52°38'48.2" Oeste e com altitude próxima a 800 metros, sendo o clima classificado como Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico (MAAK, 1968). A área na qual foi instalado o experimento vem sendo conduzida no sistema de semeadura direta desde 1987.

3.2.2 Caracterização do Solo

O solo do local pertence à unidade de mapeamento Latossolo Vermelho Distroférico, textura argilosa, álico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado (BHERING et al., 2008). Anteriormente a instalação do experimento, em ambos os anos, foram realizadas análises químicas do solo, coletando-se 10 subamostras na profundidade de 0,0 a 10,0 cm, as quais foram homogeneizadas e encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná /IAPAR. As características químicas do solo podem ser observadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Atributos químicos do solo na profundidade de 0-10 cm antes da implantação do experimento em dois anos. Pato Branco, 2010.

Ano	pH	M.O. ¹	H+Al	Ca	Mg	K	P	Al (%)	V (%)
	CaCl ₂	%	.....	cmol _(c) dm ⁻³	.....	.....	mg dm ⁻³	.....	%.....
2009	4,9	4,3	7,20	5,62	2,77	0,65	7,83	0,00	55,67
2010	4,8	4,9	6,69	5,08	2,64	0,48	10,77	0,00	55,07

¹ M.O. = matéria orgânica; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; K = potássio; P= fósforo; Al (%) = saturação por alumínio; V (%) = saturação por bases.

3.2.3 Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos em esquema trifatorial, em três repetições. Constaram das combinações dos fatores: a) Espécies intercalares: nabo forrageiro, ervilhaca comum, tremoço, ervilha forrageira (cultivar BRS Forrageira) e feijoeiro comum (cultivar IAPAR 81), além de uma parcela que permaneceu em pousio até o momento da semeadura do trigo, ficando apenas com restos culturais da cultura do milho; b) doses de adubação nitrogenada (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) aplicadas sobre a cultivar de trigo BRS Pardela e c) anos de avaliação: 2009 e 2010.

As espécies intercalares foram implantadas em 25/02/2009 e 04/03/2010, sobre resteva da cultura do milho, no sistema de plantio direto, com semeadora para parcelas experimentais marca Semina/Embrapa. As parcelas foram compostas de 12 linhas com 6 metros de comprimento, espaçadas em 20 cm, com densidade de semeadura de 15 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro, ervilhaca comum, tremoço e da ervilha forrageira, respectivamente. Para a cultura do feijoeiro foram utilizadas sete sementes por metro linear e 200 kg ha⁻¹ do fertilizante N-P-K fórmula 05-20-20.

Em 19/06/2009 e 18/06/2010, a cultivar de trigo BRS Pardela foi implantada em sucessão as culturas intercalares e pousio. Utilizou uma densidade de semeadura de 55 sementes por metro linear. Para os tratamentos com adubação nitrogenada foram aplicados 250 kg ha⁻¹ do fertilizante (N-P-K), fórmula 08-20-15, utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de N na base. Nas parcelas sem N, utilizou-se a formulação 00-20-15 (N-P-K). O restante do nitrogênio, na forma de uréia, foi aplicado em cobertura no início do afilamento para a dose de 40 kg ha⁻¹ de N e parcelado em duas aplicações (início e final do afilamento), para as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de

N. O controle de pragas, doenças e plantas daninhas e pragas foram realizados conforme indicações técnicas para a cultura do trigo (RCBPTT, 2009).

3.2.4 Taxa de Liberação de Nitrogênio dos Resíduos Vegetais

A avaliação da taxa de liberação de nitrogênio referente à matéria seca, realizada apenas na safra agrícola de 2009, foi implementada através da metodologia do uso de sacos de decomposição ou litter bags. Os litter-bags foram confeccionados com nylon de malha de 2mm com dimensões de 20x20cm. Cada litter-bags recebeu 10 gramas de MS e foram alocados nas entrelinhas da cultura do trigo, logo após sua implantação, sendo coletados aos 14, 28, 42, 56, 70 e 100 dias após.

Após a coleta, o material proveniente dos litter bags foi secado e moído em moinho de faca tipo Willey (< 40 mesh) e submetido à caracterização química para estimar a taxa de liberação de nitrogênio ao longo do tempo. Após a digestão sulfúrica, o N total foi determinado em destilador de arraste de vapor semi-micro Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995). A taxa de liberação de nitrogênio foi calculada, baseando-se na quantidade inicial do nutriente, menos a quantidade remanescente ao longo dos períodos de avaliação.

3.2.5 Avaliações Efetuadas na Cultura do Trigo

Foram avaliados sete caracteres agrônômicos, sendo um aferido a campo: i) número de afilhos férteis por metro linear (NAF); três componentes do rendimento de grãos aferidos em laboratório, através da colheita aleatória de 10 espigas, de cada parcela; ii) número de grãos por espiguetas (NGEt); iii) número de espiguetas por espiga (NEE); iv) número de grãos por espiga (NGE) e, três caracteres aferidos em laboratório: v) peso de mil grãos em gramas (PMG); vi) peso do hectolitro em kg hL⁻¹ (PH) e vii) rendimento de grãos em kg ha⁻¹ (RG), ajustado a 13% de umidade.

3.2.6 Análise Estatística

Foram testadas a homogeneidade e normalidade dos erros do modelo matemático, via testes de Bartlett (STELL et al., 1997) e Lilliefors (CAMPOS, 1983), respectivamente. Como as variâncias foram homogêneas e normais, procedeu-se às análises de variância, sem necessidade de transformação.

Na análise de variância conjunta consideraram-se os fatores espécies intercalares e doses de adubação nitrogenada como fixos e o fator ano (safras agrícolas) como aleatório. Quando significativas, as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. O efeito das doses de adubação nitrogenada foi analisado por regressão polinomial, testados até o grau de polinômio cúbico. A escolha do modelo equacional para as regressões considerou a significância dos parâmetros da equação de regressão ajustada testados pelo teste F e teste “t” de Student a 5%.

As taxas de liberação de nitrogênio foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não linear aos valores observados conforme proposto por Wieder & Lang (1982), através da seguinte equação:

$$NR = A e^{-kat} + (100-A) \text{ Equação 01}$$

$$NR = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt} \text{ Equação 02}$$

em que:

NR: porcentagem de nitrogênio remanescente; Ka: constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); Kb: constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A); t: tempo, em dias.

Ambos os modelos consideram que o nitrogênio dos resíduos pode ser dividido em dois compartimentos. No modelo assintótico (Equação 01), apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo ao nitrogênio, é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. No modelo exponencial duplo (Equação 02), o nitrogênio dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, com a primeira fração transformada a taxas mais elevadas (Ka) que a segunda (Kb), que é a de mais difícil liberação

(recalcitrante). A escolha do tipo de modelo de cada tratamento foi feita com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2), o qual indica o grau de associação entre o modelo ajustado e os valores observados.

A análise de variância conjunta e comparação de médias foram implementadas através do aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2001), sendo os gráficos gerados com o aplicativo SigmaPlot versão 11.0.

Os valores de máxima eficiência técnica (MET) foram calculados a partir da equação 01 (equação polinomial quadrática), onde se fez a primeira derivada, e igualando-a a zero, resultou na equação 02. Quando a equação ajustada foi uma polinomial linear positiva, a MET foi obtida com utilização da maior dose. Para determinar a máxima eficiência econômica (MEE), foi utilizada a mesma derivada da equação, multiplicando-se pelo preço do produto (pp) e subtraindo o preço do insumo (pi), resultando na equação 03.

$$y = a + bx + cx^2 \text{ (01)}$$

$$dy/dx: 0 = b + 2cx \text{ (02)}$$

$$dy/dx: 0 = pp(b + 2cx) - pi \text{ (03)}$$

Para o cálculo, o custo da adubação nitrogenada foi obtido na empresa Nativa Produtos Agrícolas Ltda, com valor de R\$2,00 kg de N em abril de 2009. Foi utilizado o valor de R\$ 24,00 por saca de 60 kg de trigo, valor este para venda de trigo no ano de 2009.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados meteorológicos do período experimental para os anos de 2009 e 2010 podem ser observados nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3. Em 2009 ocorreram precipitações superiores nos meses de julho, agosto e setembro, o que contribuiu para um maior afilhamento, no entanto, proporcionando condições favoráveis para ocorrência de doenças de espiga, principalmente giberela, em função da elevada precipitação observada no mês de setembro, coincidindo estágio de florescimento pleno, onde a suscetibilidade à giberela é maior (DEL PONTE et al., 2004). Ao contrário, em 2010, onde os índices de precipitação foram menores, as doenças foliares e de espiga não foram fatores limitantes a cultura. Também, em 2010, os

índices de radiação solar (Figura 3.3) foram superiores em todo o período de cultivo, principalmente no mês de setembro. A maior disponibilidade de assimilados próximos a antese pode representar mais flores férteis e, conseqüentemente, grãos em maior número e tamanho, com maior capacidade de formar grãos cheios (RODRIGUES, 2000; SILVA et al., 2003, HEINEMANN et al., 2006).

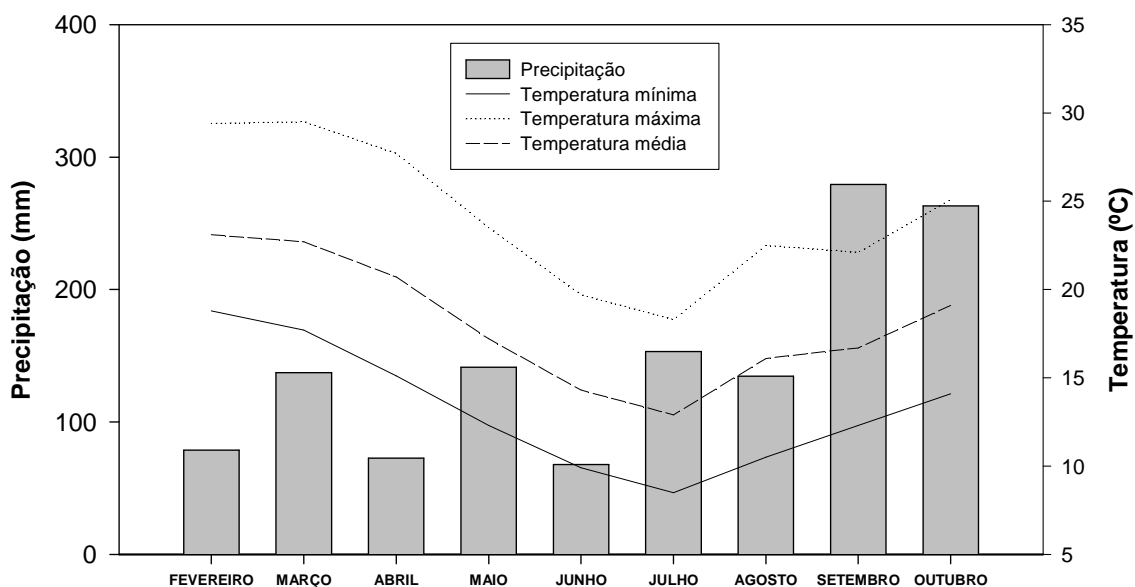


Figura 3.1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2009. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (Comunicação pessoal).

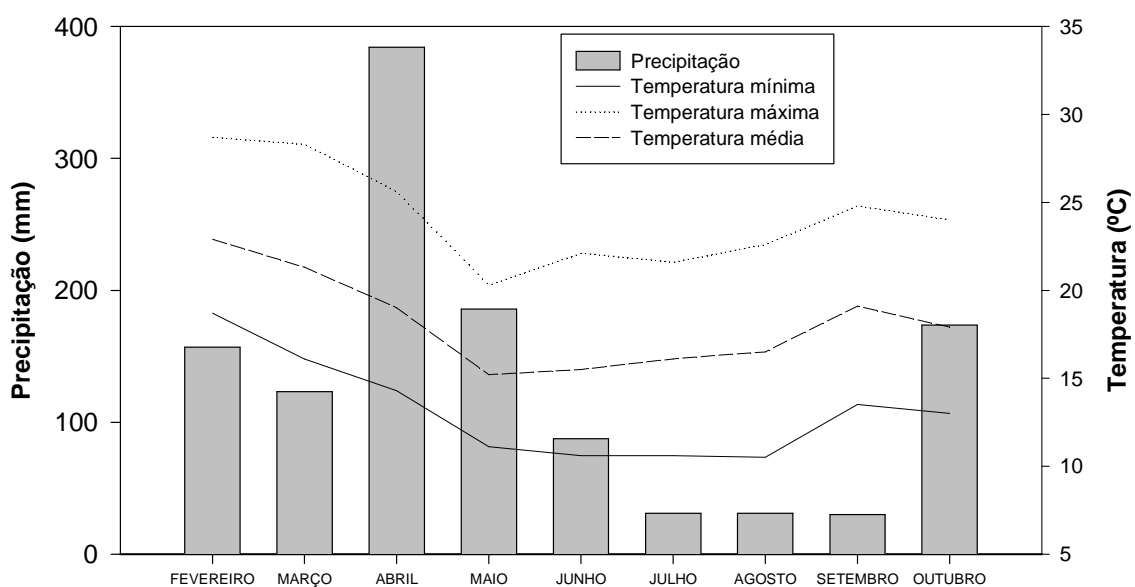


Figura 3.2 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2010. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (Comunicação pessoal).

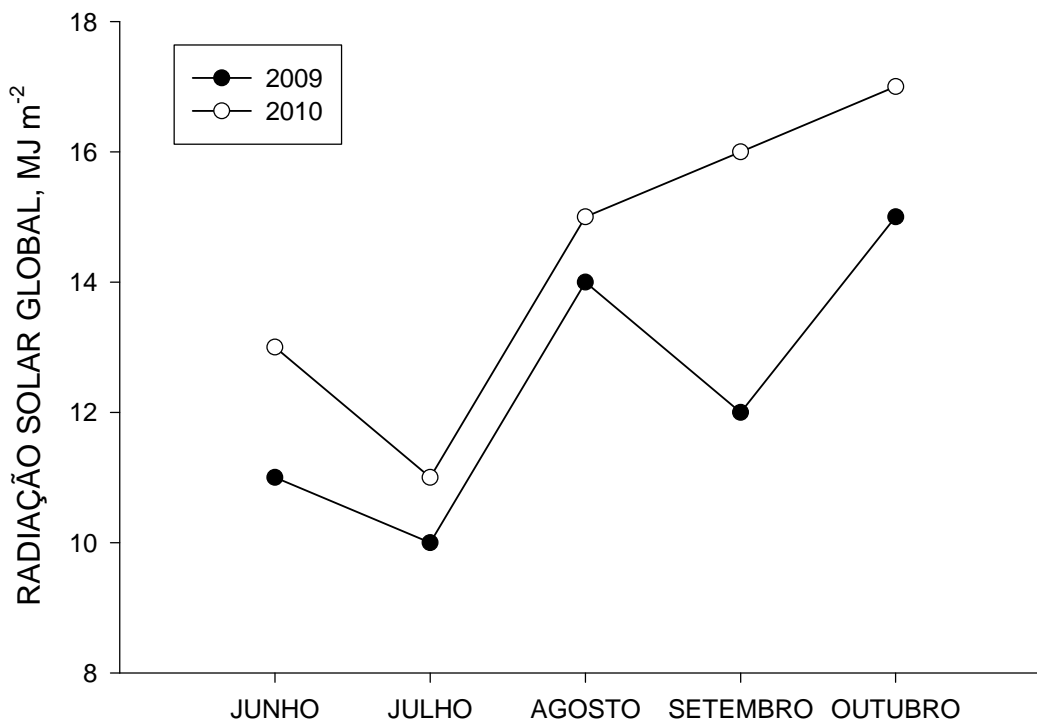


Figura 3.3 – Dados de radiação solar observados durante o período experimental nos anos de 2009 e 2010. Fonte: Instituto Tecnológico Simepar (Comunicação pessoal).

Os resultados da análise da variância conjunta (Tabela 3.2) indicam presença de diferença significativa ($p < 0,05$) para interação tripla dos fatores espécies intercalares (E) x anos (A) x doses de adubação nitrogenada (D) para os caracteres número de filhos férteis por metro linear (NAF) e rendimento de grãos (RG), indicando que a resposta a adubação nitrogenada foi dependente das espécies intercalares e anos de avaliação.

Os caracteres número de grãos por espigeta (NGEt), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (PMG), peso de hectolitro (PH) e número de grãos por espiga (NGE) apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para o fator principal anos (Tabela 3.2), indicando desempenho diferencial no conjunto dos anos avaliados, o que pode ser explicado devido principalmente as condições meteorológicas (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3). O caractere número de espigetas por espiga (NEE) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para o fator principal espécies intercalares, indicando que pelo menos uma das espécies intercalares afetou seu desempenho.

Tabela 3.2 – Resumo da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis rendimento de grãos de trigo (RG), peso de hectolitro (PH), número de afilhos férteis por metro linear, (NAF), número de grãos por espiguetas (NGEt), número de espiguetas por espiga (NEE), peso de mil grãos (PMG) e número de grãos por espiga (NGE) cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

Fontes de variação	GL	Caracteres						
		NAF	NGEt	NEE	PMG	NGE	PH	RG
		unidades	unidades	unidades	gramas	unidades	kg hL ⁻¹	kg ha ⁻¹
(B/L)/A	16	11,04	0,12	1,01	244,60	22,57	0,41	40834,86
Doses (D)	3	5511,51*	0,04 ^{ns}	4,95 ^{ns}	254,21 ^{ns}	22,48 ^{ns}	0,19 ^{ns}	3417349,04 ^{ns}
Anos (A)	1	1640,25*	3,64*	1,86 ^{ns}	3188,48*	1267,36*	2304,0*	84439252,50*
Espécies (E)	5	3021,49*	0,10 ^{ns}	4,64*	283,91 ^{ns}	8,49 ^{ns}	0,66 ^{ns}	868682,84 ^{ns}
D x A	3	83,21*	0,02 ^{ns}	0,92 ^{ns}	231,56 ^{ns}	6,70 ^{ns}	3,86 ^{ns}	2081058,37*
D x E	15	215,81*	0,12 ^{ns}	1,12 ^{ns}	309,27 ^{ns}	17,82 ^{ns}	0,36 ^{ns}	350124,55*
A x E	5	355,7*	0,05 ^{ns}	1,21 ^{ns}	330,28 ^{ns}	35,70 ^{ns}	0,68 ^{ns}	220503,47 ^{ns}
D x A x E	15	54,90*	0,10 ^{ns}	1,69 ^{ns}	260,95 ^{ns}	12,89 ^{ns}	0,53 ^{ns}	182132,98*
Resíduo (Erro)	80	21,51	0,12 ^{ns}	1,65 ^{ns}	258,33	23,95	0,51	101736,05
Total	143							
MÉDIA		69,86	2,53	15,14	34,27	38,12	76,54	3.222,00
CV (%)		6,63	14,00	8,49	5,78	12,83	0,93	9,89
Relação maior		6,78	6,98	5,29	2,47	4,52	4,38	3,45
QME / menor QME								

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (0.01 ≤ p < 0.05) pelo teste F.

^{ns} não significativo (p ≥ 0.05) pelo teste F.

Na safra agrícola de 2010, todos os tratamentos, independente da dose de adubação nitrogenada, apresentaram RG superior em relação ao observado no de 2009 (Figura 3.4), devido provavelmente ao excesso de precipitação pluvial em 2009, principalmente no mês de setembro (Figuras 3.1 e 3.2) coincidindo com o período de florescimento da cultura e ocasionando alta incidência de giberela e, também, a menor disponibilidade de radiação.

Em 2009, em sucessão ao tremoço e feijoeiro, ocorreu resposta quadrática do RG às doses de adubação nitrogenada, com as maiores produtividades (2807 e 2822 kg ha⁻¹, respectivamente) observadas na dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Para a ervilha forrageira ocorreu decréscimo no RG na maior dose de adubação nitrogenada, devido à ocorrência de acamamento; neste tratamento, o componente linear foi não significativo, demonstrando ausência de resposta à adubação nitrogenada, o pode ser atribuído a alta disponibilidade de nitrogênio liberado dos resíduos culturais da ervilha forrageira que, aos 42 dias após o manejo, já contribuía com 105 kg ha⁻¹ de N (Figura 3.5). Da mesma forma, quando o trigo foi cultivado em

sucessão ao nabo forrageiro e ervilhaca comum, não se observou resposta às doses de adubação nitrogenada, sendo a média do RG de 2.430 e 2.827 kg ha⁻¹, respectivamente.

Também, na sucessão com o tremoço e feijoeiro, em 2009, os tratamentos que receberam 120 kg ha⁻¹ de N apresentaram acamamento. Tal comportamento pode ser explicado em função da elevada disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura, pois o principal mecanismo de absorção de nitrogênio é através do fluxo de massa, ou seja, quanto mais água for absorvida pela planta de trigo, mais nitrogênio da solução do solo será absorvido (EPSTEIN, 1975), favorecendo a ocorrência de acamamento. Neste sentido, Braz et al (2006) também observaram que a resposta do trigo a adubação nitrogenada foi dependente das condições meteorológicas e que a utilização de altas doses de adubação nitrogenada pode favorecer o acamamento e influenciar negativamente o RG e sua qualidade.

Após a palhada do milho, em ambos os anos, observou-se resposta linear, com incremento no RG às doses de adubação nitrogenada; nesta sucessão, a não ocorrência de acamamento, mesmo na maior dose de adubação nitrogenada, deve-se a alta relação C/N do milho (47) (Figura 2.4), fato que, possivelmente, favoreceu a imobilização do nitrogênio, diminuindo a disponibilidade deste para a cultura do trigo. Em 2010, todos os tratamentos apresentaram resposta linear positiva às doses de adubação nitrogenada, sendo as maiores produtividades observadas para o tremoço (4773 kg ha⁻¹) e feijoeiro (4770 kg ha⁻¹), respectivamente.

Sem adubação nitrogenada, o RG em sucessão a ervilha forrageira foi equivalente ao cultivo em sucessão a palhada de milho com 80 e 40 kg ha⁻¹ de N, nas safras de 2009 e 2010, respectivamente. Tais resultados corroboram com Voss et al. (2004), que indicaram a necessidade de 80 kg ha⁻¹ de N em trigo após pousio para obter rendimento equivalente ao obtido após a sucessão com a ervilha forrageira, sem aplicação de nitrogênio.

Quando o trigo foi cultivado sem adubação nitrogenada em sucessão a ervilhaca comum, leguminosa reconhecida pela sua capacidade de fixação de N₂ atmosférico (AITA et al., 2001), observou-se que, na safra de 2009, o RG foi superior ao observado na sucessão ao feijoeiro comum e palhada de milho, mesmo quando estes receberam as maiores doses de adubação nitrogenada (80 e 120 kg ha⁻¹). Também em 2010, verificou-se que o RG em sucessão a ervilhaca comum (sem aplicação de nitrogênio) foi semelhante ao RG observado em sucessão a palhada de

milho, com 40 kg ha^{-1} de N, indicando que a ervilhaca comum pode contribuir com 40 a 120 kg ha^{-1} de N.

Comparando-se o rendimento de grãos de trigo na dose zero após nabo forrageiro e palhada de milho, observa-se que foram necessários 40 e 80 kg ha^{-1} de N em 2009 e 2010, respectivamente, em sucessão a palhada do milho, para se alcançar RG equivalente ao obtido após nabo forrageiro sem adubação nitrogenada. Há relatos da necessidade de 20 kg ha^{-1} de N no trigo após o pousio para obter RG equivalente ao alcançado após o nabo forrageiro sem adubação nitrogenada (VOSS et al., 2004). Segundo Kochhann et al. (2003), o nabo forrageiro, quando semeado após milho, pode contribuir com aproximadamente 80 kg ha^{-1} de nitrogênio para a cultura do trigo cultivada em sucessão.

O RG de trigo em 2009, sem adubação nitrogenada, quando cultivado em sucessão a ervilha forrageira, nabo forrageiro e ervilhaca comum foi semelhante ao observado quando cultivado em sucessão palhada de milho com 80, 40 e 80 kg ha^{-1} de N. Tal equivalência do RG é atribuída, principalmente, à liberação de nitrogênio nas fases iniciais de desenvolvimento, pelas espécies intercalares, contribuindo para a emissão e sobrevivência de afillhos.

Destacam-se a contribuição da ervilha forrageira, nabo forrageiro e ervilhaca comum que, aos 42 dias após o manejo, período coincidente com o afillamento do trigo, liberaram 105, 56 e 64 kg ha^{-1} de N, respectivamente e, aos 100 dias após o manejo (fase de enchimento de grãos do trigo) liberaram 111, 71 e 77 kg ha^{-1} de N. A palhada de milho, ao longo dos 100 dias contribuiu com apenas 34 kg ha^{-1} de N.

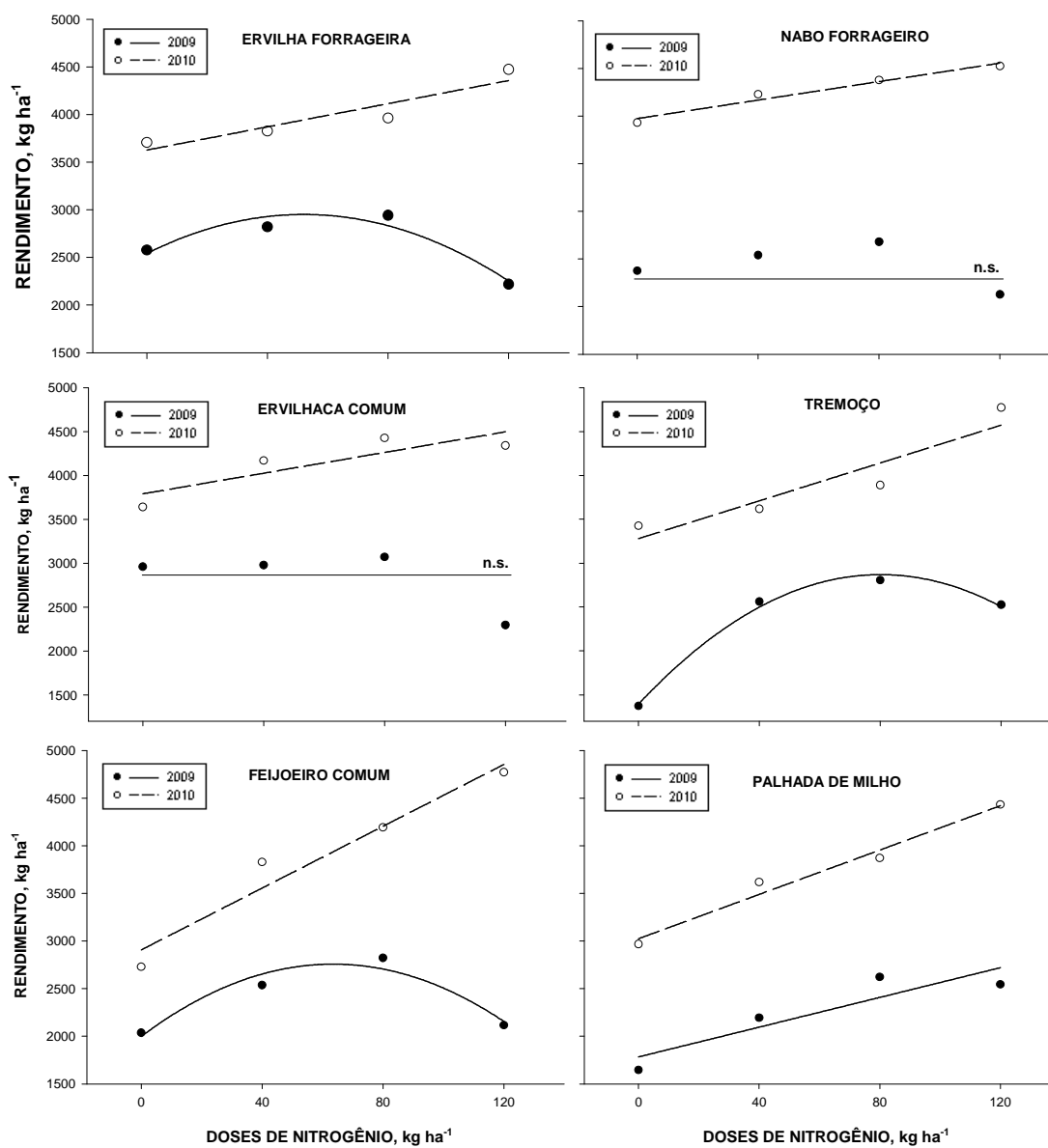


Figura 3.4 – Rendimento de grãos de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de adubação nitrogenada (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

Tabela 3.3 – Equações de regressão ajustadas para o rendimento de grãos de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

ANO	TRATAMENTO	Equação de regressão ajustada	R ² (%)
2009	Ervilha forrageira	$y = 2542,10 + 15,74x^{**} - 0,15125x^2$	91,59
	Nabo forrageiro	$y = 2342,75 + 11,893x^{**} - 0,111718x^{2**}$	86,85
	Ervilhaca comum	$y = 2914,9 + 10,085x^{**} - 0,12375x^{2**}$	88,41
	Tremoço	$y = 1392,9 + 36,86x - 0,23x^2$	99,29
	Feijoeiro comum	$y = 1996,15 + 23,95x - 0,1885x^2$	94,65
	Palhada de milho	$y = 1625,55 + 19,601x - 0,09828x^{2**}$	98,72
ANO	TRATAMENTO	Equação de regressão ajustada	R ² (%)
2010	Ervilha forrageira	$y = 3627,55 + 6,0825x$	86,96
	Nabo forrageiro	$y = 3973,89 + 4,8475x$	96,54
	Ervilhaca comum	$y = 3791,79 + 5,895x$	74,62
	Tremoço	$y = 3279,70 + 10,78x$	87,40
	Feijoeiro comum	$y = 2905,99 + 16,225x$	94,89
	Palhada de milho	$y = 3023,30 + 11,6325x$	97,53

** parâmetro não significativo ($p \geq 0.05$) pelo teste t.

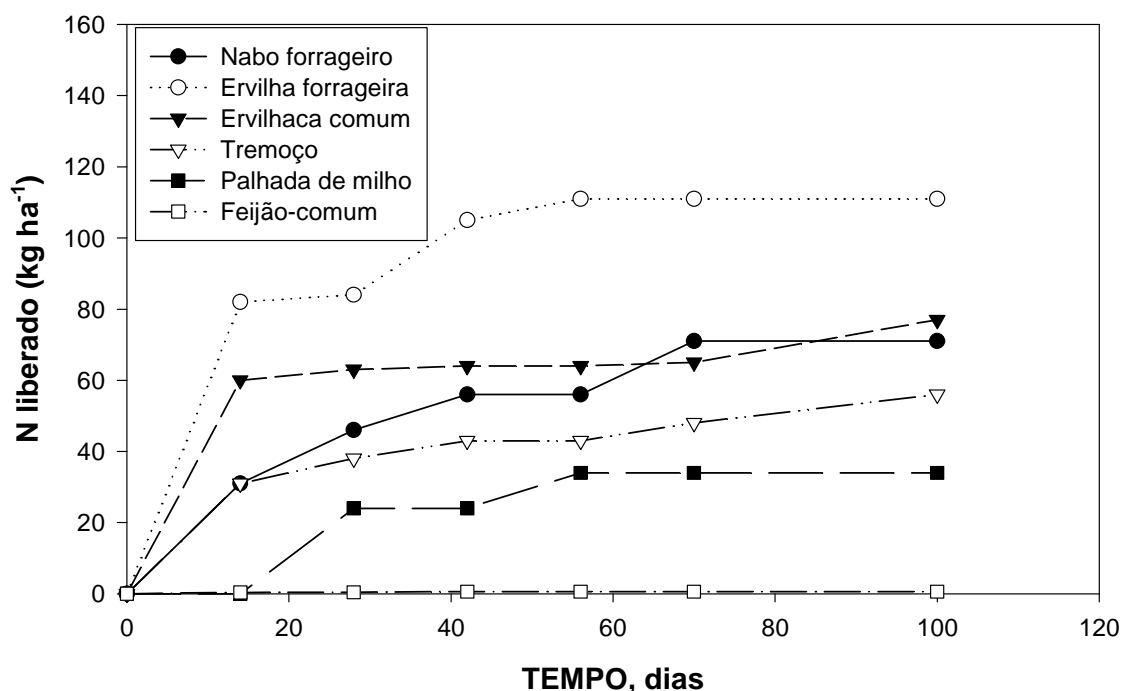


Figura 3.5 – Liberação acumulada de nitrogênio durante 100 dias de avaliação em função das espécies intercalares e da palhada de milho. Pato Branco-PR, 2010.

Quando o trigo foi cultivado em sucessão as espécies intercalares e a palhada de milho, em 2009, o número de afilhos férteis (NAF) apresentou resposta

linear positiva às doses de adubação nitrogenada. Os tratamentos que apresentaram o maior e o menor NAF foram ervilhaca comum e o tremoço, com 119 e 72 afilhos férteis por metro linear, respectivamente (Figura 3.6). Em 2010, novamente, observou-se resposta linear do NAF no trigo cultivado em sucessão a ervilha forrageira, nabo forrageiro, tremoço e feijoeiro comum. Estes resultados corroboram com Zagonel et al. (2002), que relatam que o incremento das doses de adubação nitrogenada em cobertura maximizam a produção de afilhos férteis, pois o nitrogênio é constituinte de vários componentes da célula vegetal, incluindo ácidos nucléicos e aminoácidos (SANGOI et al., 2007).

Em sucessão a ervilhaca comum ocorreu resposta quadrática às doses de adubação nitrogenada, com o máximo de NAF (100,5) obtido na dose de 106 kg ha^{-1} de N. Neste caso, o efeito compensatório/competitivo do maior número de espiguetas por espiga (NEE) (Tabela 3.6), pode ter determinado a redução no NAF na maior dose de adubação nitrogenada, fato este também relatado por Teixeira Filho (2008).

O NAF em 2009 foi, na média de todos os tratamentos, 10% superior ao observado em 2010, isto devido às melhores condições de precipitação observadas em julho de 2009, período de afilhamento (Figura 3.1) e do efeito da temperatura média (Figura 3.1), que foi aproximadamente 5°C inferior ao observado no mesmo período de 2010 (Figura 3.2). A temperatura atua fundamentalmente na duração do período de afilhamento, ou seja, menores temperaturas na fase de afilhamento tornam este subperíodo mais longo, permitindo assim uma maior assimilação de nutrientes e CO_2 , revertendo em um maior número de afilhos férteis (FISCHER, 1985).

A maior diferença entre anos para o NAF foi observada quando o trigo foi cultivado em sucessão ao feijoeiro comum, sendo 33,5% superior em 2009. Além da influência das condições climáticas, pode-se atribuir a superioridade do NAF em 2009 à menor relação C/N da palhada do feijoeiro (41), diferentemente de 2010, onde se verificou relação C/N de 48 (Figura 2.4). A menor relação C/N observada em 2009, provavelmente, contribuiu para uma menor imobilização de nitrogênio comparativamente a 2010.

Dentre as espécies intercalares de cobertura testadas, o tremoço possibilitou maiores incrementos no NAF, em função das doses de adubação nitrogenada, em ambos os anos (72 e 64 afilhos férteis por metro linear em 2009 e 2010,

respectivamente, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N). Tomando-se como base a dinâmica da liberação de nitrogênio no ano de 2009 (Figura 3.5), pode-se atribuir o baixo acréscimo no NAF do tremoço à baixa liberação de nitrogênio aos 42 dias após o manejo, período que coincide com a fase de afilhamento do trigo. Mesmo tendo o tremoço apresentado uma liberação gradual do N, foi insuficiente para proporcionar grandes acréscimos no NA. Valerio et al. (2009) argumenta que este nutriente é mais importante na fase relacionada à emissão e sobrevivência de afilhos.

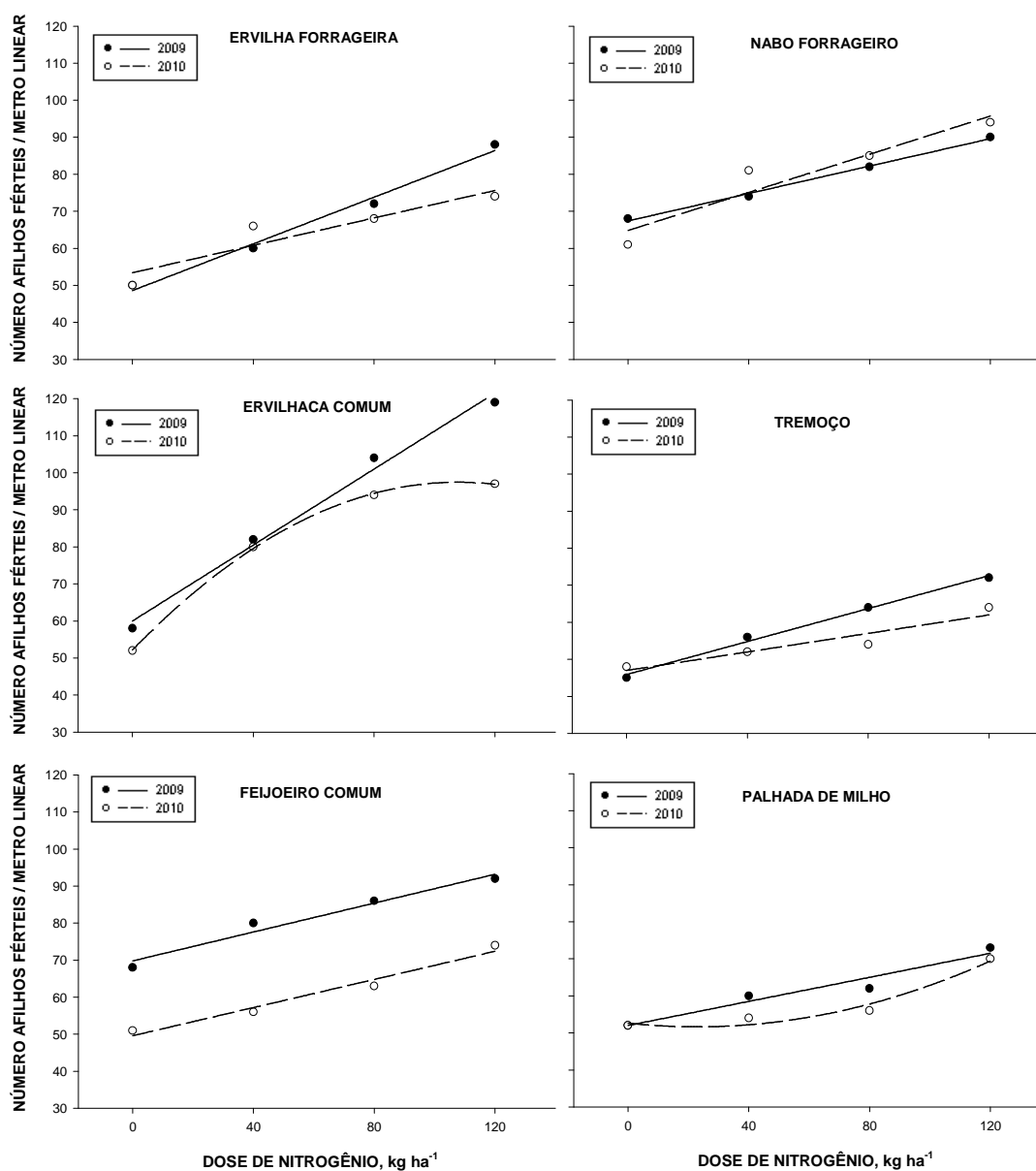


Figura 3.6 – Número de afilhos férteis por metro linear de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de adubação nitrogenada (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

Tabela 3.4 – Equações de regressão ajustadas para o número de afilhos férteis por metro linear de trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

ANO	TRATAMENTO	Equação de regressão ajustada	R ² (%)
2009	Ervilha forrageira	$y = 48,60 + 0,315x$	98,28
	Nabo forrageiro	$y = 67,40 + 0,185x$	99,34
	Ervilhaca comum	$y = 60,0 + 0,5125x$	98,48
	Tremoço	$y = 45,89 + 0,2224x$	98,98
	Feijoeiro comum	$y = 69,80 + 0,1949x$	94,85
	Palhada de milho	$y = 52,0 + 0,1625x$	90,98
ANO	TRATAMENTO	Equação de regressão ajustada	R ² (%)
2010	Ervilha forrageira	$y = 50,9 + 0,3725x - 0,0015625x^{2**}$	84,57
	Nabo forrageiro	$y = 62,05 + 0,46375x - 0,00171875x^{2**}$	88,64
	Ervilhaca comum	$y = 52,15 + 0,84125x - 0,0039625x^2$	99,89
	Tremoço	$y = 46,99 + 0,125x$	84,88
	Feijoeiro comum	$y = 49,60 + 0,18999x$	95,36
	Palhada de milho	$y = 52,6 - 0,085x^{**} + 0,001875x^2$	89,2

** parâmetro não significativo ($p \geq 0.05$) pelo teste t.

O melhor desempenho dos caracteres NGEt, NGE, PMG e PH ocorreu no ano de 2010, em função das condições climáticas mais favoráveis a cultura do trigo (Figura 3.2). Os caracteres NGEt, NGE, PMG e PH não foram afetados significativamente ($p < 0,05$) pela espécie intercalar e doses de adubação nitrogenada (Tabela 3.2), o que discorda de outros autores, que observaram que a dose de adubação nitrogenada influenciou positivamente o NGE (COELHO et al., 1998; TEIXEIRA FILHO, 2008) e negativamente o PH (FRIZZONE et al., 1996; TRINDADE et al., 2006; TEIXEIRA FILHO, 2008) e o PMS (TEIXEIRA FILHO, 2008). Entretanto, a não resposta do PMS em função do acréscimo da adubação nitrogenada corrobora com relatos de Zagonel et al. (2002) e Soares Sobrinho (1999).

Tabela 3.5 - Comparação das médias para as variáveis número de grãos por espigeta (NGEt), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil sementes (PMS) e peso de hectolitro (PH) para o trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

ANOS	NGEt	NGE	PMS	PH
2009	2,4 b*	35,2 b	30,8 b	72,5 b
2010	2,7 a	41,3 a	37,7 a	80,5 a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito das espécies intercalares sobre o desempenho de NEE indica seu melhor desempenho na sucessão com a ervilhaca comum (15,9), diferindo estatisticamente apenas do tremoço (Tabela 3.6), que apresentou o menor NEE (14,7). Tal fato pode ser explicado pela baixa liberação de N do tremoço aos 42 dias após seu manejo, período relacionado próximo ao estágio onde está sendo definido o NEE.

Tabela 3.6 - Comparação das médias para a variável número de espiguetas por espiga (NEE) para o trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

Espécies intercalares	NEE
Ervilhaca comum	15,9 a*
Feijoeiro comum	15,3 ab
Ervilha forrageira	14,9 ab
Palhada de milho	14,9 ab
Nabo forrageiro	14,9 ab
Tremoço	14,7 b

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O trigo cultivado após feijoeiro, tremoço e palhada de milho apresentou a máxima eficiência técnica (MET) nas doses de 63,5; 80,1 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, no ano de 2009 (Tabela 3.7). Neste ano, não foi possível estimar matematicamente a MET para a ervilha forrageira, em função do parâmetro linear (Tabela 3.3) da equação polinomial não ser significativo ($p < 0,05$) pelo teste t. Para o nabo forrageiro e ervilhaca comum o MET não pode ser calculado, pois a equação polinomial não foi significativa. Em 2010 o trigo respondeu até a maior dose de N (120 kg ha⁻¹) em todas as espécies intercalares testadas e também para a palhada de milho.

Quanto à máxima eficiência econômica (MEE) (Tabela 3.7), em 2009, os melhores retornos econômicos foram alcançados nas doses 68,7 (tremoço) e 49,6 kg de N (feijoeiro comum). Para 2010, devido ao ajuste de uma equação polinomial linear para todas as espécies intercalares, bem como a palhada de milho, não foi possível calcular MEE.

Tabela 3.7 - Cálculo da dose de máxima eficiência técnica (MET) e da máxima eficiência econômica (MEE) em kg ha⁻¹ de nitrogênio, para o trigo cultivado em sucessão a cinco espécies outonais e palhada de milho como testemunha e quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em dois anos. Pato Branco – PR, 2010.

Tratamentos	Máxima eficiência técnica (MET) / kg ha ⁻¹		Máxima eficiência econômica (MEE) / kg ha ⁻¹	
	2009	2010	2009	2010
Ervilha forrageira	PLNS	120	PLNS	EPL
Nabo forrageiro	NS	120	NS	EPL
Ervilhaca comum	NS	120	NS	EPL
Tremoço	80,1	120	68,7	EPL
Feijoeiro comum	63,5	120	49,6	EPL
Palhada de milho	120	120	EPL	EPL

EPL= equação polinomial linear positiva, não permite o cálculo da MEE;
 PLNS = equação polinomial quadrática com parâmetro linear não significativo, não permite o cálculo da MEE e MET;

NS = equação polinomial não significativa, não permite o cálculo da MEE e MET;

3.4 CONCLUSÕES

1. A maior parte do N dos resíduos culturais da ervilha forrageira e ervilhaca comum, cultivadas em sucessão ao milho e antecedendo a cultura do trigo, é liberada nos primeiros 15 dias após o manejo das espécies. Para o nabo forrageiro e o tremoço, o N apresenta uma liberação lenta e gradual.
2. A ervilha forrageira, nabo forrageiro e ervilhaca comum, cultivadas em sucessão ao milho e antecedendo a cultura do trigo, possibilita economia de até 40 kg ha⁻¹ de N.
3. A ervilha forrageira e o nabo forrageiro, devido à elevada produção de matéria seca e liberação gradativa de nitrogênio, são alternativas promissoras para cultivo em sucessão ao milho e antecedendo a cultura do trigo.

3.5 REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; FERREIRA, F.B.; STOCH, G.; FERNANDES, F.F.; PINTO, J.J.O. Adaptação de espécies para cobertura de solo no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, 6: 47-52, 2000.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O.C. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 25: 157-165, 2001.

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

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; DE PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, K. de; CÂMARA, F.L.A. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em espécies de adubos verdes de inverno. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2: 1224-1227, 2007.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. DOS; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C. da S.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CIAT. 2008. 74p

BRAZ, A. J. B. P. et al. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciência Agrotecnica**, v.30: p.193-198, 2006.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4ª ed. Piracicaba, Departamento de Matemática e estatística – ESALQ, 1983. 349p.

CASSOL, L.C.; SILVA, L.H.R. da; BORTOLINI, D; ROCHA, K.F. Utilização do nabo forrageiro e da aveia preta intercalares ao cultivo do milho e do trigo no sudoeste do Paraná. In: **XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.

COELHO, M. A. O.; SOUZA, M. A.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO, A. C.; EDIYAMA, C. S. Resposta da produtividade de grãos e outras características agronômicas do trigo EMBRAPA- 22 irrigado ao nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.555-561, 1998.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em: Nov. 2010.

CRUZ, C. D. **Programa GENES**: versão windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

DEL PONTE, E.M., FERNANDES, J.M.C., PIEROBOM, C.R. & BERGSTROM, G.C. Giberela do trigo – aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v.29: p.587-605, 2004.

EPSTEIN, E. A. Aquisição de nitrogênio. In: MALAVOLTA, E. (Trad.). **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agriculture Science**, v.105, p.447-461, 1985.

FREITAS, J. G.; CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; CASTRO, J. L. Eficiência e resposta de genótipos de trigo ao nitrogênio. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.229-234, 1995.

FRIZZONE, J. A.; MELLO JÚNIOR, A. V.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.425-434, 1996.

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 Ciência do Solo**, 27: 325-334, 2003.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; TRINDADE, M.G.; SOARES, B.B.; MOREIRA, J.A.A.; CANOVAS, A.D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade de trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.10, n.2, p.352-356, 2006.

HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 25: 331-340, 2001.

IGNACZAK, J.C.; MAURINA, A.C.; MORI, C.; FILHO, A.F. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná – safra 2005**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 24 p. HTML (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 31).

KOCHHANN, R.A.; SANTOS, H.P.; VOSS, M.; DENARDIN, J.E. **Rendimento de grãos de trigo cultivado em sequencia ao adubo verde nabo forrageiro**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 12 p. HTML (Comunicado Técnico On-line, 116).

LIMA, J.D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R.K.; SOLIMAN, E.P.; MORAES, W.S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 37(1): 60-63, 2007.

MAAK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba, BADEP-UFPR-IBPT, 1968. 350p.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1079-1087, 2002.

PAULETTI, V. A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. **Palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p.56-66.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; ARMELIN, M.J.A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, v.77, p.89-102, 2002.

RCBPTT – Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales. **Informações técnicas para trigo e triticales safra 2009**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases ecofisiológicas. In: Cunha, G. R.; Bacaltchuk, B. **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul, 2000. p.120-169. Série Culturas – Trigo.

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

SANGOI, L.; BERNS, A.C.; ALMEIDA de, M.L.; ZANIN, C.G.; SCHWEITZER, C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada em cobertura. **Ciência rural**, v.37, n.6: 1564-1570, 2007.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F. de; NEDEL, J. L.; CRUZ, P. J.; PESKE, S. T.; SIMIONI, D.; CARGNIN, A. Enchimento de sementes em linhas quase-isogênicas de trigo com presença e ausência do caráter "stay-green". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.5, p.613-618, 2003.

SOARES SOBRINHO, J. **Efeito de doses de nitrogênio e de lâminas de água sobre as características agronômicas e industriais em duas cultivares de trigo (*Triticum aestivum*L.)**. 1999. 102 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

STELL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill Book, 1997. 666p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M. **Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de trigo sob plantio direto no cerrado**. 80 p. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em agronomia – Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2008.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.24-29, 2006.

VALERIO, I.P.; CARVALHO de, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; BENIN, G.; MAIA, L.C.; SILVA, J.A.G.; SCHIMIDT, D.M.; SILVEIRA, G. Fatores relacionados a produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciência agrárias**, v.30, p.1207-1218, 2009.

VOSS, M.; TOMM, G.O.; SANTOS, H.P. dos; WIETHÖLTER, S. **Ervilha forrageira como adubo verde para o trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 5 p. HTML (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico On-line, 139).

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 31:985-994, 2007.

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

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p.25-29, 2002.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de espécies de cobertura no período intercalar, entre a colheita do milho e a semeadura do trigo, é uma alternativa viável para os agricultores da região Sudoeste do Paraná. As espécies de cobertura testadas comprovam ser eficientes no acúmulo de nitrogênio, seja por fixação do N_2 atmosférico ou ciclagem de camadas mais profundas. Além do nitrogênio, as espécies demonstraram boa capacidade de acumular potássio, fator importante na condução do sistema de plantio direto, visto que o potássio é rapidamente liberado dos resíduos vegetais do milho após sua colheita.

O acúmulo de nitrogênio não é o único fator a ser considerado para as espécies de cobertura, mas também o sincronismo de liberação deste nutriente com a fase do trigo em que o nitrogênio é requerido em maiores quantidades. Tal sincronismo foi observado para a ervilha forrageira, nabo forrageiro e ervilhaca comum, onde na fase de Afilhamento do trigo uma boa quantidade de nitrogênio já era liberada para a cultura, favorecendo assim boa produtividade para o trigo cultivado sem adubação nitrogenada em sucessão a estas espécies.

A utilização da ervilha forrageira, nabo forrageiro e ervilhaca comum como espécies intercalares à cultura do trigo e milho demonstraram elevado potencial de produção de matéria seca (com média de produtividade de matéria seca mais elevadas, em comparação a outras regiões do Brasil) e acúmulo de nitrogênio e potássio. São alternativas viáveis aos triticultores da região Sudoeste do Paraná, pois possibilitam maximizar a produtividade, com rentabilidade e sustentabilidade.

5. REFERÊNCIAS (Introdução Geral)

AGOSTINETTO, D.; FERREIRA, F.B.; STOCH, G.; FERNANDES, F.F.; PINTO, J.J.O. Adaptação de espécies para cobertura de solo no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, 6: 47-52, 2000.

ALVARENGA, R.C.; DA COSTA, L.M.; FILHO, W.M.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 30: 175-185, 1995.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.26, n.1, p. 241-248, 2002.

CALEGARI, A. O uso de plantas de cobertura e a rotação de culturas visando alto rendimento. In: **IV Curso sobre aspectos básicos de fertilidade de solo em plantio direto**. 4, 2001. Ijuí. Resumos de palestras... Passo Fundo: Aldeia Norte, 2001. p. 5-20.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em: Nov. 2010.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.7, 761-773, 1985. EMBRAPA SOJA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo – dados econômicos**. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acessado em: Nov. 2010.

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 Ciência do Solo**, 27: 325-334, 2003.

GOUVEIA, R.F.; ALMEIDA, D.L. de. **Avaliação das características agrônômicas de sete adubos verdes de inverno no município de Paty do Alferes (RJ)**. Comunicado técnico, EMBRAPA, n. 20, 1997, p.7.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20: 1021-1030, 1985.

KOCHHANN, R.A., SELLES, F. O solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNADES, J.M., FERNANDEZ, M.R., KOCHHANN, R.A., *et al.*, ed. **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: CIDA/Embrapa-CNPT, 1991. p. 9-20. Embrapa-CNPT. Documentos, 1

NETO, R.C.A.; GÓES, G.B.; MIRANDA, N.O.; FILHO, E.T.D.; FILHO, F.S.T.P. Adubação verde uma alternativa sustentável para o Brasil. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.3, n.1: 16-20, 2008.

POTAFOS. **Arquivo do agrônomo – Nº 10**. Piracicaba, 1996. 12 p. HMTL (Potafós. Arquivo do agrônomo – nº 10). Disponível em: <[http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/\\$FILE/Nutrifatos1-12.pdf](http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/$FILE/Nutrifatos1-12.pdf)>. Acessado em: Jun. 2010.

RCSBPTT/RCCSBPT – Reunião da comissão Sul-brasileira de pesquisa de trigo e triticales/Reunião da comissão Centro-sul brasileira de pesquisa de trigo e triticales. **Informações técnicas para a safra 2007**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006.

ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. 130 p. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2004.

SÁ, J. C.M. Evolução da matéria orgânica do solo no sistema Plantio Direto. In: **IV Curso sobre aspectos básicos de fertilidade de solo em plantio direto**. 4, 2001. Ijuí. Resumos de palestras... Passo Fundo: Aldeia Norte, 2001. p. 5-20.

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 31:985-994, 2007.

WOLSCHICK, D. **Perdas de nitrogênio por lixiviação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do Milho em condições de excesso hídrico**. 76 p. Dissertação de mestrado. CPEA, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2000.